

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE SAAD DAHLEB –BLIDA 1-

FACULTE DE MEDECINE

DEPARTEMENT DE MEDECINE DENTAIRE



LA LONGUEUR DE TRAVAIL EN ENDODONTIE

Mémoire de fin d'étude

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Docteur en médecine dentaire

Le 10 Juillet 2019

Présenté par :

- ABBAD Yousra
- BOULKHIOUT Fatiha
- CHERIFI Aicha
- DJEMIA Fatma Zohra
- GOUDJIL Khadidja

Devant le jury :

- Présidente : Pr HADJI - OULD ROUIS.Z
- Examinatrice : Dr ZAIDI.A
- Promotrice : Dr CHARIF.H

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE SAAD DAHLEB –BLIDA 1-

FACULTE DE MEDECINE

DEPARTEMENT DE MEDECINE DENTAIRE



LA LONGUEUR DE TRAVAIL EN ENDODONTIE

Mémoire de fin d'étude

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Docteur en médecine dentaire

Le 10 Juillet 2019

Présenté par :

- ABBAD Yousra
- BOULKHIOUT Fatiha
- CHERIFI Aicha
- DJEMIA Fatma Zohra
- GOUDJIL Khadidja

Devant le jury :

- Présidente : Pr HADJI - OULD ROUIS.Z
- Examinatrice : Dr ZAIDI.A
- Promotrice : Dr CHARIF.H

Remerciements

A Mme le Pr HADJI-OULD ROUIS :

Nous avons eu l'honneur d'être parmi vos élèves et de bénéficier de votre riche enseignement .vous êtes et vous serez pour nous l'exemple de rigueur et de droiture dans l'exercice de la profession.

Veillez bien madame recevoir nos remerciements pour le grand honneur que vous nous avez fait d'accepter de juger ce travail.

A Mme le Dr CHARIF :

Nous vous remercions d'avoir partagé avec nous votre passion pour l'enseignement .nous avons grandement apprécié votre soutien et votre bienveillance non seulement au cours de ce projet mais également tout au long de notre formation universitaire.

A travers ce travail ; veuillez trouver l'expression de notre profond respect ainsi que notre gratitude.

A Mme le DR ZAIDI :

Nous sommes très honorées de vous voire siéger dans notre jury. Nous vous sommes très reconnaissantes pour la qualité de formation que vous nous avez fournit pendant notre cursus.

Veillez trouver, chère maitre, le témoignage de notre reconnaissance et de notre profond respect.

بسم الله الرحمان الرحيم

إليكم

إليك أُمي , إلى زرقة البحر في عينيك إلى قلبك النابض بالعطاء

إليك أُمي إلى جمال روحك وسعة صبرك ولكونك أُمي

إلى أُمي نور عيني ومقلتها

إلى أُمي نبض روحي وشقيقتها

Je dédie ce travail à

Mes parents « Dilmi & Yamna » et je veux leurs dire merci d'être toujours là pour me guider ,

m'inspirer et m'encourager, vous êtes les meilleurs dons ; que dieu vous garde .

A mes frères Djamel ; Hocine : Aïssa et le prince charmant Mohamed Adélene & mes sœurs Fatima Karima ;l'adorable

princesse Ibtissem, ma belle-sœur Fatima et ma cousine Imane.

A Hanane ; ma courageuse sœurma chérie tu connais bien les traces que tu as laissé dans ma vie et ma personnalité et

je n'oublierai jamais les moments qu'on a passé ensemble

je t'aime ma belle

A mes neveux Abdelrahmane ; Abdelmalek ; Fouade : Mohamede Abdallah et mes nièces Marame et Wissale

A docteur «Illyacine Boudarene »l'exemple du médecin sérieux ; qui après plus de 30 ans dans ce domaine il aime

toujours la médecine dentaire de la même façon.

وأخيرا إلى اللغة العربية الموعودة في كتاباتنا

Merci

Aïcha Chérifi

DEDICACE

Je dédie ce travail à :

Mes très chers parents

En témoignage de ma reconnaissance envers le soutien, les sacrifices et tous

Les efforts qu'ils ont fait pour mon éducation.

A

Mon cher mari, mes chères sœurs et mon cher frère

Pour leur affection, compréhension et patience.

A

Mes enseignants pour leur patience, leur soutien et leurs encouragements.

A

Toute ma famille et tous ceux qui ont une relation

De proche ou de loin avec la réalisation de ce travail.

A

Tous mes amis qui m'ont encouragé, et à qui je souhaite plus de succès.

A

Tous ceux que j'aime.

Fatma Zohra

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail à :

Mes chers parents « Zidane et Kamla » qui ne cessent de me donner avec amour le nécessaire pour que je puisse arriver à ce que je suis aujourd'hui ; que dieu leurs procure longue vie et bonne santé.

Aux personnes dont j'ai bien aimé la présence dans ce jour ;

mes frères , mes sœurs et mes belles soeurs

Un spécial hommage à vous deux « Nadjat et Azeddine » :

Le grand plaisir vous revient en premier lieu pour vos conseils, aides

Et encouragement durant tout mon parcours .

Au petits anges de ma famille ; mes nièces et mes neveux.

A mes amies avec lesquelles je partage toujours les moments les plus délicats ;

A toute personne ayant participé, de loin ou de près, à l'élaboration de ce travail .

à tous ceux que j'ai omis de citer.

Fatiha

DEDICACE :

À mes parents,

Merci de m'avoir soutenu tout au long de ces années.

*Mes études se terminent enfin par cette thèse que j'espère vous plaira et vous
rendra fiers de moi.*

A mes chers frères et sœurs : puisse Dieu nous garder unis pour toujours.

Et surtout à mon frère Ibrahim : je te souhaite tout le bonheur que tu mérites.

A toutes mes chères amies : je vous souhaite une vie heureuse et pleine de succès.

A tous ceux qui m'ont soutenu et qui me soutiennent encore.

Khadija

TABLE DES MATIERES:

1-INTRODUCTION	1
2-RAPPELS ANATOMIQUES	2
2-1-anatomie endodontique.....	2
2-1-1-La chambre pulpaire :.....	2
2-1-2-Le canal radiculaire :.....	2
2-2-Région apicale	4
2-2-1-La jonction cémento-dentinaire :.....	5
2-2-2-La constriction apicale (foramen mineur) :.....	6
2-2-3-Le foramen apical (foramen majeur) :.....	7
3. DETERMINATION DE LA LONGUEUR DE TRAVAIL :.....	8
3.1. Définition de la longueur de travail :.....	8
3.1 .1.Le repère coronaire :.....	8
3.1.2. La limite apicale :.....	9
3.1 .2.1. Ecole scandinave :.....	9
3.1 .2.2. Ecole américaine :.....	10
3.2. Les différentes techniques	12
3.2.1. Techniques non reproductibles et empiriques.....	12
3.2.1.1.L'utilisation des connaissances anatomique.....	12
3.2.1.1. 1.Maxillaire supérieur.....	12
3.2.1.1. 2.Maxillaire inferieur :.....	13
3.2.1.2. La sensation tactile :.....	14
3.2.1.3. La perception de la douleur par le patient :.....	14
3.2.1.4. L'humidité sur une pointe en papier.....	15
3.2.2. Techniques radiographiques :.....	16
3.2.2.1.La radiographie rétro-alvéolaire :.....	16
3.2.2.1.1.Incidences radiographiques :.....	21
3.2.2.1.1.1. Plans bissecteurs :.....	21
3.2.2.1.1.2.Plans parallèles :	22

3.2.2.1.1.3.Incidences obliques :.....	23
3.2.2.1.2. Inconvénients et Limites de la radiographie intra-buccale :.....	25
3.2.2.2 Cone-beam computed tomography (CBCT).....	30
3.2.2.2.1. Généralités sur le CBCT.....	30
3.2.2.2.1.1. Principe.....	30
3.2.2.2.1.2. Unité de volume et champs de vue :.....	31
3.2.2.2.2. Avantages du Cone beam :.....	32
3.2.2.2.3.Limites du CBCT :.....	33
3.2.2.2.3.1.Obligation d’optimisation des examens utilisant des radiations ionisantes	33
3.2.2.2.3.2.Artefacts cinétiques :.....	33
3.2.2.2.3.3. Artefacts métalliques :.....	34
3.2.2.2.3.4.Coût du matériel :.....	34
3-2-3-Les localisateurs électroniques d’apex :.....	35
3-2-3-1-Historique et principe :.....	35
3-2-3-1-1-Les localisateurs électroniques d’apex utilisant la résistance :.....	35
3-2-3-1-2-Localisateurs d’apex utilisant l’impédance :.....	36
3-2-3-3-Les localisateurs électroniques d’apex utilisant plusieurs fréquences :.....	37
3-2-3-2-Mise en œuvre clinique :.....	38
3-2-3-2-1-Localisateurs électroniques d’apex isolés :.....	38
3-2-3-2-2-Les localisateurs d’apex associés à un micro moteur d’endodontie :.....	42
3-2-3-3-Précautions d’utilisation cliniques :.....	44
3-2-3-4-Avantages des localisateurs électroniques d’apex :.....	45
3-2-3-5-limites des localisateurs électroniques d’apex:.....	46
3-2-3-5-1-Facteurs influençant la mesure de la LT :.....	46
3-2-3-5-2-Défibrillateurs automatiques implantables et Pacemakers :.....	47
3-2-3-6-Fiabilité des localisateurs électroniques d’apex :.....	48
4- DIFFICULTES RENCONTREES LORS DE LA DETERMINATION DE LA LONGUEUR DE TRAVAIL :.....	50
4-1-Apex ouvert (béant) :.....	50

4-1-1-Résorption apicale :.....	50
4-1-1-a-Résorption (rhizalyse) physiologique des dents déciduales :.....	50
4-1-1-b-Résorption pathologique :.....	51
4-1-2- dents permanente immature :.....	51
4-1-3-Détermination de la longueur de travail pour les apex ouverts des dents permanente immatures :.....	51
4-1-4- les Mesure alternative de la longueur de travail pour les apex ouverts :...	52
4-2-Anatomies endodontiques particulières :.....	54
4-2-1-Isthmes :.....	54
4-2-2-Feuillets.....	55
4-2-3-Les canaux en « C » :.....	55
4-2-3-1-Description générale :.....	55
4-2-3-2-classification des canaux en « c » :.....	57
4-2-3-2-1- Classification de Melton :.....	57
4-2-3-2-2-Classification de fan :.....	57
4-2-3-3- Dents et canaux concernés par la configuration en C :.....	59
4-2-3-4-Problématiques cliniques posées par les canaux en « C » lors de la détermination de la longueur de travail :.....	60
4-2-3-4-1-Cavité d'accès et identification des entrées canalaire :.....	60
4-2-3-4-2-Inconfort du cathétérisme :.....	62
4-2-3-4-3-Zone dangereuse :	63
4-2-3-4-3-a-Zone de fragilité des molaires mandibulaires en « C » :.....	63
4-2-3-4-3-b-Zone de fragilité des prémolaires mandibulaires en « C »	65
4-2-3-4-4-Zone apicale complexe :	66
4-2-3-4-5-Détermination de la longueur de travail.	68
4-2-4-La localisation du foramen apical :.....	69
4-3-Courbure et coudure des racines dentaires.....	70
5-CONSEQUENCES D'ECHEC DE DETERMINATION DE LA LONGUEUR DE TRAVAIL.....	73
6-DISCUSSION.....	75
7-CONCLUSION :.....	77

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES..... I

LISTE DES FIGURES:

Numéro de Figure	Titre	Numéro de page
Fig 01	Les composants anatomiques principaux de la cavité pulpaire	02
Fig 02	schéma de Kuttler	05
Fig 03	zone évaluée AF(1) ; extension du ciment (2 et 3) Et diamètre du canal au niveau de la JCD (9).	05
Fig 04	Les quatre types de constrictions apicales.	06
Fig 05	dépôt chronologique du ciment et déviation du foramen	07
Fig 06	(a b) Le foramen n'est pas toujours au centre de l'apex radiographique, il peut être déplacé latéralement.(3)	07
Fig 07	Boîte apicale réalisée dans le canal répondant à l'école scandinave	10
Fig 08	Mise en place de l'hydroxide de calcium dans la boîte	10
Fig 09	Obturation définitive de la boîte apicale	10
Fig 10	représentation de la constriction apicale selon l'école américaine	11
Fig 11	rôle d'une lime de perméabilité	11
Fig 12	obturation selon l'école américaine . présence d'un puff de ciment	11
Fig 13	La longueur de travail est représentée par la distance entre le repère coronaire, matérialisé par les précelles, et la partie imbibée de sang ou de sérosités	15
Fig 14	Radiogramme obturation terminée	18
Fig 15	A. Porte-film pour obtenir des radiogrammes de travail. L'anneau aide à aligner l'axe central du cône. B. Vue rapprochée du dispositif positionné	20
Fig 16	A. Une pince hémostatique est utilisée pour porter le film et orienter le cône. Une pince hémostatique tient une languette adhésive (B) et une languette plastique (C) d'un détecteur numérique.	21
Fig 17	La technique bissectrice donne des clichés avec une déformation	22
Fig 18	La technique parallèle offre des clichés avec le moins de déformations	23
Fig 19	A L'arcade zygomatique (flèche) masque l'apex et obstrue la vue sur l'obturation. B. Un léger décalage mésial de l'axe du cône « pousse » l'apex radiculaire lingual en direction mésiale pour qu'il soit visible.	24
Fig 20	A. Radiogramme préopératoire obtenu avec la technique des rayons parallèles. B. Le décalage mésial de l'angle fournit une image correcte pour la mesure de la longueur de travail. Les apex et les extrémités des limes sont nettement visibles. Noter le canal mésiolingual (flèche).	25
Fig 21	Malgré un cliché lime en place correct, l'extraction de cette molaire montre que la lime est allée au-delà de l'apex	26
Fig 22	Surestimation de la longueur de travail par la technique radiographique. La longueur de travail, qui semble bien choisie sur le cliché, est en réalité surestimée en raison de la position vestibulaire du foramen	27
Fig 23	Sur cette radiographie, la superposition de la première	28

	molaire maxillaire gauche symptomatique avec le processus zygomatique empêche la mise en évidence d'une radio-clarté. La réalisation d'un CBCT a permis d'observer cette radio-clarté.(
Fig 24	Exemples de CBCT. (a) KODAK Dental Imaging 9000 3D, (b) Veraviewepocs 3D, (c) Picasso Trio.	30
Fig 25	Schéma d'un Cone Beam	31
Fig 26	Mesures de la LT .	33
Fig 27	CBCT Newtom 5G couché. sujet en décubitus dorsal (fauteuil ergonomique basculant de la position assise à la position couchée horizontale)	34
Fig 28	CBCT Newtom 5G couché. sujet en décubitus dorsal .	34
Fig 29	Modèle de circuit utilisé pour les localisateurs utilisant la résistance	36
Fig 30	localisateurs d'apex .	39
Fig 31	l'électrode labiale est placée sous la digue	40
Fig 32	Détermination électronique de la longueur de travail	41
Fig 33	connection électrique du tri auto ZX.	42
Fig 34	tri auto ZX@(morita)	43
Fig 35	une préparation idéale pour l'utilisation d'un localisateur d'apex,l'obturation métallique a été déposée, et la dent obturée avec un matériau non conducteur. Le champ opératoire est sec, aucun schunt du courant n'est retrouvé.	44
Fig 36	schéma en trois dimensions des quatre types d'isthme selon Fan et Coll.	54
Fig 37	reconstruction en trois dimensions de la morphologie canalaire apicale des racines mésiales des molaires mandibulaires contenant des isthmes d'après Fan et coll (118).(vue mésio-distale ; structures vertes : canaux avec isthmes ; structures rouges : canaux sans isthme)	55
Fig 38	schéma d'une molaire mandibulaire humaine présentant un canal en « C » d'après Kato et al	56
Fig 39	schéma simplifié représentant l'anatomie d'un canal en « C » (canal en « C » continu de la chambre pulpaire à l'apex) d'après Pathway of the Pulpe	56
Fig 40	classification des canaux en « C » d'après Fan B. et coll.	58
Fig 41	différence clinique entre la configuration C2 (à droite) et C3 (à gauche) sur des coupes transversales du tiers coronaire de molaires mandibulaire en "C" traitées endodontiquement d'après Ordinola-Zapata et coll	59
Fig 42	cavité d'accès des deuxièmes molaires mandibulaires	60
Fig 43	cavité d'accès des deuxièmes molaires mandibulaires avec des entrées canalaire en "C"	60
Fig 44	classification des planchers pulpaire de Min et coll., vues cliniques d'après Chhabra et coll	61
Fig 45	lime de cathétérisme mécanisé	63
Fig 46	zone de danger des secondes molaires mandibulaires en « C ».	64

Fig 47	image μ -CT d'une coupe transversale au tiers moyen de la racine d'une deuxième molaire mandibulaire d'après Gao et coll. Peu de dentine sépare le canal radiculaire de la surface externe de la racine	65
Fig 48	première prémolaire mandibulaire avec un canal en "C"	66
Fig 49	deltas apicaux de canaux en C de deuxième molaires mandibulaires d'après Manning	66
Fig 50	micro-CT scan des 5 mm apicaux d'un système canalaire en « C » d'après Cheung et coll.	67
Fig 51	modèles en trois dimensions des anatomies remarquables dans la zone apicale des canaux en « C » d'après Cheung et coll	78
Fig 52	Photo par microscope électronique des différentes positions du foramen apical	69
Fig 53	Le rayon de courbure de racine est basé sur 3 points mathématiques qui peuvent être déterminés dans les directions apicales et coronales	74

LISTE DES TABLEAUX :

Tableau	Titre
Tableau 01	classification de Vertucci.
Tableau 02	la morphologie et la longueur approximative de chaque dent maxillaire.
Tableau 03	la morphologie et la longueur approximative de chaque dent mandibulaire.

LISTE DES ABREVIATIONS

abreviation	Signification
JCD	Jonction Cémento Dentinaire
LT	Longueur de Travail
RVG	Radio Visio Graphie
HAS	Haute Autorité de Santé
CBCT	Cône beam computed Tomography
EDTA	Ethylène Diamine Tétra-acétique
LEA	Localisateur Electronique d'
DAI	Défibrillateur Automatique Implantable
IEM	Interférence Electro Magnétique

1-INTRODUCTION :

Le traitement endodontique est un traitement curatif qui permet de prolonger la vie des dents fortement endommagées et transforme une dent pathologique en une entité saine, asymptomatique et fonctionnelle sur l'arcade. Il consiste en une première étape de préparation canalaire chémo-mécanique qui vise à éliminer le contenu canalaire et à en assurer la désinfection, suivie d'une seconde étape d'obturation de l'ensemble du volume canalaire étanche à ses deux extrémités, apicale et coronaire. (1)

Le majeur problème confronté par le praticien est d'amener les instruments de nettoyage, solutions de désinfection et matériaux d'obturation jusqu'aux limites de l'endodonte. Pour se repérer, il doit utiliser des instruments sur lesquels est reportée la distance séparant la limite apicale d'un repère coronaire ce qu'on appelle la longueur de travail. Cette mesure va être essentielle tout au long du traitement pour guider les instruments et matériaux d'obturation. Les variations d'anatomie des apex dentaires selon l'âge et le type de dent rendent cette tâche difficile. (2)

Il existe plusieurs méthodes plus ou moins précises pour la déterminer, aucune d'entre elles n'étant d'une fiabilité absolue, il est nécessaire d'en mettre en œuvre plusieurs au cours d'un même traitement.(3)

Jusqu'à la fin des années 1970, la détermination de la longueur de travail reposait essentiellement sur une interprétation radiographique, cette dernière avait une certaine limite. L'avènement des localisateurs d'apex a inauguré une nouvelle ère pour la mesure de la LT, cependant la précision de ces appareils a été mise en doute .(4)

La détermination de la longueur de travail est donc une étape clé dans le traitement endodontique ; d'où une sur ou une sous-évaluation qui peut compromettre le pronostic du traitement.(3)

2- RAPPELS ANATOMIQUES:

2-1-Anatomie endodontique :

Les dents présentent une cavité interne dans le noyau dentinaire : la cavité pulpaire. Cette cavité s'étend dans la racine et dans la couronne. Dans la couronne cette cavité s'appelle la chambre pulpaire, et contient la pulpe camérale. Dans la racine il y a le canal pulpaire qui contient la pulpe radiculaire. La chambre pulpaire tend à occuper le centre de la couronne ; un canal occupe le centre de la racine. (5)

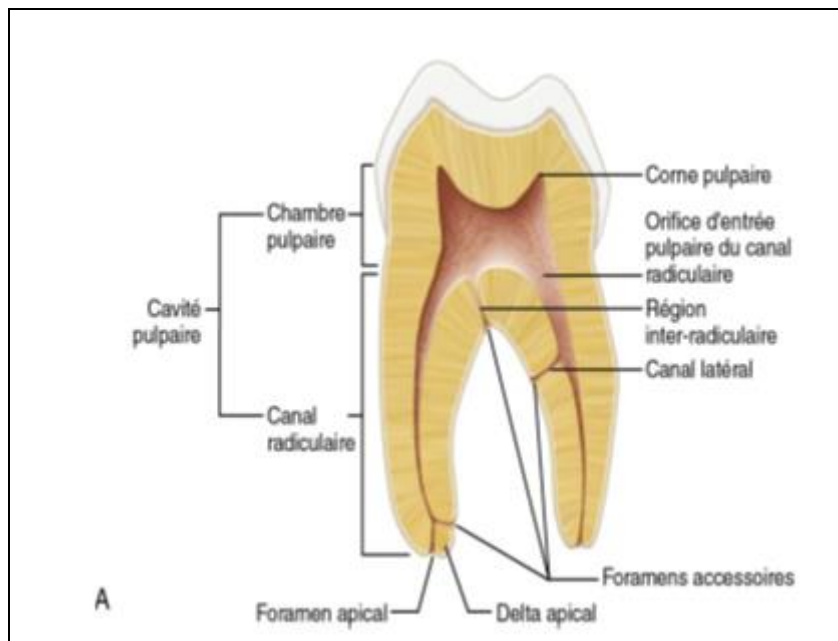


Fig 01 : Les composants anatomiques principaux de la cavité pulpaire(5).

1-La chambre pulpaire :

La chambre pulpaire occupe le centre de la couronne et le tronc de la racine. Elle présente un plafond, un plancher et des parois latérales. Elle est généralement une version miniature de la dent et ses contours sont en conformité avec les contours de la dent. Cette configuration varie avec l'âge de la dent et/ou les réponses aux irritations. (5)

2-Le canal radiculaire :

Les canaux radiculaires s'étendent le long de la racine ; ils partent d'une entrée en entonnoir et débouchent à l'extrémité de la racine par le foramen apical.

La forme et la localisation des canaux sont gouvernées par la forme de la racine (en coupe transversale). Des formes différentes peuvent apparaître à tout niveau d'une racine unique.

Les canaux radiculaires prennent des chemins différents dans la région apicale. Ils peuvent se ramifier, se diviser et se rejoindre.(5)

En utilisant des techniques précises, Vertucci et al ont trouvé une cavité pulpaire radiculaire complexe, et ont identifié quatre variations encore plus complexes et inhabituelles, pour un total de huit configurations spatiales de la cavité pulpaire. (6)









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

Tableau 1 : classification de Vertucci.(6)

Toutefois ; l'endodonte radulaire ne peut être réduit à un canal conique à base camérale et à pointe apicale. A titre d'exemple, Kashara et Al, ont montré que 60% des incisives centrales maxillaires présentaient un endodonte accessoire qui ne peut être nettoyé mécaniquement. (7)

L'image simplifiée que l'on se fait de la forme du canal s'éloigne beaucoup de la réalité et entraîne parfois le praticien à ne pas traiter l'espace endodontique dans sa totalité. Le canal peut présenter à différents niveaux des bifurcations et former des canaux latéraux qui présentent chacun un foramen indépendant situé latéralement sur la surface radulaire. Ces canaux se localisent dans la grande majorité des cas dans le tiers apical. La présence des canaux latéraux varie de 24 % à 50 % selon les dents et les racines, avec la plus grande incidence au niveau des racines mésio-vestibulaires des molaires maxillaires et mandibulaires. (8)

2-2-Région apicale :

La région apicale est complexe ; plusieurs tissus de nature différente se superposent et la limite du traitement endodontique est sujette à discussion. (8)

Dans les années 50 ; Kuttler(9) chercheur mexicain, a réalisé une étude anatomique sur 268 dents extraites n'ayant présenté aucune pathologie pulpaire, la partie apicale de chaque dent a été sectionnée de façon à observer la portion terminale du canal et son rapport avec la surface radulaire. (9)

Kuttler a pu alors mettre une description précise de la région apicale :

Cette région est constituée de 2 troncs de cône ; l'un dentinaire, l'autre cémentaire qui s'opposent par leur petites bases. Dans la partie dentinaire le canal se rétrécit plus ou moins régulièrement jusqu'à la constriction apicale, généralement située à la jonction cémento-dentinaire (JCD) ou à sa proximité immédiate, il s'élargit à nouveau dans sa partie cémentaire jusqu'au foramen. Les deux cônes forment un angle variable ; le cône cémentaire est souvent dévié distalement par rapport à l'axe de la dent.

L'espace de Black est délimité par le cône cémentaire et la lame cribreuse de l'os alvéolaire.(1)

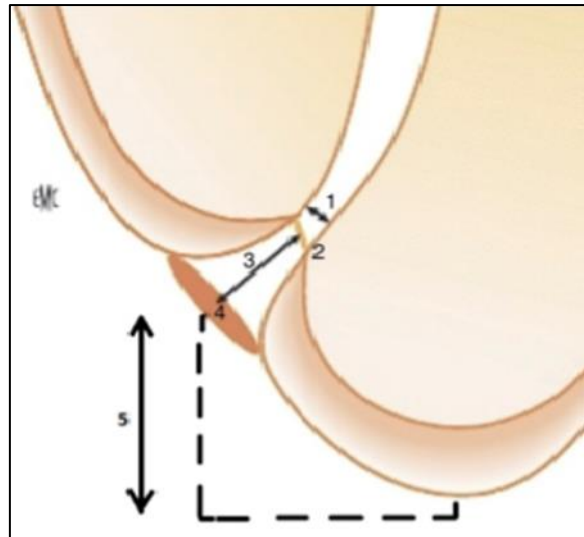


Fig 02 : schéma de Kuttler (1) 1 :constriction apicale . 2 :JCD . 3 : Distance entre JCD et foramen apical . 4 : Foramen apical . 5 : Distance entre le vertex et le foramen apical

2-2-1-La jonction cémento-dentinaire :

La JCD est le point de convergence de deux tissus histologiques à l'intérieur du canal radiculaire, susceptible de modification en fonction de chaque situation clinique et des extensions variables du cément dans le canal (10).elle est Considérée comme la limite idéale de la préparation pour la majorité des écoles , cependant c'est une structure histologique qui ne peut pas être déterminée cliniquement .en plus ,La JCD est irrégulière et l'extension du cément dans le canal varie significativement (11).

