



Détermination de la longueur de travail en endodontie : méthode radiographique, localisateur d'apex isolé ou intégré au micromoteur ?

Simon Llopet

► To cite this version:

Simon Llopet. Détermination de la longueur de travail en endodontie : méthode radiographique, localisateur d'apex isolé ou intégré au micromoteur ?. Chirurgie. 2017. dumas-01563732

HAL Id: dumas-01563732

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01563732>

Submitted on 7 Sep 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Université de Bordeaux
Collège des Sciences de la Santé
UFR des Sciences Odontologiques

Année 2017

N°60

Thèse pour l'obtention du
DIPLOME d'ETAT de DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement
Par Simon Marcel Jules LLOPET
Né le 12 Décembre 1990 à Prades (66)

Le Mardi 04 Juillet 2017

**DETERMINATION DE LA LONGUEUR DE TRAVAIL EN
ENDODONTIE : méthode radiographique, localisateur d'apex
isolé ou intégré au micromoteur ?**

Directeur de thèse

Docteur ORIEZ Dominique

Membres du Jury

Président	Pr BERTRAND Caroline	Professeur des Universités
Directeur	Dr ORIEZ Dominique	Maître de Conférences des Universités
Rapporteur	Dr CHAUVEAU Hubert	Assistant Hospitalo-Universitaire
Assesseur	Dr VACHEY Eric	Maître de Conférences des Universités

UNIVERSITE DE BORDEAUX

MAJ 01/02/2017

Président

M. TUNON DE LARA Manuel

Directeur de Collège des Sciences de la Santé

M. PELLEGRIN Jean-Luc

COLLEGE DES SCIENCES DE LA SANTE

UNITE DE FORMATION ET DE RECHERCHE DES SCIENCES ODONTOLOGIQUES

Directrice

Mme BERTRAND Caroline

58-02

Directrice Adjointe – Chargée de la Formation initiale

Mme ORIEZ-PONS Dominique

58-01

Directeur Adjoint – Chargé de la Recherche

M. FRICAIN Jean-Christophe

57-02

Directeur Adjoint – Chargé des Relations Internationales

M. LASSERRE Jean-François

58-02

ENSEIGNANTS DE L'UFR

PROFESSEURS DES UNIVERSITES

Mme	Caroline	BERTRAND	Prothèse dentaire	58-02
Mme	Marie-José	BOILEAU	Orthopédie dento-faciale	56-02
Mme	Véronique	DUPUIS	Prothèse dentaire	58-02
M.	Bruno	ELLA NGUEMA	Sciences anatomiques et physiologiques - Biomatériaux	58-03
M.	Jean-Christophe	FRICAIN	Chirurgie buccale – Pathologie et thérapeutique	57-02

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

Mme	Elise	ARRIVÉ	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-03
Mme	Cécile	BADET	Sciences biologiques	57-03
M.	Etienne	BARDINET	Orthopédie dento-faciale	56-02
M.	Michel	BARTALA	Prothèse dentaire	58-02
M.	Cédric	BAZERT	Orthopédie dento-faciale	56-02
M.	Christophe	BOU	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-03
Mme	Sylvie	BRUNET	Chirurgie buccale – Pathologie et thérapeutique	57-02
M.	Sylvain	CATROS	Chirurgie buccale – Pathologie et thérapeutique	57-02
M.	Stéphane	CHAPENOIRE	Sciences anatomiques et physiologiques	58-03
M.	Jacques	COLAT PARROS	Sciences anatomiques et physiologiques	58-03
M.	Jean-Christophe	COUTANT	Sciences anatomiques et physiologiques	58-03
M.	François	DARQUE	Orthopédie dento-faciale	56-02
M.	François	DE BRONDEAU	Orthopédie dento-faciale	56-02
M.	Yves	DELBOS	Odontologie pédiatrique	56-01
M.	Raphael	DEVILLARD	Odontologie conservatrice- Endodontie	58-01
M.	Emmanuel	D'INCAU	Prothèse dentaire	58-02
M.	Dominique	GILLET	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
M.	Jean-François	LASSERRE	Prothèse dentaire	58-02
M.	Yves	LAUVERJAT	Parodontologie	57-01
Mme	Odile	LAVIOLE	Prothèse dentaire	58-02
M.	Jean-Marie	MARTEAU	Chirurgie buccale – Pathologie et thérapeutique	57-02
Mme	Javotte	NANCY	Odontologie pédiatrique	56-01
M.	Adrien	NAVEAU	Prothèse dentaire	58-02
Mme	Dominique	ORIEZ	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
M.	Jean-François	PELI	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01

M.	Philippe	POISSON	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-03
M.	Patrick	ROUAS	Odontologie pédiatrique	56-01
M.	Johan	SAMOT	Sciences biologiques	57-03
Mme	Maud	SAMPEUR	Orthopédie dento-faciale	56-02
M.	Cyril	SEDARAT	Parodontologie	57-01
Mme	Noélie	THEBAUD	Sciences biologiques	57-03
M.	Eric	VACHEY	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01

ASSISTANTS

Mme	Audrey	AUSSEL	Sciences anatomiques et physiologiques	58-03
M.	Wallid	BOUJEMAA AZZI	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
Melle	Camille	BOULÉ-MONTPEZAT	Odontologie pédiatrique	56-01
Melle	Anaïs	CAVARÉ	Orthopédie dento-faciale	56-02
M.	Hubert	CHAUVEAU	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
M.	Mathieu	CONTREPOIS	Prothèse dentaire	58-02
M.	Jean-Baptiste	CULOT	Sciences anatomiques et physiologiques	58-03
Mme	Clarisse	DE OLIVEIRA	Orthopédie dento-faciale	56-02
M.	Cédric	FALLA	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-03
Mme	Mathilde	FENELON	Chirurgie buccale – Pathologie et thérapeutique	57-02
Mme	Elsa	GAROT	Odontologie pédiatrique	56-01
Mme	Agathe	GREMARE	Sciences biologiques	57-03
Mme	Olivia	KEROUREDAN	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
M.	Adrien	LASTRADE	Prothèse dentaire	58-02
M.	Alexandre	MARILLAS	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
M.	Emmanuel	MASSON-REGNAULT	Chirurgie buccale – Pathologie et thérapeutique	57-02
Mme	Marie	MÉDIO	Orthopédie dento-faciale	56-02
Mme	Meryem	MESFIOUI	Parodontologie	57-01
Mme	Darrène	NGUYEN	Sciences biologiques	57-03
M.	Ali	NOUREDDINE	Prothèse dentaire	58-02
Mme	Chloé	PELOURDE	Orthopédie dento-faciale	56-02
M.	Antoine	PEPELUT	Parodontologie	57-01
Mme	Charlotte	RAGUENEAU	Prothèse dentaire	58-02
Mme	Noëlla	RAJONSON	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-03
M.	Clément	RIVES	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
M.	Thibaut	ROULLAND	Prothèse dentaire	58-02
M.	François	ROUZÉ L'ALZIT	Prothèse dentaire	58-02
Mme	Audrey	SAY LIANG FAT	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-03

REMERCIEMENTS

À notre juge et président de thèse,

Madame le Professeur BERTRAND Caroline,

- Professeur des Universités – Praticien Hospitalier (sous-section Réhabilitation Orale)
- Directrice de l'UFR des Sciences Odontologiques
- Docteur en Chirurgie Dentaire

Vous me faites un grand honneur en ayant accepté de présider ce jury.

Je tiens à vous remercier pour l'ensemble de l'enseignement théorique et clinique que vous m'avez transmis tout au long de mon cursus.

J'espère que vous puissiez trouver, par la réalisation de ce travail l'expression de mes sentiments les plus respectueux.

À notre juge et directeur de thèse,

Madame le Docteur ORIEZ Dominique,

- Maître des Conférences des Universités – Praticien Hospitalier (sous-section Réhabilitation Orale)
- Directrice adjointe – Chargée de la Formation Initiale de l'UFR des Sciences Odontologiques
- Docteur en Chirurgie Dentaire

Je vous remercie d'avoir dirigé et supervisé l'ensemble de ce travail.

Je vous suis par ailleurs particulièrement reconnaissant pour votre disponibilité, votre sympathie, votre écoute et vos conseils avisés sans lesquels je n'aurai pas obtenu ce résultat.

Pour l'ensemble de votre enseignement à l'université et en clinique, veuillez trouver, par la réalisation de ce travail l'expression de ma sincère reconnaissance et de ma profonde estime.

À notre juge et rapporteur de thèse,

Monsieur le Docteur CHAUVEAU Hubert,

- Assistant Hospitalo-Universitaire (sous-section Réhabilitation Orale)
- Docteur en Chirurgie Dentaire

Je tiens à vous remercier d'avoir accepté d'être le rapporteur de ce travail.

Merci pour votre enseignement et votre sympathie qui m'ont permis reproduire dans ma pratique, ainsi que dans ce travail, les qualités humaines et scientifiques que vous m'avez montré tout au long de ma formation.

Veuillez trouver dans ce travail le témoignage de mes plus vifs remerciements.

À notre juge et assesseur de thèse,

Monsieur le Docteur VACHEY Eric,

- Maître des Conférences des Universités – Praticien Hospitalier (sous-section Réhabilitation Orale)
- Docteur en Chirurgie Dentaire

Je vous remercie très sincèrement d'avoir accepté de siéger à mon jury.

Puissiez-vous trouver ici l'expression de mes sentiments les plus respectueux et de ma profonde reconnaissance.

À ma famille,

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

Mes études se terminent enfin par cette thèse qui j'espère vous plaira et vous rendra fier de moi.

Papa, Maman, je suis très heureux de la jeunesse que vous avez pu me donner, de l'éducation et des valeurs que vous m'avez transmises. Je vous remercie d'avoir été toujours présents que ce soit physiquement ou mentalement par téléphone. Je pense qu'aujourd'hui vous pouvez être satisfait de ce que sont devenus vos 2 enfants, et maintenant c'est à votre tour de profiter !

À mon frère Julien, toi aussi je te remercie d'avoir toujours été présent pour protéger le petit frère et de m'avoir soutenu tout au long de mes études malgré la distance. Nos destins ont toujours été liés et cette thèse va enfin nous permettre de réaliser notre projet...bref on n'est pas prêt de se « re-quitter » et c'est pas moi qui m'en plaindrai ! Vivement la prochaine page à écrire avec toi à mes cotés !

À ma Mamie Marcelle, comme pour la thèse du grand, je pense que c'est toi qui a le plus stressé. Combien de fois m'as-tu demandé ma date de soutenance ? Voilà, on y est et je sais qu'aujourd'hui est un grand jour à tes yeux.

Mamie, tu occupes et tu occuperas toujours une place particulière dans mon cœur : tu as été celle qui m'a en grande partie éduqué pendant que les parents travaillaient. Pour rien au monde je ne changerai cette enfance passée à tes côtés. J'aurai aimé que Papi Gégé puisse voir ses 2 petits-enfants terminer leurs études, mais je suis que de là où il est, il est très fier de ce que nous sommes devenus.

Au reste de la famille, Cat et René, tonton Yves, Didier et Véro, Benja je vous remercie pour tous ces moments passer à vos côtés, toutes les grillades et les moments de détente/déconnexion dans mes études que j'ai pu passer à vos côtés. Je vous remercie d'avoir en fait été une de mes soupapes de sécurité.

À ceux qui sont partis trop tôt, Pépé Pierre, Tatie Denise, Papi Gégé je regrette leurs départs prématurés mais je reste persuadé qu'ils seraient heureux et fiers de me voir aujourd'hui.

À ma fiancée et future femme,

Jenn, je te remercie d'avoir été présente à mes côtés pendant toutes ces années d'études, je ne sais pas comment tu as fait pour me supporter. Mon maou, je suis très fier de toi et me rend compte à quel point ta situation est compliqué. Aujourd'hui, cela fait bientôt 6 ans que nous partageons notre vie et j'en suis très heureux. Bientôt une nouvelle vie pour nous va pouvoir démarrer et je ne suis absolument pas stressé car je sais que tu seras à mes côtés. Reste telle que tu es aujourd'hui, je t'aime fort !

A ma belle-famille, Pascal et Corinne, Denis et Pascale, Claude et Ophéline je vous remercie très sincèrement de l'accueil que vous m'avez toujours réservé : moi le petit catalan qui arrive au pays basque comme en terre conquise. Beaucoup de bons souvenirs avec vous tous, j'espère que le futur nous réserve encore de bons moments ensemble. Je vous promets que je prendrai soin de Jennifer, je ferai tout pour la rendre heureuse et ne jamais lui faire de mal.

À mes amis,

Il m'est difficile de tous les nommer par peur d'en oublier. A mon Pedro, ma biquette, Zaco, Momo et Clem, mon petit Espelt, les basquies Vascen et Navo, les gars de la réunion Adri, Fab et Jordan, les gars du rugby dentaire, les pots du frangin qui sont devenus les miens (Etienne, Migan, Marco, Jérôme, Moineau...) et à tous les autres qui ont partagés avec moi toutes ses années. Je vous remercie d'avoir toujours été là pour moi, dans les bons moments comme dans les périodes un peu plus compliqués. Je garderai de ces années que de bons souvenirs et souhaite que mon avenir se passe à vos côtés.

À Laurent,

Je te remercie pour tout ce que tu m'as permis de faire, moi le petit jeunot qui fais tourner le cab ;) tu m'as permis de sublimer ma formation et de me lancer dans la vie active. Je t'en serais toujours reconnaissant et tu seras toujours le bienvenu dans les îles ;)

Table des matières

I. INTRODUCTION	11
II. RAPPELS ENDODONTIQUES : ANATOMIE CANALAIRE, NOTION DE CAVITE D'ACCES ET DE LONGUEUR DE TRAVAIL.....	13
II-1. La cavité d'accès	13
II-2. Anatomie canalaire	14
II-2.1. Complexité du système canalaire.....	14
II-2.2. Anatomie apicale du système canalaire	18
II-3. La longueur de travail	21
III. LES DIFFÉRENTES TECHNIQUES DE DÉTERMINATION DE LA LONGUEUR DE TRAVAIL LORS D'UN TRAITEMENT ENDODONTIQUE	23
III-1. Techniques non reproductibles et empiriques	23
III-1.1. La perception de la douleur par le patient	23
III-1.2. La sensation tactile	23
III-2. La méthode radiographique	23
III-2.1. Mode opératoire	24
III-2.2. Limites de la radiographie intra-buccale	26
III-3. Les localisateurs électroniques d'apex (LEA)	27
III-3.1. Historique et principe de fonctionnement	27
III-3.2. Mise en œuvre clinique	30
III-3.3. Avantages des LEA.....	31
III-3.4. Précaution d'emploi	31

III-3.5. Limite d'utilisation clinique des LEA	32
III-3.6. Tableau récapitulatif des conditions cliniques affectant la mesure des LEA.....	34
IV. ETUDE CLINIQUE : COMPARAISON IN VIVO DES 3 PRINCIPALES TECHNIQUES DE	
DETERMINATION DE LA LONGUEUR DE TRAVAIL	35
IV-1. Introduction – Problématique	35
IV-2. But du travail	36
IV-3. Matériel et méthode	36
IV-3.1. Matériel.....	36
IV-3.2. Méthode.....	39
IV-3.2.1. Détermination des critères d'inclusion et d'exclusion des pièces anatomiques	39
IV-3.2.1.1. Critères d'inclusion	39
IV-3.2.1.2. Critères d'exclusion.....	39
IV-3.2.2. Protocole opératoire	39
IV-4. Résultats	42
IV-4.1. Tableaux de résultats	42
IV-4.1.1. Echantillon 1	42
IV-4.1.1.1. Méthode radiographique.....	42
IV-4.1.1.2 Root ZX®	44
IV-4.1.1.3 Endo Master®	46
IV-4.1.2. Echantillon 2	48
IV-4.2. Exploitation des résultats.....	49
V. DISCUSSION	54
V-1. Précision et reproductibilité	54
V-2. Temps opératoire et praticien dépendance	57

VI. CONCLUSION	59
VII. BIBLIOGRAPHIE	60
VIII. ICONOGRAPHIE	66
VIII-1. Figures	66
VIII-2. Tableaux	66
VIII-3. Radiographies (non exhaustif).....	67

I. INTRODUCTION

La réussite d'un traitement endodontique comprend le respect de la mise en forme canalaire de façon tridimensionnelle afin d'obtenir une obturation étanche et dense. 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. En effet, l'obturation du système canalaire doit se faire au niveau de la constriction apicale ou jonction cémento-dentinaire, représentant la limite entre la pulpe et les tissus parodontaux. Outre les caractères environnementaux et le caractère praticien dépendant comprenant la sensibilité tactile et l'expérience personnelle principalement, les praticiens disposent de deux techniques plus ou moins conventionnelles afin de contrôler la longueur de travail d'un traitement endodontique :

- La méthode radiographique,
- L'utilisation d'un localisateur électronique d'apex (LEA) qui peut être isolé ou intégré à un micromoteur endodontique.

Les progrès techniques en endodontie au cours des dernières années, ont conduit au développement de différentes générations de localisateur d'apex devenant de plus en plus précis et facilitant de plus en plus le travail de l'opérateur. De nombreuses études tendent à prouver que l'utilisation de localisateurs d'apex constitue une méthode efficace, précise et reproductible pour la détermination de la longueur de travail.

Actuellement, il n'existe pas de consensus permettant d'affirmer laquelle de ces méthodes décrit les meilleurs résultats en termes de précision, de temps de travail, de reproductibilité, de qualité du traitement endodontique, de simplification de l'acte thérapeutique. Ceci sera l'objet de cette thèse.

Nous allons donc chercher à déterminer si l'utilisation à bon escient des LEA et selon le respect d'un protocole thérapeutique défini, permet d'obtenir des résultats à la fois en précision, temps de travail, reproductibilité, qualité du traitement comparables voire plus efficaces que les méthodes conventionnelles.

Tout d'abord, nous allons faire des rappels endodontiques succincts sur l'anatomie canalaire, sur les difficultés que nous pouvons rencontrer au cours d'un traitement endodontique ainsi que sur les notions de cavité d'accès et de longueur de travail.

Puis, nous décrirons les différentes techniques qui s'offrent à nous pour déterminer la longueur de travail, en essayant de faire apparaître le principe, les avantages et inconvénients de chacune d'entre-elles.

Enfin, par une étude clinique in vivo, nous comparerons radiologiquement trois techniques de détermination de la longueur de travail en endodontie : la méthode radiographique, l'utilisation d'un LEA indépendant du micromoteur (Root ZX®) et d'un LEA intégré au micromoteur (Endo Master®). Nous exposerons et analyserons nos résultats afin de réaliser notre discussion pour déterminer laquelle de ces techniques présente le plus d'avantages dans la pratique au quotidien au sein d'un cabinet dentaire.