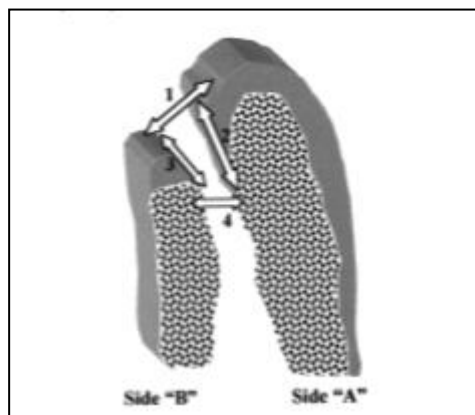


Fig 03 : zone évaluée AF(1) ; extension du cément (2 et 3) Et diamètre du canal au niveau de la JCD (9).

2-2-2-La constriction apicale (foramen mineur) :

Selon Grove(12) : la constriction apicale est l'endroit où la pulpe se termine et le parodonte commence.

Kuttler à son tour la définit comme étant la partie la plus étroite du canal radiculaire avec le plus petit diamètre. (9)

Dans leur étude, Dummer et al (13) ont décrit quatre types de constrictions apicales (figure 3) :

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

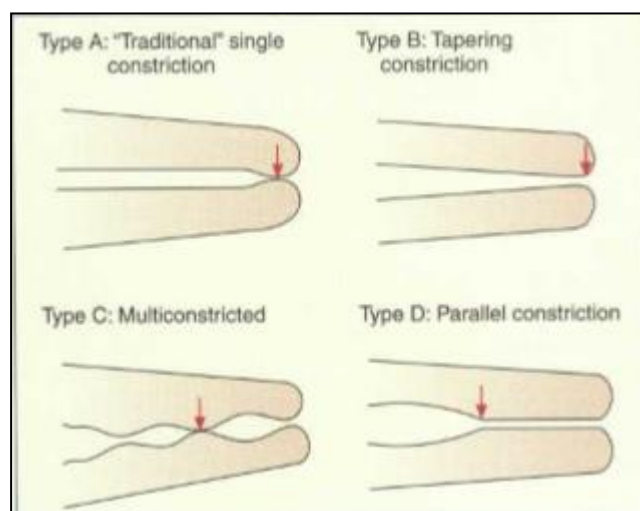


Fig 04 : Les quatre types de constrictions apicales. Type A : traditionnelle ; type B : effilée ; type C : multiple ; type D : parallèle. (14)

2-2-3-Le foramen apical (foramen majeur) :

Le foramen apical correspond à l'ouverture du canal principal dans la région apicale. Plus précisément, il s'agit de la base du cône cémentaire (15).

Le foramen apical a été décrit par Kuttler comme étant un cratère ou un entonnoir qui marque la limite entre le cément canalaire et la surface extérieur de la racine (9).

Le diamètre du foramen s'accroît avec l'âge en raison de l'allongement du cône cémentaire, ce qui en élargit la base. Selon Kuttler, le diamètre moyen progresse de 502 μm chez les 18-25 ans, pour atteindre 681 μm chez les plus de 55 ans.

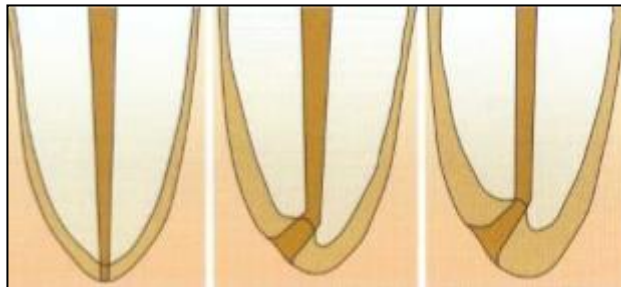


Fig 05 : dépôt chronologique du cément et déviation du foramen (redessinée de Kuttler : Microscopic investigation of root apexes, JAm Dent Assoc 50 :544, 1955.) : A gauche : le concept erroné, au centre : représentation schématique de l'apex chez les 18-25 ans, à droite : représentation schématique de l'apex chez les + de 55ans. (14)

Sa localisation n'est pas toujours au niveau de l'apex anatomique comme on le pensait (figure 6). En effet, « une racine avec un canal conique et un seul foramen est une exception plutôt qu'une règle ». Cette déclaration de Vertucci se fonde sur des études histologiques anciennes et récentes (16).

Levy et Glatt ont montré que 66.4% des dents observées dans leur étude ont un foramen apical qui ne s'ouvre pas au niveau de l'apex anatomique (8). Kuttler a démontré également que plus de 80% des dents ont un foramen dévié. (9)



Fig 06 :(a b) Le foramen n'est pas toujours au centre de l'apex radiographique, il peut être déplacé latéralement.(3)

3. DETERMINATION DE LA LONGUEUR DE TRAVAIL :

3.1. Définition de la longueur de travail :

C'est la distance en millimètres entre un point de référence coronaire fixe et une limite apicale où la préparation et l'obturation canalaire devraient s'arrêter.(14)

Chugal et coll. s'intéresse au suivi et au taux de succès du traitement endodontique à quatre ans et demi de 200 dents (441 racines). Ils montrent dans leur étude que pour les dents infectées, la longueur de travail est un facteur qui influence significativement le taux de succès. Ainsi, un millimètre de longueur de travail perdu peut correspondre à plusieurs millimètres de réseau canalaire non obturé et être à l'origine d'un échec endodontique.(8)

3.1 .1.Le repère coronaire :

Avant de déterminer la longueur de travail, le praticien doit garder un repaire coronaire (généralement le bord incisif pour une dent antérieure et un sommet cuspidien pour une dent postérieure) stable. Il doit être stable par sa forme pour faciliter la lecture et stable dans le temps, pour pouvoir être retrouvé au cours d'une séance ultérieure. Pour cela il faut éliminer tous les tissus cariés, les cuspidés non soutenus et les restaurations fragiles. Son choix se fait en regard du canal traité, et lorsque la dent doit par la suite être reconstituée par une couronne prothétique, les cuspidés peuvent être meulés afin de disposer d'un repère plus lisible. Quand la dent présente une perte de substance importante, il est nécessaire de reconstituer de façon transitoire les parois manquantes.(14)

Lors de la pénétration initiale, il arrive que la lime soit projetée au niveau de la cuspide opposée au canal traité, on pourrait être alors tenté de prendre cette cuspide comme un repère. Dans ce cas, la position de la lime traduit un accès coronaire angulé. La courbure coronaire doit être redressée pour assurer l'accès aux 2/3 apicaux. Ce travail peut être réalisé à l'aide de forets de Gates ou d'instruments rotatifs (tels que le Protaper SX®) que l'on fait travailler aux dépend de la paroi opposée à la courbure. Cette paroi, dite paroi de sécurité, est celle qui porte le nom du canal (exemple : pour le canal mésio-vestibulaire, appuyer l'instrument en direction mésio-vestibulaire). Après préparation du tiers coronaire, la lime n'est plus

projetée au niveau de la cuspidé opposée et le repère coronaire en regard du canal reprend son sens.(26)

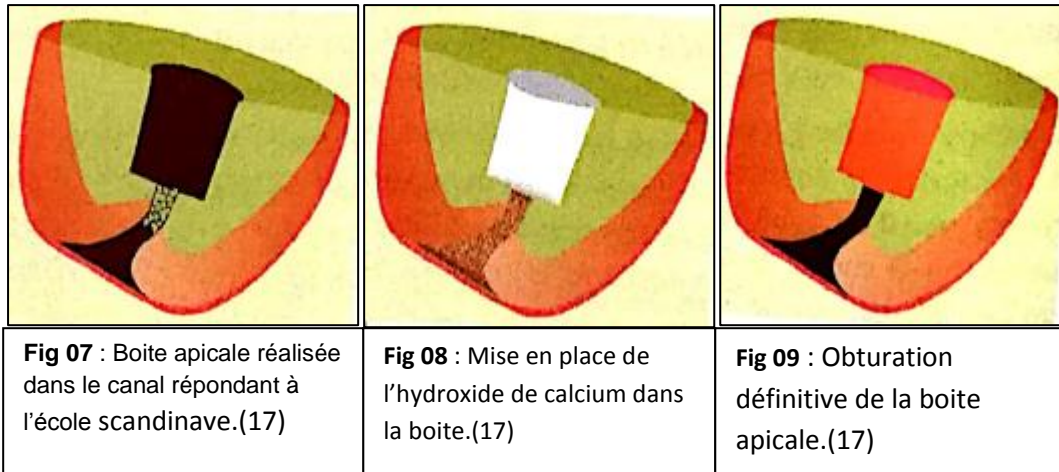
3.1.2. La limite apicale :

La JCD constitue un repère histologique entre le cément en surface et la dentine en profondeur : c'est la zone où le tissu pulpaire se transforme en tissu parodontal (le ligament parodontal débute et la pulpe se termine). Théoriquement, elle constitue la limite apicale histologique appropriée pour les traitements canalaires où les matériaux d'obturation ont un contact minime avec les tissus péri-apicaux.(15)

Cependant un débat est en cours sur l'étendue de la limite apical de la préparation canalairé. Deux écoles principales considèrent les objectifs biologiques et le choix de la limite du traitement différemment.(3)

3.1 .2.1. Ecole scandinave :

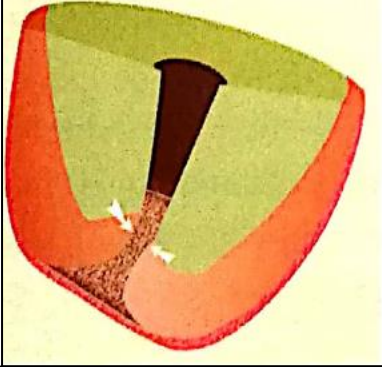
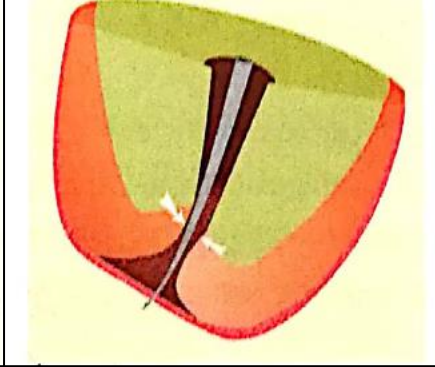
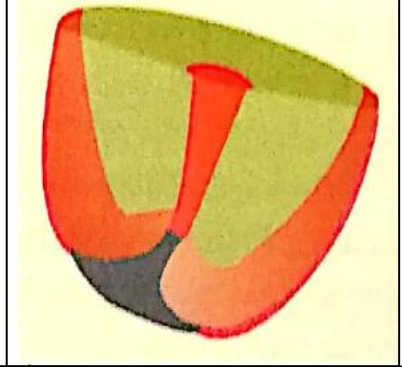
Dans l'école scandinave, il est conseillé de préserver au maximum les structure péri-apicales qui à aucun moment, ne doivent être concernées par l'instrumentation. Pour ce faire il est conseillé de rester à distance de 1 à 2 mm de la constriction apicale préalablement repérée. Dans ce concept La désinfection du tiers apical n'est pas assurée par l'hypochlorite de sodium mais bien par une médication à base d'hydroxyde de calcium placée à distance des structures anatomiques et laissée en place pendant plusieurs semaines. Afin d'obtenir cet effet attendu, la forme de la préparation doit être spécifique et on parle alors de création d'une boîte apicale d'un diamètre compris entre 0,7 et 0.8 mm de façon à pouvoir placer correctement l'hydroxyde de calcium dans le réservoir ainsi créé (figure 7,8,9) . Cette approche thérapeutique semble plus biologique que l'approche américaine.(17)



3.1.2.2. Ecole américaine :

Dans l'école dite américaine, la constriction apicale est considérée comme la limite apicale de préparation. Les instruments de mise en forme devront s'arrêter à ce point, mais la perméabilité foraminale devra être régulièrement vérifiée par l'utilisation d'une lime dite de perméabilité qui permettra de confirmer qu'aucun bouchon en forme de débris dentaires n'a été créé lors de la phase instrumentale. Cette vacuité ayant été maintenue tout au long du traitement. Il ne sera pas rare de noter, au moment de l'obturation, le passage d'une petite quantité de ciment qui ne fera que confirmer que le foramen est bien resté libre de toute obstruction. C'est ce que l'on appelle le puff de ciment (fig 10,11,12). .(17)

Cette technique, par sa conception permettrait d'obturer plus facilement le système endodontique en propulsant le matériau même dans les endroits non instrumentés.
(3)

		
<p>Fig 10 : représentation de la constriction apicale selon l'école américaine.(17)</p>	<p>Fig 11: rôle d'une lime de perméabilité .(17)</p>	<p>Fig 12 :obturation selon l'école américaine . présence d'un puff de ciment.(17)</p>

Pour Williams, une longueur de travail dépassant la constriction apicale peut entraîner une douleur post-opératoire et un échec à long terme. A l'inverse, les longueurs de travail n'atteignant pas la constriction apicale sont susceptibles de provoquer un nettoyage inadéquat du canal et sa sous-obturation. (18)

Dans la littérature scientifique, aucune de ces deux techniques ne démontre sa supériorité en termes de succès. Néanmoins, il est constaté que la totalité des systèmes de mise en forme distribués aujourd'hui sur le marché dentaire sont fondés sur l'obtention d'une conicité et sur le maintien d'un foramen étroit. Ces systèmes ont donc été élaborés à partir de l'école de pensée américaine et leur utilisation doit donc en respecter les concepts.(17)







3.2. Les différentes techniques de détermination de la LT:

3.2.1. Techniques non reproductibles et empiriques :

3.2.1.1. L'utilisation des connaissances anatomiques :

On peut estimer la longueur de travail à partir de la longueur moyenne des racines :

3.2.1.1. 1. Maxillaire supérieur

La dent.	la forme	Nbr des racines.	Nbr des canaux.	Longueur moyenne des racines.m m	Longueur moyenne des couronnes.m m
Incisive centrale.		Une seule Racine	1 seul dans 100% des cas.	13	10
Incisive latérale.		Une seule Racine	1 seul dans 100% des cas.	13	09
Canine.		Une seule Racine	1 seul dans 96,5% des cas.	17	10
1PM.		Deux racines	2 canaux dans 75% des cas	14	8,5
2PM.		Une seule racine	Un seul canal dans 90% des cas	14	8,5
1Molaire.		3 racines	MV. 2 canaux dans 57% des cas. DV 1 seul	13	7,5





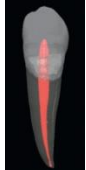
			canal dans 98.3% des cas.		
2molaire.		3 racines		12	7

Tableau 2: la morphologie et la longueur approximative de chaque dent du maxillaire. (19)

3.2.1.1.2. Maxillaire inferieur :

La dent.	Photo.	Nbr des racines.	Nbr des canaux.	Longueur moyenne des racines.mm	Longueur moyenne des couronnes.mm
Incisive centrale.		Une seule Racine	1seul dans 73.6% des cas.	12.5	9
Incisive latérale.		Une seule Racine	1seul dans 71.8% des cas.	14	9.5
Canine.		Une seule Racine	1seul dans 89.4% des cas.	16	11
1PM.		Une seule Racine	1seul dans 75.8% des cas et plus dun dans 24.2% des cas.	14	8.5

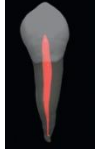


2PM.		Une seule Racine	1 seul dans 91% des cas.	14.5	8
1Molaire.		Deux racines	Deux canaux M dans 95.8% des cas et un seul D.	14	7.5
2molaire.		Deux racines	Deux canaux M dans 96.5% des cas et un seul D	13	7

Tableau 3 : la morphologie et la longueur approximative de chaque dent mandibulaire. (19)

3.2.1.2. La sensation tactile :

Il s'agit d'une méthode qui fait appel à la sensibilité tactile de l'opérateur et à son expérience personnelle. Le praticien cherche à déterminer la constriction apicale en introduisant une lime de faible diamètre dans le canal jusqu'au blocage dans la progression. La préparation préalable du tiers cervical du canal, afin que la lime ne soit pas soumise à des frictions importantes, porte à 75 % le taux de succès, ce qui reste très insuffisant. Malgré cette précaution, la méthode doit être considérée comme aléatoire, du fait, d'une part, de l'étroitesse fréquente des derniers millimètres apicaux du canal et, d'autre part, de l'absence de constriction apicale fréquemment observée dans les cas de dents nécrosées ou immatures.(1)

3.2.1.3. La perception de la douleur par le patient :

Cette technique repose sur le fait que le franchissement du rétrécissement apical par un Instrument de cathétérisme, en l'absence d'anesthésie, engendre une douleur/sensibilité au niveau du désmodonte de la dent concernée. Mais ce principe doit être considéré comme dépassé car la sensibilité apicale représente une source

d'erreur majeure (douleur avant la LT si dent vitale, pas de sensibilité en cas de nécrose du périapex...) il est très inconfortable pour le patient. (5)

3.2.1.4. L'humidité sur une pointe en papier :

Cette technique permet d'affiner la mesure après la mise en forme. Dans un premier temps le canal est séché, puis des cônes de papier sont placés quelques secondes au-delà du foramen et retirés. La partie du cône dépassant la limite apicale s'imbibe de sang ou de sérosité et la longueur de travail est représentée par la partie sèche du cône (fig 13). Cette opération est répétée 3 à 4 fois afin de s'assurer de la fiabilité de la mesure. (5)

Although Siqueira, trouve dans son étude que cette technique est empirique et pleine de limitation. (20)

Rosenberg affirme que cette technique est précise avec des tolérances inférieures à 0.25 mm. Pour les canaux radiculaires relativement droits cette méthode semble être similaire aux techniques actuellement acceptables du point de vue clinique qui estiment la position du foramen apical.(21)

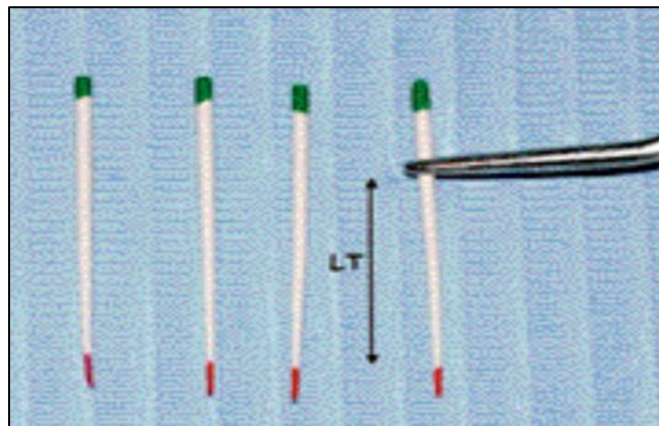


Fig 13 .La LT est représentée par la distance entre le repère coronaire, matérialisé par les précelles, et la partie imbibée de sang ou de sérosités. (5)

3.2.2. Techniques radiographiques :

3.2.2.1. La radiographie rétro-alvéolaire :

La radiographie rétro alvéolaire est encore, à l'heure actuelle, une technique très utilisée pour la détermination de la LT en endodontie. (1)

Cette technique nécessite la réalisation de clichés pré, per et post-opératoires. Le premier cliché préopératoire réalisé selon la technique des plans parallèles est essentiel en endodontie pour déterminer l'anatomie du système canalaire, le nombre et la courbure des racines, la présence ou l'absence de maladie et pour servir de guide initial pour la détermination de la longueur de travail avec une précision de l'ordre du millimètre. (4)

Ingle, en 1957, a proposé de mesurer sur la radiographie préopératoire la distance séparant l'apex radiographique d'un repère coronaire (5). L'apex radiographique ou dôme radiographique correspond à l'image de l'extrémité anatomique de la racine telle qu'elle apparaît sur le cliché radiographique. Il peut être différent de l'apex anatomique, qui lui correspond à l'extrémité morphologique de la racine. (15)

Cependant, cette mesure préopératoire peut être potentiellement erronée. En effet, la radiographie tient compte des courbures mésiales et distales mais pas des courbures vestibulaires et linguales. (22)

Si le canal est courbé, la longueur du canal peut être estimée en superposant une lime courbée sur l'image radiographique du canal. Le stop placé sur la lime est ajusté pour coïncider avec le point de référence anatomique, pendant que la lime est alignée avec l'apex radiographique. Après avoir ajusté le stop, la lime est redressée et la longueur est mesurée. D'un point de vue pratique, la longueur est calculée à 0,5 mm près. Ensuite, il faut déduire 2 mm pour tenir compte de la hauteur du foramen (1 mm) et de la distorsion/ agrandissement de l'image radiographique (1 mm) (23). Cela offre un facteur de sécurité pour éviter de positionner l'extrémité de la lime au-delà de l'apex. Le dépassement de l'apex peut inoculer des tissus nécrosés, des débris et des bactéries dans les tissus péri-apicaux (24), et peut propulser les matériaux pendant l'obturation (25) et réduire le caractère favorable du pronostic (26).

Au cours du traitement, plusieurs clichés per-opératoires peuvent être réalisés. (22). Le premier cliché est un cliché lime en place dont la longueur précédemment obtenue a été reportée sur une lime de petit calibre. Une lime de calibre supérieur qui doit se coincer sur les parois sans trop forcer est ensuite insérée à la longueur de travail estimée ; si la lime était lâche dans le canal, elle pourrait être déplacée pendant la prise de vue radiographique ou être poussée au-delà de l'apex si le patient mordait par inadvertance. Les graduations millimétrées ou le stop sur le fût de la lime sont utilisés pour contrôler la longueur de travail. L'ajustement du stop se fait sur une réglette millimétrée stérile ou au moyen de tout autre dispositif de mesure. (27)

Pour fixer une mesure précise et s'assurer du contrôle de la longueur de travail pendant la préparation du canal, le stop doit être physiquement en contact avec le point de référence anatomique coronaire. Pour obtenir une mesure précise de la longueur de travail, le calibre minimal de la lime est de 20 (26).

Quand le calibre des limes est inférieur à 20, il est difficile de préciser la localisation de l'extrémité de la lime sur un film argentique ou sur un cliché numérisé. Dans les dents multiradiculées, les limes sont insérés dans tous les canaux avant la prise de vue radiographique. Un ajustement de cette longueur se fera en l'augmentant ou en la diminuant, selon que la pointe de l'instrument se trouve en deçà ou au-delà de l'apex, en gardant une marge de sécurité d'un demi-millimètre. Les résultats ont montré que la distance radiographique de la lime par rapport au sommet apical était 0,7 mm plus courte que la position réelle de la lime. Cette divergence peut amener le clinicien à essayer de se rapprocher de l'apex radiographique alors qu'en réalité la fin de la lime est plus proche du sommet que ce que l'on soupçonne. La distance moyenne en deçà du sommet, établie par Kuttler, doit être augmentée de 1,5 à 2,0 mm du sommet apical afin d'éviter tout remplissage excessif du canal radiculaire.(27)

Cox et al. (1991) ont constaté que, lorsque des ajustements étaient nécessaires sur la longueur de travail, 68% des examinateurs étaient d'accord pour utiliser des ajustements jusqu'à 0,5 mm, alors qu'ils n'étaient que 14% lorsque des ajustements supérieurs à 1,0 mm étaient nécessaires. (4)

Une radiographie cône en place est indispensable quelle que soit la technique d'obturation pratiquée car la mise en forme, et notamment le redressement des axes, provoque une évolution du trajet de la lime dans le canal, ce qui induit une légère modification de la longueur de travail au cours du traitement. Il est réalisé en fin de mise en forme, et comme pour la radiographie lime en place, on recherchera la coïncidence entre l'extrémité du cône et la surface radiculaire. (2)

La radiographie post-opératoire réalisée immédiatement après l'obturation permet d'évaluer la condensation et le confinement du matériau d'obturation au sein du canal radiculaire (fig 14). Dans le cas d'une lésion péri-apicale, ce cliché nous renseignera sur la cicatrisation apicale à long terme. (3)



Fig 14 :Radiogramme obturation terminée. (28)

Les radiographies intra-orales doivent fournir un degré élevé de netteté pour une visualisation précise de la pointe de la lime par rapport au sommet radiographique. En outre, la capacité de l'observateur à déterminer la distance entre le sommet de la lime et le sommet radiographique est aussi importante. (29) Selon une étude faite en 2013, L'expérience clinique du praticien a une influence sur l'exactitude et la cohérence de l'estimation de la longueur de travail radiographique pour le traitement du canal radiculaire des dents à une seule racine. (30)

En pratique endodontique, les films radiographiques sont souvent traités manuellement à la clinique. Cela nécessite la présence d'une chambre noire et le

réapprovisionnement continu des solutions en développement. Ces dernières années, un film intra-oral appelé film auto-développant est devenu populaire. Il présente des avantages tels que le temps de développement court et la facilité d'accessibilité. À l'extrémité de la poche de films à développement automatique, il existe un sac de fixation et de développement. Après le rayonnement, presser ce sac entraîne la solution vers le film radiographique qui fixe et développe le film. Ces films ne montrent pas de différences significatives pour la détermination des positions de la pointe de la lime et sont adéquats pour les mesures de longueur de travail. (31) Aucune différence statistiquement significative n'a été observée entre les films traités manuellement et ceux à développement automatique. (32) Aucune autre étude comparant les films à développement automatique aux films à rayons X traités manuellement n'a pu être trouvée. (24)

La méthode radiographique numérique produit des images en utilisant un capteur au lieu d'un film radiographique. La radiographie numérique présente certains avantages par rapport à la méthode conventionnelle, principalement une acquisition d'image plus rapide, une dose de rayonnement beaucoup plus faible et La qualité des images numériques pourraient être améliorée en augmentant le contraste et la densité du moniteur (31). En outre, il n'est pas nécessaire d'effectuer les étapes de fixation et de développement de cette méthode (32).

Néanmoins, la littérature ne permet pas de déterminer avec certitude si la méthode de radiographie numérique est plus efficace que la méthode de radiographie conventionnelle pour la détermination de la longueur de travail du canal radiculaire. (33)

Les résultats ont montré qu'il n'y avait pas de différence significative entre la radiographie conventionnelle et numérique en mesurant la longueur de travail. (34)

Leddy et al ont interprété les longueurs des limes endodontiques à l'aide de RadioVisioGraphy. Leurs résultats n'ont montré aucune différence significative dans la capacité des endodontistes à ajuster avec précision la longueur des limes à l'aide de la RVG (35).

Shearer et al ont déclaré qu'il n'y avait pas de différence statistiquement significative entre le pourcentage de longueur du canal radiculaire visible sur un film conventionnel et celui visible sur les images de RVG. Ainsi, la RVG peut être

considérée comme ayant la même valeur que la radiographie conventionnelle pour l'imagerie de systèmes de canaux radiculaires in vitro.(36)

Selon l'étude menée par Martínez-Lozano, la précision de l'imagerie conventionnelle et numérique a été établie à 50,6% et à 61,4%, respectivement, lors de l'établissement de la longueur de travail réelle (37).

La précision des méthodes radiographiques de détermination de la LT dépend de la technique radiographique utilisée (Forsberg 1987a, Katz et al. 1991). (38) Par exemple, Sheaffer et al. (2003) ont révélé que les radiographies de densité supérieure étaient plus souhaitables pour mesurer la longueur de travail. (39).

Il est impératif que la mesure de la longueur de travail soit réalisée digue en place pour maintenir des conditions d'asepsie et protéger le patient contre l'ingestion ou l'inhalation d'instruments. Le film/capteur numérique peut être maintenu par une pince hémostatique ou un porte-film (fig 15 ,16). (30)

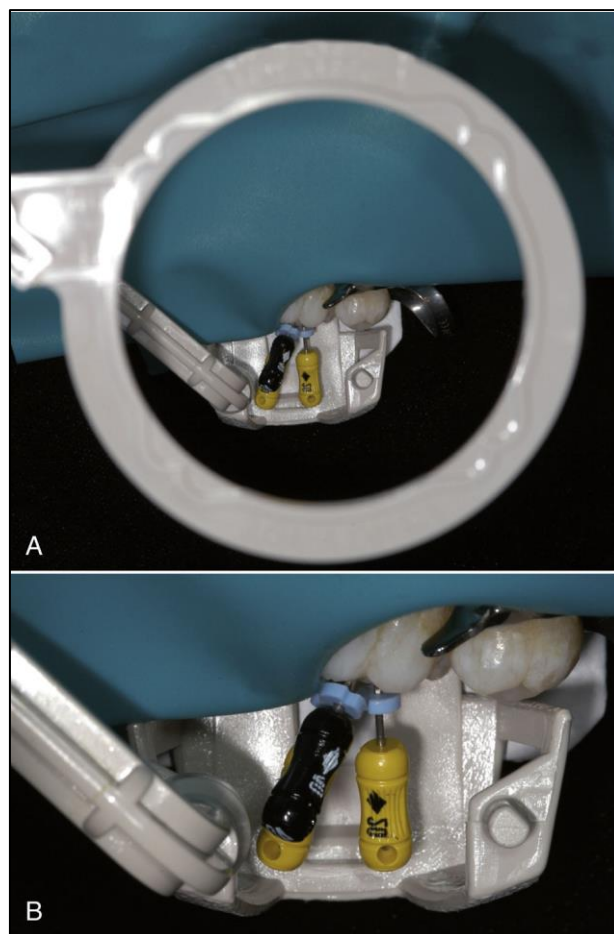


Fig 15 : A.Porte-film pour obtenir des radiogrammes de travail. L'anneau aide à aligner l'axe central du cône. B. Vue rapprochée du dispositif positionné. (31)

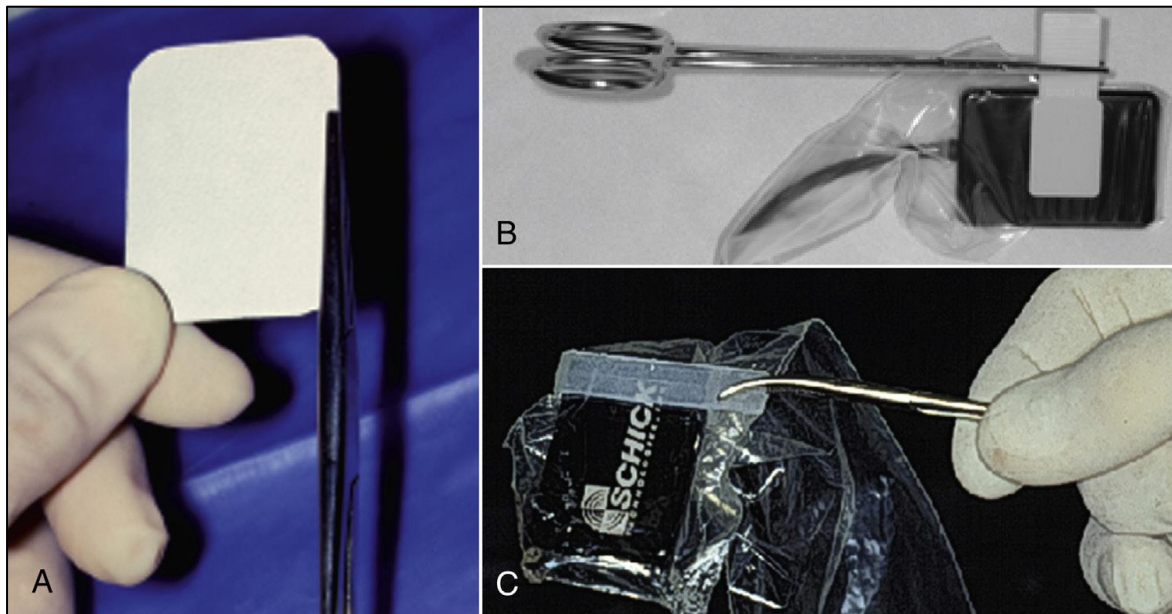


Fig 16 : A. Une pince hémostatique est utilisée pour porter le film et orienter le cône. Une pince hémostatique tient une languette adhésive (B) et une languette plastique (C) d'un détecteur numérique. (40)

3.2.2.1.1. Incidences radiographiques :

La détermination de la longueur de travail par la méthode radiographique impose d'obtenir des clichés présentant le moins de déformations possible. (1) Devant les difficultés de mise en application stricte des lois de la projection, l'opérateur essaie néanmoins de s'en rapprocher au maximum. C'est ainsi que trois techniques, qui ont fait leur preuve, sont actuellement utilisées. (41)

3.2.2.1.1.1. Plans bissecteurs :

Cette technique a été très longtemps utilisée pour déterminer la longueur de travail. L'emploi de cette technique nécessite de placer le tube radiographique perpendiculaire à la bissectrice de l'angle formé par l'axe de la dent et le plan du film (fig 17). (42)

Mais sachant que le rayon principal, axe du faisceau, atteint la bissectrice perpendiculairement dans la région apicale, tous les autres points de la dent reçoivent le faisceau sous un autre angle, différent de 90°. Ce phénomène entraîne

inéluclablement une distorsion de toutes les régions situées tant au-dessous qu'au-dessus de l'apex. (41)

En plus la technique ne permet pas de tenir compte des déformations occasionnées au film par les obstacles anatomiques et la détermination précise du bon angle d'incidence est difficile. (1)

Chunn et al, ont découvert qu'une broche introduite dans un canal radiculaire diagnostiqué comme étant proche de l'apex radiographique prolongeait en réalité la pointe de la racine dans 33% des cas avec la technique de la bissectrice. (42)

Forsberg (1987) a signalé que la longueur de la dent déterminée par la technique de l'angle de bisection, qu'elle soit correctement ou mal angulée, était moins précise que la technique de mise en parallèle. (38)

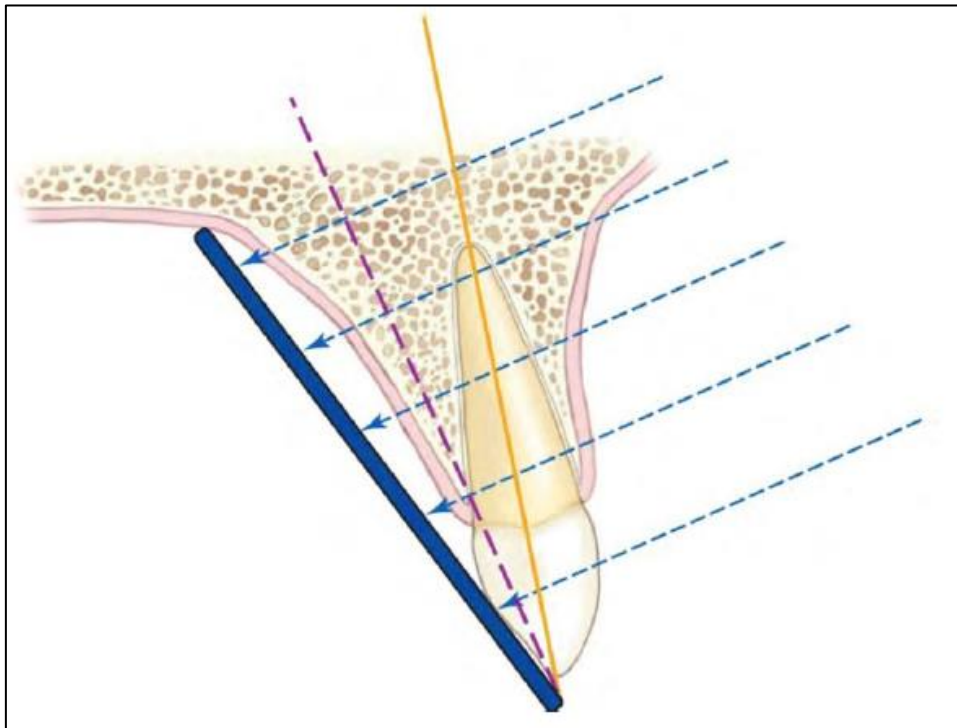


Fig 17 :La technique bissectrice donne des clichés avec une déformation (43).

3.2.2.1.1.2.Plans parallèles :

Les difficultés rencontrées avec la technique bissectrice à entraîner le développement de la technique des plans parallèles. Ici, le grand axe de la dent et le film sont parallèles et le tube radiographique envoie des rayons X perpendiculaire à la fois à la dent et au capteur. (38)

L'utilisation d'un angulateur (type angulateur de Rinn) permet de positionner le film ou le capteur parallèlement au grand axe des dents à radiographier. Associé à un générateur de rayons X « long cône », l'angulateur réduit fortement les déformations et l'agrandissement, car les rayons incidents projettent l'image de la dent perpendiculairement sur le film. Les images obtenues ainsi sont relativement biomensuratives, à condition que le film n'ait pas été déformé en bouche par la pression d'un obstacle anatomique. (1)

Les résultats de diverses études montrent que la longueur de la dent déterminée par cette méthode est plus précise que par d'autres méthodes (fig 19). (42)

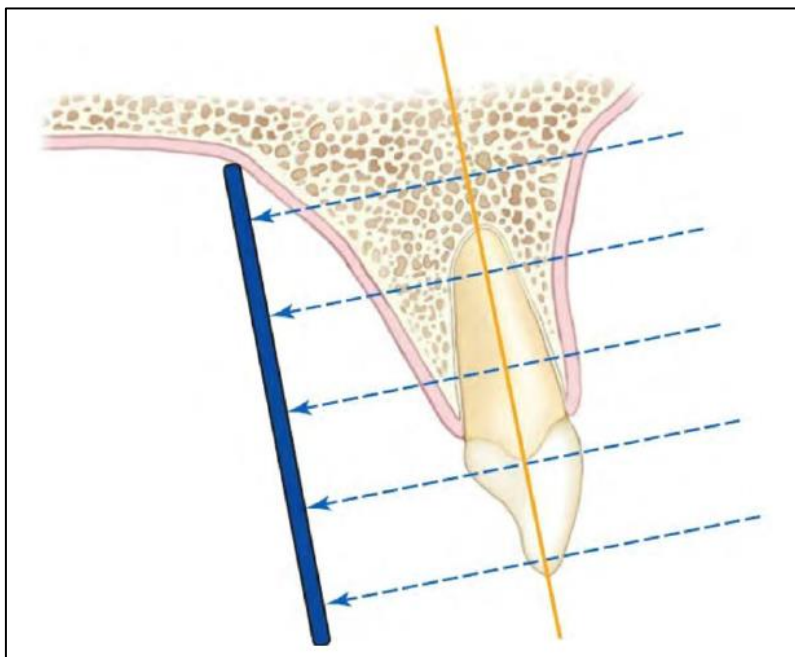


Fig 18 :La technique parallèle offre des clichés avec le moins de déformations (42)

3.2.2.1.1.3.Incidences obliques :

Cette technique est indiquée à chaque fois que l'on veut éviter des superpositions et dégager l'image d'une racine ou d'un canal. C'est la technique que l'on utilise, par exemple, pour visualiser une racine palatine ou bien dissocier deux canaux. (41)

En décalant de 15° à 20° le tube radiogène mésialement ou distalement, les canaux deviennent différenciables (fig 19). Pour une incidence mésiale, le canal le plus vestibulaire est celui qui est le plus proche du bord distal de la radiographie. Cette même incidence oblique peut permettre d'identifier une courbure apicale invisible en incidence centrée. Si, en incidence mésiale, la courbure apparaît dirigée vers la partie distale du film, alors la courbure est vestibulaire ; elle est linguale si la courbure apparaît dirigée vers la partie mésiale du film (règle de Slowey). (1)

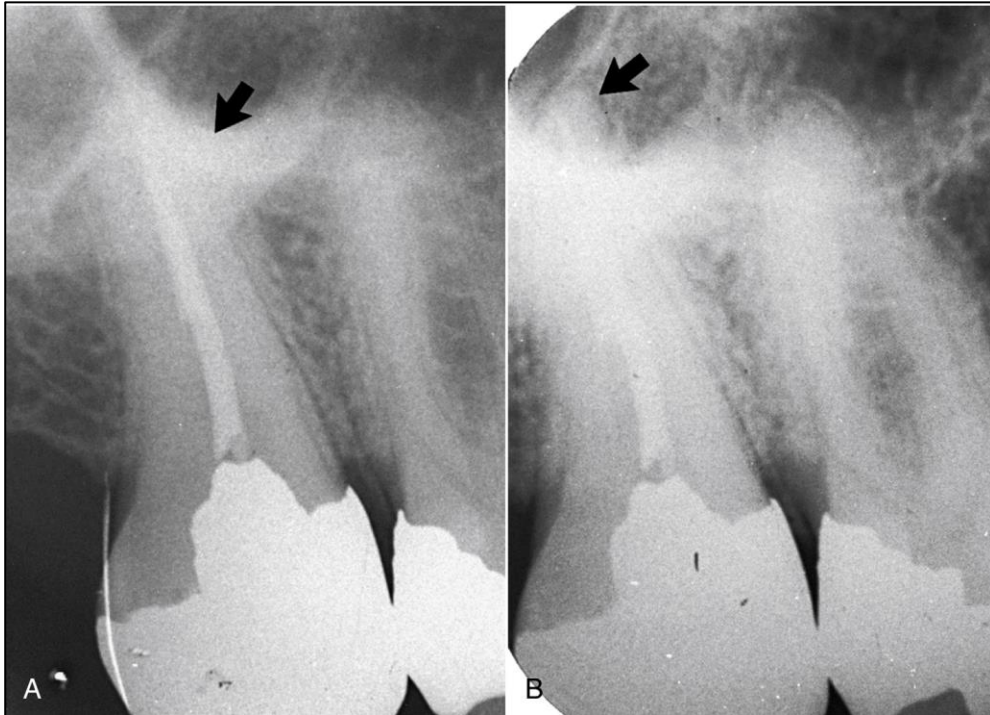


Fig 19 :A L'arcade zygomatique (flèche) masque l'apex et obstrue la vue sur l'obturation. B. Un léger décalage mésial de l'axe du cône « pousse » l'apex radiculaire lingual en direction mésiale pour qu'il soit visible. (43)

Le décalage mésial de l'angle de prise de vue est recommandé aux prémolaires et aux molaires maxillaires. Le décalage distal de l'angle de prise de vue est recommandé pour les incisives et les molaires mandibulaires. Pour s'assurer de la capture de l'image des racines palatines des molaires maxillaires, la surface sensible doit être positionnée au-delà du raphé médian du palais.(28)



Fig 20 : A. Radiogramme préopératoire obtenu avec la technique des rayons parallèles. B. Le décalage mésial de l'angle fournit une image correcte pour la mesure de la longueur de travail. Les apex et les extrémités des limes sont nettement visibles. Noter le canal mésiolingual (flèche). (43)

3.2.2.1.2. Inconvénients et Limites de la radiographie intra-buccale :

La méthode idéale pour déterminer la longueur de travail doit être précise, facile et rapide à appliquer. Elle devrait empêcher toute radiation supplémentaire ; son utilisation devrait être confortable pour le patient et le clinicien ; et devrait avoir un prix raisonnable. Aucune méthode qui répond à tous ces critères n'a été trouvée à ce jour . (42) En 2001, Elayouti a réalisé une étude sur la précision et la fiabilité de la détermination de la LT par la radiographie intra-buccale. En plaçant les limes endodontiques à une distance comprise entre 0 et 2 mm du dôme radiographique, il constate que dans 51% des prémolaires et 33% des molaires la lime est engagée au-delà du foramen apical et donc que la LT déterminée radiologiquement est sur-estimée. Il observe également que la probabilité de sur-instrumentation est plus forte pour les molaires maxillaires que pour les molaires mandibulaires du fait de l'anatomie du système canalaire. (46)

Il est bien connu que le foramen apical majeur n'est pas toujours situé au sommet radiographique de la racine ; au contraire, il se situe souvent sur les plans vestibulo-lingual ou mésio-distal. Si le foramen majeur dévie dans le plan vestibulo-lingual, il est difficile de localiser sa position en utilisant des radiographies seules, même avec des angles à plusieurs plans (Schaeffer et al. 2005).(5) La courbure radicaire et la

position excentrée du foramen apical par rapport au sommet anatomique sont fréquentes dans plus de 30% des dents. D'autres études montrent que le foramen du canal n'est situé à l'apex radiologique que dans 20 % à 32 % des cas selon l'âge du patient. (47)

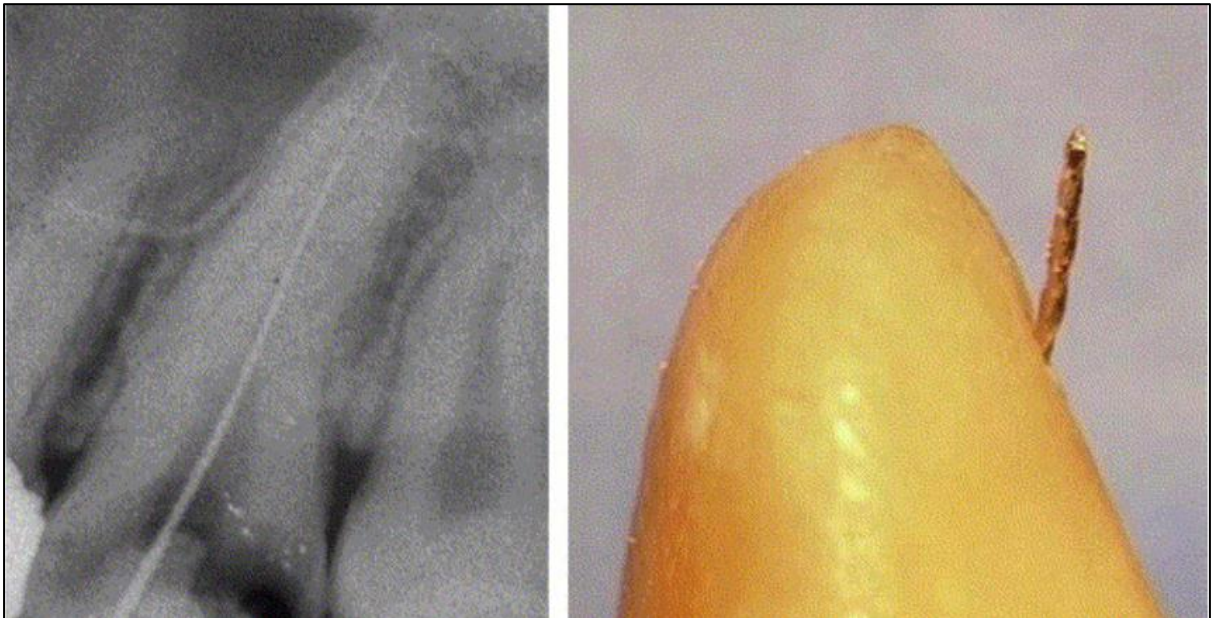


Fig 21 : Malgré un cliché lime en place correct, l'extraction de cette molaire montre que la lime est allée au-delà de l'apex(43)

Selon les travaux d'ElAyouti et al, la longueur de travail qui se terminant radiographiquement de 0 à 2 mm près de l'apex radiographique ne garantit pas que l'instrumentation au-delà du foramen apical soit évitée chez les prémolaires et les molaires.(46) Ainsi, de nombreuses études ont montré que les longueurs de canal déterminées varient considérablement par rapport à la longueur réelle du canal radiculaire (Kuttler 1955, 1958, Green 1956, Green 1960, Dummer et al. 1984, Forsberg 1987a, b, Martinez-Lozano et al. 2001).(49)

La radiographie conventionnelle comprime des structures tridimensionnelles en une image bidimensionnelle. On obtient une bonne vision de l'anatomie dans le plan mésio-distal mais une faible appréciation dans le plan vestibulo-linguale. La compression de l'anatomie tridimensionnelle associée à la radiographie rétroalvéolaire empêche la bonne appréciation des rapports anatomiques environnants avec la racine de la dent observée. Les particularités anatomiques et

les lésions dentaires (résorptions) ainsi que les erreurs opératoires peuvent ne pas être détectées si une imagerie plus précise n'est pas utilisée. Par conséquent, des erreurs de diagnostic peuvent survenir. (50)

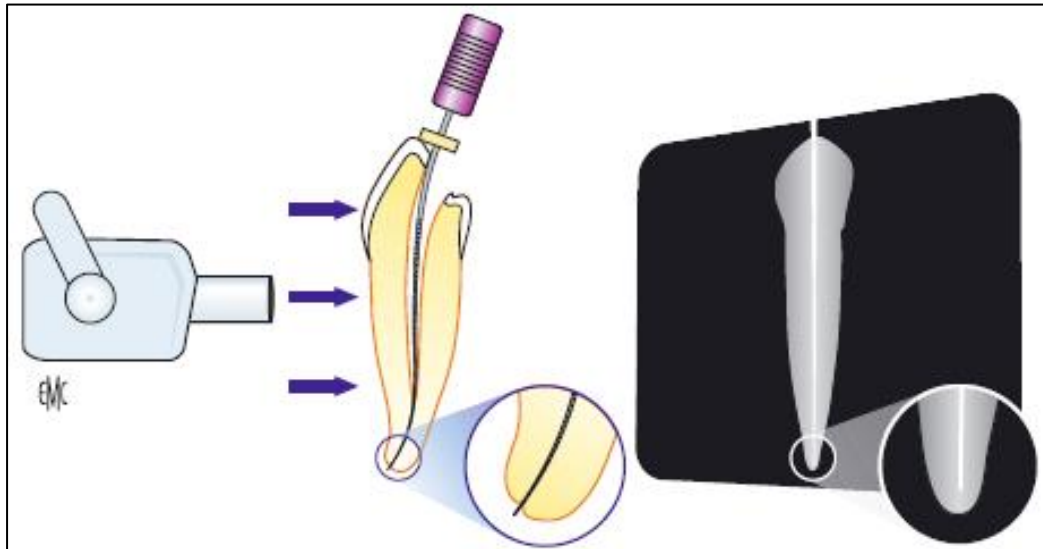


Fig 22 : Surestimation de la longueur de travail par la technique radiographique. La longueur de travail, qui semble bien choisie sur le cliché, est en réalité surestimée en raison de la position vestibulée du foramen.(1)

Malgré les précautions prises pour limiter les déformations, même la technique des plans parallèles n'est pas totalement fiable employée seule, les limites anatomiques de la cavité buccale ne permettent pas toujours l'utilisation d'un angulateur.

Même lorsque la technique des plans parallèles est parfaitement réalisée, on peut s'attendre à un agrandissement minimum de 5% de l'image finale.(1)

Les particularités anatomiques telles que l'épaisseur d'os spongieux, la corticale osseuse, la relation entre les apex radiculaires et leur environnement, ainsi la superposition des racines avec des structures anatomiques, tel le foramen mentonnier ou le processus zygomatique du maxillaire, peut compliquer l'interprétation des clichés.(41)

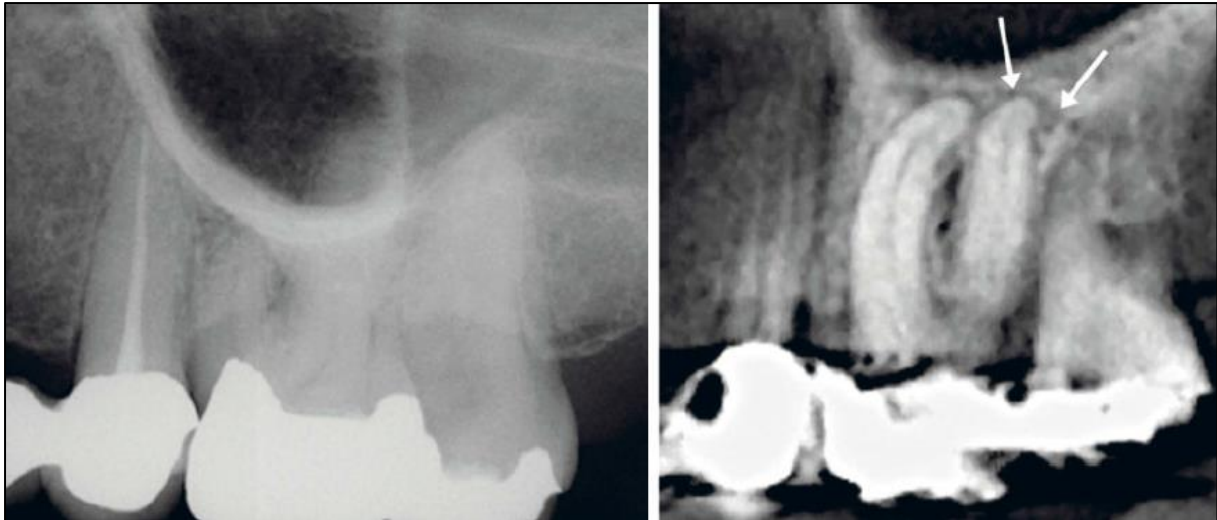


Fig 23 :Sur cette radiographie, la superposition de la première molaire maxillaire gauche symptomatique avec le processus zygomatique empêche la mise en évidence d'une radio-clarté. La réalisation d'un CBCT a permis d'observer cette radio-clarté.(43)

D'autre part, les clichés radiographiques sont soumis à des distorsions qui sont en lien avec l'angulation du cliché, les courbures et inclinaisons des racines, la position du film, du cône et du capteur. Nous pouvons aussi souligner la difficulté de bien placer et de stabiliser le film ou le capteur en bouche en présence du champ opératoire, d'une ou plusieurs limes endodontiques, de la forme de l'arcade palatine du patient, ainsi que d'un éventuel réflexe nauséux ou d'une ouverture buccale limitée. (5) En plus la comparaison des différents clichés successifs est difficile, car il est impossible de replacer l'angulateur exactement dans la même position à chaque fois. À ce problème de reproductibilité viennent s'ajouter les éventuels défauts d'interprétation inhérents à toute activité clinique et qui varient selon l'expérience, l'acuité visuelle et le matériel du praticien.(1)

Plusieurs clichés intra-oraux pris avec des angulations différentes peuvent être essentiels pour apercevoir les différentes structures anatomiques, or il existe un besoin permanent de réduire l'exposition aux rayonnements ionisants chaque fois que cela est possible (Brunton et al. 2002, Pendlebury et al. 2004).Même si la dose délivrée est très faible (entre 0,02 et 0,08 mSv), du fait de la fréquence de réalisation de ce type de cliché, celle-ci peut représenter un risque en particulier pour le personnel soignant. (1)

L'ordonnance du 28 mars 2001, relative à la transposition de directives communautaires dans le domaine de la protection contre les rayonnements ionisants, indique que « l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants doit être maintenue au niveau le plus faible qu'il est raisonnablement possible d'atteindre compte tenu de l'état des techniques, des facteurs économiques et de l'objectif médical recherché » (51)

Tout en imposant trois clichés médicolégaux, la législation incite donc les praticiens à utiliser une technique alternative à la radiographie aussi souvent que possible. Dans son rapport d'évaluation concernant l'endodontie de septembre 2008, la HAS préconise de réduire le nombre de clichés par l'utilisation de localisateurs électroniques d'apex. (52)

3.2.2.2 Cone-beam computed tomography (CBCT):

3.2.2.2.1. Généralités sur le CBCT :

3.2.2.2.1.1. Principe :

La tomographie volumique numérisée à faisceau conique, ou Cone Beam Computed Tomography (fig 24) est une technique d'imagerie extra oral sectionnelle récente essentiellement dédiée à la sphère oro-faciale. Elle est à l'heure actuelle de plus en plus utilisée dans les cabinets dentaires. (53)

Un générateur de rayons X émet un faisceau conique traversant l'objet à explorer avant d'être analysé par un système de détection. Le faisceau est ouvert, permettant au CBCT de balayer le volume à explorer en une seule résolution. Le tube rayons X et l'aire de détecteurs sont solidaires et alignés effectuent une rotation de 180° à 360° autour de la tête du patient, en un seul balayage (fig 25) (54). (Le temps de balayage est généralement compris entre 10 et 40 secondes. Cependant, de nombreux systèmes utilisent un faisceau pulsé réduisant le temps d'exposition entre 2 et 5 secondes) (55), permettant d'acquérir des données numériques dans les différents plans de l'espace. On obtient donc des images planes numérisées issues de la trajectoire circulaire de l'appareil qui sont ensuite transmises à un ordinateur pour une reconstruction volumique et une interprétation.