II. RAPPELS ENDODONTIQUES : ANATOMIE CANALAIRE, NOTION DE CAVITE D'ACCES ET DE LONGUEUR DE TRAVAIL

Lors de l'exécution d'un traitement endodontique, 2 étapes indispensables au bon déroulement du soin se succèdent :

- La réalisation d'une cavité d'accès dans les règles de l'art qui est une étape primordiale. En effet, cela permet à l'opérateur de réaliser un examen clinique minutieux du plancher pulpaire afin de localiser et de dénombrer les entrées canalaire, et de limiter les risques de fractures instrumentales.

- La détermination de la longueur de travail pour chacun des canaux répertoriés, de laquelle dépendra la qualité du traitement réalisé.

La connaissance de l'anatomie dentaire et surtout canalaire ainsi que l'interprétation des clichés radiologiques pré-opératoires sont des conditions indispensables pour mener à bien un traitement endodontique.

L'examen de la radiographie permet entre autres à l'opérateur de déterminer le nombre de racines et leurs courbures. Cette analyse lui donnera la possibilité d'anticiper d'éventuelles difficultés et d'établir une stratégie de traitement appropriée.

II-1. La cavité d'accès

La cavité d'accès correspond à l'ouverture camérale aménagée aux dépens des tissus durs et/ou des restaurations coronaires d'une dent permettant d'atteindre le réseau canalaire dans le but de le nettoyer, le mettre en forme et l'obturer (1).

Après avoir étudié le cliché radiographique, l'anatomie coronaire, supprimé toutes les restaurations et tissus carieux et mis en place le champ opératoire, le praticien réalise la cavité d'accès afin d'assurer un accès libre aux canaux radiculaires. En cas de délabrement important de la dent, il est parfois essentiel d'envisager à ce stade une reconstitution pré-endodontique afin de retrouver un volume coronaire compatible avec la réalisation d'une cavité d'accès « idéale » et la mise en place de la digue.

La réalisation de la cavité d'accès repose sur 3 principes essentiels :

- Sa localisation : elle se situe dans l'axe du ou des canaux, sur la face linguale ou palatine des dents antérieures (incisives et canines) et sur la face occlusale des dents cuspidées ;

- Sa dimension : la cavité d'accès est dans un premier temps dessinée sur la face occlusale de la dent à l'aide d'une fraise boule (trépanation), puis elle sera approfondie

en direction de la chambre pulpaire. L'opérateur réalise des parois verticales de manière divergentes, ouvertes vers la face occlusale jusqu'à effraction du plafond pulpaire. L'arrivée dans la chambre pulpaire se traduit par une sensation de moindre résistance (« sensation de vide »). Puis élimination de tout surplomb lié au plafond pulpaire (Endo-Z), vérification de l'absence de contre-dépouille ou de reste de tissu pulpaire (sonde 17) et repérage des entrées canalaire (sonde DG 16 ou lime K). La dimension n'est pas fixe, elle doit permettre une visualisation des orifices canaux par le praticien ainsi qu'une pénétration des instruments dans les canaux sans interférences coronaires ;

- Sa forme : elle est en rapport avec la morphologie du plancher pulpaire et correspond à l'anatomie pulpaire qui est spécifique à chaque dent. En effet, en fonction du type de dent, la forme de la cavité d'accès varie : triangulaire ou ovoïde sur le groupe incisivo-canin, arrondie sur les prémolaires mandibulaires, ovale vestibulo-palatine sur les prémolaires maxillaires, triangulaire sur les molaires maxillaires et trapézoïdale sur les molaires mandibulaires.

La cavité d'accès constitue la porte d'entrée vers l'endodonte. Il sera alors possible d'éliminer les débris dentinaires et pulpaires de la chambre, de repérer les orifices canaux, d'irriguer le complexe canalaire de manière efficace et de passer la séquence instrumentale librement jusqu'à l'apex de la racine en minimisant au maximum le risque d'interférences coronaires pouvant entraîner des complications (fracture instrumentale, création d'un faux canal...).

II-2. Anatomie canalaire

II-2.1. Complexité du système canalaire

La véritable connaissance de l'anatomie de la cavité pulpaire repose sur la compréhension de ses contours dans l'espace : il s'agit en réalité d'un volume qui doit être appréhendé dans les trois dimensions de l'espace. Pour chaque dent, la cavité pulpaire est divisée en une portion coronaire (la chambre pulpaire) et une portion radiculaire (le canal radiculaire). La cavité pulpaire est généralement une version miniature de la dent : la forme de ses contours est homothétique à celle des contours de la couronne et des racines de la dent (2).

La chambre pulpaire occupe le centre de la couronne alors que les canaux radiculaires principaux s'étendent le long de la racine jusqu'au foramen apical. Il existe différents types de canaux (canal latéral, secondaire, accessoire) qui sont des branches collatérales du canal principal faisant communiquer la pulpe avec le parodonte. Ils peuvent être situés à

n'importe quel niveau depuis la région inter-radiculaire jusqu'à l'apex, même s'ils se retrouvent le plus souvent au niveau apical.

Nous noterons les définitions de ces différents types de canaux que l'on peut retrouver :

- le canal principal correspond au tronc principal du réseau canalaire radiculaire reliant le foramen apical à la chambre pulpaire
- un canal latéral est une ramification du canal principal située dans la région médiane ou coronaire, le reliant au ligament alvéolaire
- un canal secondaire est une ramification du canal principal communiquant avec le ligament alvéolodentaire dans la région apicale
- un canal accessoire est une ramification d'un canal secondaire communiquant avec le ligament alvéolodentaire.

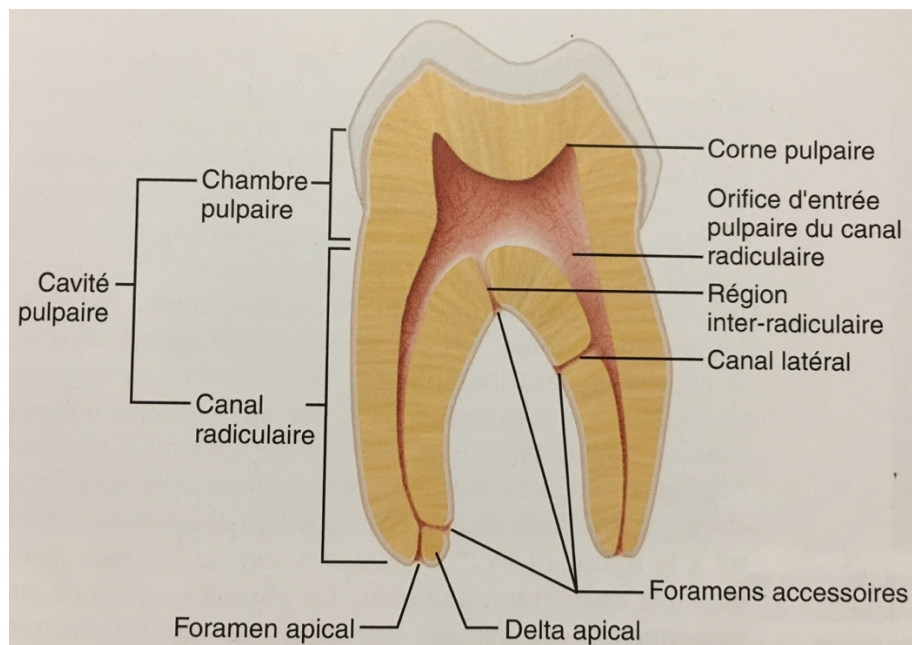


Figure 1 : Les principaux composants anatomiques de la cavité pulpaire (2)

En coupe transversale, la forme et la localisation des canaux dépend de la forme de la racine. Bien que la forme radiculaire soit variable, on dénombre sept configurations générales : rond, ovale, ovale allongé, quille, haricot, ruban et sablier. Notons que des formes différentes peuvent apparaître à tous les niveaux d'une même racine (2) .

La cavité pulpaire radiculaire est complexe : les canaux peuvent se ramifier, se diviser ou se rejoindre. Une racine présentant un seul canal radiculaire se terminant par une simple constriction est plus une exception que la règle. Ainsi, on les catégorise en quatre types fondamentaux (3) :

- Type I : un seul canal principal qui s'étend de la chambre pulpaire à l'apex

- Type II : deux canaux principaux distincts qui s'étendent depuis la chambre pulpaire et qui se rejoignent en un seul canal avant l'apex
- Type III : deux canaux principaux distincts qui partent de la chambre pulpaire et qui débouchent à l'apex en deux foramens différents
- Type IV : un seul canal principal qui part de la chambre pulpaire et qui se divise en deux canaux principaux distincts qui débouchent à l'apex selon deux foramens différents.

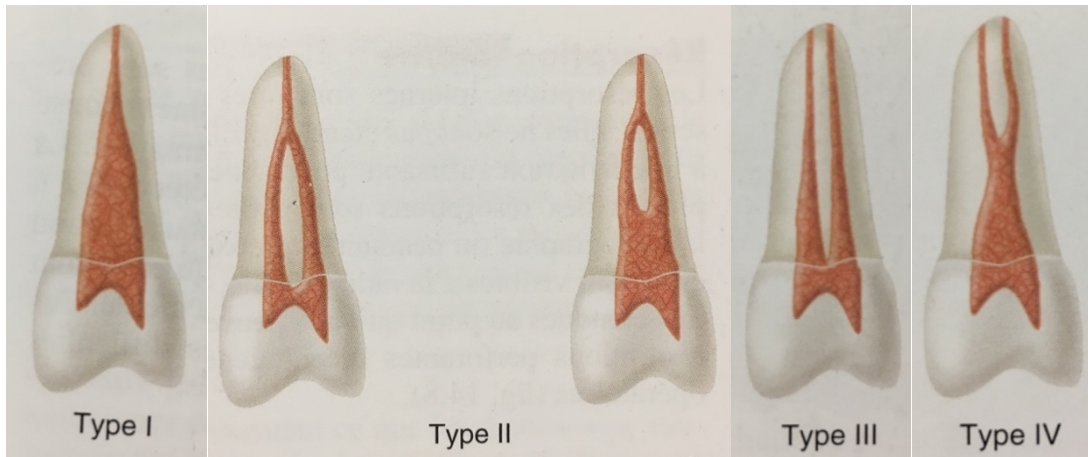


Figure 2 : Les différents types anatomiques fondamentaux de la cavité pulpaire radiculaire d'après Weine (2)

D'autres études ont permis d'identifier quatre variations supplémentaires, encore plus complexes et inhabituelles, pour un total de huit configurations spatiales de la cavité pulpaire (4–6) :

- Type I : un seul canal principal s'étend de la chambre pulpaire à l'apex
- Type II : deux canaux distincts qui s'étendent depuis la chambre pulpaire et qui se rejoignent avant l'apex en un seul canal pour déboucher au niveau d'un foramen unique
- Type III : un seul canal quitte la chambre pulpaire, il se divise en deux canaux qui se rejoignent avant l'apex en un seul canal
- Type IV : deux canaux principaux séparés s'étendent de la chambre pulpaire à l'apex
- Type V : un seul canal principal qui part de la chambre pulpaire puis se divise à proximité de l'apex en deux canaux pour donner deux foramens distincts
- Type VI : deux canaux distincts partent de la chambre pulpaire, se rejoignent au milieu de la racine et se divisent à nouveau à proximité de l'apex pour donner deux foramens distincts

- Type VII : un seul canal principal qui part de la chambre pulpaire et se divise en deux canaux qui se rejoignent dans la racine pour finalement se diviser à nouveau à proximité de l'apex et émerger par deux foramens distincts
- Type VIII : trois canaux distincts qui s'étendent de la chambre pulpaire à l'apex.

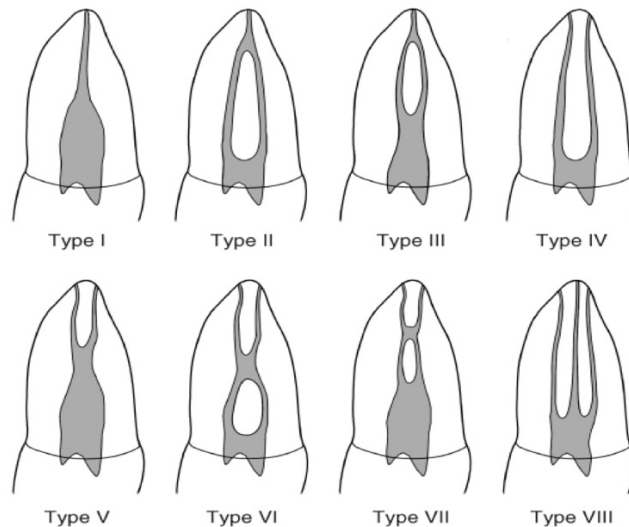


Figure 3 : Configuration du système canalaire d'après Vertucci (4)

Trope signale que l'origine ethnique joue un rôle prépondérant dans la détermination de la morphologie canalaire et qu'il faut en tenir compte avant tout traitement endodontique. Il relève que le nombre de prémolaires mandibulaires présentant plusieurs canaux est plus élevé dans la population afro-américaine (39 %), que dans la population caucasienne (15,8%) (7).

D'autre part, la morphologie du système canalaire évolue aussi avec le temps suivant l'âge du patient. En effet, la formation dentinaire est continue au fil des années et prédomine dans certaines zones comme au niveau du plancher et du plafond de la chambre pulpaire. Ainsi, avec l'âge, la chambre aura une image radiologique en forme de disque (au niveau des molaires), ce qui complique le travail du praticien dans la localisation de la chambre et des entrées canalaire (2).

En général, une dent jeune possède une ou des racines présentant un canal unique et large. Au cours du développement de la dent, il se fait un dépôt de dentine secondaire qui peut créer des partitions dans le canal à l'origine des différentes configurations canalaire retrouvées dans la classification de Vertucci (8).

Nous pouvons aussi évoquer les calcifications (pulpolithes et calcifications diffuses) ainsi que les résorptions internes qui peuvent altérer nettement l'anatomie interne de la dent.

Il est vrai que la pulpe et la dentine réagissent à leur environnement ; leurs volumes et formes varient aussi en réponse aux agents irritants (2).

Ils stimulent la formation dentinaire à la base des canalicules de la pulpe sous-jacente, ce qui peut modifier la forme de la cavité pulpaire et de l'anatomie interne de la dent.

Parmi ces agents irritants nous pouvons citer tout ce qui peut provoquer une exposition dentinaire : carie, maladie parodontale, érosion, abrasion, fracture de cuspide, troubles de l'occlusion et des facteurs imputables à l'opérateur (surfaçage radiculaire, coiffage pulpaire, préparation cavitaire profonde avec insertion de matériaux).

II-2.2. Anatomie apicale du système canalaire

Traditionnellement, il existe trois repères à considérer au niveau apical d'une dent : la jonction cémento-dentinaire (JCD), la constriction apicale et le foramen apical.

En 1955, Kuttler réalisa une étude sous microscope optique de l'anatomie de la zone apicale des racines afin d'améliorer les techniques endodontiques. Ainsi, il donna une représentation schématique idéale de la zone apicale : c'est le concept apical de Kuttler (9).

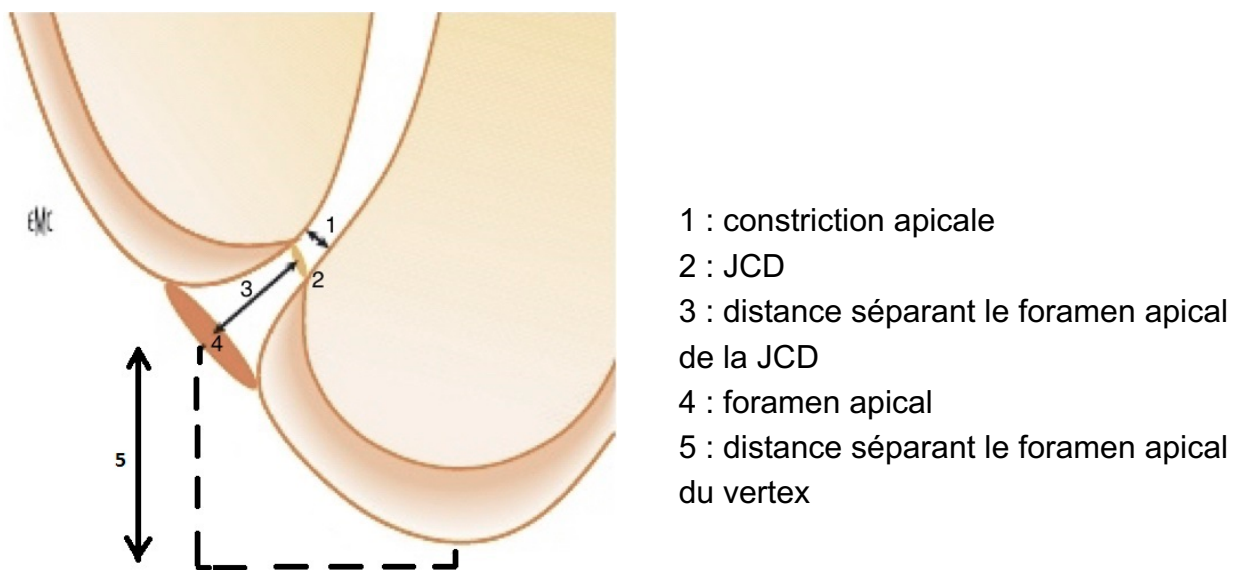


Figure 4 : Schéma de la région apicale
d'après Kuttler (10)

Par ce schéma, il explique que le canal principal d'une racine se rétrécit en une zone de plus faible diamètre appelée constriction apicale. Cette constriction délimite dans la partie coronaire du canal un long cône dentinaire qui s'oppose par son sommet à un court cône

cémentaire qui s'ouvre vers le péri-apex par le foramen apical. Ces deux cônes s'opposent et s'unissent par leur sommet en une jonction : la JCD.

Selon Kuttler, la hauteur moyenne du cône cémentaire, c'est à dire la distance entre la JCD et le foramen apical, est de 0,524 mm chez les 18-25 ans et de 0,629 mm chez les plus de 55 ans. Cette augmentation est liée au fait que cette zone est un foyer de différenciation cellulaire entraînant une apposition cémentaire continue au niveau apical et augmentant avec l'âge.

La JCD constitue un repère histologique entre le ciment 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 canaux où les matériaux d'obturation ont un contact minime avec les tissus péri-apicaux (1).

Physiologiquement, elle correspond à une zone de cicatrisation contenant des cellules indifférenciées qui peuvent s'exprimer sous forme de fibroblastes, cémentoblastes et ostéoblastes.

Kuttler montre que la JCD, tout en étant constante (retrouvée dans plus de 94% des cas) n'est pas un repère anatomique fixe. En effet, il note que la constriction apicale coïncide avec la JCD dans moins de 40% des cas (9).

La constriction apicale correspond à la zone la plus étroite du canal dans la région apicale : elle constitue le rétrécissement maximal du canal radiculaire, qui représente une barrière naturelle à ne pas franchir en direction apicale (1).