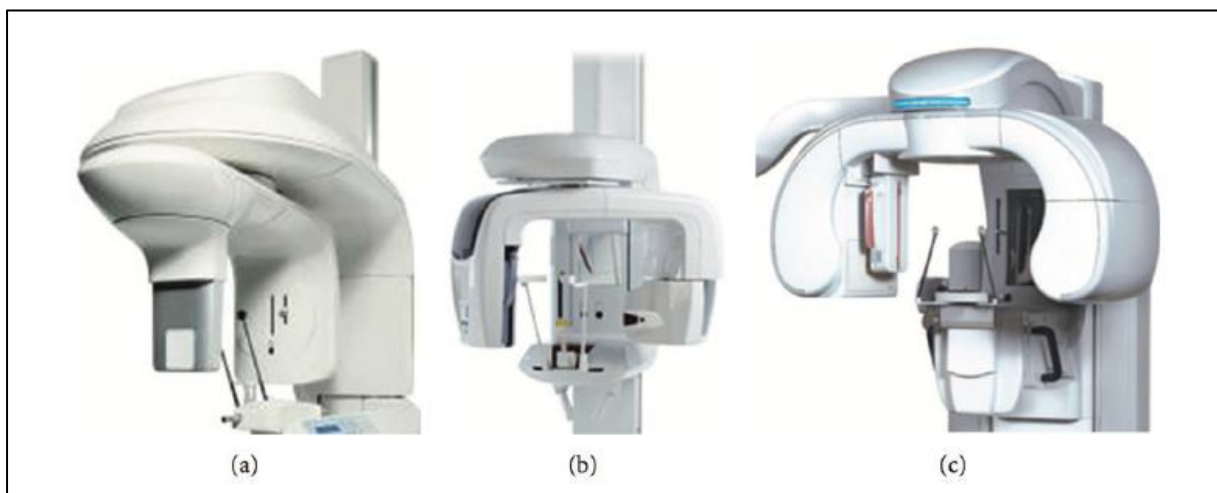


Figure 24 : Exemples de CBCT. (a) KODAK Dental Imaging 9000 3D, (b) Veraviewepocs 3D, (c) Picasso Trio. (56)

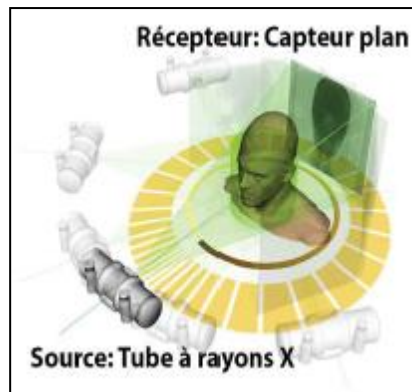


Fig 25 : Schéma d'un Cone Beam (eximm-cc.com)

Les images natives produites par le CBCT sont donc des projections 2D du volume exploré, à rapprocher de la radiologie conventionnelle. Les projections 2D successives, réalisées sur une rotation de 180° minimum, permettent de reconstituer un volume composé de voxels. Les données informatiques obtenues après reconstitution du volume sont enregistrées au format universel DICOM, exportable et exploitable à l'aide de lecteurs spécifiques. En règle générale, la lecture et l'analyse se font sur une image de reconstruction multiplanaire (Image 2D dans différents plans de l'espace) et non pas une image 3D. (57,58)

3.2.2.2.1.2. Unité de volume et champs de vue :

L'unité de volume du CBCT est le voxel. Le voxel du CBCT est cubique (qualifié d'isotropique) et son arête définit la résolution spatiale. Les coupes obtenues ont la même résolution spatiale quelle que soit leur orientation ainsi qu'une excellente fidélité dimensionnelle du fait de l'isotropie.

Trois contraintes antagonistes influent sur les caractéristiques du volume exploré :

- Taille du cylindre
- Taille des voxels
- Temps de reconstruction informatique

Pour un temps de reconstruction donné, la taille des voxels augmente avec le volume exploré, entraînant une diminution de la résolution spatiale. La résolution spatiale est intrinsèquement liée à la notion de champs de vue. Ceux-ci peuvent être classés en trois grandes catégories : Petit champ (inférieur à 10 cm) qui est

particulièrement utiliser en endodontie. Moyen champ (entre 10 et 15 cm). Grand champ (supérieur à 15 cm). (56,59)

3.2.2.2.2. Avantages du Cone beam :

Le développement de la tomodensitométrie à faisceau conique (CBCT) a mis en évidence les insuffisances de la radiographie conventionnelle lors de l'exploration anatomique.

Par rapport à la radiographie conventionnelle, le CBCT produit une image tridimensionnelle permettant une meilleure compréhension de l'anatomie maxillo-faciale ainsi que des dents et de leur environnement.

Comme l'acquisition produit des données volumétriques de hautes résolutions et sont affichées comme des images interactives, le CBCT offre au praticien une visualisation inégalée des relations et des limites souvent complexes entre les dents et leur environnement anatomique. Les images obtenues étant géométriquement précises, les mesures effectuées sur l'écran sont alors exemptes de distorsion (60)

A cause de la superposition des structures anatomiques, la radiographie rétroalvéolaire ne permet pas de toujours détecter toutes les variations anatomiques, en revanche la CBCT offre une RESOLUTION SPATIALE supérieure à celle du scanner, surtout en cas d'utilisation de voxels isotropes de petite taille (70 à 160 μ m). (61)

La tomodensitométrie à faisceau conique permet d'évaluer avec précision le degré de courbures des racines. (53, 62)

La détermination de la longueur de travail à l'aide d'images CBCT est plus précise par rapport à la radiographie périapical et au localisateur d'apex électronique (Fig 26). (63)

Selon une étude comparative les différents CBCT disponibles avec différentes tailles de voxels et champs de vision peuvent être utilisés pour mesurer la longueur de travail. (64)

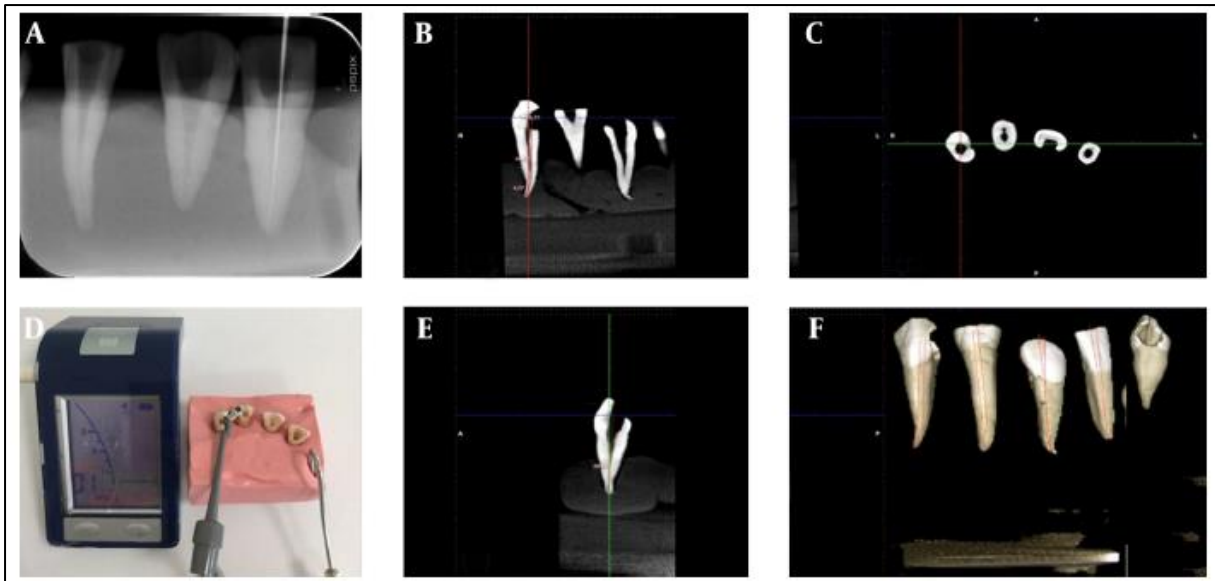


Fig 26. Mesures de la LT ; A, radiographie numérique ; B, images de tomographie calculée à faisceau conique compris ; une section coronale ; C, coupe axiale ; D, localisateurs d'apex électronique ; E, section sagittale ; F, image 3D des dents. (65)

3.2.2.2.3.Limites du CBCT :

3.2.2.2.3.1.Obligation d'optimisation des examens utilisant des radiations ionisantes :

Malgré que Le CBCT permet de choisir un champ approprié à l'examen, limitant ainsi l'irradiation inutile des tissus voisins par rapport à un scanner la dose de rayonnement délivrée lors de la réalisation d'un CBCT est clairement supérieure à celle délivrée par la radiographie rétro-alvéolaire (de 11 à 674 μSv pour le CBCT et $< 1,5 \mu\text{Sv}$ pour la RA). Hors la dose de rayonnement doit être aussi basse que possible. Le bénéfice apporté par la réalisation d'un CBCT sur un patient doit donc l'emporter sur les risques potentiels. (55,61).

3.2.2.2.3.2.Artefacts cinétiques :

Les mouvements du patient peuvent également affecter la netteté de l'image lors du balayage. Certains fabricants proposent même des appareils où l'acquisition se fait allongée (QRNewTom 5G®), améliorant ainsi la qualité des examens pour les patients à besoins spécifiques (personnes âgées, enfants, situation d'handicap). (Fig 27).(61)

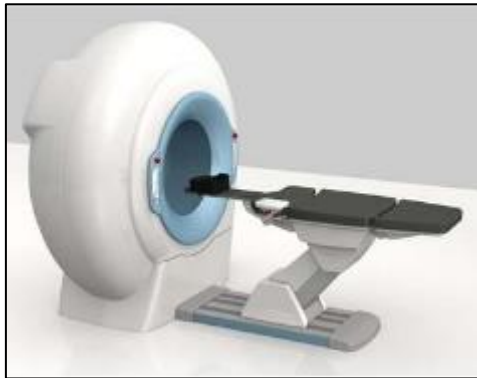


Fig 27 : CBCT Newton 5G couché. sujet en décubitus dorsal (fauteuil ergonomique basculant de la position assise à la position couchée horizontale).(61)

3.2.2.2.3.3. Artefacts métalliques :

Certains éléments très denses (comme des éléments prothétiques) créent des stries radiaires dégradant fortement la qualité de l'image (Fig 28). Les capacités de reconstruction informatique sont dépassées par les coefficients d'absorption très élevés. Néanmoins, la sensibilité du CBCT aux artefacts métalliques est moindre que le scanner. (55,61)

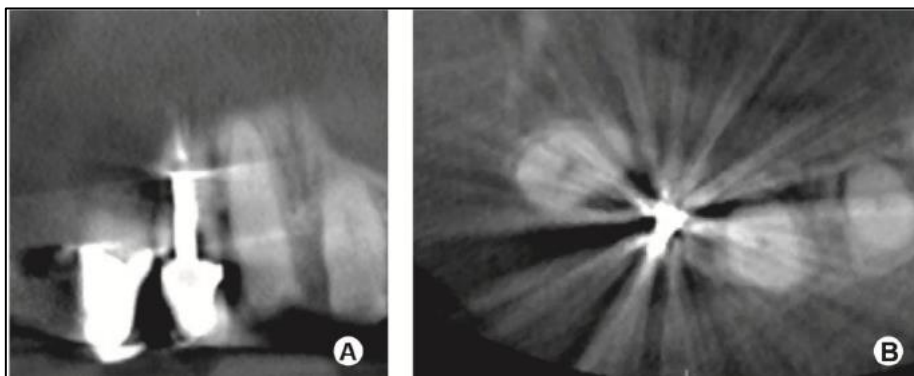


Fig 28. Coupe axiale et coronaire d'un CBCT à travers une incisives centrale maxillaire gauche avec un ancrage et une couronne. Le durcissement du faisceau causé par la restauration métallique entraîne l'apparition de stries et de bandes (61).

3.2.2.2.3.4.Coût du matériel :

Le CBCT étant une technique plus coûteuse et moins disponible que les méthodes conventionnelles. (55)

3-3-Les localisateurs électroniques d'apex :

3-3-1-Historique et principe :

3-3-1-1-Les localisateurs électroniques d'apex utilisant la résistance :

Si l'utilisation généralisée des localisateurs électroniques d'apex est relativement récente, il faut noter que les premiers essais dans le domaine datent du début du XXe siècle. Ces premiers localisateurs d'apex utilisent une propriété électrique de la dent qui est la résistance, cette dernière se définit comme étant l'aptitude d'un matériau conducteur à s'opposer au passage du courant électrique (Symbole :R, Unité : Ω) .(1)

Conscient des limites de la méthode radiologique, Custer expérimente en 1918 l'utilisation d'un ampèremètre pour mesurer la longueur de travail. En plaçant une électrode dans le vestibule en regard de la dent et une seconde électrode reliée à un instrument dans le canal, il observe une déviation progressive de l'aiguille à mesure qu'il s'approche de l'apex, puis plus soudaine au passage du foramen, il en a déduit que la conductivité électrique des tissus péri-apicaux était plus grande que la conductivité au sein du système canalaire et que cela pourrait être une méthode fiable pour détecter le foramen apical. L'appellation « localisateurs d'apex » communément admise est donc inexacte, puisqu'il s'agit en réalité de localisateurs de foramen. (66)

Suzuki, en 1942, se livre le premier à des mesures de résistance des tissus dentaires et parodontaux chez le chien. En plaçant des électrodes dans le canal pulpaire et dans le vestibule, il détermine que la résistance entre le désmodonte et la muqueuse buccale est constante, se situant aux environs de 6,5 k Ω et ce, quels que soient la forme de la dent, l'âge du patient et le diamètre canalaire.(67)

C'est en partant de ce constat, qu'en 1958, Sunada réalise le premier localisateur électronique d'apex. L'appareil délivre un courant continu en étant relié à une cathode buccale et une anode insérée dans le canal. Il doit être préalablement calibré. Ainsi, lors de la progression de la lime dans le canal, l'appareil signale la bonne longueur en donnant une valeur numérique lorsque la résistance enregistrée atteint 6,5 k Ω pour une intensité de 40 μ A. Cette valeur de résistance est aussi enregistrée lorsque la lime rencontre une perforation latérale du canal ou même en

cas de perforation du plancher de la pulpe.une valeur de résistance plus de $6.5k\Omega$ indique que la pointe de la lime est encore dans le canal , et une valeur moins de $6,5$ signifie un dépassement du foramen apical.(68)

A partir des travaux de Sunada, un modèle de résistance de la dent a été mis au point. Ce modèle électrique peut être représenté par le circuit électrique décrit dans la (fig 29). Le ciment et la dentine sont considérés comme des isolants électriques tandis que la pulpe et le ligament parodontal sont comme des conducteurs.

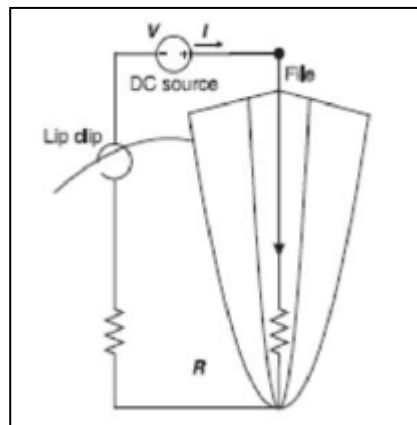


Fig 29 : Modèle de circuit utilisé pour les localisateurs utilisant la résistance (69)

La méthode est d'une efficacité relative : les mesures ne sont valables que dans un canal dépourvu d'électrolytes (ClONa), d'exsudats et de sang, donc, de préférence, sec et bien mis en forme(70). De plus, des douleurs ont été constatées lors de l'utilisation de courant continu (50).

3-3-1-2-Localisateurs d'apex utilisant l'impédance :

Apparus dans les années 1980 afin d'éviter les dommages causés aux tissus par le courant continu, il a alors été proposé d'utiliser le courant alternatif. L'utilisation du courant alternatif a permis de remédier aux douleurs et d'introduire une nouvelle composante qui est l'impédance (69).

L'impédance est la quantité d'opposition que va fournir un circuit électrique au passage d'un courant alternatif. Lorsqu'une lime endodontique est insérée dans un canal, l'impédance va chuter à l'approche de l'apex. (69)

Ils rencontrent un succès limité, car ils affichent des résultats peu reproductibles. Ces difficultés sont causées par l'impossibilité pour certains appareils d'effectuer des mesures en canal humide et en absence de constriction apicale, tandis que d'autres ne fonctionnent que dans des canaux préalablement élargis (71,70).

Le Sonoexplorer® était parmi les appareils les plus utilisés entre 1970 et 1980. un article a été publié parlant de la précision de cet appareil qui est uniquement de 48% en la comparant avec la sensation tactile qui est de 64% , beaucoup d'articles ont été publiés plus tard par le journal de l'association dentaire américaine condamnant cet article par des praticiens qui ont eu le sentiment d'utiliser leurs instruments avec beaucoup de succès . Depuis cette époque, des tests cliniques plus approfondis ont été effectués et les localisateurs d'apex continuent à évoluer. (14)

3-3-3-Les localisateurs électroniques d'apex utilisant plusieurs fréquences :

Une nette amélioration des performances est atteinte lors de la mise au point de nouveaux appareils conçus pour fonctionner avec plusieurs fréquences (1). Le premier appareil de cette catégorie, l'Apit®, est capable de détecter une augmentation de la différence entre les impédances mesurées à deux fréquences données lorsque la lime atteint la zone foraminale du canal (72). Il indique la longueur de travail au praticien grâce à un écran, mais ne fonctionne que lorsque les canaux sont humides(73).

Les appareils les plus récents s'inspirent des travaux de Yamashita et Kobayashi. Yamashita (74) a proposé de calculer la différence de deux impédances à deux fréquences différentes. L'Endex® mesurait la différence d'impédance à des fréquences de 1 et 5 kHz, la précision de cet appareil n'était pas affectée par le contenu canalaire cependant une calibration était nécessaire entre chaque canal.

Quand à Kobayashi en 1991(75) développe le principe du « ratio method » avec l'arrivée sur le marché du Root ZX®. Les appareils fonctionnant selon ce principe exploitent une source de courant alternatif avec une onde composite

composée de deux fréquences et mesurent simultanément l'impédance électrique de ces deux fréquences. Un microprocesseur calcule le rapport des deux impédances pour déterminer la position de la lime dans le canal. Ce rapport est constant à l'entrée du canal, puis augmente au fur et à mesure que la lime progresse en direction apicale, pour atteindre une valeur maximale au niveau de la constriction apicale.

Ce même Kobayashi a montré en 1994 avec Suda que ce rapport avait des valeurs constantes indépendamment des électrolytes présents dans le canal pour des fréquences données (75).

Selon les constructeurs, le fait d'utiliser alternativement les fréquences ou d'augmenter le nombre de fréquences prises en compte permettrait d'augmenter la précision des mesures :

- Deux fréquences utilisées alternativement : Raypex5® de chez Dentsply Maillefer, Bingo 1020® de chez Forum Engineering Technologies®. Les études sur ces appareils mettent en exergue une absence de différence significative quant à la précision de mesure entre le Root ZX® et ce type de LEA (76,77).

- 5 fréquences : Endo Analyser® et Apex Finder A.F.A® de la société Analytic Technology. Welk et al. ont montré que ce type de LEA détecte la constriction apicale dans 34,4 % des cas contre 90,7% pour le Root ZX® (78).

- 3 fréquences : The Analytic Apex Finder (Analytic Endodontics, Orange, CA) jusqu'à nos jours aucune étude n'a prouvé ses performances.(14).

3-2-3-2-Mise en œuvre clinique :

3-2-3-2-1-Localisateurs électroniques d'apex isolés :

Tous les localisateurs d'apex mis sur le marché appartiennent à la quatrième ou à la cinquième génération (3). Les appareils les plus utilisés sont :

Root ZX Apex Locator (J. Morita, USA), Raypex 4 (Roydent, USA; VDW, Germany), Apex Finder A.F.A. (SybronEndo) Elements Diagnostic Unit et Endex and Endex

Plus (Osada, Inc.).certains model sont combinés avec un pulp-tester comme le SybronEndo Analyzer model 8500.(79) fig 30.

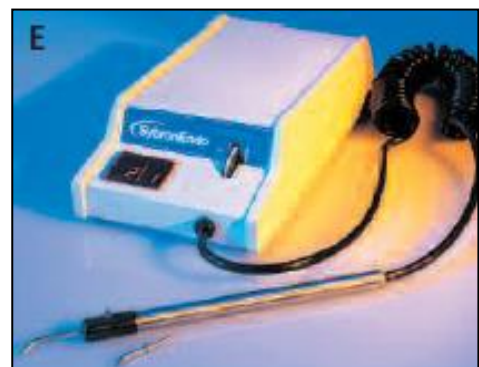
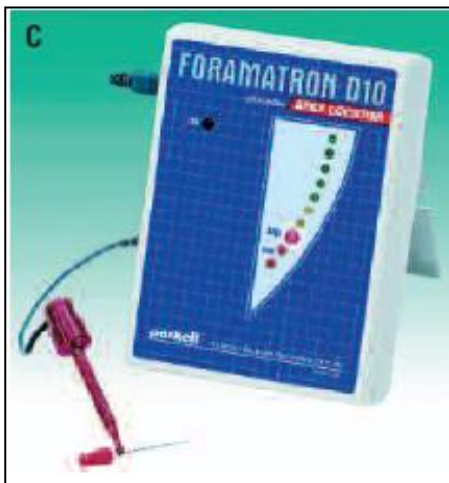
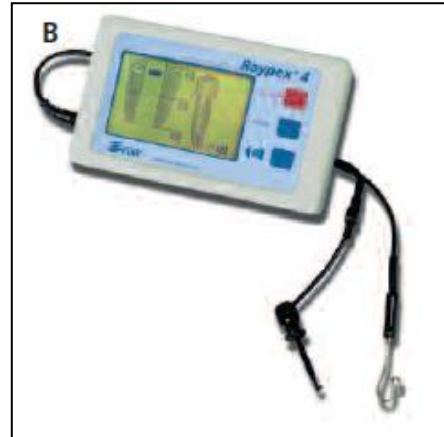


Fig 30 :localisateurs d'apex : A : root ZX (J.Morita), B : Raypex 4 (Roydent, USA; VDW, Germany) , C, Foramatron (Parkell Co). D, Endex Plus (Osada, Inc.). E, Elements Diagnostic Unit (SybronEndo).

La radiographie préopératoire est indispensable pour repérer la forme de l'endodonte et estimer les longueurs de travail.

Après aménagement de la cavité d'accès, il est conseillé d'évaser le tiers cervical des canaux à l'aide d'un instrument de forte conicité (80)

L'exploration initiale est réalisée avec une lime K8 ou K10. La cavité d'accès est séchée pour éviter les courts-circuits, tandis que les canaux peuvent rester humides sans perturber la mesure.

L'appareil doit ensuite être utilisé conformément aux recommandations du fabricant. L'électrode labiale est mise en place à la commissure des lèvres et l'appareil mis sous tension.(Fig 31).



Fig 31 :l'électrode labiale est placée sous la digue (3).

Les deux électrodes sont mises en contact pour tester le fonctionnement de l'appareil. Lors de cette manœuvre, l'écran de l'appareil doit afficher « apex ». La mesure est effectuée à l'aide d'une lime K10 pour les constrictions étroites ; pour les constrictions plus larges, des limes de plus fort diamètre peuvent être utilisées, car une lime trop étroite « flotte » dans le canal et rend la mesure incohérente ou moins précise(81) .

La lime K est introduite dans le canal et l'extrémité de l'électrode canalaire est fixée sous le manche. L'instrument est avancé progressivement jusqu'à ce que la position du foramen soit indiquée à l'écran et par un signal sonore. Dans le cas du Root ZX®, il est conseillé d'avancer la lime jusqu'au repère « apex », car la mesure y est plus précise, puis d'ajuster le stop (82) (Fig. 32).

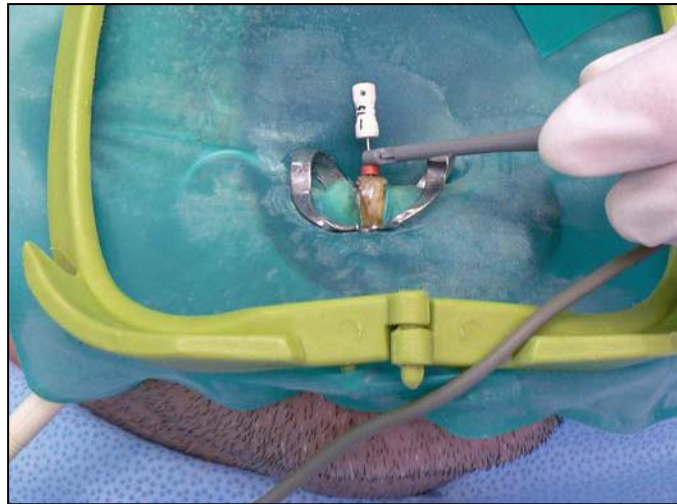


Fig 32 : Détermination électronique de la longueur de travail.(1)

Un demi millimètre est retranché à cette mesure afin d'obtenir une longueur de travail à la position supposée de la constriction apicale. La mesure doit être répétée plusieurs fois pour s'assurer de sa reproductibilité. Les graduations chiffrées à l'écran n'existent qu'à titre indicatif, afin de se faire une idée de la progression lors de la pénétration initiale ; ce ne sont pas des graduations en millimètres.