Selon Kuttler, le diamètre de la constriction apicale varie de 210 à 224 µm selon l'âge du sujet (9). La revue de littérature montre que la constriction apicale coïncide régulièrement avec la JCD ou se trouve à proximité de celle-ci, et est le plus souvent située à moins de 1 mm de l'apex (11).

Mais sa présence reste imprévisible : en cas de pathologie apicale ou de résorption radiculaire, la constriction sera absente. De plus, elle est de forme variable quand elle est présente.

Dummer et al ont classé la constriction apicale en quatre types distincts (12) :

- Type A : simple constriction (concept traditionnel) (46 %)
- Type B : constriction effilée avec la portion la plus étroite proche de l'apex (30 %)
- Type C : strictures multiples (19 %)
- Type D : constriction suivie d'une portion canalaire parallèle et étroite (5 %)

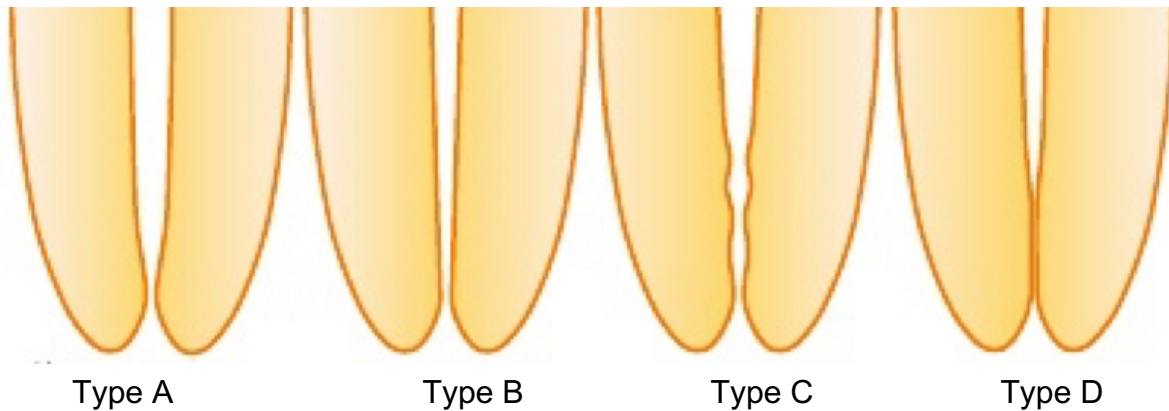


Figure 5 : *Topographie de la constriction apicale d'après Dummer (10)*

Nous pouvons également décrire un cinquième type : celui où le canal s'est totalement refermé par apposition de cément ou de dentine secondaire.

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 (1).

Il correspond donc à l'ouverture du canal principal au travers du cément vers le péri-apex. Son diamètre augmente avec l'âge consécutivement à l'apposition cémentaire apicale. Selon Kuttler, il est en moyenne de 502 μm chez les 18-25 ans et de 681 μm chez les plus de 55 ans (9). Pour Green, le diamètre du foramen apical varie de 20 μm à 2000 μm avec une moyenne de 570 μm (13).

Le foramen apical ne coïncide pas avec l'apex anatomique de la dent et il est très fréquemment dévié de l'axe canalaire, et ceci le plus souvent distalement (14,15). Kuttler signifie que l'axe du cône cémentaire ne se situe pas dans l'axe canalaire principal dans 80 % des cas. Pour Green ce pourcentage dépasse les 50%, ainsi le foramen apical se trouve plus haut que sa position apparente sur une radiographie (13).

Le degré de déviation est imprévisible et peut varier considérablement par rapport à la moyenne, en particulier sur les dents plus âgées ayant subi une apposition cémentaire apicale. Au final, la distance entre le foramen apical et l'apex anatomique varie entre 0,2 et 3 mm voire plus (15).

II-3. La longueur de travail

La longueur de travail (LT) désigne la longueur exacte entre un repère coronaire et une limite apicale fixée et choisie à l'avance, classiquement située à la constriction apicale. Elle peut être déterminée à l'aide d'un cliché radiographique et/ou d'un LEA (1).

La LT est donc la distance à laquelle les instruments doivent travailler dans le canal. Il s'agit d'une mesure millimétrique correspondant à la distance entre un repère coronaire fiable facilement repérable (sommet cuspidien, crête marginale, bord libre) et la limite apicale de préparation (JCD et/ou constriction apicale). Elle permet d'opérer strictement dans l'endodonte tout en respectant les structures péri-apicales au cours des phases de mise en forme et d'obturation canalaire.

Il est essentiel de bien connaître l'anatomie radiculaire apicale afin de déterminer avec précision la limite de préparation : c'est une étape clé en endodontie. La JCD doit être considérée comme la région précise où doit s'arrêter le traitement canalaire. Elle est souvent confondue avec la constriction apicale mais il est impossible d'appliquer cette description à toutes les dents du fait des modifications physiologiques et/ou pathologiques modifiant les structures apicales.

Dans le cas où la JCD est absente ou transformée (altération des structures apicales par une lésion apicale ou autre), la limite de préparation sera choisie légèrement en deçà du foramen apical, à environ 0,5 mm voire plus. L'opérateur devra réaliser un « cône d'arrêt » : la préparation formera une assise dentinaire, sorte de constriction artificielle, afin d'accueillir idéalement l'obturation (11).

Un mauvais choix de la limite apicale de préparation peut rapidement entraîner un échec du traitement endodontique par le déclenchement d'une pathologie péri-apicale (16). Nous pouvons répertorier deux types d'erreurs :

- Sous-estimation de la LT : persistance d'un moignon de tissu pulpaire et création d'un réservoir bactérien pouvant irriter secondairement le péri-apex à plus ou moins long terme

- Sur-estimation de la LT : elle peut être en lien avec une sur-instrumentation du canal tout au long du traitement ou un dépassement apical au moment de l'obturation. L'instrumentation au-delà du foramen apical supprime le rétrécissement apical, ce qui favorise une obturation débordante sans pour autant assurer une herméticité apicale. Elle est l'une des causes les plus fréquentes de l'échec du traitement radiculaire.

Concernant le dépassement apical, il peut aboutir à l'échec du traitement dans le cas où

l'étanchéité apicale n'est pas assurée. Certains dépassements dits « étanches » n'engendrent qu'une légère irritation du péri-apex et ne peuvent être considérés comme un échec thérapeutique.

Notons que le passage occasionnel d'un instrument fin au-delà de l'apex lors de la première prise de mesure de LT n'est pas un irritant majeur pour les tissus péri-apicaux (17).

Depuis de nombreuses années, il a été prouvé que la limite idéale de la préparation endodontique doit être la JCD et/ou la constriction apicale (9,18). Comme cette référence est impossible à repérer radiologiquement, il est reconnu que la LT doit être évaluée à partir de la longueur réelle de la dent diminuée de 0,5 mm. En fonction des circonstances (foramen dévié, pathologies d'origine endodontiques), cette limite peut légèrement varier ; l'opérateur devra alors faire appel à son sens tactile pour chercher la constriction. C'est à ce niveau que l'apparition des appareils électroniques de détermination de la LT a été et constitue un apport considérable.

III. LES DIFFÉRENTES TECHNIQUES DE DÉTERMINATION DE LA LONGUEUR DE TRAVAIL LORS D'UN TRAITEMENT ENDODONTIQUE

Après avoir défini la LT, nous allons exposer les différentes techniques utilisées pour la localiser cliniquement.

III-1. Techniques non reproductibles et empiriques

III-1.1. 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 desmodonte 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 péri-apex...) et est très inconfortable pour le patient.

III-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 recherche la sensation de constriction apicale à l'aide de limes endodontiques. C'est une technique qui présente de nombreuses limites en termes de précision et de reproductibilité : elle ne peut être retenue comme unique moyen de détermination de la LT.

De nos jours, cette technique n'est plus utilisée du fait des progrès scientifiques considérables qui ont été faits dans le domaine de la radiologie puis ensuite des localisateurs d'apex.

III-2. La méthode radiographique

Depuis de nombreuses années, l'utilisation de la radiographie rétroalvéolaire afin de déterminer la LT en endodontie est considérée comme une technique fiable et reproductible.

La méthode d'analyse des clichés radiographiques la plus utilisée et que nous retiendrons est celle décrite par Beveridge en 1966. Elle comprend deux étapes :

- analyse du cliché pré-opératoire : mesure approximative de la longueur radiculaire sur ce premier cliché (LT estimée) pouvant être facilitée par l'utilisation de

grilles millimétrées radio-opaques. Notons qu'il est essentiel que la radiographie soit réalisée sans distorsion pour que les mesures obtenues soient valables.

- analyse de la radiographie lime en place : avec l'instrument amené à la LT estimée moins 0,5 ou 1mm, permettant un ajustage de la mesure sur un cliché supplémentaire si nécessaire.

La radiographie rétroalvéolaire fait appel à deux techniques principales : celle dite des plans parallèles (ou technique long cône) et celle dite de la bissectrice. Forsberg en 1987 (19), puis Gound en 1994 (20), rapportent que la première reste la technique de choix car elle entraîne moins de déformations que la seconde. En effet, l'alignement film-dent-source de rayons X minimise la distorsion géométrique et participe à la définition et à la qualité de l'image.

La radioviographie (RVG) mise au point par le Dr Francis Mouyen en 1987 a peu à peu remplacé la radiographie conventionnelle : les rayons X sont récupérés sur un capteur numérique au lieu d'être réceptionnés sur un film argentique.

Même si, pendant très longtemps, l'image argentique présentait une netteté et une qualité supérieure aux images numériques, de nos jours grâce à l'essor de l'électronique et du progrès de la technique, la RVG permet d'obtenir une image au moins d'aussi bonne qualité mais surtout plus facile à exploiter cliniquement et à archiver. La radiographie numérisée a permis d'abaisser les doses d'irradiation, de fortement diminuer le temps d'acquisition des images, de jouer sur la variation de contraste afin de mieux repérer les structures anatomiques qui nous intéressent, ainsi que la possibilité de les éditer et de les stocker informatiquement (21).

III-2.1. Mode opératoire

Au cours d'un traitement endodontique, il est recommandé de réaliser plusieurs clichés radiographiques afin d'éviter voire d'anticiper d'éventuelles difficultés ainsi que de vérifier la qualité du traitement en cours :

- Un ou des clichés préopératoires : ces clichés sont à visée diagnostique et constituent aussi un élément de référence de l'état initial de la dent. Ils permettent à l'opérateur d'obtenir des données sur l'anatomie canalaire, le nombre de racines, les éventuelles courbures et sur l'intégrité du parodonte. Il est nécessaire de réaliser ces clichés à l'aide d'un angulateur afin de minimiser le risque de déformation. Du fait de la superposition de structures anatomiques, il est parfois utile de réaliser, en plus d'une

incidence orthocentrée, des clichés ayant une incidence excentrée. Dans ce cas, l'analyse de l'image se fera selon la règle d'Ewan et Clark :

- si on déplace le tube en mésial de la dent, la racine la plus distale sur le cliché est la racine vestibulaire,
- si on déplace le tube en distal de la dent, la racine la plus distale sur le cliché est la racine palatine/linguale.

→ Un ou des clichés peropératoires qui permettent de contrôler les différentes phases du traitement : estimation de la LT lime en place (10 ou 15/100^{ème}) et vérification de celle-ci avant obturation par la radiographie maître-cône en place. Cette étape de détermination de la LT est à la fois cruciale et difficile, nécessitant souvent, en particulier sur les dents pluriradiculées, la réalisation de plusieurs clichés.

→ Un cliché postopératoire : c'est une radiographie de contrôle afin de vérifier la qualité et la précision du traitement, et qui constitue une image de référence pour le suivi du patient.

Pour cette méthode radiographique, l'opérateur va déterminer la LT de chacun des canaux radiculaires. Pour cela, une lime K de diamètre 10 ou 15/100^{ème} sera placée dans chaque canal et une radiographie peropératoire « lime en place » sera prise. Ainsi, il sera possible d'apprécier la distance séparant l'extrémité de la lime endodontique de l'apex radiologique ainsi que d'ajuster pour chacun la LT. Le stop de l'instrument est alors placé au niveau d'un repère coronaire stable et la LT obtenue sera mesurée suite au retrait de la lime. La longueur de préparation retenue correspond à la distance obtenue moins 0,5mm. Le praticien pourra réaliser l'ampliation canalaire en suivant la séquence instrumentale qu'il a choisie, tout en veillant à bien respecter les longueurs de travail retenues tout au long du traitement. Une radiographie « maître-cône en place » sera prise avant obturation afin de vérifier la bonne adaptation de chacun des cônes de gutta au niveau du dôme radiographique.

Une fois l'obturation terminée, il est recommandé de réaliser une radiographie postopératoire afin de vérifier la qualité du traitement. Celle-ci servira de base pour observer la cicatrisation d'une éventuelle lésion apicale.

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 (1).

III-2.2. Limites de la radiographie intra-buccale

Outre les nombreuses informations qu'elles apportent, les radiographies rétroalvéolaires présentent plusieurs limites. En effet, il est essentiel de garder à l'idée que l'image obtenue n'est qu'une projection bidimensionnelle d'une structure tridimensionnelle : il y a donc une superposition des structures anatomiques (arcade zygomatique, plancher sinusien, racines des dents pluriradiculées...), ce qui peut compliquer voire rendre impossible la visualisation de la lime endodontique au niveau de l'apex. Ceci est particulièrement vrai au niveau des molaires maxillaires.

Précisons qu'en pratique clinique, ni la CA, ni la JCD, constituant à elles deux les limites apicales de préparation théoriques idéales, ne sont détectables radiologiquement ; seul l'apex radiographique est décelable.

Il a ensuite été démontré que l'extrémité d'une lime endodontique dépassant le foramen apical ne peut être visualisée sur un film radiographique avec une incidence vestibulo-buccale que lorsque celui-ci s'ouvre mésialement, distalement ou à l'apex de la racine. En effet, du fait de la superposition anatomique, lorsque le foramen s'ouvre en vestibulaire, en palatin/lingual ou en amont de l'apex, l'émergence de la lime endodontique au travers du foramen apical sera masquée. Dans ce cas, lorsque l'apex radiographique et le foramen apical ne coïncident pas, la probabilité de dépassement augmente et la détermination de la LT par la technique radiographique devient moins satisfaisante.

En 2001, Elayouti a réalisé une étude sur la précision et la fiabilité de la détermination de la LT par la radiographie intrabuccale. 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 surestimée. 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 (22).

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 nauséeux ou d'une ouverture buccale limitée (2).

Nous pouvons aussi évoquer l'exposition aux rayonnements ionisants du patient, du praticien et de son équipe pour chaque prise d'un cliché radiographique. 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.

III-3. Les localisateurs électroniques d'apex (LEA)

III-3.1. Historique et principe de fonctionnement

Une des innovations majeures en endodontie est l'apparition et le développement de dispositifs électroniques permettant de déterminer la position du foramen apical.

C'est Custer en 1918 qui a posé les bases de fonctionnement des localisateurs d'apex électroniques. Il a observé que la conductivité des tissus péri-apicaux était plus grande que celle présente à l'intérieur du canal radiculaire sec ou rempli de fluides non conducteurs. Il fut le premier à exprimer l'idée que la longueur du canal radiculaire pouvait être estimée au moyen d'un courant électrique.

Puis Suzuki, en 1942 a étudié le passage d'un courant continu à travers des dents de canidés. Il indique que la résistance électrique entre le ligament parodontal et la muqueuse orale a une valeur constante et mesurable : 6500 Ω . Il en conclut qu'il était possible d'estimer la LT d'un canal en utilisant un courant électrique.

C'est à partir des travaux de Suzuki que Sunada a développé en 1962 le premier localisateur d'apex et a réalisé des expériences in vivo sur l'homme.

En fait, le LEA forme un circuit électrique qui permet de détecter les tissus parodontaux au niveau du foramen apical. Donc, lorsque l'extrémité de la lime endodontique atteint le desmodonte au travers de la constriction apicale (ou au niveau d'une perforation), la résistance électrique aura une valeur de 6 500 Ω quel que soit l'âge du patient et le type de dent selon Suzuki.

Les LEA sont capables d'estimer la limite apicale en exploitant les propriétés électriques de la dent et des tissus parodontaux. Au niveau dentaire, la dentine et le cément ainsi que l'os alvéolaire jouent le rôle d'isolants électriques. Par contre, les tissus et fluides pulpaux qui sont reliés au ligament parodontal par le biais de la constriction apicale sont des conducteurs de courant électrique. Le principe repose sur la diminution subite de la résistance électrique à l'approche du desmodonte (au niveau du dernier millimètre apical) (23).

Ainsi, sont apparues les premiers LEA, considérés comme des précurseurs, qui fonctionnaient en courant continu. Mais leurs mesures pouvaient être fortement altérées en présence d'exsudats, de saignements et d'électrolytes (NaOCl) du fait de variations au niveau de la résistance (24).

Exemples : Endometer®, Multidentor®

C'est dans les années 1980 que sont développés les LEA dits de première génération. Il s'agit d'appareils à étalonnage individuel mesurant l'impédance suite au passage d'un courant alternatif. Ceci a permis d'améliorer la fiabilité de ces appareils même en présence de fluides (25).

Exemples : SonoExplorer®, Forameter®, Endoradar®, NeoSono®

A partir de 1983, le principe de mesure de la résistance électrique établi par Sunada commence à être remis en cause, en particulier par Ushiyama et Huang. Ces auteurs démontrent que la localisation électronique de l'apex est un problème physique fondé sur des principes électriques et non biologiques comme le décrivait Sunada (26,27).

Ainsi, fut développée la deuxième génération de LEA qui mesurent l'impédance électrique libérée par la dent à travers les parois canalaires lorsqu'on lui applique un courant de fréquence déterminée. Il s'agit d'appareils précalibrés : la valeur du seuil de la résistance au niveau du foramen apical est définie, le praticien n'aura pas à réaliser un étalonnage préalable. La présence de la constriction apicale provoque une chute brutale de l'impédance pouvant être détectée par le LEA.

Mais ces appareils présentent des mesures aberrantes en l'absence de constriction apicale et sous irrigation au NaOCl à 2,5 % du fait de sa grande conductivité.

Exemples : Dentometer®, Apex finder®, Foramatron®, Odontometer®, Endocater®

C'est en 1991 que Kobayashi développe le principe du « ratio method » qui caractérise les LEA de troisième génération 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 (28).

Entre 1992 et 2002, avec l'arrivée du ratio method et la mise sur le marché du Root ZX® (LEA de troisième génération qui reste une référence aujourd'hui), peu de modèles différents ont été développés. Ce n'est que dans les années suivantes, par souci de concurrence, que toute une batterie de LEA fonctionnant selon ce principe de ratio method ou selon des optimisations de celui-ci ont vu le jour : Apit®, ProPex®, Neosono®, Apex Pointer®.