En effet, comme cela a été expliqué précédemment, l'appareil détecte la chute du ratio des impédances, qui ne se manifeste précisément qu'à une distance d'environ 1 mm du foramen et ne peut donc, à ce titre, fournir d'indication fiable dans la partie du canal située en deçà. (1)

Après la mesure électronique, une radiographie de contrôle, lime en place, peut être effectuée.

La mesure est validée si l'image de la pointe de la lime ne dépasse pas l'apex radiologique.

Dans les cas de racines courbes, il est conseillé de renouveler la mesure du canal au cours de la mise en forme, car l'élargissement de ces canaux en réduit fréquemment la longueur. En effet, si les instruments travaillent préférentiellement sur la paroi correspondant à la concavité du canal, cela raccourcit le trajet à

effectuer par la lime. Ce phénomène peut donc être à l'origine d'un dépassement de la limite apicale de préparation par les instruments de fort diamètre. (1)

3-3-Les localisateurs d'apex associés à un micro moteur d'endodontie :

Ces appareils sont des moteurs destinés à la préparation endodontique des canaux et associés à un localisateur d'apex électronique, pour lesquels l'électrode est intégrée au contre-angle ,la détermination de la LT se fait de manière dynamique au cours de l'ampliation. Ainsi, tous les LEA forment un circuit électrique fermé : ils sont reliés au patient par la contre-électrode labiale d'une part et par l'électrode couplée à la lime intracanaulaire ou au micromoteur d'autre part. (fig 33).

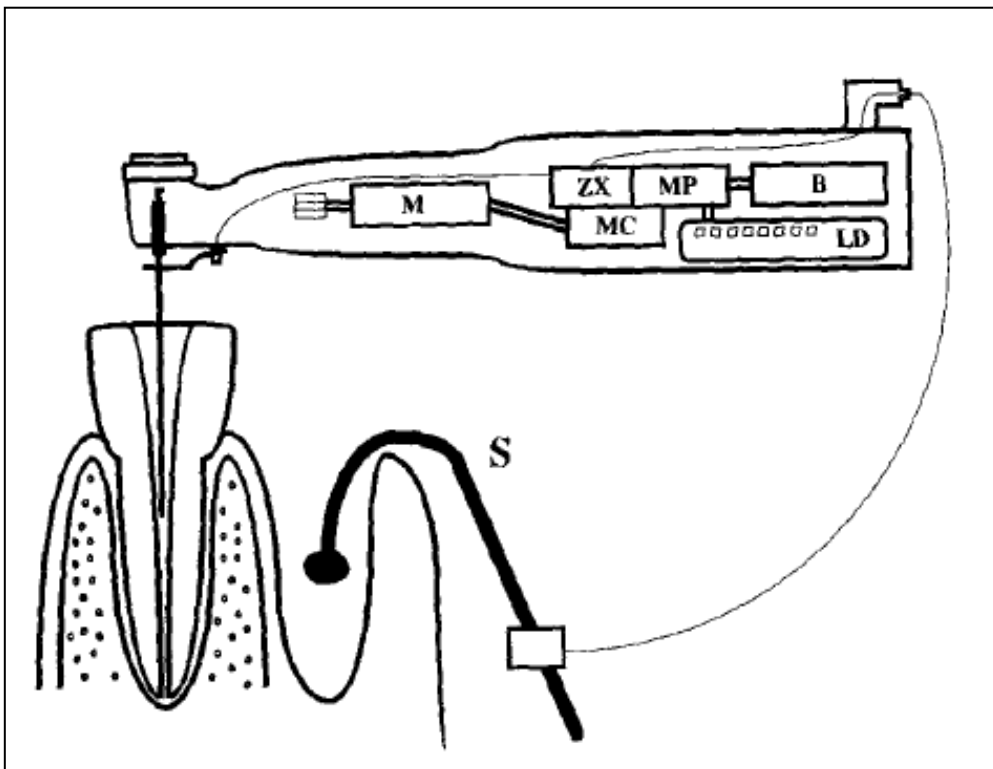


Fig 33: connection électrique du tri auto ZX.ZX: le root ZX, MC :circuit de conduite de moteur,MP :microprocesseur , B :batterie recchargeable ,LD :affichage LED ,S : ejecteur de salive,M :moteur (83).

En 1997 , après le developpement des instruments en NiTi et de la rotation continue Kobayashi a développé un dispositif associant le Root ZX® et un moteur

d'endodontie afin de faciliter la préparation canalaire. Cet appareil est commercialisé sous le nom de Tri Auto ZX®(83).fig 34

Le tri auto ZX® est une pièce à main électronique rechargeable, elle permet au praticien un monitoring de la LT avant pendant et après la préparation et utilise des limes en NiTi à une vitesse de rotation de 240 à 280 trmn avec des paramètres de localisateur d'apex intégré. Quand la lime atteint la limite pré réglée (ex :1 ou 0.5 mm avant la constriction apicale lue sur l'appareil) , la lime inverse automatiquement le sens de rotation et sort du canal. Ce mécanisme d'auto-reverse commence également quand un torque excessif est ressenti par la pièce à main pour éviter une séparation instrumentale.(83)

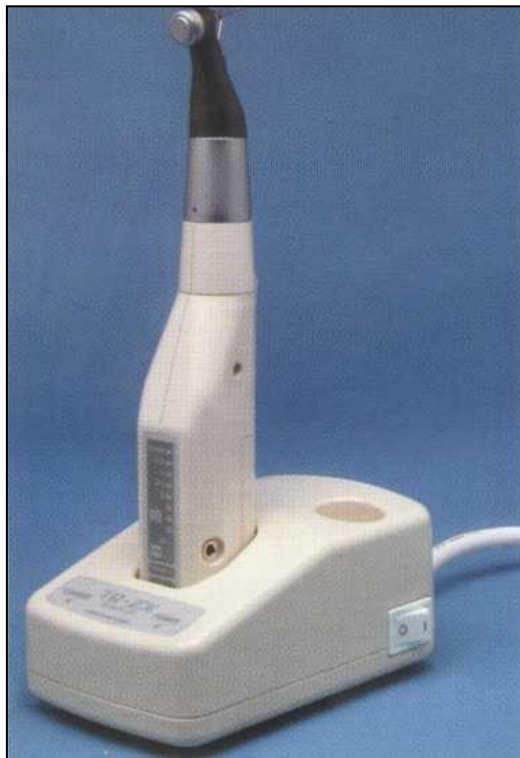


Fig 34 :le tri auto ZX®(morita) (14)

3-3-Précautions d'utilisation cliniques :

La mesure électronique est simple mais des conditions d'utilisation strictes doivent être respectées, sinon une mesure incohérente sera donnée .Le localisateur d'apex peut détecter l'apex de manière précoce ou ne donne aucun signal, d'où il est impératif de :(74- 84)

- Déposer les restaurations métalliques,(fig 35).
- Utiliser un champ opératoire type digue afin d'éviter la présence de salive,
- Enlever l'excès d'irrigants dans la chambre pulpaire,
- Utiliser une lime de diamètre adapté au diamètre du foramen apical
- Effectuer un cathétérisme afin d'obtenir la perméabilité canalaire,
- Irriguer légèrement le canal tout en éliminant les excès.
- Vérifier le niveau de charge de l'accumulateur ou des piles du générateur avant utilisation. Toute diminution de cette tension , matérialisée par la perte d'une « brique » sur l'icône correspondante entrainera des défauts de localisation.



Fig 35 : une préparation idéale pour l'utilisation d'un localisateur d'apex,l'obturation métallique a été déposée, et la dent obturée avec un matériau non conducteur. Le champ opératoire est sec, aucun schunt du courant n'est retrouvé.

3-4-Avantages des localisateurs électroniques d'apex :

La méthode radiographique, comme décrite précédemment, ne permet de détecter que le dôme radiographique, l'utilisation d'un LEA représente la seule méthode permettant de localiser le foramen apical. Cette technique précise et reproductible réduit l'exposition aux radiations ionisantes en diminuant le nombre de clichés radiographiques per opératoires lors de l'ajustement de la LT. Ceci permet aussi de réduire sensiblement le temps opératoire en ne nécessitant pas la dépose partielle du champ opératoire. Le localisateur d'apex offre une aide précieuse quand des patients présentent des apex masqués par des structures anatomiques ou des objets et pour les patients victimes de réflexe nauséux, d'intolérance aux films ou de problèmes médicaux qui interdisent l'usage des portes-films ou des détecteurs numériques.(85)

Des utilisations innovantes des localisateurs d'apex ont été rapportées. Tous les localisateurs d'apex modernes sont capables de détecter les perforations radiculaires dans des limites acceptables du point de vue clinique et sont également capables de distinguer les grandes et les petites perforations (Fuss et al. 1996, Kaufman et al. 1997). Azabal et al. (2004) ont constaté que le Justy II® était capable de détecter des fractures horizontales simulées, mais n'était pas fiable lors de la mesure de fractures verticales simulées. Cela facilite la prise de décision et la prise en compte des options du traitement (Nahmias et al. 1983, Kaufman et Keila 1989).

Tous les localisateurs d'apex peuvent confirmer les perforations parodontales ou pulpaires suspectes lors de la préparation des trous d'épingle, car une perforation brevetée obligera l'instrument à compléter un circuit et à indiquer que l'instrument se situe au-delà du «sommet» (Ingle et al. 2002). Toute connexion entre le canal radiculaire et la membrane parodontale, telle qu'une fracture radiculaire, des fissures et une résorption interne ou externe, sera reconnue par le localisateur d'apex, qui constitue un excellent outil de diagnostic dans ces circonstances (Nahmias et al. 1983, Chong & Pitt Ford 1994).

Les localisateurs d'apex à fonctions multiples sont de plus en plus courants et plusieurs possèdent des fonctions de test de vitalité. La combinaison des

localisateurs d'apex électroniques et des pièces à main électriques devient également courante et permet d'obtenir d'excellents résultats avec la même précision que les unités autonomes (Steffen et al. 1999). (4)

Enfin, les localisateurs sont un outil intéressant en odontologie pédiatrique, du fait de la difficulté à obtenir des clichés rétro alvéolaires de qualité chez certains enfants. Leur utilisation lors du traitement de dents lactéales donne des mesures moins précises, à plus forte raison si elles sont résorbées (86-87)

3-5-limites des localisateurs électroniques d'apex:

3-5-1-Facteurs influençant la mesure de la LT :

La majorité des localisateurs d'apex actuels ne sont pas influencés par la présence de solutions d'irrigation dans le canal radiculaire (Jenkins et al. 2001). Le root ZX a été trouvé plus exacte en présence d'hypochlorite de sodium. (Meares&Steiman 2002).

Huang (1987) a refusé l'idée originale de Sunada (1962) Que la résistance électrique était une propriété biologique de la dent et du parodonte, et a confirmé que des propriétés physiques influencent la mesure de canal. Des tests des localisateurs d'apex in-vitro utilisant l'agar, solutions salines, gélatine ou de l'alginat sont basés sur cette constatation (Aurelio et al. 1983, Tinaz et al. 2002b).

Des phénomènes biologiques tel que l'inflammation peuvent avoir une influence sur la précision des LEA (Kovacevic&Tamarut 1998).un tissu vital intact, exsudats inflammatoires et le sang peuvent conduire le courant et induire en erreur lors de la détermination de la LT, alors leur présence doit être minimisée avant de valider les mesures obtenues. (Trope et al. 1985).

Autres conducteurs qui peuvent donner un court circuit sont les restaurations métalliques, la carie, salive et instruments dans un second canal.

La forme du canal, manque de perméabilité, accumulation des débris dentinaires et les calcifications peuvent affecter le fonctionnement d'un localisateur d'apex (Aurelio

et al. 1983, Morita 1994).il a été suggéré que le pré élargissement utilisé dans les techniques de préparation moderne de crown-down aurait augmenté la précision des résultats.

Le diamètre du foramen apical a aussi une influence sur la mesure d'un LEA Huang (1987) trouvait qu'un foramen dont le diamètre est inférieur à 0.2 mm n'affecte pas la mesure , même en présence d'irrigants conducteurs , alors que quand le diamètre est supérieur a 0.2 mm les distances mesurées du foramen augmentent. (4)

En raison de la nature isolante des matériaux d'obturation, les localisateurs ne peuvent être mis en œuvre dans le cadre d'un retraitement endodontique qu'à l'issue de la désobturation complète du canal (88)

3-5-2-Défibrillateurs automatiques implantables et Pacemakers :

Les défibrillateurs automatiques implantables (DAI) et les pacemakers sont des petits appareils électroniques fonctionnant au lithium de meilleur qualité, placés chirurgicalement sous la peau et généralement près de la clavicule gauche.ils ont des fils isolés flexibles qui traversent les veines jusqu'au cœur et surveillent la fréquence cardiaque continuellement pour détecter les troubles du rythme cardiaque (arythmies). (89)

Il existe deux types d'arythmies cardiaques : un rythme très lent (bradycardie) ou un rythme très rapide (tachycardie).

Un pacemaker est implanté chez un patient avec bradycardie symptomatique, il génère une impulsion électrique au muscle cardiaque pour maintenir un rythme adéquat. Le DAI est similaire au pacemaker, mais il peut aussi détecter et restaurer une tachycardie.

Les DAI et les pacemakers sont sensibles aux interférences électromagnétiques (IEM) des sources externes. Ces IEM sont interprétées par le pacemaker implanté comme un bruit électrique provoquant une inhibition de la stimulation ou une stimulation asynchrone.

Au cours des dernières décennies, il y avait un débat sur l'interférence des équipements dentaires sur le fonctionnement des DAI et des pacemakers.

Quelques études ont cherché l'interférence électromagnétique potentielle des LEA sur les pacemakers. Beach et al ont publié un rapport d'un cas montrant qu'un LEA peut être utilisé en toute sécurité (90). Garofalo et al, a leur tour, ont testé 5 LEA pour leur éventuelle interférence sur les pacemakers in vitro ; c'est par ce que 4 des LEA utilisés ne montraient aucune interférence, ils ont conclu qu'ils peuvent être utilisés en toute sécurité.(91)

Un article récent par Gomez et al a évalué les effets de 6 LEA sur la fonction d un pacemaker in vitro, ils ont conclu qu'il y avait quelque IEM quand le LEA est placé près de la pointe de l'électrode du pacemaker ou près du pacemaker lui-même, cependant , aucune IEM n'a été détectée quand le LEA a été placé à 15cm de l'arc de détection.(92)

En 2006 Wilson et al ont étudié l'interférence de 2 LEA et un pulp tester sur 4 patients avec pacemaker et 23 patients avec DAI aucune interférence n'a été observée .(93)

les données actuelles suggèrent que le LEA peut être utilisé en toute sécurité chez les patients porteurs de pacemakers ou de DAI, surtout lorsque des précautions générales sont prises pour maintenir les appareils électriques à une distance minimale de 10-15 cm de ces appareils . Toutefois, il est conseillé de consulter le cardiologue du patient. (89)

3-6-Fiabilité des localisateurs électroniques d'apex :

De nombreux travaux ont été publiés sur la fiabilité des localisateurs à ratio d'impédance, en particulier concernant le Root ZX®, qui tient lieu de référence. Les études menées in vivo et ex vivo estiment dans une fourchette comprise entre 75 % et 100 % les chances de cet appareil de réaliser une mesure située à $\pm 0,5$ mm de la constriction apicale (94-95) . La largeur de la fourchette s'explique principalement par la variabilité des protocoles. Kaufman et al. ont mis en évidence une plus grande

précision de la méthode électronique par rapport à la méthode radiographique (96). Ces localisateurs se sont montrés fiables dans des canaux secs, mais aussi remplis de pulpe, de sang, de pus, d'hypochlorite de sodium (NaOCl), d'acide éthylène diamine tétra-acétique (EDTA) et plus généralement de l'ensemble des produits d'irrigation recommandés dans le cadre d'un traitement endodontique (97). Le Root ZX® donne ses meilleurs résultats lorsque le canal contient du NaOCl(98) .

4-DIFFICULTÉES RENCONTRÉES LORS DE LA DÉTERMINATION DE LA LONGUEUR DE TRAVAIL :

Au cours d'un traitement endodontique la détermination de la longueur de travail qui est une étape fondamentale du traitement canalaire peut être particulièrement difficile dans certaines situations cliniques :

4-1-Apex ouvert (béant) :

Le terme « apex ouvert » est souvent utilisé pour décrire un foramen apicale exceptionnellement large, dans lequel la préparation d'un « arrêt » apicale est difficile, voire impossible à réaliser(99)

La définition de l'apex ouvert varie selon les auteurs et est reflétée par la taille minimale ISO utilisée pour la décrire: ISO 40 (Mente et al. 2009)(97), ISO 45 (Van Hassel & Natkin 1970), ISO 60 (Sarris et al. 2008, ElAyouti et al. 2009). ISO 80 (Friend 1966, Moore et al. 2011)(105,106) ou ISO 100 (Andreasen j. & Andreasen f.2000)(107) Avec ces tailles, un instrument canalaire peut être transmis librement par le foramen apicale, et il peut y avoir des preuves radiographiques d'apex ouvert (Moore et al. 2011)(105)

Il peut avoir comme origine(99) :

4-1-1-Résorption apicale :

4-1-1-a-Résorption (rhizalyse) physiologique des dents déciduales :

La résorption radiculaire des dents primaires (rhizalyse) est un phénomène physiologique qui aboutit à l'éruption des dents permanentes

La résorption physiologique peut être compliquée par l'inflammation pulpaire et /ou parodontale, et il est essentiel de minimiser les dommages potentiels aux successeurs permanents (Holan & Fuks 1993, Coll & Sadrian 1996).(107, 108)

Les obturations du canal radiculaire extrudé ont un taux de réussite plus faible que si le remplissage des racines est court ou à l'apex des dents primaires (Coll & Sadrian 1996).(108)

L'étendue apicale du système canalaire des dents primaires est difficile à déterminer (Goerig & camp 1983, Rimondini & Baroni 1995)(109,110)

4-1-1-b-Résorption pathologique

La résorption pathologique est soit liée à une inflammation chronique (pathologie apicale) soit à un traumatisme dentaire ou a un excès de pression (orthodontique) soit idiopathique .

4-1-2- dents permanentes immatures :

La dent permanente peut, lors de sa formation, être soumise à différentes agressions, comme par exemple, une lésion carieuse ou un traumatisme. Ces agressions peuvent plus ou moins à long terme endommager le tissu pulpaire, aboutissant dans certains cas à sa nécrose, cet état nécrotique pouvant engendrer des problèmes infectieux. Ainsi le moment où intervient la cause nécrosante, laisse la dent dans son état d'évolution, avec des racines en cours d'édifications et donc des parois résiduelles fines entraînant une fragilité radiculaire (saber , 2009)(111). et un apex plus ou moins ouvert selon le stade d'édification radiculaire décrite par NOLLA

Un «apex ouvert» se trouve comme une étape de développement dans l'édification radiculaire des dents déciduales et définitives. (99)

4-1-3-Détermination de la longueur de travail pour les apex ouverts des dents permanentes immatures :

La société européenne d'endodontologie (2006) recommande l'utilisation d'un localisateur électronique d'apex (EAL) suivi d'une confirmation de la longueur du canal avec une radiographie non distordu pendant le traitement du canal radiculaire. Si l'instrument dans le canal semble être à plus de 3 mm de l'apex radiographique, la longueur de travail doit être ajustée (99).

Bien que la radiographie soit la principale méthode de sélection des longueurs de travail pendant le traitement des dents avec des apex ouverts, les rapports de cas et les essais cliniques ont rapporté des variations de la technique (99).

De nombreux chercheurs recommandent la méthode d'ingles (1957) (111). l'estimation radiographique de la longueur de travail de 1 à 2 mm à court de l'apex radiographique déterminé à partir d'une radiographie préopératoire ou du sens tactile (Ingle 1957, Friend 1966, Duell 1973, Gilbert 1983, Dummer et coll. 1984) (104,111,112).

tandis que Van Hassel & Natkin (1970)(101) instrumenté à l'apex radiographique pendant le traitement des dents permanentes immatures avec des apex ouverts.

Plusieurs rapports ont mentionné l'utilisation de radiographies pour la détermination de la longueur, mais n'ont pas été plus élaborés (Frank 1966, Sarris et coll. 2008, Yassen et al. 2012) (99,110n111) Whitworth & Nunn (2001) (115) a suggéré de préparer les canaux de 2 à 3 mm de longueur estimée de travail obtenue à partir d'une radiographie péri- apical préopératoire non distordu. Moore et coll. (2011) (105) ont rapporté à l'aide de radiographie conventionnelles et d'un EAL.

L'omission d'une anesthésie locale a également été suggérée, car toute sensibilité ou hémorragie peut indiquer la nécessité d'ajuster la longueur de travail (Friend 1966, Duell 1973 (104,116).

4-1-4- Les Mesures alternatives de la longueur de travail pour les apex ouverts :

Plusieurs études ont évalué d'autres méthodes de mesure de la longueur de travail pour les dents avec des apex ouverts.

Baggett et coll. (1996)(117) ont évalué une technique tactile utilisant des points de papier et ont affirmé qu'elle était comparable à la radiographie et n'était pas affectée par la taille de l'apex ou par la présence de pathologie péri-apicale. La technique consistait à utiliser un point de papier de taille 30 placé dans le canal et avancé jusqu'à ce que la résistance ait été ressentie.

Les auteurs ont constaté que cette méthode était exacte à moins de 1 mm de la longueur de diagnostic radiographique, 95% du temps a conclu qu'une radiographie de longueur de travail était inutile lorsque cette méthode était employée (99).

Une lacune de la technique est que si les tissus mous péri-apicaux s'étendent dans le canal, une sous-estimation de la longueur de travail pourrait être en résultat (99).

Jusqu'à 3 mm de tissu mou étaient présents dans deux des 35 cas étudiés (Baggett et al. 1996) (117). En outre, il y a le risque de sur remplissage lorsque le niveau du foramen apicale, affecté par la résorption pathologique, est irrégulier. Cela peut ne pas être évident par radiographie, surtout si l'aspect le plus court est dans la direction bucco-linguale (99). Pour surmonter ce problème, ElAyouti et coll. (2009) (103) ont proposé une méthode tactile impliquant l'utilisation d'un instrument 25 (lime K) plié à la pointe, avec son orientation marquée avec un anneau en silicone. L'instrument a été plié pour faciliter d'utilisation. Cette méthode peut être restreinte aux courbes de canal relativement droites (< 10 degrés).

Des essais cliniques sont nécessaires pour évaluer davantage cette méthode, en particulier dans les canaux incurvés. Bien que jamais prouvé précis pour les apex ouverts, la technique de point de papier décrite par Rosenberg (2003) (118) pour compléter les lectures initiales d'EAL pourrait être envisagée pour la détermination de la longueur de travail des apex ouverts dans les canaux relativement droits (10 degrés).

La technique est décrite comme suit: étant donné que le canal est sec, un point de papier initial est placé à 0,5 mm de longueur indiquée par l'EAL. Si le point sort sec, il est avancé dans le canal par petits incréments (0,25 mm) sous grossissement jusqu'à ce qu'un peu de liquide soit ramassé. Un autre point de papier est utilisé juste à court de ce point, et la longueur de travail est alors la longueur maximale. Rosenberg (2003) (118) a averti que le point de papier devait être en contact bref avant que toute action capillaire ait eu lieu.

Une étude utilisant les dents d'un état péri-apical inconnu a validé cette méthode à l'aide de la tomodensitométrie (MarcosArenal et al. 2009)(119). Après l'évaluation des pointes de papier et l'extraction des dents, les fichiers ont été positionnés. La méthode jugée fiable dans les canaux droits. était à 87% précis à moins de 0,5 mm du foramen apicale, avec une reproductibilité élevée. Cependant, les Conditions préalables comprenaient un canal sec et un tissu péri-apical humide, qui ne pouvaient pas être obtenues dans huit des 84 canaux de l'étude.

4-2-Anatomies endodontiques particulières :

Les anatomies endodontiques particulières ne sont pas aussi rares que leur nom veut bien l'indiquer. Il faut distinguer les anatomies particulières des anomalies anatomiques (120).

4-2-1-Isthmes :

Les isthmes sont des structures anatomiques particulières que l'on retrouve communément au sein du système canalaire des dents permanentes postérieures. Ce sont des communications étroites entre deux canaux radiculaires en forme de ruban. Les isthmes contiennent de la pulpe ou un tissu dérivé de la pulpe. Ainsi, toute racine contenant deux ou plusieurs canaux peut contenir un isthme, tout comme les racines fusionnées. Les isthmes sont situés le plus souvent au niveau du tiers moyen et du tiers apical de la racine (121). La première molaire mandibulaire est la dent la plus susceptible de posséder des isthmes, notamment dans sa racine mésiale. On y retrouve des isthmes dans 88% des cas, le plus souvent dans les 5 mm apicaux (Fig37) (122,123) On les retrouve régulièrement dans les deuxième prémolaires mandibulaires et les première et deuxième molaires maxillaires. La présence d'isthmes dans les racines diminue avec l'âge de l'individu, car l'apposition de dentine secondaire comble progressivement ces espaces. Ces structures présentent des variations morphologiques qui sont expliquées par le dépôt de dentine aléatoire selon les individus, en fonction de leur occlusion, des agressions et du temps. On retrouve 4 types morphologiques d'isthme décrits par Fan et coll. (Fig 36).

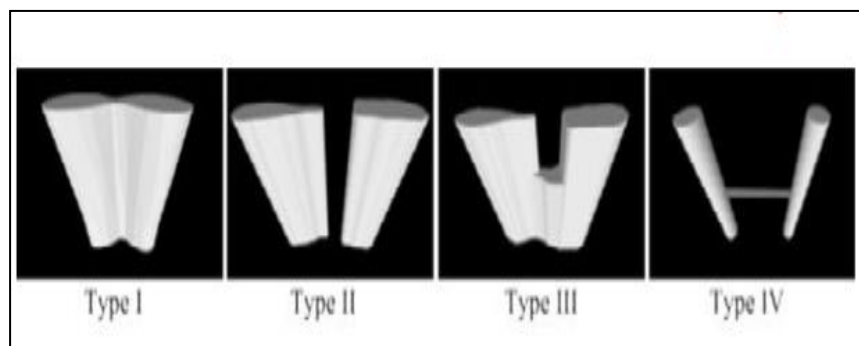


Fig36. :schéma en trois dimensions des quatre types d'isthme selon Fan et Coll.