Contrairement aux LEA de deuxième génération, ces appareils apparaissent comme plus sécuritaires en l'absence de constriction apicale en limitant les mesures aberrantes.

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 :

- 2 fréquences utilisées alternativement : Raypex 5® 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 (29,30).

- 5 fréquences : Endo Analyser® et Apex Finder AFA® de la société Analytic Technology. Welk et al. ont montrés que ce type de LEA détecte la constriction apicale dans 34,4 % des cas contre 90,7% pour le Root ZX® (31).

- 3 fréquences : Endy 6000® et Locapex five® de chez Lonyx.

Le principe de fonctionnement des LEA étant fonctionnel et bien établi, leur évolution s'est par la suite orientée vers l'optimisation et la simplification du geste opératoire. C'est ainsi que sont apparus les LEA associés au micromoteur dits de dernière génération associant une lecture dynamique de la mesure et un mouvement de réciprocité à l'approche du foramen apical permettant de limiter tout risque de sur instrumentation dans le péri-apex. Exemples : Dentaport ZX® (Morita), Endo Master® (EMS), Gold Reciproc® (VDW), X-Smart Plus® (Dentsply Maillefer)

De nos jours, par souci d'ergonomie et pour garantir à l'opérateur une plus grande liberté de mouvement, les fabricants proposent des LEA de dernière génération sans fil.

Exemples : Tri Auto ZX® (Morita), Connect Drive® (VDW), X-Smart Easy® (Dentsply Maillefer), Entran® (W&H)

III-3.2. Mise en œuvre clinique

Malgré la simplicité d'utilisation des LEA, pour que leurs mesures soient précises et fiables, il est nécessaire de se limiter aux situations cliniques pour lesquelles il ont été conçus et de suivre un protocole clinique rigoureux. En effet, peu importe la technique de détermination de la LT utilisée, le praticien devra toujours être vigilant quant aux renseignements sur la morphologie canalaire fournis par la radiographie préopératoire. De même, comme pour tout traitement endodontique, il sera nécessaire de mettre en place un champ opératoire étanche afin d'isoler la dent du milieu buccal, de maintenir une asepsie tout au long du traitement ainsi que de prévenir tout risque d'ingestion/inhalation de produits chimiques ou d'instruments. Ainsi, la préparation corono-apicale du canal pourra être réalisée dans les meilleures conditions possibles.

Suite à ces étapes de préparation, la contre-électrode est placée au niveau de la commissure labiale du patient opposée au secteur soigné (commissure droite pour traitement dent du secteur 2-3 ; commissure gauche pour traitement dent secteur 1-4).

En ce qui concerne les LEA isolés du micromoteur (Root ZX®), la lime endodontique est engagée dans le canal et est reliée à l'électrode au niveau de sa partie non active (en amont du stop) par une griffe du porte lime. On retrouve de plus en plus de LEA couplés au micromoteur (Endo Master®), 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 intracanaire (Root ZX®) ou au micromoteur (Endo Master®) d'autre part.

L'instrument va progressivement être engagé dans le canal jusqu'au signal visuel et/ou sonore marquant la limite de préparation qui correspond au foramen apical. Une fois ce signal stabilisé, le stop en silicone sera ajusté au niveau d'un repère coronaire stable. L'instrument est retiré et la LT est mesurée en ôtant 0,5 ou 1 mm. Cette opération sera réalisée pour chaque canal. Comme les LEA détectent le foramen apical, il est nécessaire de soustraire cet écart à la mesure obtenue afin de ne pas travailler au-delà de la constriction apicale.

Notons que certains LEA permettent de paramétrer sur l'écran de contrôle la limite apicale à « 0 », « -0,5 » ou « -1 » du foramen apical. A ce sujet, plusieurs études concluent que les LEA permettent uniquement de localiser le foramen apical et pas le « 0,5 mm » en amont (32,33). Il conviendra donc de régler la limite apicale sur l'écran de contrôle au niveau du foramen apical pour ces appareils.

La longueur ainsi obtenue servira de LT de référence pour l'ampliation canalaire. Suite au passage de la séquence instrumentale choisie, en cas de doute, un cliché radiographique maître-cône en place pourra être réalisé par le praticien afin de vérifier l'exactitude de la mesure électronique ainsi que la bonne descente du cône de gutta jusqu'à la LT. Par la suite, l'obturation endodontique sera réalisée selon la technique choisie par l'opérateur.

III-3.3. Avantages des LEA

Comme décrit précédemment, la méthode radiographique ne permettant 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.

Les LEA de dernière génération sont capables de détecter toute connexion entre le canal radiculaire et les tissus parodontaux (fractures, perforations, fêlures...).

De nos jours, il apparaît sur le marché de plus en plus de LEA couplés au micromoteur. L'intérêt étant plus ergonomique que technique, ces LEA présentent l'avantage de permettre une lecture dynamique de la LT au cours de la mise en forme canalaire.

Cependant, comme tout dispositif médical, l'utilisation d'un LEA nécessite un temps d'apprentissage ainsi que le respect d'un protocole thérapeutique précis.

III-3.4. Précaution d'emploi

Pour obtenir des mesures fiables, l'utilisation d'un LEA doit s'effectuer, sous champ opératoire étanche, sur des dents dont l'étanchéité coronaire a été préservée ou restaurée (reconstitution pré-endodontique) afin d'isoler la chambre pulpaire de la salive. Ceci permet d'éviter toute dérivation du courant au niveau du parodonte pouvant entraîner une lecture électronique aberrante. De nos jours, toutes les limes endodontiques présentent un manche isolé en plastique afin d'éviter toute dérivation du courant avec les mains du praticien.

Il est nécessaire de veiller sur le taux d'humidité canalaire. En effet, l'instrument doit progresser dans un canal radiculaire humide afin de garantir une bonne conductivité

électrique. L'irrigation canalaire régulière avec une solution électroconductrice d'hypochlorite de sodium améliore la précision de mesure des LEA. Néanmoins, en présence de canaux larges ou dans les chambres camérales des pluriradiculées, un excès d'irrigant provoque une impossibilité de stabiliser le signal ou une lecture électronique aberrante. Dans ce cas, l'excès d'irrigant sera éliminé avec une pointe papier ou une boulette de coton (34).

Pour le bon fonctionnement d'un LEA, la conservation de la perméabilité foraminale est primordiale afin de maintenir ce circuit électrique fermé. Durant l'ampliation, des débris dentinaires peuvent modifier la résistance entre l'intérieur du canal et le parodonte allant jusqu'à obstruer la lumière foraminale. Ceci, pouvant entraîner l'obtention de mesures fausses, peut être évité en réalisant une irrigation régulière entre chaque passage de lime ainsi qu'en faisant une récapitulation avant la mesure électronique.

Dans le cas de courbures canalaires prononcées, au cours de la préparation radiculaire, il se produit un léger redressement de l'axe canalaire associé à un raccourcissement de la LT. Il sera alors nécessaire de vérifier la mesure électronique durant l'ampliation afin d'éviter toute sur-instrumentation.

Concernant l'affichage numérique sur l'écran des LEA, les valeurs affichées ne correspondent à aucune valeur réelle et ne doivent pas être prises en compte. Les valeurs reportées sur cet écran de contrôle ne sont significatives qu'entre 0 et 1 mm du foramen apical, voire 2 mm pour certains LEA.

III-3.5. Limite d'utilisation clinique des LEA

De nombreux fabricants allèguent que leurs LEA permettent de localiser la constriction apicale. A ce sujet, en 2003, Welk montre une capacité des LEA à déterminer la constriction apicale avec succès dans 34,4 à 90,7% en fonction des appareils (31).

Le terme de localisateur électronique d'apex semble peu approprié car on ne détermine pas la position de l'apex anatomique ni celle de la constriction apicale, mais celle du foramen apical. Il serait donc préférable d'utiliser le terme de localisateur électronique du foramen apical.

Comme évoqué précédemment, l'existence d'une perméabilité foraminale, permettant le passage du courant, est une condition indispensable au bon fonctionnement du LEA. Dans certaines situations cliniques (canaux calcifiés, apex avec fermeture cémentaire

apicale complète), cette condition n'étant pas remplie, il faudra se résoudre à utiliser une méthode alternative.

Inversement, les dents présentant un foramen apical large (résorption inflammatoire, développement radiculaire apical inachevé...) ne peuvent être mesurées de manière sûre, mais les LEA semblent plus efficaces que la méthode radiographique. Toutefois, il est essentiel de noter que la précision de la mesure obtenue dépendra de l'appareil utilisé, et du diamètre du foramen apical. En effet, plusieurs études rapportent que certains appareils sont plus adaptés que d'autres (Root ZX®, MiniApex®) et ceci est d'autant plus significatif quand le diamètre du foramen apical augmente (35,36).

D'autre part, tous liquides biologiques (sang, exsudats inflammatoires, débris pulpaire) ainsi que toutes restaurations coronaires métalliques ou instruments fracturés qui sont conducteurs de courant, peuvent engendrer une dérivation de celui-ci et donc la lecture de faux positifs. Pour obtenir une lecture électronique fiable et stable, il sera nécessaire de réaliser une irrigation canalaire régulière, ainsi que d'éliminer toutes les restaurations métalliques présentes au niveau de la dent traitée.

De même, tout défaut d'étanchéité coronaire (présence de tissu carieux, fracture ou fêlure corono-radiculaire, absence de reconstitution pré-endodontique en cas d'importante perte de substance coronaire) permettant le passage du courant, est à l'origine d'une mesure positive anticipée (faux positif).

Plusieurs études rapportent que la précision des LEA de dernière génération ne dépend pas de la vitalité pulpaire. Il est vrai que ce critère était significatif pour les LEA des premières générations mais pas pour les LEA utilisant le Ratio method (37,38).

Lors de la détermination de la LT, l'utilisation d'un instrument non ajusté (de trop faible diamètre) donnera une mesure positive anticipée et difficile à stabiliser : la LT calculée sera plus courte que la longueur réelle du canal. Pour cela, il est recommandé d'utiliser une lime endodontique de diamètre comparable au diamètre canalaire initial, pour que les lames de l'instrument soient engagées contre les parois canalaires afin d'améliorer la conductivité (39).

Lors d'un retraitement endodontique, la présence dans le canal de certains matériaux d'obturation agissant comme des isolants, rend inappropriée l'usage d'un LEA. Une fois retirée l'ensemble de l'agent obturateur et la perméabilité foraminale rétablie, l'utilisation du LEA pourra à nouveau être envisagée.

III-3.6. Tableau récapitulatif des conditions cliniques affectant la mesure des LEA

Condition clinique	Réponse LEA		Alternative possible
	Faux positif	Faux négatif	
Tissu carieux, amalgame	+	-	Eviction tissu carieux ou restauration + rétablissement de l'étanchéité coronaire (CVI)
Instrument fracturé, cône d'argent	+	-	Retrait instrument/cône d'argent ou méthode alternative
Couronne métallique, bague de cuivre	+	-	Dépose couronne/bague ou isoler l'ensemble avec du cvi
Retraitement : présence de matériau isolant (gutta, résine)	-	+	Elimination du matériau + irrigation au NaOCl + rétablissement de la perméabilité foraminale
Canal minéralisé, apex fermé	-	+	Rétablissement de la perméabilité canalaire ou méthode alternative
Fêlure/fracture corono-radulaire	+	-	Extraction ou méthode alternative
Delta apical ou canal secondaire	+	-	Réaliser une radiographie rétroalvéolaire lime en place
Perforation iatrogène	+	-	Obturation de la perforation
Canal sec	-	+	Irrigation régulière au NaOCl
Excès de liquide électroconducteur	+	-	Eliminer les excès de liquide avec une pointe papier ou une boulette de coton
Excès de sang	+	-	Elimination du reste du parenchyme pulpaire + irrigation au NaOCl

Tableau 1 : Récapitulatif des conditions cliniques affectant les LEA (S.Llopet)

IV. ETUDE CLINIQUE : COMPARAISON IN VIVO DES 3 PRINCIPALES TECHNIQUES DE DETERMINATION DE LA LONGUEUR DE TRAVAIL

IV-1. Introduction – Problématique

Actuellement, il n'existe pas de consensus permettant d'affirmer laquelle des méthodes de détermination de la LT offre les meilleurs résultats.

Il a déjà été vu que le repère anatomique apical idéal recommandé pour l'instrumentation et l'obturation canalaire est la constriction apicale, qui se trouve à une distance de 0,5 à 1mm du foramen apical (9).

Historiquement, la méthode radiographique est la technique de première intention pour déterminer une LT au cours d'un traitement endodontique malgré les inconvénients inhérents à la radiographie intra-buccale (représentation bidimensionnelle d'une structure tridimensionnelle, irradiation...). En effet, la localisation du foramen apical est parfois rendue difficile du fait de l'émergence latérale du canal : ainsi le foramen apical ne coïncide pas avec l'apex anatomique sur le cliché radiographique. Ceci peut provoquer une sur ou sous obturation se traduisant par une augmentation de la probabilité d'un échec thérapeutique de 10 à 50% après 10 ans (34).

De nos jours, les LEA, présentant une bonne fiabilité et précision dans la localisation du foramen apical, sont reconnus comme méthode alternative à la radiographie intra-buccale (40,41). Ces appareils ont connu une forte évolution au cours des dernières années du fait des progrès scientifiques. Ainsi de nombreux modèles, fonctionnant tous selon le principe de Ratio method ou des optimisations de celui-ci sont apparus sur le marché. Dans notre étude, nous nous intéresserons à 2 LEA de générations différentes : le Root ZX® et l'Endo Master®.

Ainsi, nous nous sommes posés trois questions principales :

- L'utilisation des LEA permettent-ils d'obtenir des résultats en termes de précision et de reproductibilité semblables voir plus efficaces que la méthode radiographique ?
- Une des techniques est-elle réalisable dans un temps inférieur aux autres ?
- Chacune des méthodes est-elle à la portée d'un opérateur novice comme d'un opérateur expérimenté ?

IV-2. But du travail

Le but de cette étude expérimentale in vivo est d'évaluer :

- La précision et la reproductibilité des mesures obtenues par les 3 techniques dans la détermination de la LT par analyse radiographique,
- Le gain de temps obtenu grâce à l'utilisation des LEA,
- L'absence du caractère praticien dépendant avec les LEA du fait de la simplification du geste thérapeutique

IV-3. Matériel et méthode

Notre étude in vivo a consisté à réaliser des traitements endodontiques de première intention sur des dents définitives.

IV-3.1. Matériel

Pour réaliser un traitement canalaire un grand nombre d'instruments est nécessaire, c'est pourquoi un effort de réflexion et surtout d'organisation de la part du praticien est essentiel afin de simplifier et d'améliorer les conditions de travail. En effet, à chaque étape du traitement correspond un instrument.

Au cours de notre étude, la majorité des instruments utilisés est commune aux différentes méthodes. Il s'agit du matériel endodontique classique :

- anesthésique et champ opératoire,
- appareil et capteur radiographique,
- trousse d'examen clinique et de diagnostic (miroir, sonde, précelles...)
- séquenceur de fraise (diamantées et carbure de tungstène, Endo Z), séquence instrumentale (limes + Protaper), et matériel pour l'obturation (pointes de papier, cônes de Gutta-Percha, Mac Spadden, ciment endodontique...)
- NaOCl à 2,5 %, Glyde

En fonction de la méthode de détermination de la LT choisie par le praticien une instrumentation plus spécifique est indispensable :

- Méthode radiographique : contre-angle réducteur (bague verte) monté sur l'unit
- LEA :
 - Root ZX® : micromoteur, contre-électrode labiale, porte lime et contre-angle réducteur
 - Endo Master® : micromoteur associé au contre-angle, contre-électrode labiale

Notons que le Root ZX® de chez Morita est un LEA de troisième génération ayant fait l'objet de nombreuses études, il est présenté comme le LEA de référence. C'est le premier appareil qui calcule simultanément le ratio de deux impédances correspondant à deux fréquences (une basse de 400 Hz et une haute de 8 kHz) afin de déterminer la position du foramen apical.

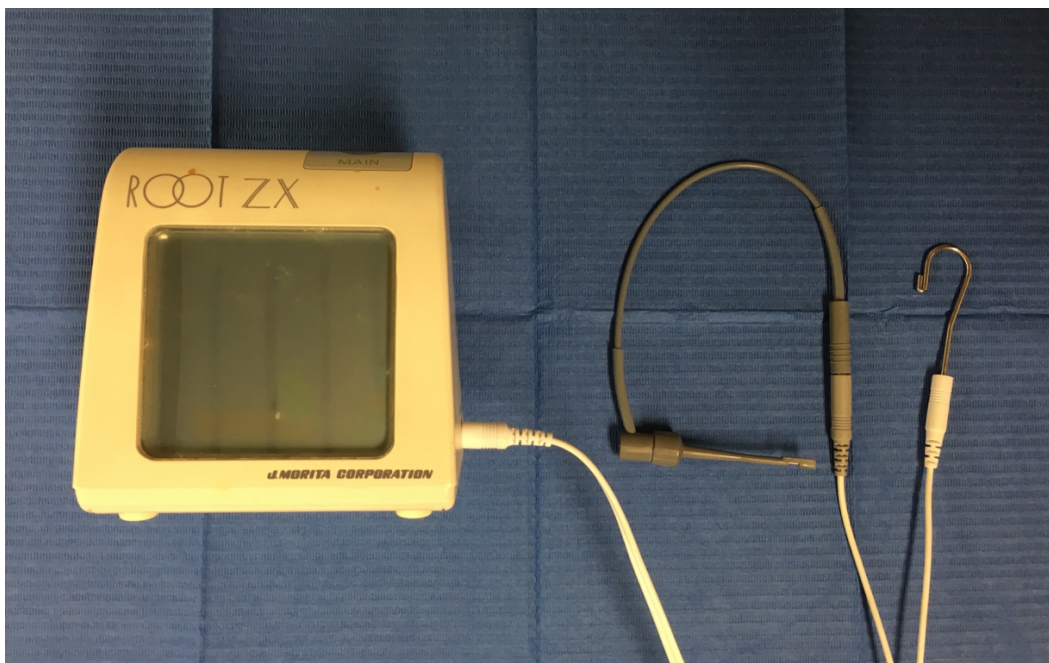


Figure 6 : Root ZX ®

La revue de littérature stipule que le Root ZX® présente une précision de mesure estimée entre 80 et 90% ceci en fonction du groupe dentaire traité, de la localisation du foramen apical et de sa maturité. Au fil du temps, de nombreuses versions dérivées ont été développées par Morita avec le Root ZX II®, le Dentaport ZX®, le Tri-Auto ZX® ou encore le Mini Root ZX® qui sont tous basés sur le système électronique du Root ZX®.

L'Endo Master® de chez EMS est, quant à lui, un LEA filaire couplé à un contre-angle d'endodontie sur batterie. C'est un LEA de dernière génération qui calcule le rapport d'impédance de 3 fréquences afin de déterminer la LT. Le micromoteur présente un mouvement de réciprocité lorsque l'instrument arrive au niveau du foramen apical : il s'agit d'une rotation lente en sens inverse lorsque le couple maximal préréglé est atteint. Peu d'études ont été réalisées sur cet appareil, mais toutes rapportent une grande fiabilité et précision dans la détermination de la position du foramen apical, avec des taux de réussite compris entre 85 et 90 % (42–44).



Figure 7 : Endo Master®

IV-3.2. Méthode

IV-3.2.1. Détermination des critères d'inclusion et d'exclusion des pièces anatomiques

IV-3.2.1.1. Critères d'inclusion

- Dent n'ayant subi aucun traitement radiculaire préalable
- Dent pour laquelle le traitement endodontique est nécessaire
- Dent restaurable durablement (composite, onlay-inlay, couronne)
- Dent adulte avec apexification terminée

IV-3.2.1.2. Critères d'exclusion

- Dent déjà traitée endodontiquement
- Dent présentant une fracture, une résorption ou des apex très ouverts
- Dent non restaurable durablement et donc non conservable (dent extraite)
- Dent de lait
- Dent présentant des canaux calcifiés (pas de perméabilité apicale)

IV-3.2.2. Protocole opératoire

Les dents ont été préalablement sélectionnées en fonction des critères d'inclusion et d'exclusion définis. Une radiographie rétro-alvéolaire préopératoire a été réalisée et analysée pour chacune d'entre elles. Ceci a permis aux deux praticiens d'évaluer l'anatomie radiculaire et d'identifier les éventuelles difficultés opératoires (courbures, calcifications...).

Il a été réalisé un total de 105 traitements endodontiques répartis en deux échantillons, selon les paramètres étudiés.

Notre premier échantillon se constitue de 90 dents dont 30 monoradiculées (incisives et canines), 30 prémolaires et 30 molaires. Au sein de chacun de ces groupes, nous avons choisi d'évaluer la précision, la reproductibilité, le caractère praticien dépendant et le temps de travail obtenu selon les trois méthodes de détermination de la LT choisies

(radiographie, Root ZX® et Endo Master®). Pour cela, les deux opérateurs, notés 1 et 2, ont réalisé un nombre équivalent de traitements radiculaires sur chacun des groupes dentaires et selon les trois méthodes sélectionnées. L'opérateur 1 représente le praticien expérimenté ayant 20 ans de pratique professionnelle libérale ; l'opérateur 2 ayant peu de recul clinique est considéré comme inexpérimenté.

Le deuxième échantillon contient 12 dents dont 4 dents du groupe incisivo-canin, 4 prémolaires et 4 molaires. Nous avons confronté les deux méthodes de détermination de la LT : radiographique et électronique (LEA). Une première prise de LT à la lecture d'une radiographie lime en place, notée LTr (correspondant à la LT mesurée moins 0,5 mm). Puis une seconde prise avec un LEA, notée LTe, qui sera considérée comme notre mesure de référence pour le traitement. À la vue de la qualité du traitement réalisé sur la radiographie post-opératoire, nous pourrions déterminer laquelle de ces deux méthodes apparaît comme la plus fiable dans la prise de mesure de la LT.

Dans notre étude, tous les traitements ont été réalisés selon la même séquence instrumentale (Protaper) et sous irrigation au NaOCl (hypochlorite de sodium) à 2,5 %. Toutes les valeurs essentielles obtenues au cours des traitements ont été recueillies dans un tableau d'analyse où figurent les différents paramètres à étudier pour chaque échantillon (Tableaux 2 à 5). Notons que pour chacune des méthodes expérimentées, la dernière vérification se fait à l'étape du maître-cône en veillant à ce que celui-ci descende bien jusqu'à la LT mesurée. Ce maître-cône doit bloquer dans le cône d'arrêt réalisé par l'instrumentalisation du canal : il ne doit être ni trop court, ni trop long.

Ainsi, nous nous sommes efforcés d'évaluer la précision obtenue pour chacune des méthodes utilisées dans la détermination de la LT par analyse radiographique. Nous noterons « 0 » une précision obtenue considérée comme très satisfaisante ; « -1 » une obturation en retrait de l'apex radiographique de 1mm ; « 1 » un dépassement de 1mm ...

Nous avons également recherché à évaluer la reproductibilité de chacune des techniques. Pour cela, nous avons réalisé des mesures millimétriques de la LT à différents moments du traitement : deux prises de mesure au début du traitement (notées LT1 et LT2 quand une double mesure est essentielle) puis vérification de cette mesure à l'étape du maître-cône en place (LT maître-cône) afin de contrôler le maintien de notre LT tout au long du traitement.

D'autre part, le temps de travail a aussi été un de nos critères de recherche. Afin de déterminer si une technique est plus rapide que les autres, nous avons comparé les temps de réalisation des traitements des deux praticiens au sein de chaque groupe dentaire selon les trois méthodes expérimentées. Ce temps de travail T, correspond au nombre de minutes nécessaire au praticien pour réaliser le traitement endodontique depuis le repérage des entrées canalaire (champ opératoire déjà en place) jusqu'à l'obturation canalaire et la radiographie post-opératoire. Ceci nous permettra également de déterminer si une des méthodes expérimentées permet de diminuer l'importance du caractère praticien dépendant dans la réalisation d'un traitement endodontique.

IV-4. Résultats

IV-4.1. Tableaux de résultats

IV-4.1.1. Echantillon 1

IV-4.1.1.1. Méthode radiographique

Groupe dentaire	Opérateur	Numéro de dent	Nombre de canaux	LT lime en place (mm)	LT retenue (mm)	LT maître-cône (mm)	T (min)	Précision (mm)
Groupe incisivo-canin	1	1	1	21,5	21	21	25	0
		2	1	22,5	22	22	20	0
		3	1	21,5	21	21	20	0
		4	1	23,5	23	23	26	0
		5	1	21	20,5	20	24	0
	2	6	1	24,5	24	24	27	0
		7	1	22,5	22	22	25	0
		8	1	21,5	21	21	25	0
		9	1	24,5	24	24	28	0
		10	1	24	23,5	23,5	25	0
Groupe prémolaire	1	11	1	23	22,5	22,5	26	0
		12	2	Canal V : 21,5 Canal P : 21	Canal V : 21 Canal P : 20,5	Canal V : 21 Canal P : 20,5	33	Canal V : 0 Canal P : 0
		13	2	Canal V : 22,5 Canal P : 22	Canal V : 22 Canal P : 21,5	Canal V : 22 Canal P : 21,5	34	Canal V : 0 Canal P : -1
		14	1	18,5	18	18	27	0
		15	2	Canal V : 23 Canal P : 22,5	Canal V : 22,5 Canal P : 22	Canal V : 22,5 Canal P : 22	34	Canal V : 0 Canal P : 0
	2	16	2	Canal V : 23,5 Canal P : 23	Canal V : 23 Canal P : 22,5	Canal V : 23 Canal P : 22,5	39	Canal V : 0 Canal P : 0
		17	1	22	22	22	27	0
		18	2	Canal V : 22 Canal P : 21,5	Canal V : 21,5 Canal P : 21	Canal V : 21,5 Canal P : 21	40	Canal V : 0 Canal P : 0
		19	1	18,5	18	18	28	0
		20	2	Canal V : 23,5 Canal P : 24	Canal V : 23 Canal P : 23,5	Canal V : 23 Canal P : 23,5	38	Canal V : 0 Canal P : 0

Tableau 2 : Détermination de la LT selon la méthode radiographique (partie 1)

Groupe dentaire	Opérateur	Numéro de dent	Nombre de canaux	LT lime en place (mm)	LT retenue (mm)	LT maître-cône (mm)	T (min)	Précision (mm)
Groupe molaire	1	21	3	Canal MV : 22,5 Canal DV : 23 Canal P : 24	Canal MV : 22 Canal DV : 22,5 Canal P : 23,5	Canal MV : 22 Canal DV : 22,5 Canal P : 23,5	47	Canal MV : 0 Canal DV : 0 Canal P : 0
		22	4	Canal MV1 : 22,5 Canal MV2 : 20,5 Canal DV : 21,5 Canal P : 22,5	Canal MV1 : 22 Canal MV2 : 20 Canal DV : 21 Canal P : 22	Canal MV1 : 22 Canal MV2 : 20 Canal DV : 21 Canal P : 22	56	Canal MV1 : 0 Canal MV2 : 0 Canal DV : -1 Canal P : 0
		23	4	Canal MV1 : 22 Canal MV2 : 21 Canal DV : 22,5 Canal P : 23,5	Canal MV1 : 21,5 Canal MV2 : 20,5 Canal DV : 22 Canal P : 23	Canal MV1 : 21,5 Canal MV2 : 20,5 Canal DV : 22 Canal P : 23	54	Canal MV1 : 0 Canal MV2 : 0 Canal DV : 0 Canal P : 0
		24	3	Canal MV : 23 Canal ML : 22 Canal D : 24	Canal MV : 22,5 Canal ML : 21,5 Canal D : 23,5	Canal MV : 22,5 Canal ML : 21,5 Canal D : 23,5	48	Canal MV : -1 Canal ML : -1 Canal D : 0
		25	3	Canal MV : 23,5 Canal DV : 23 Canal P : 24	Canal MV : 23 Canal DV : 22,5 Canal P : 23,5	Canal MV : 23 Canal DV : 22,5 Canal P : 23,5	49	Canal MV : 0 Canal DV : 0 Canal P : 0
	2	26	3	Canal MV : 22,5 Canal DV : 22 Canal P : 23,5	Canal MV : 22 Canal DV : 21,5 Canal P : 23	Canal MV : 22 Canal DV : 21,5 Canal P : 23	52	Canal MV : 0 Canal DV : 0 Canal P : 0
		27	4	Canal MV1 : 21 Canal MV2 : 20,5 Canal DV : 21,5 Canal P : 22	Canal MV1 : 20,5 Canal MV2 : 20 Canal DV : 21 Canal P : 21,5	Canal MV1 : 20,5 Canal MV2 : 20 Canal DV : 21 Canal P : 21,5	59	Canal MV1 : 0 Canal MV2 : 0 Canal DV : 0 Canal P : 0
		28	4	Canal MV1 : 22,5 Canal MV2 : 21 Canal DV : 22 Canal P : 23,5	Canal MV1 : 22 Canal MV2 : 20,5 Canal DV : 21,5 Canal P : 23	Canal MV1 : 22 Canal MV2 : 20,5 Canal DV : 21,5 Canal P : 23	58	Canal MV1 : 0 Canal MV2 : -1 Canal DV : 0 Canal P : 0
		29	3	Canal MV : 23 Canal DV : 22,5 Canal P : 24	Canal MV : 22,5 Canal DV : 22 Canal P : 23,5	Canal MV : 22,5 Canal DV : 22 Canal P : 23,5	52	Canal MV : 0 Canal DV : 0 Canal P : -1
		30	3	Canal MV : 22,5 Canal ML : 22 Canal D : 23,5	Canal MV : 22 Canal ML : 21,5 Canal D : 23	Canal MV : 22 Canal ML : 21,5 Canal D : 23	54	Canal MV : 0 Canal ML : 0 Canal D : 0

Tableau 2 (suite) : Détermination de la LT selon la méthode radiographique (partie 2)

IV-4.1.1.2 Root ZX®

Groupe dentaire	Opérateur	Numéro de dent	Nombre de canaux	LT1 (mm)	LT2 (mm)	LT maître-cône (mm)	T (min)	Précision (mm)
Groupe incisivo-canin	1	31	1	24	24	24	21	0
		32	1	22,5	22,5	22,5	18	-1
		33	1	15	15	15	20	0
		34	1	18	18	18	17	0
		35	1	20,5	20,5	20,5	19	0
	2	36	1	23,5	23,5	23,5	22	0
		37	1	22,5	22,5	22,5	20	0
		38	1	21,5	21,5	21,5	21	0
		39	1	21	21	21	18	0
		40	1	22	22	22	19	0
Groupe prémolaire	1	41	2	Canal V : 21,5 Canal P : 22	Canal V : 21,5 Canal P : 22	Canal V : 21,5 Canal P : 22	31	Canal V : 0 Canal P : 0
		42	1	17	17	17	22	0
		43	1	18,5	18,5	18,5	24	0
		44	1	22	22	22	23	0
		45	2	Canal V : 21,5 Canal P : 21	Canal V : 21,5 Canal P : 21	Canal V : 21,5 Canal P : 21	30	Canal V : 0 Canal P : 0
	2	46	1	21	21	21	24	0
		47	2	Canal V : 19,5 Canal P : 19	Canal V : 19,5 Canal P : 19	Canal V : 19,5 Canal P : 19	34	Canal V : 0 Canal P : 0
		48	1	21,5	22	22	24	0
		49	2	Canal V : 20,5 Canal P : 21	Canal V : 20,5 Canal P : 21	Canal V : 20,5 Canal P : 21	33	Canal V : 0 Canal P : 0
		50	1	23	23	23	23	0

Tableau 3 : Détermination de la LT avec le Root ZX® (partie 1)

Groupe dentaire	Opérateur	Numéro de dent	Nombre de canaux	LT1 (mm)	LT2 (mm)	LT maître-cône (mm)	T (min)	Précision (mm)
Groupe molaire	1	51	3	Canal MV : 22 Canal DV : 21,5 Canal P : 23	Canal MV : 22 Canal DV : 21,5 Canal P : 23	Canal MV : 22 Canal DV : 21,5 Canal P : 23	43	Canal MV : 0 Canal DV : 0 Canal P : -1
		52	3	Canal MV : 19 Canal ML : 19 Canal D : 18,5	Canal MV : 19 Canal ML : 19 Canal D : 18,5	Canal MV : 19 Canal ML : 19 Canal D : 18,5	42	Canal MV : 0 Canal ML : -1 Canal D : 0
		53	4	Canal MV1 : 19,5 Canal MV2 : 18 Canal DV : 19 Canal P : 21,5	Canal MV1 : 19,5 Canal MV2 : 18 Canal DV : 19 Canal P : 21,5	Canal MV1 : 19,5 Canal MV2 : 18 Canal DV : 19 Canal P : 21,5	45	Canal MV1 : 0 Canal MV2 : 0 Canal DV : 0 Canal P : 0
		54	4	Canal MV1 : 20 Canal MV2 : 19 Canal DV : 19,5 Canal P : 22	Canal MV1 : 20 Canal MV2 : 18 Canal DV : 19,5 Canal P : 22	Canal MV1 : 20 Canal MV2 : 18 Canal DV : 19,5 Canal P : 22	46	Canal MV1 : -1 Canal MV2 : -1 Canal DV : 0 Canal P : 0
		55	3	Canal MV : 20 Canal ML : 20,5 Canal D : 21	Canal MV : 20 Canal ML : 20,5 Canal D : 21	Canal MV : 20 Canal ML : 20,5 Canal D : 21	41	Canal MV : 0 Canal ML : 0 Canal D : 0
	2	56	4	Canal MV1 : 22 Canal MV2 : 21 Canal DV : 21,5 Canal P : 23,5	Canal MV1 : 22 Canal MV2 : 21 Canal DV : 21,5 Canal P : 23,5	Canal MV1 : 22 Canal MV2 : 21 Canal DV : 21,5 Canal P : 23,5	48	Canal MV1 : 0 Canal MV2 : 0 Canal DV : -1 Canal P : 0
		57	3	Canal MV : 22,5 Canal DV : 22 Canal P : 23	Canal MV : 22,5 Canal DV : 22 Canal P : 23	Canal MV : 22,5 Canal DV : 22 Canal P : 23	43	Canal MV : 0 Canal DV : -1 Canal P : 0
		58	3	Canal MV : 20 Canal ML : 20 Canal D : 19	Canal MV : 20 Canal ML : 20 Canal D : 19	Canal MV : 20 Canal ML : 20 Canal D : 19	42	Canal MV : 0 Canal ML : 0 Canal D : 0
		59	4	Canal MV : 22 Canal ML : 21,5 Canal DV : 23 Canal DL : 22,5	Canal MV : 22 Canal ML : 21,5 Canal DV : 23 Canal DL : 22,5	Canal MV : 22 Canal ML : 21,5 Canal DV : 23 Canal DL : 22,5	47	Canal MV : -1 Canal ML : 0 Canal DV : 0 Canal DL : 0
		60	3	Canal MV : 20,5 Canal ML : 19,5 Canal D : 20	Canal MV : 20,5 Canal ML : 19,5 Canal D : 20	Canal MV : 20,5 Canal ML : 19,5 Canal D : 20	43	Canal MV : 0 Canal DV : -1 Canal P : 0

Tableau 3 (suite) : Détermination de la LT avec le Root ZX® (partie 2)

IV-4.1.1.3 Endo Master®

Groupe dentaire	Opérateur	Numéro de dent	Nombre de canaux	LT1 (mm)	LT2 (mm)	LT maître-cône (mm)	T (min)	Précision (mm)
Groupe incisivo-canin	1	61	1	21	21	21	16	0
		62	1	22	22	22	15	0
		63	1	20	20	20	16	0
		64	1	20,5	20,5	20,5	16	0
		65	1	23,5	23,5	23,5	15	0
	2	66	1	21,5	21,5	21,5	15	0
		67	1	21	21	21	16	0
		68	1	21,5	21,5	21,5	15	0
		69	1	19	19	19	16	0
		70	1	22	22	22	15	0
Groupe prémolaire	1	71	2	21	21	21	17	0
		72	1	Canal V : 20 Canal P : 19,5	Canal V : 20 Canal P : 19,5	Canal V : 20 Canal P : 19,5	25	Canal V : 0 Canal P : 0
		73	1	22	22	22	18	0
		74	1	Canal V : 21 Canal P : 21,5	Canal V : 21 Canal P : 21,5	Canal V : 21 Canal P : 21,5	26	Canal V : 0 Canal P : 0
		75	2	Canal V : 21 Canal P : 21	Canal V : 21 Canal P : 21	Canal V : 21 Canal P : 21	25	Canal V : 0 Canal P : 0
	2	76	1	23	23	23	18	0
		77	2	19	19	19	18	0
		78	1	Canal V : 21 Canal P : 20,5	Canal V : 21 Canal P : 20,5	Canal V : 21 Canal P : 20,5	25	Canal V : 0 Canal P : 0
		79	2	Canal V : 22 Canal P : 21	Canal V : 22 Canal P : 21	Canal V : 22 Canal P : 21	24	Canal V : 0 Canal P : 0
		80	1	Canal V : 21,5 Canal P : 21	Canal V : 21,5 Canal P : 21	Canal V : 21,5 Canal P : 21	25	Canal V : 0 Canal P : 0

Tableau 4 : Détermination de la LT avec l'Endo Master® (partie 1)