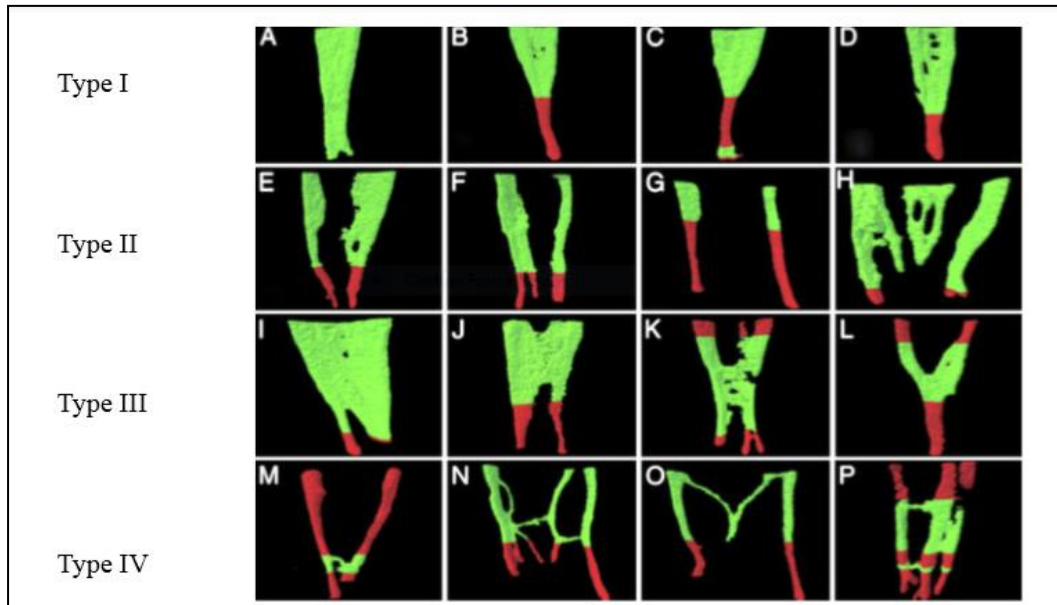


Fig 37: reconstruction en trois dimensions de la morphologie canalaire apicale des racines mésiales des molaires mandibulaires contenant des isthmes d'après Fan et coll (122). (vue méso-distale ; structures vertes : canaux avec isthmes ; structures rouges : canaux sans isthme).

4-2-2-Feuillets :

Les feuillets sont des zones de rétrécissement ou d'aplatissement pulpaire depuis un canal vers l'extérieur de la racine. Contrairement aux isthmes, ils n'aboutissent pas à un autre canal. Ces extensions pulpaires peuvent concerner n'importe quelle dent et n'importe quel canal. Comme les isthmes, ils sont difficiles voire impossibles d'accès. (120).

4-2-3-Les canaux en « C » :

4-2-3-1-Description générale :

Les canaux en « C » sont des variations anatomiques que l'on retrouve le plus souvent au sein des deuxième molaires mandibulaires. Ils ont été décrits pour la première fois par Cooke et Cox en 1979 (125). Leur nom vient de la forme particulière de leur anatomie canalaire qui, sur une coupe transversale de leur racine, ressemble à la lettre « C », au moins dans sa partie coronaire (Fig38). Leur

caractéristique anatomique principale est la présence d'un voile ou d'un ruban de connexion qui relie les canaux radiculaires principaux (Fig 41).(125)

La morphologie interne du canal reflète souvent le contour externe des racines (126). Les canaux en « C » existent sur les dents qui présentent une seule racine en « carotte » (127) ou des racines fusionnées. La fusion des racines se fait principalement du côté vestibulaire. Il en résulte sur la face linguale de la racine, un sillon longitudinal (ou ligne de fusion) plus ou moins profond. Deux sillons peuvent être présents de chaque côté de la racine mais le sillon lingual est généralement le plus profond (128,129)

L'étiologie des canaux en « C » est l'échec de la gaine de Hertwig à fusionner sur la face linguale ou vestibulaire au moment de la rhizagénèse (130)

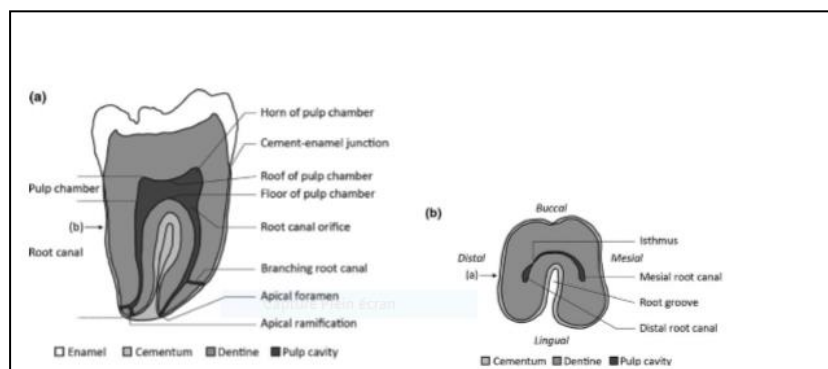


Figure 38: schéma d'une molaire mandibulaire humaine présentant un canal en « C » d'après Kato et al (a) : coupe sagittale de la dent entière ; (b) :coupe transversale au niveau du plancher de la chambre pulpaire)



Fig 39: schéma simplifié représentant l'anatomie d'un canal en « C » (canal en « C » continu de la chambre pulpaire à l'apex) d'après Pathway of the Pulpe (131).

Ces illustrations sont purement schématiques (Fig 38-39), car les canaux en « C » sont sujets au polymorphisme. Un canal en « C » régulier et continu sur toute la longueur de la racine serait une exception plutôt que la règle. Les canaux en « C » constituent de véritables défis cliniques pour le praticien tant pour le débridement que pour l'obturation du système canalaire. Il existe de grandes variations anatomiques au sein d'une même dent (130).

4-2-3-2-classification des canaux en « c » :

4-2-3-2-1- Classification de Melton :

Melton a défini 3 catégories de canaux en « C » en fonction de leur configuration sur des coupes axiales. Ces catégories servent encore aujourd'hui en référence dans la littérature. Dans la catégorie I, le canal en « C » est continu sur toute la largeur mésio-distale, il n'y a pas de séparation par de la dentine. La catégorie II est encore décrite comme la configuration en « point-virgule ». La dentine a séparé un canal distinct du canal en « C ». Le plus souvent, c'est le canal mésio-lingual qui est séparé (130). La catégorie III se caractérise par le fait que 2 ou plusieurs éléments distincts sont séparés par de la dentine. C'est la catégorie la plus fréquente (117)

4-2-3-2-2-Classification de Fan :

En 2004, avec l'utilisation du cone beam dans les études sur les canaux en « C », Fan et coll., ont créé une classification des canaux en « C » plus détaillée, utilisée dans les études les plus récentes. Cette classification distingue plus précisément les catégories II et III de Melton (Fig 42) (128).

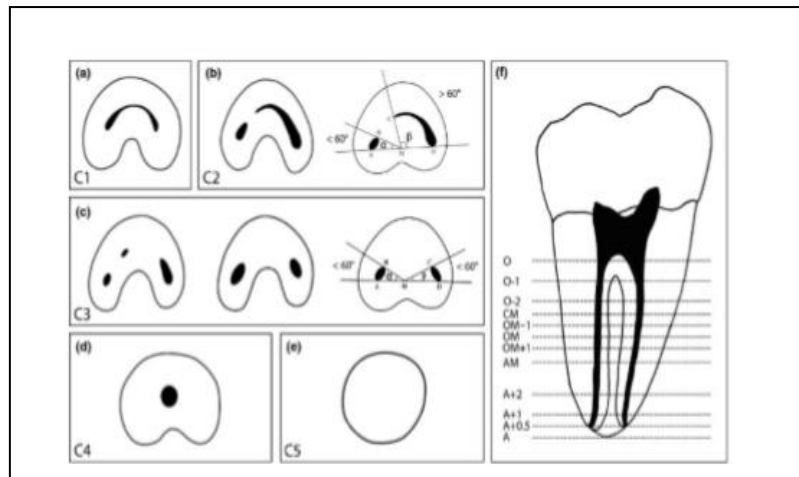


Fig 40: classification des canaux en « C » d'après Fan B. et coll.(128).

- (a) C1: canal radiculaire sous la forme d'un « C » ininterrompu
- (b) C2: canal radiculaire en forme de point-virgule, avec un angle α plus petit et un angle β supérieur à 60° .
- (c) C3: canal radiculaire sous forme de canaux séparés, avec des angles α et β inférieurs à 60°
- (d) C4: canal radiculaire simple ou ovale.
- (e) C5: absence d'une lumière du canal radiculaire.

(f) Une dent humaine est définie comme possédant un canal en « C » si une ou plusieurs des sections transversales présentent des configurations C1, C2 ou C3.

Cette classification a pour intérêt clinique de faire la différence entre une configuration de type C2 où l'un des canaux s'étend dans la zone de l'isthme et une configuration C3 où les canaux sont distincts. La configuration C2 est plus difficile à traiter endodontiquement. (Fig 43) (128).

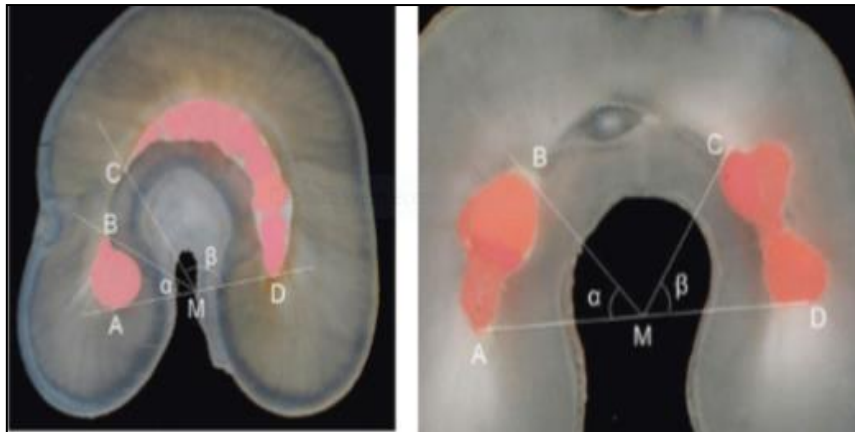


Fig 41 : différence clinique entre la configuration C2 (à droite) et C3 (à gauche) sur des coupes transversales du tiers coronaire de molaires mandibulaire en "C" traitées endodontiquement d'après Ordinola-Zapata et coll. . (135).

Il a été montré qu'un canal en « C » était considéré comme tel, s'il présentait ces trois caractéristiques cliniques :

- des racines fusionnées ou proches l'une de l'autre avec des communications intercanalaires ;
- la présence d'un sillon longitudinal sur la face vestibulaire ou linguale ;
- au moins une section transversale correspondant à la configuration C1, C2, ou C3.

4-2-3 -3 Dents et canaux concernés par la configuration en « C » :

Les canaux en « C » sont retrouvés le plus souvent dans les deuxièmes molaires mandibulaires qui possèdent une seule racine ayant elle-même un contour en « C », ou des racines fusionnées. Des études ont rapporté qu'on pouvait aussi les détecter dans les incisives latérales maxillaires (136 ,137), les molaires maxillaires (147,148,145,150,151,152,153), les premières molaires mandibulaires (138,139 ,140)et les prémolaires mandibulaires (141,122,123,142,143,144,145,146).

4-2-3-4-Problématiques cliniques posées par les canaux en « C » lors de la détermination de la longueur de travail :

4-2-3-4-1-Cavité d'accès et identification des entrées canalaire :

Les deuxièmes molaires mandibulaires présentent habituellement une cavité d'accès de forme triangulaire, ou trapézoïdale s'il existe un deuxième canal distal (Fig 42)(131).



Fig 42 : cavité d'accès des deuxièmes molaires mandibulaires (à gauche : schématisation d'après Pathway of the pulp (130) à droite : vue clinique)

Dans les molaires mandibulaires en « C », la chambre pulpaire ne présente pas plusieurs entrées canales distinctes mais une seule entrée en forme de ruban formant un arc de 180° du canal distal au canal mésial (Fig 45). Les canaux mésiaux et distaux sont proches l'un de l'autre avec un isthme en forme de « C » les reliant



Fig 43: cavité d'accès des deuxièmes molaires mandibulaires avec des entrées canalaire en "C" (à gauche : schématisation d'après Pathway of the pulp (127), au centre : vue clinique, à droite : photographie prise au microscope opératoire d'après Kato et coll.(130).

Le plancher pulpaire qui se situe habituellement au niveau de la jonction amélocémentaire, est plus profond sur des canaux en « C », rappelant le taurodontisme (155)

La chambre pulpaire est donc profonde et étroite, ce qui réduit la visibilité du site. Des calcifications de la chambre pulpaire ou des pulpolithes peuvent masquer l'aspect en « C » de l'entrée canalaire (156, 129). Il est donc important d'aménager avec soin cette cavité d'accès qui peut varier considérablement et dépend de la morphologie pulpaire elle-même (130). En 2004, Min. et coll. ont étudié plus précisément la morphologie du plancher de la chambre pulpaire des canaux en « C » en scannant par micro tomographie des molaires extraites avec des racines en forme de « C » (160). De cette étude, il ressort que : le plancher pulpaire se trouve en moyenne à 3 mm sous la jonction amélo-cémentaire (128). La plupart des dents avec des racines en forme de « C » ont également un plancher pulpaire en forme de « C », mais pas toutes, ce qui complique le diagnostic. La seule présence d'un plancher pulpaire en forme de « C » ne permet pas d'affirmer que la configuration en « C » se retrouvera sur toute la longueur du canal. Des variations de la morphologie du plancher ont été observées et classées en 4 catégories (Fig 44).

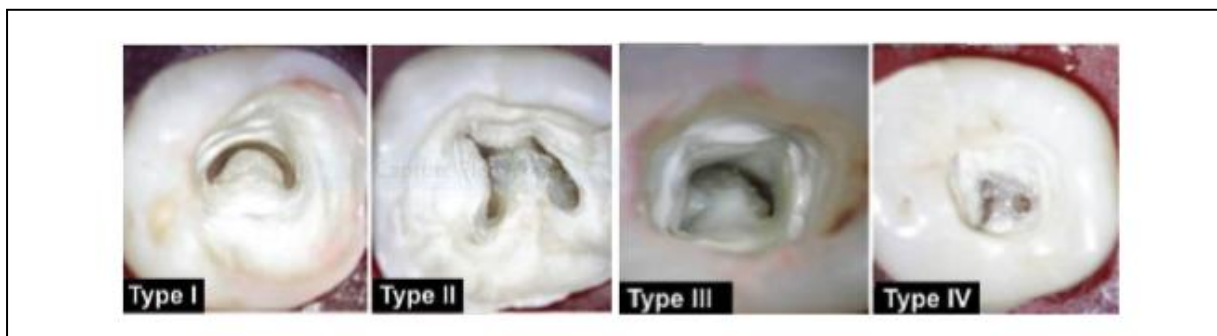


Fig 44: classification des planchers pulpaires de Min et coll., vues cliniques d'après Chhabra et coll (159)

Grâce à l'anatomie du plancher pulpaire, il est possible de prédire l'anatomie canalaire sous-jacente. Pour les types II et IV, l'anatomie canalaire est semblable à celle des deuxièmes molaires mandibulaires à deux racines, c'est-à-dire, deux canaux mésiaux qui peuvent se rejoindre et un canal distal ovalaire. Pour les types I et III, l'anatomie sera plus complexe avec la présence d'un isthme. Au niveau apical, ces canaux pourront se diviser (157) . Lors de la réalisation de la cavité d'accès, un canal supplémentaire en mésio-lingual est à rechercher. Cette recherche doit se faire avec beaucoup de prudence car il se trouve dans une zone où le risque de perforation est élevé (132,153).

4-2-3-4-2-Inconfort du cathétérisme :

Le cathétérisme permet l'exploration et la perméabilisation du système canalaire avant la mise en forme. L'objectif de cette phase n'est pas d'atteindre directement la longueur de travail mais de recueillir des informations sur l'anatomie du canal. Le cathétérisme se fait progressivement et passivement, avant et après l'élargissement des deux tiers coronaires jusqu'à la zone apicale. Le cathétérisme manuel est réalisé avec des limes en acier. Ce sont les limes K de diamètres 08, 10 ou 15. Elles doivent être pré-courbées pour explorer les irrégularités du système canalaire. Lorsqu'une lime de cathétérisme est introduite dans le canal en « C », elle tend à sortir du côté distal. D'après Riccucci, il est judicieux pour explorer l'isthme et la partie mésiale, de mettre une lime de gros diamètre dans le canal distal avant d'explorer le reste du système canalaire (159). Le cathétérisme mécanisé, aussi appelé « glide path » est réalisé après l'exploration et la perméabilisation relative du système canalaire par des limes manuelles en acier (08 ou 10). Il est mené à bien avec des limes avec Ni-Ti de faible diamètre et de faible conicité qui s'utilisent en rotation continue. Ces instruments ont pour vocation de sécuriser la trajectoire canalaire en élargissant les canaux avant la mise en forme proprement dite. Ils limitent ainsi les risques de butées, de fracture instrumentale et de bouchons dentinaires. Le concept de « glide path » semble diminuer l'apparition de douleurs post-opératoires. Il est intéressant dans la préparation des canaux calcifiés, courbes ou étroits. A titre d'exemple, il existe les PathFiles[®] (Dentsply-Maillefer) , les Proglider[®] (Dentsply-Maillefer), G-files[®] (Micro Mega) et les Scout race[®] (FKG). Ces instruments présentent un intérêt certain dans le traitement des canaux courbes en permettant aux instruments de préparation canalaire de mieux se centrer dans le canal et d'éviter les fausses routes (160). Les variations anatomiques que présentent les canaux en « C » comme les isthmes ou les canaux latéraux rendent le passage direct des instruments en Nickel-Titane compliqué. Dans le cas des canaux en « C », le cathétérisme mécanisé permet de sécuriser et faciliter le trajet des instruments rotatifs

Le cathétérisme est compliqué par l'étroit ruban de connexion entre les canaux principaux. La présence d'isthmes, de fusions dentinaires et de calcifications empêche les instruments de passer de mésial en distal sans obstructions. (130) Les

variations de configurations le long du canal gênent le passage des instruments. Le cathétérisme est souvent incomplet. Des canaux peuvent ne pas être précisément localisés. La plupart des canaux en « C » présente une division des canaux dans la racine, plus particulièrement au tiers apical où la prévalence des bifurcations canalaires dans cette zone est de 34%. Quarante-vingt-dix pourcent des divisions canalaires au tiers apical ne sont pas détectées (165). Lors du cathétérisme des canaux en « C », les instruments paraissent perforer la furcation.



Fig 45: lime de cathétérisme mécanisé: les PathFiles Ø (Dentsply-Maillefer)(166)

4-2-3-4-3-Zone dangereuse :

4-2-3-4-3-a-Zone de fragilité des molaires mandibulaires en « C » :

Une zone de fragilité a pu être identifiée grâce à plusieurs études sur des molaires mandibulaires : c'est la zone de concavité du « C », en regard de la ligne de fusion (133,155,163). C'est une zone où l'épaisseur de dentine qui sépare la pulpe du milieu extérieur peut faire moins de 1 mm. Le risque de perforation est élevé dans cette zone, pendant le traitement endodontique ou lors de la réalisation d'un logement canalaire (164). En regard de cette ligne de fusion, la limite entre la dentine radulaire et le ciment est difficilement discernable (Fig 46). Le risque de perforer le ciment lors de la préparation canalaire est élevé.



Fig 46: zone de danger des secondes molaires mandibulaires en « C ».

Il est important de pouvoir localiser l'épaisseur minimale de dentine car c'est la zone de faiblesse de la racine. Elle est sujette aux fractures et aux perforations.

Des scientifiques ont mesuré l'épaisseur des parois des canaux en « C » sur des échantillons de deuxièmes molaires mandibulaires (133,153,163). Pour ce faire, ils ont réalisé des coupes transversales à plusieurs niveaux de la racine et ont mesuré l'épaisseur minimale de dentine et sa localisation. Au niveau coronaire, médian et apical, la largeur de dentine la plus faible concerne la paroi linguale. Les parois vestibulaires et linguales étaient toujours plus fines en mésial (133). Au tiers coronaire, l'épaisseur minimale moyenne de dentine était de 0,9 mm.

L'élargissement du tiers coronaire doit se faire avec précaution. Cette paroi faible contre indique la pose d'un ancrage radiculaire. Au tiers moyen, l'épaisseur minimale moyenne en regard de la paroi linguale est inférieure à 0,5 mm et au tiers apical à 0,3 mm. Or la résultante des forces de compaction pendant l'obturation sur une épaisseur restante de 0,2-0,3 mm peut entraîner une fracture de la racine (153,163). La zone de danger des molaires mandibulaires avec des canaux en « C » se situe au niveau de leur paroi linguale, plus particulièrement en mésio-lingual (Fig 47).

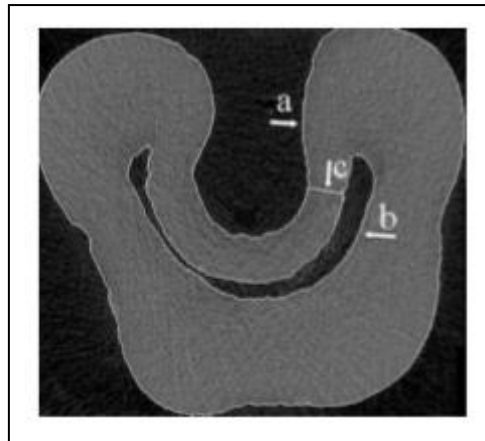


Fig 47: image μ -CT d'une coupe transversale au tiers moyen de la racine d'une deuxième molaire mandibulaire d'après Gao et coll. Peu de dentine sépare le canal radiculaire de la surface externe de la racine (a : surface externe de la racine, b : paroi interne du canal, c : paroi avec l'épaisseur minimale) (163).

4-2-3-4-3-b-Zone de fragilité des prémolaires mandibulaires en « C » :

La zone de danger au niveau des prémolaires avec un canal en « C » se situe aux niveaux des parois proximales. Ce sont des dents étroites. L'épaisseur de dentine la plus faible se trouve au niveau de la paroi mésiale. Selon une étude de Fan B. et coll, l'épaisseur de la paroi mésiale est en moyenne de 1 mm au niveau de la jonction amélocémentaire. Elle décroît en direction apicale jusqu'à atteindre 0,64 mm en moyenne. L'épaisseur minimale de dentine trouvée dans la région apicale était de 0,17 mm et concernait la paroi mésiale. La profondeur du sillon lingual et sa proximité avec l'isthme en font également une zone de danger (Fig 48) (123,144) Ces zones de danger sont extrêmement importantes à prendre en compte lors de la mise en forme canalaire et la restauration post-endodontique. Le risque de perforation est encore plus élevé sur les prémolaires que sur les molaires mandibulaires en « C ». L'utilisation d'instruments mécaniques de manière agressive en direction d'une paroi de faible épaisseur entraîne rapidement une perforation de la racine.

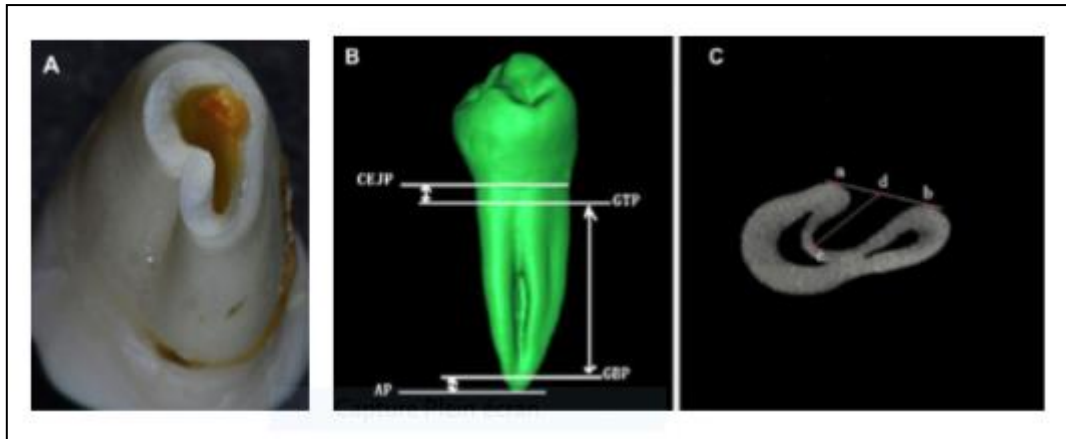


Fig 48: première prémolaire mandibulaire avec un canal en "C" :.

A : vue apicale d'une première prémolaire mandibulaire immature.

B : vue linguale de la reconstruction 3D d'une prémolaire mandibulaire présentant un sillon palatin d'après Chen et al. (153).

C : coupe transversale de micro-CT au tiers moyen de la racine réalisée par Chen et al. (153).

4-2-3-4-4-Zone apicale complexe :

La zone apicale est toujours compliquée à gérer mais peut-être un peu plus dans le cas des canaux en « C » (Fig 49). Manning a étudié l'anatomie des canaux en « C » de 19 deuxième molaires mandibulaires. Il relève que l'ensemble de ces dents possèdent une zone apicale complexe. Souvent, le foramen apical principal ne se situe pas à l'apex anatomique mais plutôt latéralement. Des deltas apicaux sont identifiés sur 16 des 19 molaires avec canal en « C » (165).

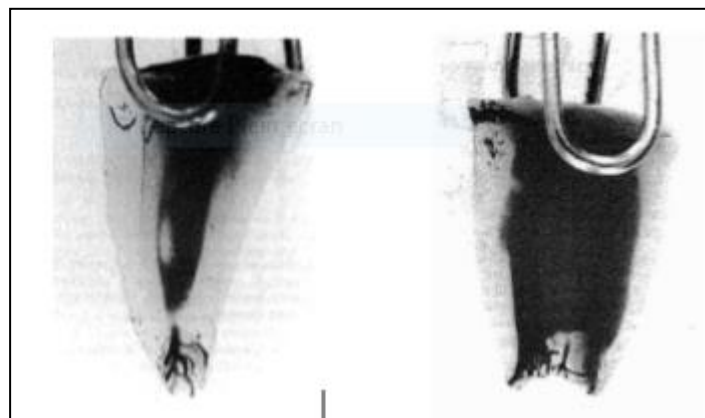


Fig 49: deltas apicaux de canaux en C de deuxième molaires mandibulaires d'après Manning (165).

Les secondes molaires mandibulaires avec un canal en « C » présentent de nombreuses variations dans la configuration du canal, mais leur partie apicale est certainement la plus variable avec une configuration imprévisible (Fig 52). Dans une étude menée en 2004 par Seo et al. (166), l'objectif est de définir quelle catégorie de Melton est la plus fréquente dans la région apicale. Il en ressort qu'il n'y a pas de différence significative entre les incidences des trois catégories. Les canaux en forme de « C » continu (catégorie I de Melton) ou en points-virgules (catégorie II de Melton) à l'entrée canalaire ont une forte possibilité d'être divisés en deux ou trois canaux dans la région apicale (Fig48).



Fig 48: micro-CT scan des 5 mm apicaux d'un système canalaire en « C » d'après Cheung et coll. (167).

En 2007, Cheung et coll. réalisent une étude de l'anatomie apicale des canaux en « C ». Ils utilisent la micro-tomographie assistée par ordinateur avec des reconstructions en trois dimensions des morphologies apicales des molaires scannées. Ils étudient les 5 mm apicaux de 44 deuxièmes molaires mandibulaires, et rapportent la présence de plusieurs structures anatomiques particulières. Quarante et un pourcents de ces molaires possèdent un ou plusieurs canaux accessoires (Figure 51A). Vingt-cinq pourcents possèdent au moins un canal latéral (Figure 51B). Vingt-sept pourcents ont des isthmes. Onze pourcents présentent un delta apical. La prévalence des foramina accessoires est de 48%. Ils concluent que la prévalence des canaux accessoires et des isthmes augmente fortement dans les 5 mm apicaux. La présence de foramina multiples va compliquer la phase d'obturation.

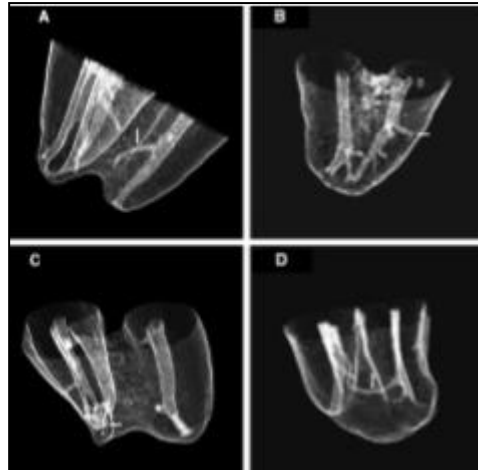


Fig 51: modèles en trois dimensions des anatomies remarquables dans la zone apicale des canaux en « C » d'après Cheung et coll (165).

Il a été montré que l'essentiel des échecs de traitements étaient dû à la persistance de bactéries au niveau apical (166). Malgré les variations et obstacles anatomiques que présente la zone apicale des canaux en « C », il est nécessaire que la préparation canalaire atteigne cette zone afin de permettre à la solution d'irrigation de désinfecter l'ensemble du système canalaire complexe de l'apex pour éviter la persistance de bactéries

4-2-3-4-5-Détermination de la longueur de travail :

La constriction apicale constitue le point final idéal du traitement endodontique. Elle se situe à 0,5-1 mm du foramen principal. Des mesures pré-opératoires prises sur une radiographie en incidence orthogonale donnent une indication de la longueur de travail. La radiographie lime en place peut confirmer la longueur de travail définitive avec une lime de cathétérisme introduite dans le canal à partir d'un repère coronaire fiable. Cependant, cette limite est souvent compliquée à appréhender radiographiquement car le foramen apical peut se situer latéralement à plus de 3 mm de l'apex anatomique. Ceci est encore plus vrai sur les canaux en « C » qui possèdent un pourcentage élevé de foramina multiples (167). La radiographie lime en place n'est pas la méthode la plus fiable pour déterminer la longueur de travail car les superpositions anatomiques créent un biais d'interprétation. Le localisateur

électronique d'apex (LEA) est une aide précieuse dans la détermination de la longueur de travail du traitement endodontique d'un canal en « C ». Il respecte la constriction apicale, contrairement à la radiographie lime en place qui a tendance à sur-instrumenter le canal mésio-vestibulaire (170). La détermination de la longueur de travail se fait de préférence après la préparation des deux tiers coronaires du canal. L'accès au tiers apical est facilité par la suppression des contraintes coronaires et les mesures du LEA n'en seront que plus précises.

4-2-4-La localisation du foramen apical :

Le foramen apical ne s'ouvre pas toujours au sommet de l'apex. Selon Kuttler, ces deux structures concordent chez 32% des 18-25 ans et seulement chez 20% des plus de 55 ans. De plus, la déviation moyenne est de 0,495 mm chez le sujet jeune et de 0,607mm chez le senior, mais cette déviation peut atteindre 2 à 3 mm (169). Le foramen apical se trouvait au sommet de la racine dans 40% à 60% des cas selon différentes études (Fig 52). Les autres orientations plus fréquentes étaient vestibulaires puis distales (172,173,174).

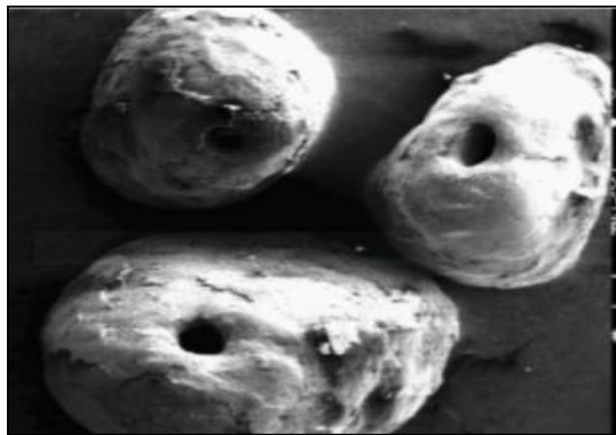


Fig 52. Photo par microscope électronique des différentes positions du foramen apical (173).

Cliniquement, une orientation vestibulaire du foramen apical peut provoquer des erreurs de mesures canalaires pouvant aller jusqu'à 2 ou 3 mm alors qu'au niveau radiographique, la mesure peut sembler correct (173). L'utilisation de méthodes auxiliaires telles que les mesures électroniques ou le CBCT devront être envisagées.

4-3- Courbure et coudure des racines dentaires:

-Le traitement endodontique des canaux à forte courbure présente des difficultés opératoires du cathétérisme à l'obturation. (179)

Il existe :

-des courbures canalaires (ex : canaux mésiaux des molaires inférieures, vestibulaires des molaires supérieures, canaux des incisives inférieures des premières prémolaires supérieures)

-des coudures apicales (la plus part des canaux sont déviés distalement sur leurs derniers millimètres apicaux).

Ces courbures sont autant de difficultés de préparation supplémentaire pour le praticien qui devra les négocier sans être iatrogène et sans casser l'instrument(176)

Schilder (175) a souligné que le canal radiculaire devrait présenter une forme de fusée de l'apex à la couronne, préserver le foramen apicale et ne pas altérer la courbure originale du canal. Plusieurs techniques d'instrumentation ont été développées pour faire la préparation du canal radiculaire plus facile et plus efficace surtout après le développement d'instruments en nickel-titane(180).

La méthode actuelle pour déterminer la courbure de la racine est facile, reproductible et efficace, particulièrement lors de l'utilisation d'images CBCT. La connaissance de la courbure des racines permet une planification plus précise de l'instrumentation du canal radiculaire et minimise l'impact des effets des difficultés anatomiques et les limitations des instruments de l'endodontie. Cette méthode permet la maintenance des courbes associées aux formes coniques continues et prévient les déformations structurelles des instruments endodontiques.

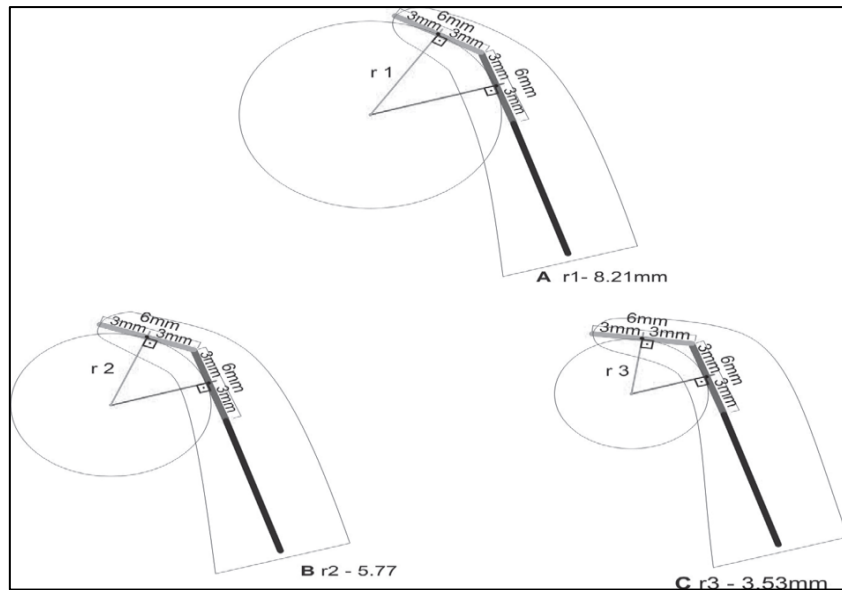


Fig 53 : Méthode de SHNEIDER : :Le rayon de courbure de racine est basé sur 3 points mathématiques qui peuvent être déterminés dans les directions apicales et coronales. Le rayon de courbure compte tenu des deux lignes de 6 mm de bissectrice qui sont classés comme : petit rayon ($r \leq 4$ mm) ; courbure sévère; Intermédiaire rayon ($r > 4$ et $r \leq 8$ mm): courbure modérée; et grand rayon ($r > 8$ mm): courbure légère.

- Description de la méthode de SHNEIDER :

La méthode proposée pour déterminer la courbure du rayon du canal radiculaire recourbé utilise deux bissectrices de 6 mm des lignes superposées au canal radiculaire, ligne primaire (gris clair) étant celle qui représente la continuité la plus longue de la région apicale et la ligne secondaire (gris foncé) étant celle qui représente les tiers du milieu et du col coronaire. Quelle que soit la longueur de la ligne secondaire, seuls les 6 mm les plus proches la ligne primaire sont utilisés pour mesurer. Le point médian de chaque ligne de bissectrice est déterminé. A partir de cet endroit, deux lignes perpendiculaires aux lignes de bissectrice sont dessinées jusqu'à ce qu'ils se rencontrent à un point central, qui est nommé circumcentre. La distance entre le circentre et le Centre de chaque ligne de bissectrice est le rayon de la circonférence (180), ce qui détermine l'amplitude de la courbe. Les lignes de bissectrice peuvent être plus courtes, si nécessaire. Dans les images à haute résolution, telles que les scans CBCT, la mesure du rayon de courbure de la racine peut être obtenue par le circentre. Basé sur 3 points mathématiques déterminés à l'aide d'un logiciel appelé Planimp informatique, Cuiabá, MT, Brésil), le rayon de la courbure de la racine peut être calculé en directions apicale et coronaire. Cette

méthode assistée par des images CBCT peut bénéficier de la planification du traitement endodontique et la préparation de canaux radiculaires incurvés. Les valeurs du rayon de courbure de racine considérant les deux lignes semistraight de 6 mm sont classées comme suit: petit rayon ($r \leq 4$ mm): courbure sévère; Intermédiaire rayon ($r > 4$ et $r \leq 8$ mm): courbure modérée; Et grand rayon ($r > 8$ mm): (182)

5-CONSEQUENCES D'ECHEC DE DETERMINATION DE LA LONGUEUR DE TRAVAIL :

Une mauvaise détermination de la longueur de travail peut affecter la cicatrisation post-traitement endodontique. Une étude récente (182) a démontré que la réussite d'un traitement endodontique était principalement dû à l'absence de contamination bactérienne et à l'élimination suffisante du tissu nécrotique. Il a également été conclu que la réduction de la charge bactérienne était fortement influencée par une détermination précise de la longueur de travail.

5-1-Sous évaluation de la longueur de travail :

Une sous-instrumentation, soit une limite apicale bien trop coronaire par rapport à la constriction apicale, entraînera la persistance de tissus pulpaire, de tissus nécrotiques, à un espace vide dans la zone apicale. Cela peut amener à une inflammation des tissus péri-apicaux et provoquer une parodontie apicale. Des taux de réussites nettement inférieurs ont été observés lors d'une sous-instrumentation, notamment dans le cas d'une parodontite apicale, par rapport au cas où la longueur de travail était atteinte (183).

5-2-Sur évaluation de la longueur de travail :

La sur-instrumentation provoque une rupture de la constriction apicale, l'extrusion de débris au-delà de l'apex et une absence de stop apical. Ainsi un moment de l'obturation, on augmente le risque de sur-obturation et de sur-extension. Dans le 1er cas, des douleurs post-opératoires peuvent survenir mais l'intégralité du système canalaire est obturé. Il s'agit d'un dépassement de ciment. Dans le deuxième cas, l'obturation apicale n'est pas étanche et le cône de gutta-percha provoque une inflammation persistante du péri-apex pouvant évoluer vers un échec de traitement.

L'utilisation de dispositifs intégrant un localisateur d'apex et une pièce à main d'endodontie permettraient un monitoring permanent de la longueur de travail sans craindre de sur-instrumentation. Ces appareils permettent de stopper la rotation de la lime en NiTi à un point estimé comme étant l'apex. En cela, les localisateurs d'apex intégrés à un moteur d'endodontie éliminent la nécessité de maintenir la

longueur de travail avec plusieurs limes et la nécessité d'un point de référence sur la dent (183).

6-DISCUSSION:

Une des étapes fondamentales du traitement endodontique correspond à la détermination de la longueur de travail qui peut être particulièrement difficile dans certaines situations cliniques. L'étude de Chugal et coll. montre que pour les dents infectées, la longueur de travail est un facteur qui influence significativement le taux de succès. (8)

L'anatomie apicale est complexe, plusieurs tissus de nature différente se superposent et la limite du traitement endodontique est sujette à discussion. Dans l'école scandinave, il est conseillé de rester à distance de 1 à 2 mm de la constriction apicale préalablement repérée. Alors que dans l'école dite américaine, la constriction apicale est considérée comme la limite apicale de préparation. En effet, dans la littérature scientifique, aucune de ces deux techniques ne démontre sa supériorité en termes de succès. Néanmoins, il est constaté que la totalité des systèmes de mise en forme distribués aujourd'hui sur le marché dentaire sont fondés sur l'obtention d'une conicité et sur le maintien d'un foramen étroit. Ces systèmes ont donc été élaborés à partir de l'école de pensée américaine et leur utilisation doit donc en respecter les concepts (17)

La méthode de détermination de la longueur de travail doit être précise, facile et d'application rapide, elle doit prévenir toute irradiation supplémentaire, son utilisation doit être confortable pour le praticien et le patient et d'un coût raisonnable. Aucune méthode ne peut satisfaire tous ces critères. Il faut réaliser des mesures répétées au cours du traitement avec différentes techniques, tel que la radiographie, le localisateur d'apex et le cône de papier.(14)

Des études cliniques et de laboratoire ont montré qu'une détermination de la LT utilisant un LEA est plus précise et fiable qu'une détermination radiographique, de plus, la technique de détermination électronique est plus rapide, et puisqu'elle n'expose pas aux radiations ionisantes, elle peut être utilisée pendant ou après les procédures endodontiques pour confirmer la limite apicale.(82)

L'utilisation des localisateurs d'apex seuls sans radiographie préopératoire et postopératoire n'est pas une pratique recommandée en raison de la grande variation de la morphologie de la dent et des exigences en matière de tenue des dossiers

médico-légaux. El Ayouti et al. (2001) ont constaté que le seul calcul des longueurs radiographiques de travail conduisait à une instrumentation au-delà du foramen apical chez 56% des prémolaires et 33% des molaires. Ils ont ensuite constaté que l'utilisation de Root ZX avait permis de réduire à 21% la surestimation de la longueur de travail du groupe prémolaire (ElAyouti et al. 2002). L'utilisation correcte d'un localisateur d'apex calibré éviterait la nécessité de radiographies ultérieures simplement pour confirmer ce que le clinicien sait déjà (Clarke 2003, communication personnelle).(4)

Aucune technique individuelle n'est vraiment satisfaisante pour déterminer la longueur de travail endodontique. La connaissance de l'anatomie apicale, l'utilisation prudente des radiographies et l'utilisation correcte d'un localisateur d'apex électronique aideront les praticiens à obtenir des résultats prévisibles.(85)

7-CONCLUSION :

La détermination de la LT est un moment délicat pour l'odontologiste, car son résultat conditionne le succès du traitement endodontique. privé de control visuel , il doit s'en remettre à la technologie.

La diversité des techniques aux quelles nous avons recours et la répétition des mesures nous assure de déterminer la LT avec la plus grande précision.(2)

L'inconvénient de la méthode radiographique est qu'elle ne tient pas compte de certains foramina déviés par rapport à l'apex, ce qui peut conduire à des préparations et à des obturations au-delà du foramen. Ainsi la JCD qui est la limite apicale du canal radiculaire ne peut être déterminée radiographiquement. (14)

Les LEA offrent une réelle alternative, car les mesures qu'ils délivrent ne sont pas influencées par la position du foramen. La technique apporte, en outre, un gain de temps et un meilleur confort pour le patient. La méthode du ratio d'impédance représente une avancé en ce qui concerne la précision de ces appareils et elle permet également de s'affranchir en grande partie de l'influence du contenu canalaire. (17)

Notons tout de même qu'une prise en main ainsi que le respect d'un protocole clinique sont nécessaires à la bonne utilisation de ces appareils .

Cependant, du fait de la législation, Les LEA ne doivent pas être utilisés comme unique moyen de détermination de la LT, mais bien comme l'élément le plus efficace d'un ensemble de techniques d'investigation .

C'est en croisant la mesure du LEA avec les informations apportées par la radiographie que l'odontologiste peut évaluer sa LT. Le succès de cette détermination est le fruit d'un raisonnement effectué à partir de données cliniques et sur lequel l'expérience du praticien joue un rôle important.(1)

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES:

1. PERARD M, LE GOFF A, HINGANT B, LE CLERC J, PEREZ F, VULCAIN J-M, ET AL. Choix de La Limite Apicale Et de La Longueur de Travail. EMC. 2010 ; Odontologie (23-050-A-03).
2. SANDRINE DAHAN. Détermination de la longueur de travail EMC. Décembre 2006.
3. STEPHANE SIMON, PIERRE MACHTOU, NICK ADAMS, PHILLIP TOMSON AND PHILIP LUMLEY. APICAL Limit and Working Length in Endodontics. Avril 2009.
4. M. P. J. GORDON & N. P. CHANDLER. Electronic apex locators. 2004.
5. TORABINEJAD M, WALTON RE, FOUAD A, LEVY G. Endodontie: Principes et pratique. Issy-les Moulineaux: ELSEVIER MASSON; 2016. 512 p.
6. H. M. A. AHMED¹, M. A. VERSIANI², G. DE-DEUS³ & P. M. H. DUMMER⁴. A new system for classifying root and root canal morphology.
7. KASAHARA E, YASUDA E, YAMAMOTO A, ANZAI M. Root canal system of the maxillary central incisor. *J Endod* 1990; **16**:158-61.
8. SANDRINE DAHAN, DIDIER ARONIS ET DOMINIQUE MARTIN. Zone apicale. 2 juin 2010.
9. KUTTLER Y. Microscopic investigation of root apexes. *J Am Dent Assoc* 1939. 1955 May; **50**(5):544-52.
10. IGOR TSEKIS. The precision of Electronic Apex Locators in working length determination: A systematic review and Meta-analysis of the literature
11. ELIASHARRA N PONCE, DDS, AND JOSE ANTONIO VILARFERNA NDEZ, BA, PHD. The Cemento-Dentino-Canal Junction, the Apical Foramen, and the Apical Constriction: Evaluation by Optical Microscopy.
12. GROVE C. A new, simple, standardized technique producing perfect fitting, impermeable root canal fillings, extending to the dento-cemental junction. *Dent Items Interest* 1928; **50**:855-7.
13. PAUL M. H. DUMMER, JOHN H. MCGINN & DAVID G. REES. *Department of Conservative Dentistry, Dental School, Welsh National School of Medicine, Heath Park, Cardiff*. The position and topography of the apical canal constriction and Apical foramen. *International endodontic journal* (1984) **17**, 192-198.
14. WILLIAM T, JOHNSON, DDS, MS. Color atlas of endodontics.
15. Collège National des Enseignants en Odontologie Conservatrice. Dictionnaire francophone des termes d'odontologie conservatrice : endodontie & odontologie restauratrice. 2ème édition. Espace ID; 2010.
16. VERTUCCI FJ. Root canal morphology and its relationship to endodontic procedures. *Endodontic Topics*. 2005; **10**:3-29.
17. STEPHANE SIMON. L'endodontie de A à Z. traitement et retraitement 22.03.2018.
18. WILLIAMS CB, JOYCE AP, ROBERTS S. A comparison between in vivo radiographic working length determination and measurement after extraction. *J Endod*. 2006; **32**(7):624-7.
19. STEPHEN COHEN. Pathways of the pulp. 1976.
20. SIQUEIRA JR JF. Reaction of periradicular tissues to root canal treatment: benefits and drawbacks. *Endod Topics* 2005; **10**:123-47.
21. ROSENBERG DB. The paper point technique, Part 1. *Dent Today* 2003; **22**:80-6.
22. SCARFE WC, LEVIN MD, GANE D, FARMAN AG. Use of cone beam computed tomography in endodontics. *Int J Dent*. 2009; **2009**:1-20.
23. VANDE VOORDE H, BJORN DAL AM. ESTIMATING ENDODONTIC "working length" with paralleling radiographs. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1969; **27**:106.
24. RICUCCI D, PASCON EA, FORD TR, ET AL. Epithelium and bacteria in periapical lesions. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2006; **101**:239-49.
25. RICUCCI D. Apical limit of root canal instrumentation and obturation Part 1. Literature review. *Int Endod J* 1998; **31**:384-93.
26. SCHAEFFER MA, WHITE RR, WALTON RE. Determining the optimal obturation length: a meta-analysis of literature. *J Endod* 2005; **31**:271-4.

27. T. JOHNSON, ANNE E. WILLIAMSON. Isolation du champ opératoire, cavité d'accès endodontique et mesure de la longueur de travail William.
28. EMAD ALSHWAIMI AND ABDUL MAJEED Int J Health Sci (Qassim). Perceived quality, clarity, and accuracy of manually processed and self-developing radiographs in endodontics. 2013 Jun ; 7(2) : 116–123 PMID : PMC3883600 PMID : 24421739.
29. ELLINGSEN MA, HOLLENDER LG, HARRINGTON GW. Radiovisiography versus conventional radiography for detection of small instruments in endodontic length determination: II. In vivo evaluation. J Endod. 1995; 21:516–20. [PubMed]
30. ALOTHMANI OS, ET AL. INT ENDOD J. Influence of clinical experience on the radiographic determination of endodontic working length.. 2013.
31. MCILGORM D. Viewing your digital radiographs: which monitor is best? Br Dent J. 2016; 220(8):393.
32. ILIĆ DV, STOJANOVIĆ LS. Application of radiovisiography (digital radiology) in dental clinical practice. Vojnosanit Pregl. 2012; 69(1):81-4.
33. MANUCHER RAEES SAMEYE A, AMIN MOHAMMAD BAHALKEH A, ARASH IZADI A*, ANIA JAFARYAN. Comparison of Digital Radiography, Conventional Film and Self-Developing Film for Working Length Determination. IEJ Iranian Endodontic Journal 2018 ; 13(3) : 381-384.
34. FARIDA A ET AL. INDIAN J DENT RES. Une comparaison entre la radiographie conventionnelle et numérique dans la détermination de la longueur de travail du canal radiculaire. 2013 mars-avril
35. LEDDY BJ, MILES DA, NEWTON CW, BROWN CE. Interpretation of endodontic file lengths using radiovisiography. J Endod. 1994; 20(11):542-5.
36. SHEARER A, HORNER K, WILSON N. Radiovisiography for imaging root canals: an in vitro comparison with conventional radiography. Quintessence Int. 1990; 21(10).
37. MARTÍNEZ-LOZANO M, FORNER-NAVARRO L, SÁNCHEZ-CORTÉS J, LLENA-PUY C. Methodological considerations in the determination of working length. Int Endod J. 2001; 34(5):371-6.
38. FORSBERG J (1987a) A comparison of the paralleling and bisecting-angle radiographic techniques in endodontics. International Endodontic Journal 20, 177–82.
39. SHEAFFER J, ELEAZER P, SCHEETZ J, CLARK S, FARMAN A (2003) Endodontic measurement accuracy and perceived radiograph quality: effects of film speed and density. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontics 96, 441–8.
40. E. WALTON, ASHRAF F. FOUAD. Radiographie endodontique Richard.
41. . M.E. CHOUIER .la radiologie en médecine dentaire. 2002.
42. KATZ A, TAMSE A, KAUFMAN AY. Tooth length determination: A review. Oral Surg Oral Med Oral Pathol. 1991 ; 72(2) : 238-42.
43. WHITE SC, PHAROAH MJ. Oral radiology-e-book: principles and interpretation. Elsevier Health Sciences; 2014.
44. Comparison of paralleling and bisecting angle techniques. Pakistan Oral & Dental Journal Vol 33, No. 1 (April 2013).
45. OLSON AK, GOERIG AC, CAVATAIO RE, ET AL. The ability of the radiograph to determine the location of the apical foramen. Int Endod J 1991; 24:28-35.