Groupe dentaire	Opérateur	Numéro de dent	Nombre de canaux	LT1 (mm)	LT2 (mm)	LT maître-cône (mm)	T (min)	Précision (mm)
Groupe molaire	1	81	4	Canal MV1 : 22 Canal MV2 : 21 Canal DV : 21,5 Canal P : 23	Canal MV1 : 22 Canal MV2 : 21 Canal DV : 21,5 Canal P : 23	Canal MV1 : 22 Canal MV2 : 21 Canal DV : 21,5 Canal P : 23	36	Canal MV1 : 0 Canal MV2 : 0 Canal DV : 0 Canal P : 0
		82	3	Canal MV : 21 Canal ML : 21,5 Canal D : 22	Canal MV : 21 Canal ML : 21,5 Canal D : 22	Canal MV : 21 Canal ML : 21,5 Canal D : 22	34	Canal MV : 0 Canal ML : 0 Canal D : 0
		83	3	Canal MV : 22 Canal DV : 20,5 Canal P : 23	Canal MV : 22 Canal DV : 20,5 Canal P : 23	Canal MV : 22 Canal DV : 20,5 Canal P : 23	35	Canal MV : 0 Canal DV : 0 Canal P : 0
		84	3	Canal MV : 19,5 Canal DV : 18,5 Canal P : 21	Canal MV : 19,5 Canal DV : 18,5 Canal P : 21	Canal MV : 19,5 Canal DV : 18,5 Canal P : 21	34	Canal MV : 0 Canal DV : 0 Canal P : 0
		85	4	Canal MV1 : 20,5 Canal MV2 : 20 Canal DV : 20,5 Canal P : 21,5	Canal MV1 : 20,5 Canal MV2 : 20 Canal DV : 20,5 Canal P : 21,5	Canal MV1 : 20,5 Canal MV2 : 20 Canal DV : 20,5 Canal P : 21,5	37	Canal MV1 : 0 Canal MV2 : 0 Canal DV : 0 Canal P : 0
	2	86	3	Canal MV : 21,5 Canal DV : 21 Canal P : 22,5	Canal MV : 21,5 Canal DV : 21 Canal P : 22,5	Canal MV : 21,5 Canal DV : 21 Canal P : 22,5	33	Canal MV : 0 Canal DV : 0 Canal P : 0
		87	4	Canal MV1 : 20 Canal MV2 : 18,5 Canal DV : 21 Canal P : 22	Canal MV1 : 20 Canal MV2 : 18,5 Canal DV : 21 Canal P : 22	Canal MV1 : 20 Canal MV2 : 18,5 Canal DV : 21 Canal P : 22	36	Canal MV1 : 0 Canal MV2 : -1 Canal DV : 0 Canal P : 0
		88	4	Canal MV : 23,5 Canal ML : 23 Canal DV : 23,5 Canal DL : 23	Canal MV : 23,5 Canal ML : 23 Canal DV : 23,5 Canal DL : 23	Canal MV : 23,5 Canal ML : 23 Canal DV : 23,5 Canal DL : 23	37	Canal MV : 0 Canal ML : 0 Canal DV : 0 Canal DL : 0
		89	3	Canal MV : 22,5 Canal DV : 22 Canal P : 23,5	Canal MV : 22,5 Canal DV : 22 Canal P : 23,5	Canal MV : 22,5 Canal DV : 22 Canal P : 23,5	34	Canal MV : 0 Canal DV : 0 Canal P : 0
		90	3	Canal MV : 23,5 Canal ML : 23 Canal D : 24	Canal MV : 23,5 Canal ML : 23 Canal D : 24	Canal MV : 23,5 Canal ML : 23 Canal D : 24	35	Canal MV : 0 Canal ML : 0 Canal D : 0

Tableau 4 (suite) : Détermination de la LT avec l'Endo Master® (partie 2)

IV-4.1.2. Echantillon 2

Groupe dentaire	Numéro de dent	Nombre de canaux	LTr (mm)	LTe (mm)	Précision (mm)
Groupe incisivo-canin	91	1	23	22,5	0
	92	1	21,5	20	0
	93	1	24	24	0
	94	1	22	23	0
Groupe prémolaire	95	2	Canal V : 21,5 Canal P : 21	Canal V : 22 Canal P : 21,5	Canal V : 0 Canal P : 0
	96	1	23	23	0
	97	2	Canal V : 22,5 Canal P : 22	Canal V : 22 Canal P : 22	Canal V : 0 Canal P : 0
	98	1	21	20,5	0
Groupe molaire	99	3	Canal MV : 21,5 Canal DV : 22 Canal P : 23	Canal MV : 21,5 Canal DV : 21,5 Canal P : 23	Canal MV : 0 Canal DV : 0 Canal P : 0
	100	3	Canal MV : 21,5 Canal DV : 21,5 Canal P : 23,5	Canal MV : 21,5 Canal DV : 22 Canal P : 23,5	Canal MV : 0 Canal ML : 0 Canal D : 0
	101	4	Canal MV : 21 Canal ML : 21 Canal DV : 22 Canal DL : 22	Canal MV : 21 Canal ML : 21 Canal DV : 22 Canal DL : 22,5	Canal MV1 : 0 Canal MV2 : 0 Canal DV : 0 Canal P : 0
	102	3	Canal MV : 21,5 Canal ML : 21 Canal D : 22	Canal MV : 21,5 Canal ML : 21 Canal D : 22	Canal MV : 0 Canal ML : 0 Canal D : 0

Tableau 5 : Détermination de la LT selon les méthodes radiographiques et électroniques

En bleu : différences de mesures non significatives

En rouge : les différences significatives

Notons qu'une partie des radiographies réalisées au cours de notre étude sont présentées en annexe (p.67 à 71).

IV-4.2. Exploitation des résultats

Au regard de l'ensemble des tableaux de résultats, nous remarquons que les trois techniques de détermination de la LT expérimentées, une à une, semblent être précises selon une analyse radiographique.

En effet, dans l'échantillon 1, à la radiographie rétro-alvéolaire post-opératoire, la très grande majorité des traitements radiculaires réalisés semble être satisfaisante en termes de précision vis à vis du dôme radiographique. D'après cette étude, les trois techniques testées semblent donc être valables dans la détermination de la LT.

A partir de l'échantillon 2, nous remarquons que la LT obtenue selon les 2 principales méthodes (radiographique et électronique) est souvent identique pour un même canal : elles sont donc fiables. Toutefois, dans certains cas particuliers (apposition cémentaire apicale, émergence vestibulaire ou palatine/linguale du canal...), les mesures obtenues selon ces 2 techniques sont différentes.

Dans notre étude, pour un total de 23 canaux dont la LT a été déterminée selon les 2 techniques :

- 14 mesures sont identiques entre les deux méthodes soit 61 %
- 7 mesures présentent une différence non significative (0,5 mm) soit 30 %
- 2 mesures sont significativement différentes (plus de 1 mm) soit 9 %.

Nous remarquons que la majorité des différences obtenues sont en lien avec une surestimation de la LT avec la méthode radiographique. Toutefois, il est possible de sous-estimer la LT en cas de courbure radiculaire marquée ou de difficultés pour l'opérateur de bien localiser l'apex sur le cliché. Ceci met en exergue une des principales limites de la technique radiographique, à savoir l'impossibilité de localisation de la constriction apicale et la variabilité de sa position, ce qui favorise une sur ou sous-instrumentation du canal opéré.

Le fait que la distance entre le foramen apical et l'apex radiologique varie (de 0,2 à 3 mm) confère une moins bonne fiabilité à la méthode radiographique comparativement aux LEA, qui eux, ne sont pas affectés par ces cas particuliers et détectent toujours le foramen apical : ils paraissent donc être les plus adaptés dans les situations complexes.

Afin de démontrer que les techniques expérimentées dans l'échantillon 1 sont reproductibles, nous constatons sur les tableaux de résultats que les « LT maitre-cône » sont équivalentes dans la très grande majorité des cas aux LT initiales pour les trois

méthodes. Rappelons que pour la méthode radiographique la LT retenue pour le traitement correspond à la LT lime en place moins 0,5 mm.

D'autre part, dans le cas des LEA, la prise de mesure initiale de la LT a été doublée afin d'en vérifier la fiabilité. En dehors des mesures aberrantes liées à une mauvaise utilisation et donc non prises en considération, nous constatons que les deux mesures étaient identiques dans 100 % des cas pour les deux appareils testés.

Nous pouvons donc énoncer que les méthodes radiographiques et électroniques sont reproductibles.

Concernant le temps de réalisation du traitement, nous exposerons les valeurs moyennes obtenues dans l'échantillon 1, par groupe dentaire et selon les trois méthodes expérimentées par les deux opérateurs sous forme de diagrammes :

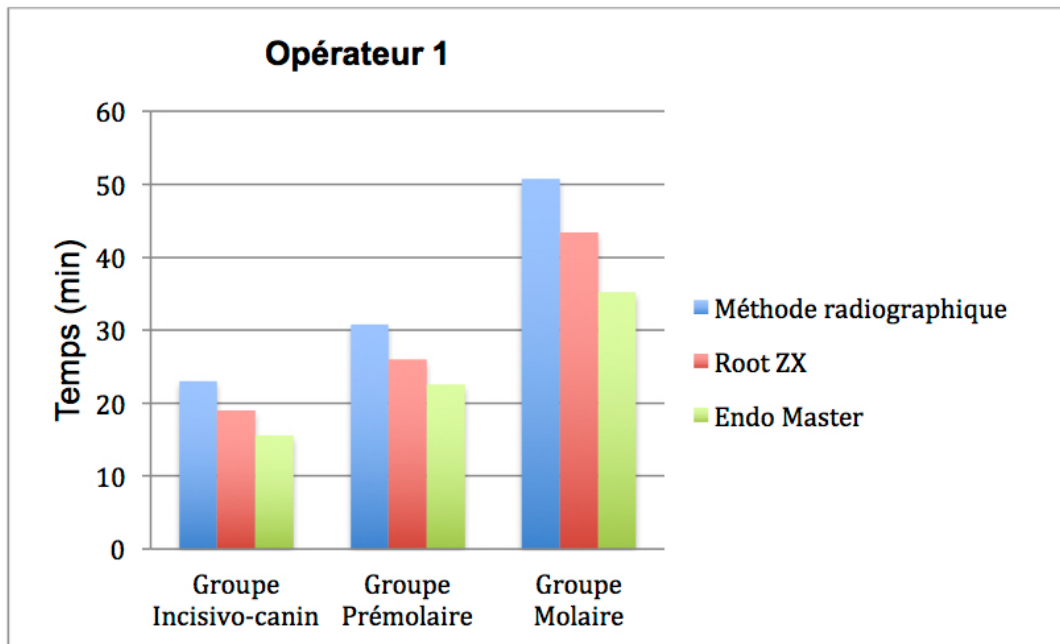


Tableau 6 : Temps opératoire selon la technique et le groupe dentaire pour l'opérateur 1

Chez l'opérateur 1, en prenant le temps obtenu selon la méthode radiographique comme référence, l'utilisation du Root ZX® / de l'Endo Master® permet un gain de temps moyen de l'ordre de 17 % / 32 % dans le groupe IC, 16 % / 27 % dans le groupe PM, et 15 % / 31 % dans le groupe M.

L'utilisation d'un LEA intégré au micromoteur à lecture dynamique de la mesure permet un gain de temps moyen de 18 % dans le groupe IC, 13 % dans le groupe PM, et 19 % dans le groupe M par rapport à l'usage d'un LEA isolé du micromoteur.

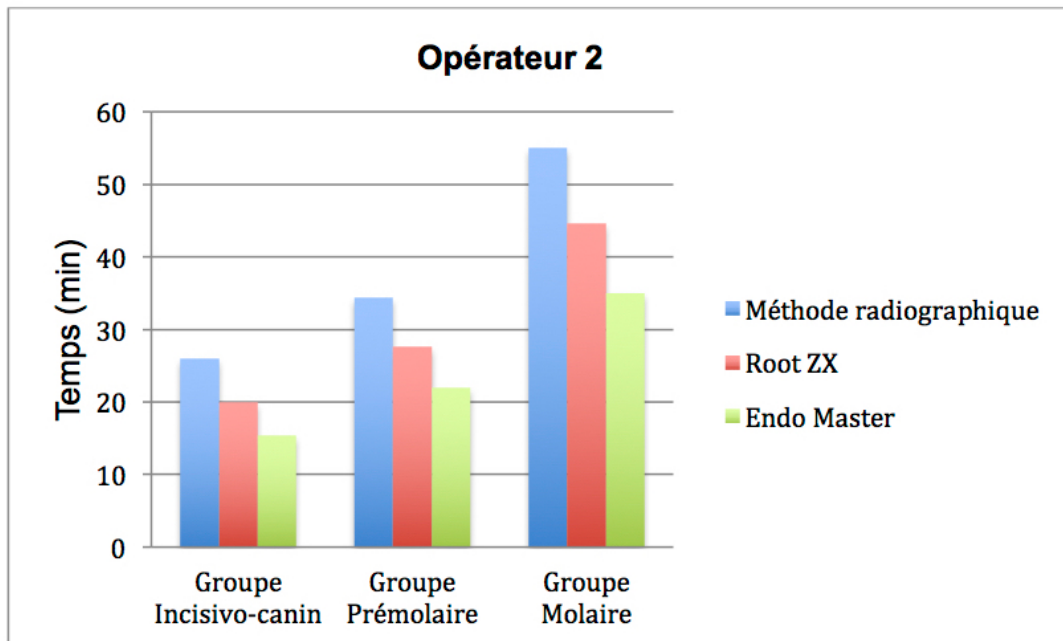


Tableau 7 : Temps opératoire selon la technique et le groupe dentaire pour l'opérateur 2

Chez l'opérateur 2, l'utilisation du Root ZX® / de l'Endo Master® permet un gain de temps moyen de l'ordre de 23 % / 40 % dans le groupe IC, 20 % / 36 % dans le groupe PM, et 19 % / 36 % dans le groupe M par rapport à la méthode radiographique.

L'utilisation d'un LEA intégré au micromoteur permet un gain de temps moyen de 23 % dans le groupe IC, 20 % dans le groupe PM, et 22 % dans le groupe M comparativement à l'usage d'un LEA isolé du micromoteur.

Afin de déterminer le caractère praticien dépendant de chacune des méthodes, nous allons comparer, sous forme de diagramme, les temps moyens obtenus par les deux opérateurs dans les différents groupes dentaires selon les trois techniques.

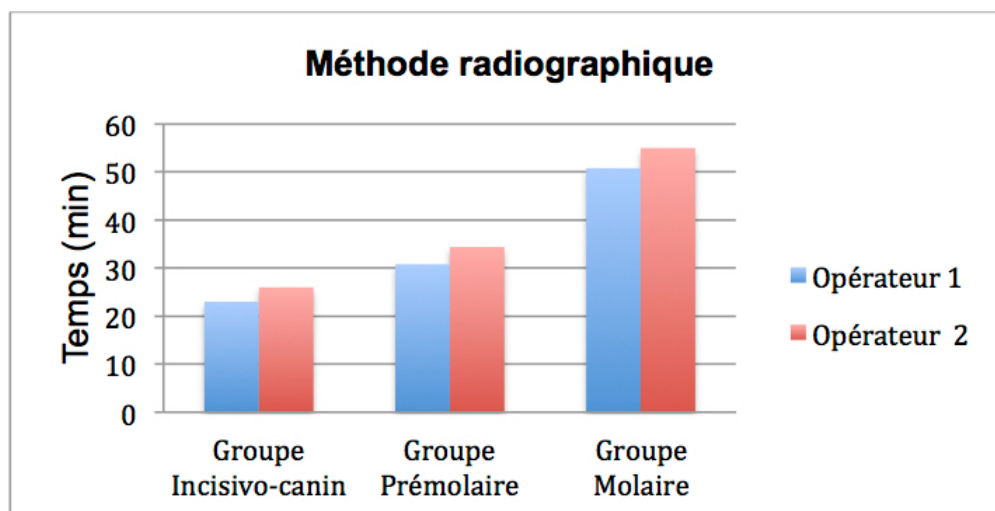


Tableau 8 : Temps opératoire moyen des deux opérateurs pour chaque groupe dentaire selon la méthode radiographique

Pour la méthode radiographique, l'opérateur 1 expérimenté est plus rapide que l'opérateur 2 non expérimenté, d'en moyenne 11,5 % dans le groupe IC, 10,5 % dans le groupe PM et de 9 % dans le groupe M.

Ces pourcentages même s'ils ne sont pas excessifs sont significatifs et nous permettent de mettre en évidence que l'expérience et la dextérité sont des paramètres indissociables de la méthode radiographique.

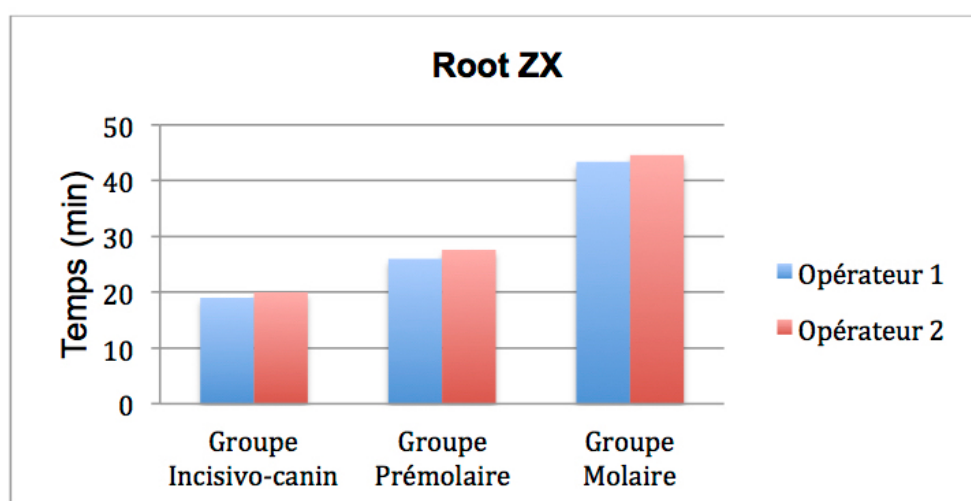


Tableau 9 : Temps opératoire moyen des deux opérateurs pour chaque groupe dentaire selon le Root ZX®

Avec le Root ZX®, l'opérateur 1 est plus rapide que l'opérateur 2 d'en moyenne 5 % dans le groupe IC, 5 % dans le groupe PM et de 3 % dans le groupe M. Ces différences n'étant pas significatives, nous pouvons dire que le Root ZX® ne présente pas un caractère praticien dépendant, même si une prise en main initiale est nécessaire pour un opérateur novice.