46. ELAYOUTI A, WEIGER R, LÖST C. Frequency of overinstrumentation with an acceptable radiographic working length. *J Endod.* 2001 Jan;27(1):49–52.
47. M. H. NEKOOFAR^{1,2}, M. M. GHANDI³, S. J. HAYES² & P. M. H. DUMMER². REVIEW The fundamental operating principles of electronic root canal length measurement devices:doi:10.1111/j.1365-2591.2006.01131.x.
48. LEVY AB, GLATT L. Deviation of the apical foramen from radiographic apex. *J N J Dent Soc* 1970;41:12-3. Best EJ, Gervasion WR, Sowle JT, Winter KL, Gurney
49. T. A. LARHEIM AND S. EGGEN, OSLO, NORWAY. Determination of tooth length with a standardized paralleling technique and calibrated radiographic measuring film DEPARTMENT OF ORAL RADIOLOGY, DENTAL FACULTY, UNIVERSITY OF OSLO. 1979
50. KIARUDI AH, EGHBAL MJ, SAFI Y, AGHDASI MM, FAZLYAB M. The applications of cone beam computed tomography in endodontics: a review of literature. *Iran Endod J.* 2015;10(1):16-25.
51. Ordonnance du 28 mars 2001 modifiant l'article 1333-1 du Code de la Santé publique.
52. HAS. Traitement endodontique. Rapport d'évaluation technologique. Haute Autorité de Santé; 2008.
53. CAVEZIAN R, PASQUET G. Cone beam : Imagerie diagnostique en odontostomatologie: Principes, résultats et perspectives. Elsevier Masson; 2012. 394 p.
54. HODEZ C, BRAVETTI P. Imagerie dento-maxillo-faciale par faisceau conique : "Cone Beam": Journée de Nancy du 13 mars 2010. Sauramps médical; 2010. 251 p.
55. DURACK C, PATEL S. Cone beam computed tomography in endodontics. *Braz Dent J.* 2012;23(3):179-91.
56. HODEZ C, BRAVETTI P. Imagerie dento-maxillo-faciale par faisceau conique : "Cone Beam": Journée de Nancy du 13 mars 2010. Sauramps médical; 2010. 251 p
57. MARTIN-DUVERNEUIL N, RUHIN B. "Cone Beam CT": techniques et principales indications en imagerie dento-maxillo-faciale chez l'adulte. *Radiol Imag Médicale-Musculosquelettique-Neurol-Maxillofac.* 2014;9((2)):1–11p.
58. G. PASQUET RC. Moyens diagnostiques en imagerie odonto-stomatologique cone beam : résultats. *J Radiol - J RADIOL.* 2009;90(5):618–23.
59. SCARFE WC, FARMAN AG. What is Cone-Beam CT and How Does it Work? *Dent Clin North Am.* 2008 Oct;52(4):707–30.
60. KIARUDI AH, EGHBAL MJ, SAFI Y, AGHDASI MM, FAZLYAB M. The applications of cone beam computed tomography in endodontics: a review of literature. *Iran Endod J.* 2015;10(1):16-25.
61. NORBERT BELLAICHE. Guide pratique du cone beam en imagerie dento-maxillaire. 2016 .
62. CARLOS ESTRELA, MIKE REIS BUENO, MANOEL DAMIÃO SOUSA-NETO, JESUS DJALMA PÉCORA. Method for Determination of Root Curvature Radius Using Cone-Beam Computed Tomography Images. *Braz Dent J* (2008) 19(2): 114-118.
63. ANDRE LUIZ GOMIDE DE MORAIS, ANA HELENA GONÇALVES DE ALENCAR, CYNTIA RODRIGUES DE ARAUJO ESTRELA, DANIEL ALMEIDA DECURCIO, CARLOS ESTRELA. Working Length Determination Using Cone-Beam Computed Tomography, Periapical Radiography and

- Electronic Apex Locator in Teeth with Apical Periodontitis: A Clinical Study. *Iran Endod J.* 2016 Summer; 11(3): 164–168.
64. YILMAZ F, KAMBUROĞLU K, ŞENEL B. Endodontic Working Length Measurement Using Cone-beam Computed Tomographic Images Obtained at Different Voxel Sizes and Field of Views, Periapical Radiography, and Apex Locator: A Comparative Ex Vivo Study. *J Endod.* 2017 Jan;43(1):152-156.
65. CIHAN YILDIRIM, ALI MURAT AKTAN, EMRAH KARATASLIOGLU, FATIHA AKSOY, OZLEM ISMAN, AND EMRECULHA . Performance of the Working Length Determination using Cone Beam Computed Tomography, Radiography and Electronic Apex Locator, in Comparisons to Actual Length. *Iran J Radiol.* 2017 January; 14(1):e31007.
66. CUSTER L. Exact methods of locating the apical foramen. *J Natl Dent Asso* 1918;5:815-9.
67. SUZUKI K. Experimental study on iontophoresis. *J Jpn Stomatol* 1942; 16:411-6.
68. SUNADA I. New method of measuring the length of the root canal. *J Dent Res* 1962;41:375-87.
69. NEKOOFAR MH, GHANDI MM, HAYES SJ, DUMMER PMH. The fundamental operating principles of electronic root canal length measurement devices. *Int Endod J.* 2006;39(8):595 -609.
70. HUANG L. An experimental study of the principle of electronic root canal measurement. *J Endod* 1987;13:60-4.
71. FOUAD AF, KRELL KV. An in vitro comparison of five root canal length measuring instruments. *J Endod* 1989;15:573-7
72. SAITO T, YAMASHITA Y. Electronic determination of root canal length by newly developed measuring device. Influences of the diameter of apical foramen, the size of K-file and the root canal irrigants. *Dent Jpn (Tokyo)* 1990;27:65-72
73. FRANK AL, TORABINEJAD M. An in vivo evaluation of Endex electronic apex locator. *J Endod* 1993;19:177-9.
74. KIM E, LEE S-J. Electronic apex locator. *dent clin north am.* 2004;48(1):35-54
75. KOBAYASHI C, SUDA H. New electronic canal measuring device based on the ratio method. *J Endod.* 1994;20(3):111-4.
76. WRBAS KT, ZIEGLER AA, ALTENBURGER MJ, SCHIRRMIEISTER JF. In vivo comparison of working length determination with two electronic apex locators. *Int Endod J.* 2007 Feb;40(2):133–8.
77. TINAZ AC, MADEN M, AYDIN C, TÜRKÖZ E. The accuracy of three different electronic root canal measuring devices: an in vitro evaluation. *J Oral Sci.* 2002 Jun;44(2):91–5.
78. WELK AR, BAUMGARTNER JC, MARSHALL JG. An in vivo comparison of two frequency-based electronic apex locators. *J Endod.* 2003 Aug;29(8):497–500.
79. JOHN I. INGLE .PDQ ENDODONTICS. 5eme édition ;juillet 2004.
80. IBARROLA JL, CHAPMAN BL, HOWARD JH, KNOWLES KI, LUDLOW MO. Effect of preflaring on Root ZX apex locators. *J Endod* 1999;25:625-6.
81. EBRAHIMAK, YOSHIOKAT, KOBAYASHI C, SUDA H. The effects of file size,

sodium hypochlorite and blood on the accuracy of Root ZX apex locator in enlarged root canals: an in vitro study. *Aust Dent J* 2006;51:153-7.

82. OUNSI HF, NAAMAN A. In vitro evaluation of the reliability of the Root ZX electronic apex locator. *Int Endod J* 1999;32:120-3.
83. KOBAYASHI C, YOSHIOKA T, SUDA H. engine-driven canal preparation system with electronic canal measuring capability. *J Endod.* 1997;23(12A new):751-4
84. FRANCO V, TOSCO E. THE ENDODONTIC LINE: A clinical approach. *G Ital Endodonzia.* 2013;27(1):2- 12.
85. STEPHANE SIMON. *Endodontie.* 2012.
86. KIELBASSAAM, MULLER U, MUNZ I, MONTING JS. Clinical evaluation of the measuring accuracy of ROOT ZX in primary teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2003;95:94-100.
87. BODURH, ODABASM, TULUNOGLUO, TINAZAC. Accuracy of two different apex locators in primary teeth with and without root resorption. *Clin Oral Investig* 2008;12:137-41
88. ALVESAM, FELIPPE MC, FELIPPE WT, ROCHAMJ. Ex vivo evaluation of the capacity of the TriAuto ZX to locate the apical foramen during root canal retreatment. *Int Endod J* 2005;38:718-24
89. KARIM ISZABI, DDS, CARELC, DECOCK, MD, PBD, HAGAYS BEMESB, DDS, PBD, AND HENK S BRAND, PBD. Interference of EALs with implantable cardioverter defibrillator. February 2014.
90. BEACH CW, BRAMWELL JD, HUTTER JW. Use of an electronic apex locator on a cardiac pacemaker patient. *J Endod* 1996;22:182-4.
91. GAROFALO RR, EDE EN, DORN SO, ET AL. The effect of electronic apex locators on cardiac pacemaker function. *J Endod* 2002;28:831-3.
92. GOMEZ G, DURAN-SINDREU F, JARA CLEMENTE F, et al. The effects of six electronic apex locators on pacemaker function. an in vitro study. *Int endod J* 2013 ;46 ;399-405 .
93. WILSON BL, BROBERG C, BAUMGARTNER JC, ET AL. safety of electronic apex locators and pulp tester in patients with implanted cardiac pacemakers or cardioverter/defibrillators . *ENDOD* 2006;32:847-52.
94. SELTZERS, SOLTANOFF W, SINAI I, SMITH J. Biological aspects of endodontics. IV. Periapical tissue reaction to root-filled teeth whose canals had been instrumented short of their apices. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1969;28:724-38.
95. SEIDBERG BH, ALIBRANDI BV, FINEH, LOGUE B. Clinical investigation of measuring working lengths of root canals with an electronic device and with digital-tactile sense. *J Am Dent Assoc* 1975;90:379-87
96. KAUFMANAY, KEILAS, YOSHPEM. Accuracy of a new apex locator: an in vitro study. *Int Endod J* 2002;35:186-92.
97. JENKINS JA, WALKER 3RD WA, SCHINDLER WG, FLORES CM. An in vitro evaluation of the accuracy of the root ZX in the presence of various irrigants. *J Endod* 2001;27:209-11.
98. MEARES WA, STEIMAN HR. The influence of sodium hypochlorite irrigation on the accuracy of the Root ZX electronic apex locator. *J Endod* 2002;28:595-8.
99. Y.-J. A. KIM & N. P. Determination of working length for teeth with wide or immature apices: a review
Chandler Department of Oral Rehabilitation, School of Dentistry, University of Otago, Dunedin, New Zealand
100. MENTE J, HAGE N, PFEFFERLE T ET AL. (2009) Mineral trioxide aggregate apical plugs in teeth with open apical foramina: a retrospective analysis of treatment outcome. *Journal of Endodontics* 35, 1354-8.

101. VAN HASSEL H, NATKIN E (1970) Induction of root end closure. *Journal of Dentistry for Children* 35, 57–9
102. SARRIS S, TAHMASSEBI JF, DUGGAL MS, CROSS IA (2008) A clinical evaluation of mineral trioxide aggregate for root-end closure of non-vital immature permanent incisors in children- a pilot study. *Dental Traumatology* 24, 79–85
103. ELAYOUTI A, DIMA E, LÉOST C (2009) A tactile method for canal length determination in teeth with open apices. *International Endodontic Journal* 42, 1090–5.
104. FRIEND EA (1966) Root treatment of teeth with open apices. *Proceedings of the Royal Society of Medicine* 59, 1035–6.
105. MOORE A, HOWLEY MF, O'CONNELL AC (2011) Treatment of open apex teeth using two types of white mineral trioxide aggregate after initial dressing with calcium hydroxide in children. *Dental Traumatology* 27, 166–73
106. ANDREASEN J, ANDREASEN F (2000) *Essentials of Traumatic Injuries to the Teeth: a step-by-step treatment guide*, 2nd edn. Copenhagen: Munksgaard, 12
107. HOLAN G, FUKS A (1993) A comparison of pulpectomies using ZOE and KRI paste in primary molars: a retrospective study. *Pediatric Dentistry* 15, 403–7.
108. COLL J, SADRIAN R (1996) Predicting pulpectomy success and its relationship to exfoliation and succedaneous dentition. *Pediatric Dentistry* 18, 57.63.
109. GOERIG A, CAMP J (1983) Root canal treatment in primary teeth: a review. *Pediatric Dentistry* 5, 33–7.
110. RIMONDINI L, BARONI C (1995) Morphologic criteria for root canal treatment of primary molars undergoing resorption. *Endodontics and Dental Traumatology* 11, 136–41.
111. INGLE J (1957) Endodontic instruments and instrumentation. *Dental Clinics of North America* 1, 805–22.
112. GILBERT B (1983) Endodontic treatment of the open apex. *Quintessence International* 14, 293–9.
113. FRANK A (1966) Therapy for the divergent pulpless tooth by continued apical formation. *Journal of the American Dental Association* 72, 87–94
114. YASSEN GH, CHIN J, MOHAMMEDSHARIF AG, ALSOUFY SS, OTHMAN SS, ECKERT G (2012) The effect of frequency of calcium hydroxide dressing change and various pre- and inter-operative factors on the endodontic treatment of traumatized immature permanent incisors. *Dental Traumatology*, 28, 296–301.
115. WHITWORTH J, NUNN J (2001). *Pediatric Endodontics*. In: Welbury R, ed. *Pediatric Dentistry*, 2nd edn. Oxford: Oxford University Press, pp. 172–3.
116. DUELL R (1973) Conservative endodontic treatment of the open apex in three dimensions. *Dental Clinics of North America* 17, 125–34.
117. BAGGETT FJ, MACKIE IC, WORTHINGTON HV (1996) An investigation into the measurement of the working length of immature incisor teeth requiring endodontic treatment in children. *British Dental Journal* 181, 96–8.
118. ROSENBERG D (2003) The paper point technique, Part 1. *Dentistry Today* 22, 80–6.
119. MARCOS-ARENAL JL, RIVERA EM, CAPLAN DJ, TROPE M (2009) Evaluating the paper point technique for locating the apical foramen after canal preparation. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology* 108, e101–5.
120. les canaux en « c » : les comprendre, les traiter. THESE POUR LE diplôme d'état de docteur en chirurgie dentaire
121. ESTRELA C, RABELO LEG, DE SOUZA JB, ALENCAR AHG, ESTRELA CRA, SOUSA NETO MD, ET AL. Frequency of root canal isthmi in human permanent teeth determined by cone-beam computed tomography. *J Endod.* 2015;41(9):1535-9.
122. FAN B, PAN Y, GAO Y, FANG F, WU Q, GUTMANN JL. Three-dimensional morphologic analysis of isthmuses in the mesial roots of mandibular molars. *J Endod.* 2010;36(11):1866-9.

123. FAN B, YANG J, GUTMANN JL, FAN M. Root Canal Systems in Mandibular First Premolars with C-shaped root configurations. Part I: Microcomputed tomography mapping of the radicular groove and associated root canal cross-sections. *J Endod.* 2008;34(11):1337-41.
124. FAN B., YE W., XIE E., WU H., GUTMANN J. L. Three-dimensional morphological analysis of C-shaped canals in mandibular first premolars in a Chinese population. *Int Endod J.* 2012;45(11):1035-41.
125. COOKE HG, COX FL. C-shaped canal configurations in mandibular molars. *J Am Dent Assoc.* 1979;99(5):836-9.
126. MELTON DC, KRELL KV, FULLER MW. Anatomical and histological features of C-shaped canals in mandibular second molars. *J Endod.* 1991;17(8):384-8.
127. LYNN EA. Conventional root canal therapy of C-shaped mandibular second molar. A case report. *N Y State Dent J.* 2006;72(6):32-4.
128. FAN B, CHEUNG GSP, FAN M, GUTMANN JL, BIAN Z. C-shaped canal system in mandibular second molars: Part I—Anatomical features. *J Endod.* 2004;30(12):899-903.
129. HELVACIOGLU-YIGIT D, SINANOGLU A. Use of cone-beam computed tomography to evaluate C-shaped root canal systems in mandibular second molars in a Turkish subpopulation: a retrospective study. *Int Endod J.* 2013;46(11):1032-8
130. JAFARZADEH H, WU Y-N. The C-shaped root canal configuration: A review. *J Endod.* 2007;33(5):517-23.
131. COHEN S, BURNS RC, KEISER K. *Pathways of the pulp.* St. Louis (Miss.) : Mosby; 2006.
132. CHAI WL, THONG YL. Cross-sectional morphology and minimum canal wall widths in C-shaped roots of mandibular molars. *J Endod.* 2004;30(7):509-12
133. VON ZUBEN M, MARTINS JNR, BERTI L, CASSIM I, FLYNN D, GONZALEZ JA, ET AL. Worldwide prevalence of mandibular second molar C-shaped morphologies evaluated by cone-beam computed tomography. *J Endod.* 2017;43(9):1442-7
134. ORDINOLA-ZAPATA R, BRAMANTE CM, DE MORAES IG, BERNARDINELI N, GARCIA RB, GUTMANN JL. Analysis of the gutta-percha filled area in C-shaped mandibular molars obturated with a modified MicroSeal technique. *Int Endod J.* 2009;42(3):186-97.
135. ZHENG Q, ZHANG L, ZHOU X, WANG Q, WANG Y, TANG L, ET AL. C-shaped root canal system in mandibular second molars in a Chinese population evaluated by cone-beam computed tomography. *Int Endod J.* 2011;44(9):857-62.
136. BÓVEDA C, FAJARDO M, MILLÁN B. Root canal treatment of an invaginated maxillary lateral incisor with a C-shaped canal. *Quintessence Int Berl Ger.* 1999;30(10):707-11
137. STEFFEN H, SPLIETH C. Conventional treatment of dens invaginatus in maxillary lateral incisor with sinus tract: one year follow-up. *J Endod.* 2005;31(2):130-3.
138. BARNETT F. Mandibular molar with C-shaped canal. *Endod Dent Traumatol.* 1986;2(2):79-81.
139. Bolger WL, Schindler WG. A mandibular first molar with a C-shaped root configuration. *J Endod.* 1988;14(10):515-9.
140. RICE RT, GILBERT BO. An unusual canal configuration in a mandibular first molar. *J Endod.* 1987;13(10):513-5
141. BAISDEN MK, KULILD JC, WELLER RN. Root canal configuration of the mandibular first premolar. *J Endod.* 1992;18(10):505-8
142. GU Y, ZHANG Y, LIAO Z, FEI X. A Micro-computed tomographic analysis of wall thickness of C-shaped canals in mandibular first premolars. *J Endod.* 2013;39(8):973-6.
143. LU T-Y, YANG S-F, PAI S-F. Complicated root canal morphology of mandibular first premolar in a Chinese population using the cross section method. *J Endod.* 2006;32(10):932-6.
144. SANDHYA R, VELMURUGAN N, KANDASWAMY D. Assessment of root canal morphology of mandibular first premolars in the Indian population using spiral computed tomography: an in vitro study. *Indian J Dent Res Off Publ Indian Soc Dent Res.* 2010;21(2):169-73.

145. SIKRI VK, SIKRI P. Mandibular premolars: aberrations in pulp space morphology. *Indian J Dent Res Off Publ Indian Soc Dent Res.* 1994;5(1):9-14.
146. YU X, GUO B, LI K-Z, ZHANG R, TIAN Y-Y, WANG H, ET AL. Cone-beam computed tomography study of root and canal morphology of mandibular premolars in a western Chinese population. *BMC Med Imaging.* 2012;12:18.
147. DANKNER E, FRIEDMAN S, STABHOLZ A. Bilateral C shape configuration in maxillary first molars. *J Endod.* 1990;16:601-3.
148. KOTTOOR J, VELMURUGAN N, BALLAL S, ROY A. Four-rooted maxillary first molar having Cshaped palatal root canal morphology evaluated using cone-beam computerized tomography: a case report. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2011;111(5):e41-5.
149. MARTINS JNR, QUARESMA S, QUARESMA MC, FRISBIE-TEEL J. C-shaped maxillary permanent first molar: a case report and literature review. *J Endod.* 2013;39(12):1649-53.
150. MOOR D, G RJ. C-shaped root canal configuration in maxillary first molars. *Int Endod J.* 2002;35(2):200-8.
151. NEWTON CW, MCDONALD S. A C-shaped canal configuration in a maxillary first molar. *Config Un Conducto En C En Un Primer Molar Super Span Castilian.* 1984;10:397-9.
152. SIDOW SJ, WEST LA, LIEWEHR FR, LOUSHINE RJ. Root canal morphology of human maxillary and mandibular third molars. *J Endod.* 2000;26(11):675-8.
153. YILMAZ Z., TUNCEL B., SERPER A., CALT S. C-shaped root canal in a maxillary first molar: a case report. *Int Endod J.* 2006;39(2):162-6.
154. FERNANDES M, DE ATAIDE I, WAGLE R. C-shaped root canal configuration: A review of literature. *J Conserv Dent JCD.* 2014;17(4):312-9.
155. HADDAD GY, NEHME WB, OUNSI HF. Diagnosis, classification, and frequency of Cshaped canals in mandibular second molars in the Lebanese population. *J Endod.* 1999;25(4):268-71.
156. GULABIVALA K, AUNG TH, ALAVI A, NG YL. Root and canal morphology of Burmese mandibular molars. *Int Endod J.* 2001;34(5):359-70
157. MIN Y, FAN B, CHEUNG GSP, GUTMANN JL, FAN M. C-shaped canal system in mandibular second molars Part III: the morphology of the pulp chamber floor. *J Endod.* 2006;32(12):1155-9
158. CHHABRA S, YADAV S, TALWAR S. Analysis of C-shaped canal systems in mandibular second molars using surgical operating microscope and cone beam computed tomography: A clinical approach. *J Conserv Dent.* 2014;17(3):238
159. RICUCCI D, PASCON EA, LANGELAND K. Long-term follow-up on C-shaped mandibular molars. *J Endod.* 1996;22(4):185-7.
160. YILMAZ A, KUCUKAY ES, ISTEKTEPE M, SISLI SN, ERSEV H, KARAGOZ-KUCUKAY I. Comparison of the shaping ability of WaveOne reciprocating files with or without glide path in simulated curved S-shaped root canals. *J Int Soc Prev Community Dent.* 2017;7(Suppl 1):S13-7.
161. FAN B, MIN Y, LU G, YANG J, CHEUNG GSP, GUTMANN JL. Negotiation of C-shaped canal systems in mandibular second molars. *J Endod.* 2009;35(7):1003-8.
162. Dentsply Middle East & Africa. Pathfile [Internet]. [consulté le 6 avr 2018]. Disponible sur: <http://dentsplymea.com/products/endodontics/endodontic-files/pathfile>
163. GAO Y, FAN B, CHEUNG GSP, GUTMANN JL, FAN M. C-shaped Canal System in Mandibular Second Molars Part IV: 3-D Morphological analysis and transverse measurement. *J Endod.* 2006;32(11):1062-5.
164. MELTON DC, KRELL KV, FULLER MW. Anatomical and histological features of C-shaped canals in mandibular second molars. *J Endod.* 1991;17(8):384-8.
165. Anning SA. Root canal anatomy of mandibular second molars. *Int Endod J.* 1990;23(1):40-5
166. SEO MS, PARK DS. C-shaped root canals of mandibular second molars in a Korean population: clinical observation and in vitro analysis. *Int Endod J.* 2004;37(2):139-44.

167. CHEUNG GSP, YANG J, FAN B. Morphometric study of the apical anatomy of C-shaped root canal systems in mandibular second molars. *Int Endod J.* 2007;40(4):239-46.
168. RICUCCI D, SIQUEIRA JF. Biofilms and apical periodontitis: study of prevalence and association with clinical and histopathologic findings. *J Endod.* 2010;36(8):1277-88.
169. CHEUNG LHM, CHEUNG GSP. Evaluation of a rotary instrumentation method for Cshaped canals with micro-computed tomography. *J Endod.* 2008;34(10):1233-8.
170. JAFARZADEH H, BEYRAMI M, FORGHANI M. Evaluation of Conventional Radiography and an Electronic Apex locator in determining the working length in C-shaped canals. *Iran Endod J.* 2017;12(1):60-3
171. KUTTLER Y. Microscopic investigation of root apexes. *J Am Dent Assoc.* 1955;50(5):544 - 52.
172. MARTOS J, FERRER-LUQUE CM, GONZALEZ-RODRIGUEZ MP, CASTRO LAS. Topographical evaluation of the major apical foramen in permanent human teeth. *Int Endod J.* 2009;42(4):329- 34.
173. MARTOS J, LUBIAN C, SILVEIRA LFM, SUITA DE CASTRO LA, FERRER LUQUE CM. Morphologic analysis of the root apex in human teeth. *J Endod.* 2010;36(4):664 - 7.
174. PONCE E, VILARFERNANDEZ J. The cemento-dentino-canal junction, the apical foramen, and the apical constriction: evaluation by optical microscopy. *J Endod.* 2003;29(3):214 - 9
173. MERZBACH. *Réalités Clinique Vol .19 n°4 2008 UC.* New York: Wiley; 1989.
174. *Techniques de préparation des canaux courbes :14 février 2005*
175. TORABINEJAD M, WALTON RE, FOUAD A, LEVY G. *Endodontie: Principes et pratique.* Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson; 2016. 512 p.
176. VERTUCCI F, SEELIG A, GILLIS R. Root canal morphology of the human maxillary second premolar. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1974 Sep;38(3):456–64.
177. EVE LAURENT, KARIM BELLHARI ; *Le défi des canaux courbes : apport du cathétérisme mécanisé.*2014
178. SCHNEIDER SW. A comparison of canal preparations in straight and curved root canals. *Oral urg Oral med Oral Pathol*1971;32:271-275 -Cimis GM, Boyler TF, Pelleu-Jr GR. Effect of three files studies of canal curvatures in the mesial roots of mandibular molars. *J Endod* 1988;14:441-444.
179. BOYER CB. *A History of Mathematics.* 2nd ed. Revised
- 180- LIN LM, ROSENBERG PA, LIN J. DO procedural errors cause endodontic treatment failure? *J Am Dent Assoc* 1939. 2005;136(2):187 - 193; quiz 231.
181. ALTENBURGER MJ, ÇENIK Y, SCHIRRMEISTER JF, WRBAS K-T, HELLWIG E. Combination of apex locator and endodontic motor for continuous length control during root canal treatment. *Int Endod J.* 2009;42(4):368 - 74.

RESUME :

L'établissement de la longueur de travail est une étape importante du traitement endodontique, car une détermination imprécise de la longueur peut conduire à un échec. Un débat est en cours concernant l'étendue de la limite apicale de la préparation du canal radiculaire. Cette controverse est basée sur différents avis cliniques concernant la distance entre le point final de la préparation du canal radiculaire et les tissus parodontaux. nous exposons dans ce travail les différentes techniques de la détermination de la LT. Historiquement, la longueur de travail est mesurée par l'intermédiaire d'un instrument endodontique introduit dans le canal et dont la position est ajustée à l'aide d'une série de radiographies rétro alvéolaires. Malheureusement, même avec un cliché d'excellente qualité réalisé à l'aide d'une technique d'incidence, la détermination précise de la longueur de travail, lorsque le foramen est situé à distance de l'apex radiologique, demeure difficile. Les localisateurs électroniques d'apex sont des appareils capables d'estimer la position de la limite apicale en exploitant les propriétés électriques de la dent et des tissus parodontaux . Leur capacité à déterminer la position de la constriction à $\pm 0,5$ mm varie de 75 % à 100 % des cas selon les auteurs. malgré la précision de ces appareils ;la radiographie occupe toujours sa place en endodontie .

Mots clés : Endodontie , Longueur de travail, LEA, Radiorographie.

Abstract :

The working length determination is an important step in endodontic treatment, as imprecise length determination can lead to failure. A debate is ongoing on the extent of the apical limit of root canal preparation. This controversy is based on different clinical opinions regarding the distance between the end point of the root canal preparation and the periodontal tissues. we expose in this work the different techniques of working length determination. Historically, the working length is measured by means of an endodontic instrument introduced into the canal and whose position is adjusted using a series of retro-alveolar radiographs. Unfortunately, even with an excellent quality shot using an incidence technique, accurate determination of the working length, when the foramen is located at a distance from the radiological apex, remains difficult. Electronic apex locators are devices capable of estimating the position of the apical boundary by exploiting the electrical properties of the tooth and periodontal tissues. Their ability to determine the position of constriction at ± 0.5 mm varies from 75% to 100% of cases according to the authors. despite the precision of these devices, radiography still occupies its place in endodontics.

Key words: endodontics, working length, EAL, radiography.

SPETIALITE : Odontologie Conservatrice Endodontie

Jury : _ Présidente : Pr HADJI – OULD ROUIS
 _ Examinatrice : Dr ZAIDI.A
 _ Promotrice : Dr CHARIF.H

Auteurs : _ ABBAD Yousra : abbadyara18@gmail.com
 _ BOULKHIOU Fatiha : fatihadent@gmail.com
 _ CHERIFI Aicha : acccher@gmail.com
 _ DJEMIA F.Zohra : Zolamilan17@gmail.com
 _ GOUDJIL Khadidje : Khadidja.med18@gmail.com