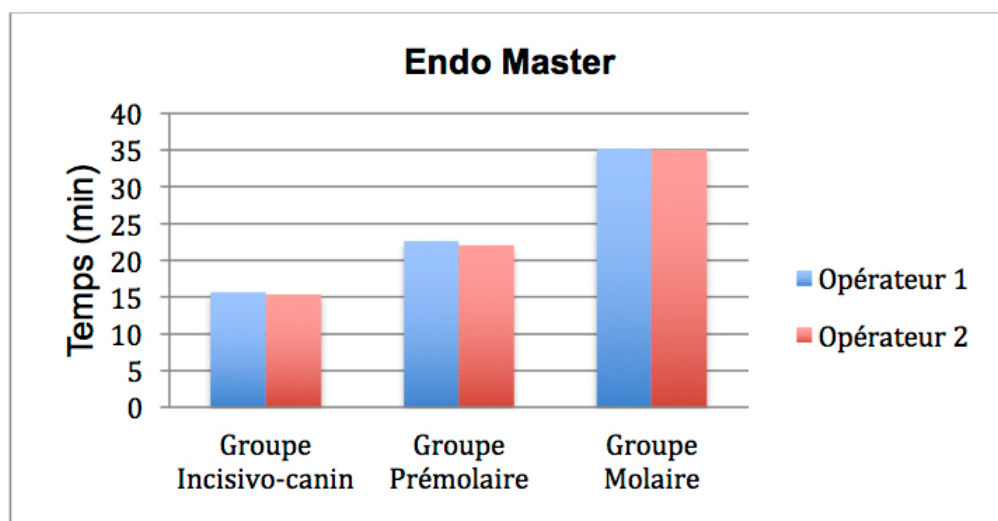


Tableau 10 : Temps opératoire moyen des deux opérateurs pour chaque groupe dentaire selon l'Endo Master®

Avec l'Endo Master®, les valeurs obtenues par les deux opérateurs sont sensiblement identiques et ne présentent donc pas de différences significatives (1 à 2 %). Nous voyons donc ici qu'il n'y a aucun caractère praticien dépendant au niveau des LEA intégrés au micromoteur.

D'après les résultats de notre étude, nous pouvons donc affirmer que les trois méthodes étudiées sont précises, reproductibles et peuvent donc être utilisées en clinique au sein d'un cabinet dentaire. Toutefois, l'évolution de la technologie avec l'apparition des LEA puis leur optimisation, a permis un gain de temps très significatif dans la réalisation du traitement endodontique ainsi qu'une fiabilité supérieure à la méthode radiographique quant à la détection du foramen apical. D'autre part, l'utilisation d'un LEA, en particulier de dernière génération, semble être une méthode non dépendante de l'opérateur, de son expérience et de son interprétation contrairement à la méthode radiographique.

V. DISCUSSION

V-1. Précision et reproductibilité

En ce qui concerne la méthode radiographique, la détermination de la LT par rapport à l'apex est relativement fiable et précise, hormis en cas de courbures radiculaires ou de foramen apical dévié (non visible selon l'angle de prise). Il semble relativement aisé de juger, sur une radiographie rétroalvéolaire de bonne qualité, le positionnement de la lime par rapport au dôme radiographique. Toutefois, il est essentiel que l'opérateur porte une attention particulière à cette étape d'analyse du cliché sachant qu'il s'agit d'une projection bidimensionnelle d'une réalité tridimensionnelle entraînant la superposition de structures anatomiques.

Le résultat final obtenu dépendra principalement de l'attention portée par l'opérateur sur le maintien de cette LT tout au long du traitement. Pour cela, il est essentiel d'utiliser un réglet pour la prise de mesure, de veiller à bien placer les stops sur les instruments rotatifs et d'avoir un repère coronaire stable au cours du traitement.

Toutefois, comme il a pu être relevé dans l'échantillon 2, dans certains cas cliniques cette technique n'apparaît pas comme étant la plus adaptée. En effet, dans notre étude, nous relevons 9 % de cas pour lesquels l'utilisation d'une méthode alternative électronique est plus cohérente du fait d'une surestimation significative de la LT à partir de la radiographie. Le schéma suivant explique comment la LT quand elle semble bien choisie sur le cliché, peut parfois être en réalité surestimée du fait de la position vestibulée/lingualée du foramen (10).

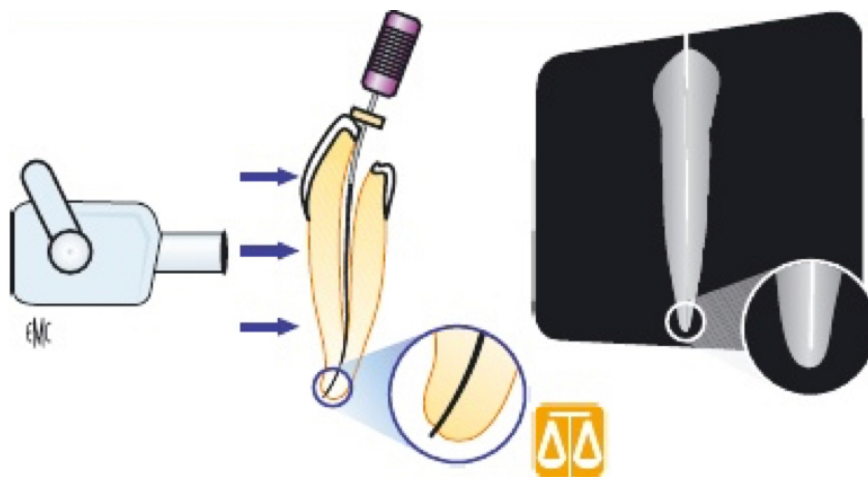


Figure 8 : Surestimation de la LT par la technique radiographique (10)

En fonction de l'orientation radiculaire, de l'angulation de prise et des éventuelles particularités apicales vues précédemment (foramen apical dévié, apposition cémentaire apicale, courbure radiculaire vestibulaire ou linguale/palatine et donc dans l'axe de prise de la radiographie...), il peut parfois être difficile de déterminer la LT adéquate par la méthode radiographique. Dans ces cas, le recours aux LEA est un avantage indéniable.

Ainsi, nous pouvons dire que dans la majorité des cas, la méthode radiographique apparaît comme être une technique fiable et précise dans la détermination de la LT. Cependant, cette technique présente de nombreuses limites du fait de l'existence de paramètres externes (éventuelles déformations/distorsions radiologiques, variabilité du système apical canalaire, jugement propre à l'opérateur) dont les appareils électroniques permettent de s'absoudre.

De même, d'après les résultats de notre étude, nous pouvons dire que les LEA conventionnels de 3^{ème} génération présentent une bonne fiabilité quant à la détermination de la LT. En effet, de nombreuses études ont rapporté la grande précision du Root ZX® et de ses dérivés dans les limites de $\pm 0,5$ mm par rapport à la constriction apicale (40,41).

D'après une étude in vitro visant à évaluer la précision dans la détermination de la LT du Root ZX® et de la méthode radiographique au niveau du groupe prémolaire, El Ayouti relève que la radiographie entraîne une surestimation de la LT dans 51 % des cas, alors que les LEA permettent de limiter à environ 20 % ces sur-instrumentations (45).

Les différents auteurs relèvent que plusieurs facteurs influencent la mesure électronique : la réalisation d'un « préflaring » avant l'instrumentation du canal, les solutions d'irrigations employées, le diamètre de constriction apicale et la taille de la lime endodontique utilisée.

D'après la littérature, afin d'améliorer la précision de mesure des LEA, il est recommandé de réaliser la préparation corono-apicale en débutant par un « préflaring » au niveau du tiers coronaire de la racine afin d'éviter toute interférence coronaire et de permettre un meilleur engagement de l'instrument dans le tiers médian puis apical du canal (46).

Précisons que l'utilisation d'irrigants canaux et leurs avantages en endodontie a été clairement prouvée du fait de leurs propriétés antimicrobiennes, protéolytiques et de lubrification (47,48). Nous avons utilisé du NaOCl à 2,5%.

D'autre part, l'utilisation de limes de diamètres sous-dimensionnées par rapport au diamètre canalaire initial provoque de faux positifs avec une prise de mesure erronée,

plus courte que la longueur réelle du canal (48). Il est donc recommandé d'utiliser une lime endodontique de diamètre adapté au canal pour que les lames de l'instrument soient engagées contre les parois canalaires afin d'améliorer la conductivité.

Certains auteurs précisent toutefois que le diamètre des instruments endodontiques utilisés pour déterminer la LT avec le Root ZX® n'affecte pas la précision du LEA pour autant que le diamètre du foramen apical n'excède pas une certaine valeur (0,6 mm pour Herrera, 0,57 mm pour Aydin...) (49,50). Ainsi, lorsque l'ouverture foraminale augmente, la distance entre la lime et le foramen augmente alors que le LEA indique être au niveau de celui-ci.

La revue de littérature relève que la précision des LEA est fiable indépendamment de la taille de l'instrument jusqu'à un diamètre du foramen apical d'environ 0,6 mm. Au-delà, il est nécessaire d'utiliser des limes de plus gros diamètres, adaptées au canal traité, afin d'obtenir des valeurs correctes (49–51).

En ce qui concerne les LEA de dernière génération couplés au micromoteur, les résultats de notre étude nous confirment leur fiabilité dans la détermination de la LT. En effet, tous les traitements réalisés paraissent très satisfaisants en termes de précision. Peu d'études ont été réalisées sur l'Endo Master®, toutes se rejoignent sur le fait qu'il n'existe pas de différence significative entre les multiples LEA de dernière génération (42–44) et qu'ils présentent en moyenne un taux de réussite de 85 à 90 %.

Il a été constaté qu'en cas de courbure radiculaire marquée, au cours de l'ampliation il se produit un léger raccourcissement de la LT du fait du redressement de l'axe radiculaire. Dans ce cas, la lecture dynamique de la mesure permet d'éviter une sur-instrumentation du canal et constitue un avantage indéniable des LEA de dernière génération comparativement aux méthodes à lecture statique de la mesure (24).

Notons que les LEA semblent particulièrement adaptés pour une utilisation sur des dents lactéales. En effet, Bahrololoomi puis Kumar rapportent un pourcentage de réussite, à 0,5 mm près, de l'ordre de 86 % et de 95 % respectivement avec les LEA de troisième génération, contre 75 % pour les deux selon la détermination radiographique (52,53). Oznurhan rapporte un taux de réussite de 80,2 % avec notre LEA de dernière génération (54). Les auteurs s'accordent sur le fait que les LEA présentent des avantages indéniables en vue d'une pratique pédiatrique : en plus de leur grande fiabilité et de la simplification du geste thérapeutique, ils permettent un gain de temps ainsi que la réduction du nombre de radiographies nécessaires et donc la diminution de la dose irradiante.

V-2. Temps opératoire et praticien dépendance

Au cours de notre étude nous avons constaté que la technique radiographique est dépendante de l'opérateur et de son expérience, contrairement à l'utilisation des LEA. Du fait de la simplification du geste opératoire et plus particulièrement de la détermination de la LT, l'évolution électronique a permis de s'absoudre de l'importance du sens clinique du praticien et de son expérience.

Nous avons également relevé une diminution du temps opératoire de l'ordre de 20 % avec le Root ZX® et de 35 % avec l'Endo Master® par rapport à la méthode radiographique. Afin de bien comprendre où se situe le gain de temps, nous avons réalisé un test in vitro : sur trois dents monoradiculées non préalablement traitées, nous avons réalisé le traitement endodontique selon les trois méthodes étudiées en chronométrant les différentes étapes :

- Détermination de la LT : radiologiquement sur la première dent, avec le Root ZX® sur la seconde et enfin avec l'Endo Master® sur la troisième
- Préparation corono-apicale : en suivant la séquence instrumentale choisie (Protaper) et sous irrigation régulière au NaOCl à 2,5 %
- Obturation canalaire : séchage du canal et compactage thermomécanique (Mac Spadden), communs aux trois méthodes.

Dans la présente étude, un modèle en alginate a été utilisé car il reste autour de la racine, simulant la consistance du ligament parodontal et présente des propriétés électroconductrices favorables : c'est un des matériaux le plus adapté pour une étude in vitro.

Nous avons regroupé les valeurs obtenues pour chaque étape avec chaque technique dans le tableau de résultat suivant (résultats exposés en minute) :

	Temps détermination LT	Temps ampliation canalaire	Temps obturation canalaire	Temps opératoire global
Méthode radiographique	4	12	4	20
Root ZX	2	12	4	18
Endo Master	2	8	4	14

Tableau 11 : Résultats étude in vitro

Nous pouvons donc dire que les LEA permettent une diminution significative du temps opératoire global : de l'ordre de 10 % avec le Root ZX® et de 30 % avec l'Endo Master®. C'est à l'étape de la détermination de la LT que ce gain de temps est le plus effectif. En effet, il est souvent nécessaire de faire plusieurs prises de radiographies limes en place afin d'obtenir la bonne LT, ce qui représente une perte de temps significative (variable en fonction du nombre de doublons nécessaires) comparativement aux LEA pour lesquels une seule prise de mesure est suffisante. Dans notre étude, les LEA permettent de diminuer de moitié le temps nécessaire pour obtenir la LT.

D'autre part, la lecture dynamique de la LT au niveau des LEA couplés au micromoteur et le mouvement de réciprocité au niveau du foramen apical permet à l'opérateur de ne pas réellement tenir compte de la LT au cours de la préparation corono-apicale (pas besoin de stops sur les instruments ni de repère coronaire stable). Ceci permet un gain de temps effectif (4 minutes pour un canal soit 33 % du temps global dans notre cas) comparativement aux deux autres méthodes pour lesquelles il est nécessaire de veiller au maintien de la LT tout au long du traitement voire sa vérification en cas de complexité du système canalaire apical.

C'est donc principalement au niveau de l'étape de la détermination de la LT que les premiers LEA se sont révélés efficaces, les étapes suivantes étant communes aux deux méthodes. Par la suite, ce sont les progrès technologiques ainsi que l'optimisation et la simplification du geste opératoire qui ont permis la diminution du temps d'ampliation canalaire. C'est par l'accumulation de petits gains de temps successifs que les LEA de dernière génération permettent une diminution significative du temps opératoire, non négligeable au sein d'une structure dentaire.

VI. CONCLUSION

En conclusion, nous pouvons dire qu'il n'existe pas de technique parfaitement satisfaisante dans la détermination de la LT canalair : les trois techniques évoquées apparaissent comme étant fiables et reproductibles sans pour autant présenter un taux de réussite de 100 %.

La radiographie reste aujourd'hui incontournable en endodontie, notamment par les renseignements apportés par la radiographie pré-opératoire sur la configuration du système canalair et par la vérification de la qualité du traitement réalisé sur la radiographie post-opératoire. Mais, du fait de la complexité du système canalair apical, de la superposition des structures anatomiques et de son interprétation propre à l'opérateur, cette technique nous semble être insuffisante voire dépassée afin de déterminer la LT. En effet, la littérature nous rapporte des taux de réussite supérieurs dans la très grande majorité des cas avec l'utilisation de LEA par rapport à la détermination radiographique de la LT.

D'autre part, il a été vu que l'avènement des LEA a permis de limiter l'importance du caractère praticien dépendant inhérent à la méthode radiographique, mais aussi un gain de temps très significatif par la simplification du geste opératoire, une diminution de la dose d'irradiation et une précision égale voire supérieure à la méthode conventionnelle. C'est pour ces raisons que les LEA font partie intégrante de notre arsenal.

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

Pour finir, il est essentiel de préciser que la constriction apicale n'étant pas visible à la radiographie, il est difficile de pouvoir juger de la précision de ces différentes méthodes par analyse radiographique in vivo. Afin d'évaluer plus précisément ces paramètres, il faudrait procéder à la même étude in vitro (sur dents extraites) et réaliser par la suite une étude sous microscope électronique (ou étude in vivo avec extraction des dents traitées puis étude microscopique).

VII. BIBLIOGRAPHIE

1. Collège National des Enseignants en Odontologie Conservatrice. Dictionnaire francophone des termes d'odontologie conservatrice : endodontie & odontologie restauratrice. 2ème édition. Espace ID; 2010.
2. Torabinejad M, Walton RE, Fouad A, Lévy G. Endodontie: Principes et pratique. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson; 2016. 512 p.
3. Weine FS. Endodontic Therapy, 6e. 6 edition. St. Louis, Mo.: Mosby; 2003. 672 p.
4. 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.
5. Çalışkan MK, Pehlivan Y, Sepetçioğlu F, Türkün M, Tuncer SS. Root canal morphology of human permanent teeth in a Turkish population. J Endod. 1995 Apr;21(4):200–4.
6. da Silva EJNL, de Castro RWQ, Nejaim Y, Silva AIV, Haiter-Neto F, Silberman A, et al. Evaluation of root canal configuration of maxillary and mandibular anterior teeth using cone beam computed tomography: An in-vivo study. Quintessence Int Berl Ger 1985. 2016 Jan;47(1):19–24.
7. Trope M, Elfenbein L, Tronstad L. Mandibular premolars with more than one root canal in different race groups. J Endod. 1986 Aug;12(8):343–5.
8. Peiris HRD, Pitakotuwage TN, Takahashi M, Sasaki K, Kanazawa E. Root canal morphology of mandibular permanent molars at different ages. Int Endod J. 2008 Oct;41(10):828–35.
9. Kuttler Y. Microscopic investigation of root apexes. J Am Dent Assoc 1939. 1955 May;50(5):544–52.
10. Pérard 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).

11. Hulsmann M, Schafer E. Problems in Endodontics: Etiology, Diagnosis, and Treatment. 1 edition. Quintessence Pub Co; 2009. 600 p.
12. Dummer PM, McGinn JH, Rees DG. The position and topography of the apical canal constriction and apical foramen. *Int Endod J*. 1984 Oct;17(4):192–8.
13. Green D. Stereomicroscopic study of 700 root apices of maxillary and mandibular posterior teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1960 Jun;13:728–33.
14. Gutierrez JH, Aguayo P. Apical foraminal openings in human teeth. Number and location. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 1995 Jun;79(6):769–77.
15. Versiani MA, Ahmed HMA, Sousa-Neto MD de, De-Deus G, Dummer PMH. Unusual Deviation of the Main Foramen from the Root Apex. *Braz Dent J*. 2016 Oct;27(5):589–91.
16. Pons M. Préparation en rotation continue associée a une localisation électronique de l'apex : étude in vitro de deux appareils. 1999.
17. Seltzer S, Soltanoff W, Sinai I, Goldenberg A, Bender IB. Biologic Aspects of Endodontics Part III. Periapical Tissue Reactions to Root Canal Instrumentation. *J Endod*. 2004 Jul 1;30(7):491–9.
18. Ponce EH, Vilar Fernández JA. The cemento-dentino-canal junction, the apical foramen, and the apical constriction: evaluation by optical microscopy. *J Endod*. 2003 Mar;29(3):214–9.
19. Forsberg J. Estimation of the root filling length with the paralleling and bisecting-angle techniques performed by undergraduate students. *Int Endod J*. 1987 Nov;20(6):282–6.
20. Gound TG, DuBois L, Biggs SG. Factors that affect the rate of retakes for endodontic treatment radiographs. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1994 May;77(5):514–8.
21. Farida A, Maryam E, Ali M, Ehsan M, Sajad Y, Soraya K. A comparison between conventional and digital radiography in root canal working length determination. *Indian J Dent*

Res Off Publ Indian Soc Dent Res. 2013 Apr;24(2):229–33.

22. ElAyouti A, Weiger R, Löst C. Frequency of overinstrumentation with an acceptable radiographic working length. *J Endod*. 2001 Jan;27(1):49–52.
23. Nekoofar MH, Ghandi MM, Hayes SJ, Dummer PMH. The fundamental operating principles of electronic root canal length measurement devices. *Int Endod J*. 2006 Aug;39(8):595–609.
24. Simon S, Machtou P, Pertot W-J, Collectif, Friedman S. *Endodontie. Cahiers de prothèses éditions*; 2012. 514 p.
25. Simon S, Pertot W-J, Laboux O. *Endodontie : Tome 1, Traitements. Rueil Malmaison: Cahiers de prothèses éditions*; 2008. 132 p.
26. Ushiyama J. New principle and method for measuring the root canal length. *J Endod*. 1983 Mar;9(3):97–104.
27. Huang L. An experimental study of the principle of electronic root canal measurement. *J Endod*. 1987 Feb;13(2):60–4.
28. Kobayashi C, Suda H. New electronic canal measuring device based on the ratio method. *J Endod*. 1994 Mar;20(3):111–4.
29. Wrbas KT, Ziegler AA, Altenburger MJ, Schirrmeister JF. In vivo comparison of working length determination with two electronic apex locators. *Int Endod J*. 2007 Feb;40(2):133–8.
30. 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.
31. 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.
32. de Vasconcelos BC, do Vale TM, de Menezes AST, Pinheiro-Junior EC, Vivacqua-Gomes N, Bernardes RA, et al. An ex vivo comparison of root canal length determination by

- three electronic apex locators at positions short of the apical foramen. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2010 Aug;110(2):e57–61.
33. Vasconcelos BC de, Frota LMA, Souza T de A, Bernardes RA, Duarte MAH. Evaluation of the maintenance of the apical limit during instrumentation with hybrid equipment in rotary and reciprocating modes. *J Endod.* 2015 May;41(5):682–5.
 34. Gulabivala K, Ng Y-L. *Endodontics (Fourth Edition)*. Mosby; 2014.
 35. ElAyouti A, Kimionis I, Chu A-L, Löst C. Determining the apical terminus of root-end resected teeth using three modern apex locators: a comparative ex vivo study. *Int Endod J.* 2005 Nov;38(11):827–33.
 36. Akisue E, Gratieri SD, Barletta FB, Caldeira CL, Grazziotin-Soares R, Gavini G. Not all electronic foramen locators are accurate in teeth with enlarged apical foramina: an in vitro comparison of 5 brands. *J Endod.* 2014 Jan;40(1):109–12.
 37. Dunlap CA, Remeikis NA, BeGole EA, Rauschenberger CR. An in vivo evaluation of an electronic apex locator that uses the ratio method in vital and necrotic canals. *J Endod.* 1998 Jan;24(1):48–50.
 38. Akisue E, Gavini G, de Figueiredo JAP. Influence of pulp vitality on length determination by using the Elements Diagnostic Unit and Apex Locator. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2007 Oct;104(4):e129–32.
 39. Herrera M, Abalos C, Planas AJ, Llamas R. Influence of apical constriction diameter on Root ZX apex locator precision. *J Endod.* 2007 Aug;33(8):995–8.
 40. Stoll R, Urban-Klein B, Roggendorf MJ, Jablonski-Momeni A, Strauch K, Frankenberger R. Effectiveness of four electronic apex locators to determine distance from the apical foramen. *Int Endod J.* 2010 Sep;43(9):808–17.
 41. D’Assunção FLC, de Albuquerque DS, de Queiroz Ferreira LC. The ability of two apex

- locators to locate the apical foramen: an in vitro study. *J Endod.* 2006 Jun;32(6):560–2.
42. Altunbas D, Kustarci A, Arslan D, Er K. In vitro comparison of four different electronic apex locators to determine the major foramen using the clearing technique. *Niger J Clin Pract.* 2014 Dec;17(6):706–10.
 43. Barthelemy J, Gregor L, Krejci I, Wataha J, Bouillaguet S. Accuracy of electronic apex locater-controlled handpieces. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology.* 2009;107(3):437–41.
 44. Kuştarci A, Arslan D, Altunbaş D. In vitro comparison of working length determination using three different electronic apex locators. *Dent Res J.* 2014;11(5):568–73.
 45. ElAyouti A, Weiger R, Löst C. The ability of root ZX apex locator to reduce the frequency of overestimated radiographic working length. *J Endod.* 2002 Feb;28(2):116–9.
 46. de Camargo EJ, Zapata RO, Medeiros PL, Bramante CM, Bernardineli N, Garcia RB, et al. Influence of preflaring on the accuracy of length determination with four electronic apex locators. *J Endod.* 2009 Sep;35(9):1300–2.
 47. Meares WA, Steiman HR. The influence of sodium hypochlorite irrigation on the accuracy of the Root ZX electronic apex locator. *J Endod.* 2002 Aug;28(8):595–8.
 48. Janeczek M, Kosior P, Piesiak-Pańczyszyn D, Dudek K, Chrószcz A, Czajczyńska-Waszkiewicz A, et al. The Effect of File Size and Type and Irrigation Solutions on the Accuracy of Electronic Apex Locators: An In Vitro Study on Canine Teeth. *BioMed Res Int.* 2016;2016:8594087.
 49. Herrera M, Ábalos C, Lucena C, Jiménez-Planas A, Llamas R. Critical diameter of apical foramen and of file size using the Root ZX apex locator: an in vitro study. *J Endod.* 2011 Sep;37(9):1306–9.
 50. Aydin U, Karataslioglu E, Aksoy F, Yildirim C. In vitro evaluation of Root ZX and

Raypex 6 in teeth with different apical diameters. J Conserv Dent JCD. 2015 Feb;18(1):66–9.

51. Ebrahim AK, Wadachi R, Suda H. Ex vivo evaluation of the ability of four different electronic apex locators to determine the working length in teeth with various foramen diameters.

Aust Dent J. 2006 Sep;51(3):258–62.

52. Bahrololoomi Z, Soleymani AA, Modaresi J, Imanian M, Lotfian M. Accuracy of an Electronic Apex Locator for Working Length Determination in Primary Anterior Teeth. J Dent Tehran Iran. 2015 Apr;12(4):243–8.

53. Kumar LV, Sreelakshmi N, Reddy ER, Manjula M, Rani ST, Rajesh A. Clinical Evaluation of Conventional Radiography, Radiovisiography, and an Electronic Apex Locator in Determining the Working Length in Primary Teeth. Pediatr Dent. 2016 Feb;38(1):37–41.

54. Oznurhan F, Ünal M, Kapdan A, Ozturk C, Aksoy S. Clinical evaluation of apex locator and radiography in primary teeth. Int J Paediatr Dent. 2015 May;25(3):199–203.

VIII. ICONOGRAPHIE

VIII-1. Figures

Figure 1 : Les principaux composants anatomiques de la cavité pulpaire (2).....	15
Figure 2 : Les différents types anatomiques fondamentaux de la cavité pulpaire radiculaire (2).....	16
Figure 3 : Configuration du système canalaire d'après Vertucci (4).....	17
Figure 4 : Schéma de la région apicale d'après Kuttler (11).....	18
Figure 5 : Topographie de la constriction apicale d'après Dummer (12).....	20
Figure 6 : Root ZX®.....	37
Figure 7 : Endo Master®.....	38
Figure 8 : Surestimation de la LT par la technique radiographique (10).....	54

VIII-2. Tableaux

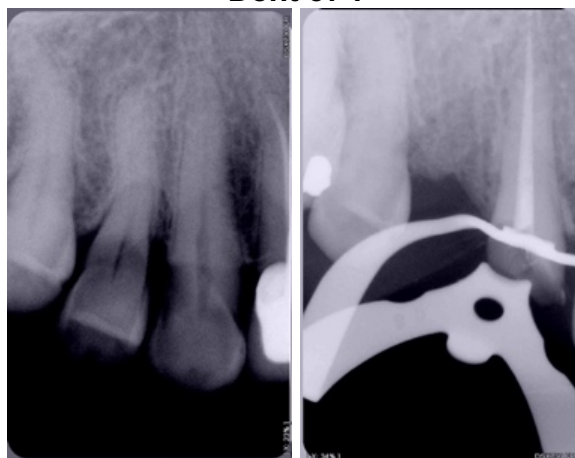
Tableau 1 : Récapitulatif des conditions cliniques affectant les LEA (S.Llopet).....	34
Tableau 2 : Détermination de la LT selon la méthode radiographique (partie 1).....	42
Tableau 2 (suite) : Détermination de la LT selon la méthode radiographique (partie 2)...	43
Tableau 3 : Détermination de la LT avec le Root ZX® (partie 1).....	44
Tableau 3 (suite) : Détermination de la LT avec le Root ZX® (partie 2).....	45
Tableau 4 : Détermination de la LT avec l'Endo Master® (partie 1).....	46
Tableau 4 (suite) : Détermination de la LT avec l'Endo Master® (partie 2).....	47
Tableau 5 : Détermination de la LT selon les méthodes radiographiques et électroniques.....	48
Tableau 6 : Temps opératoire selon la technique et le groupe dentaire pour l'opérateur 1.....	50
Tableau 7 : Temps opératoire selon la technique et le groupe dentaire pour l'opérateur 2.....	51
Tableau 8 : Temps opératoire moyen des deux opérateurs pour chaque groupe dentaire selon la méthode radiographique.....	52
Tableau 9 : Temps opératoire moyen des deux opérateurs pour chaque groupe dentaire selon le Root ZX®	52
Tableau 10 : Temps opératoire moyen des deux opérateurs pour chaque groupe dentaire selon l'Endo Master®.....	53
Tableau 11 : Résultats étude in vitro.....	57

VIII-3. Radiographies (non exhaustif)

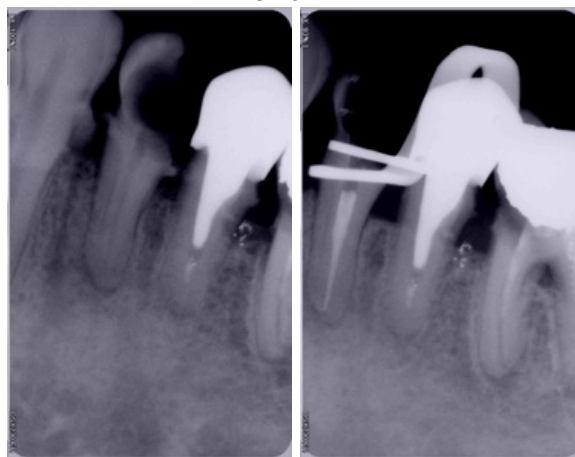
Dent 19 :



Dent 37 :



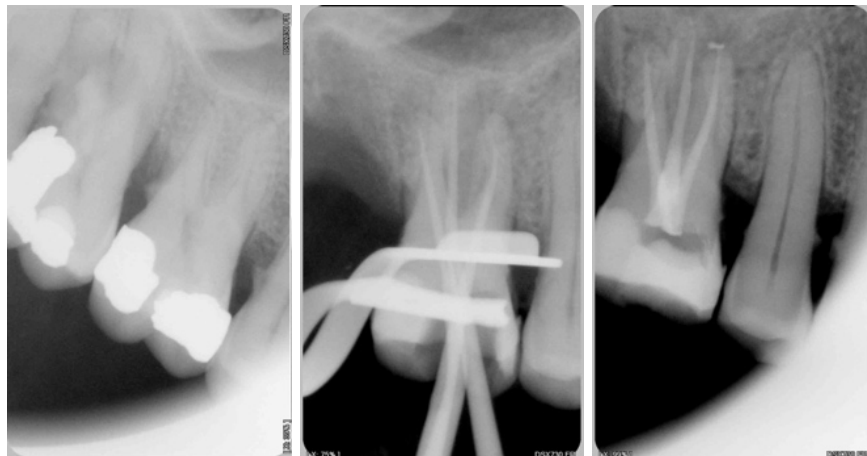
Dent 42 :



Dent 49 :



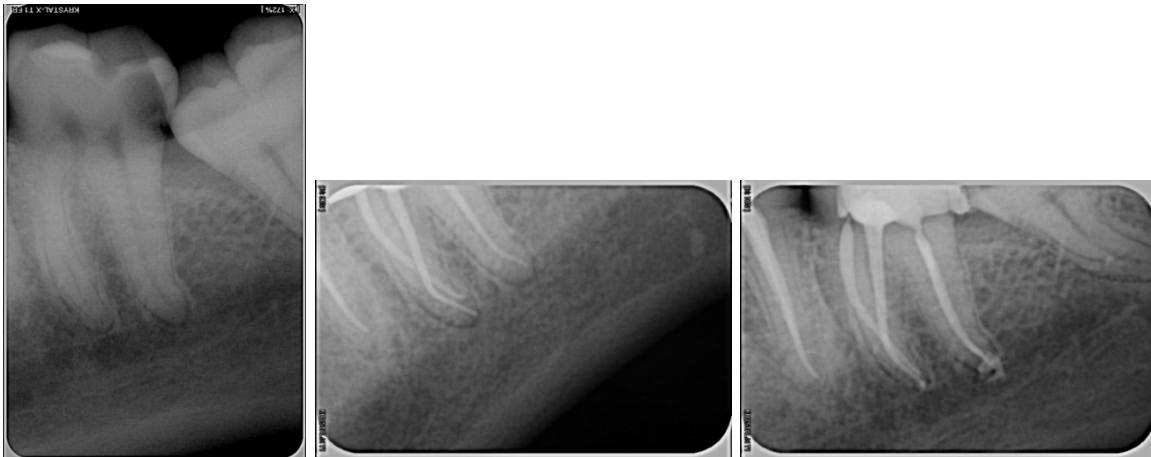
Dent 51:



Dent 57 :



Dent 58 :



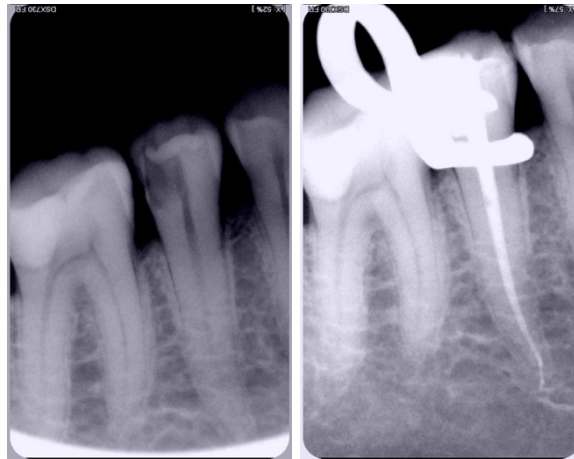
Dent 68 :



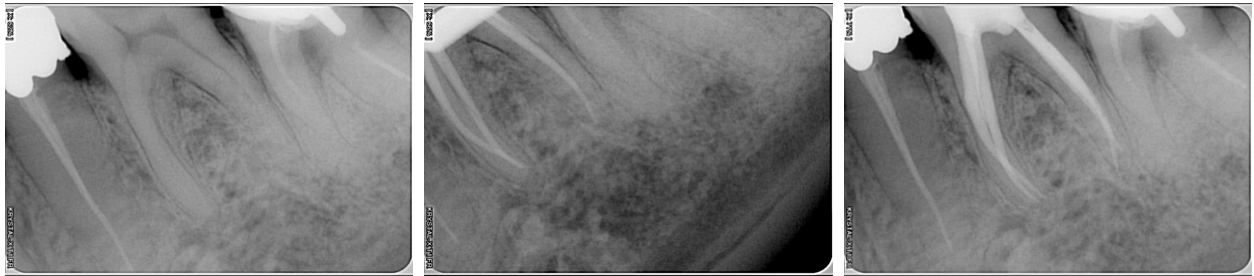
Dent 72 :



Dent 76 :



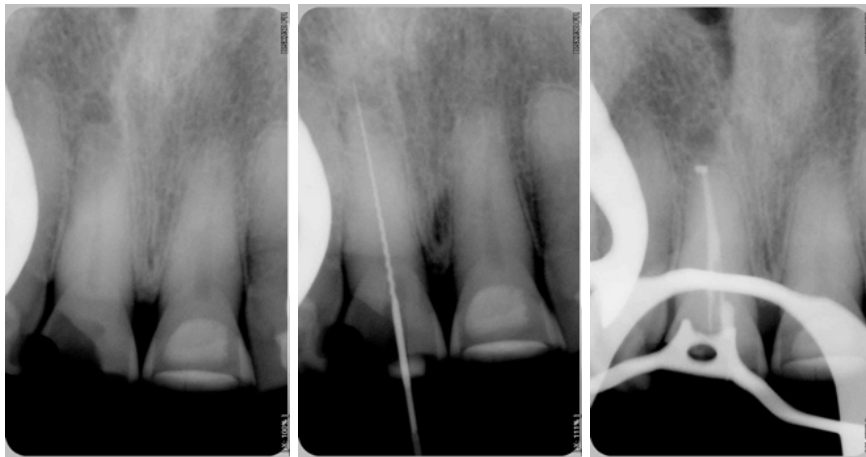
Dent 82 :



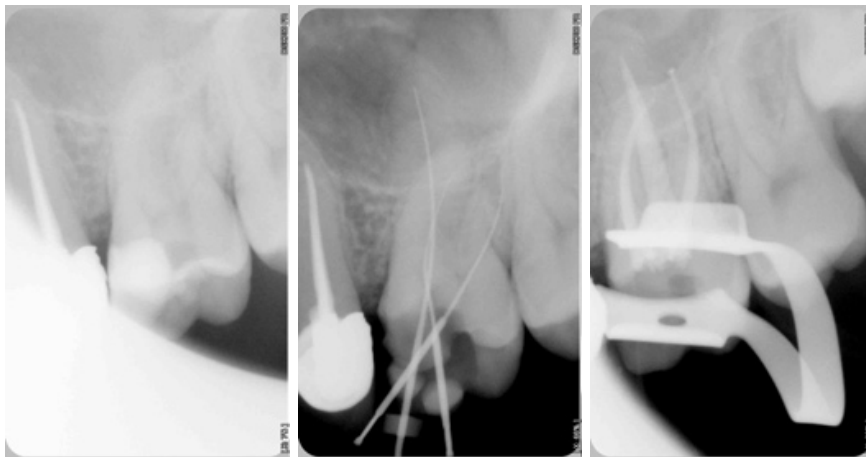
Dent 88 :



Dent 92 :



Dent 100 :



Dent 101 :



Vu, Le Président du Jury,

Date, Signature :

Vu, Le Directeur de l'UFR des Sciences Odontologiques,

Date, Signature :

Vu, Le Président de l'Université de Bordeaux,

Date, Signature :