

THESE

POUR LE DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement par

Chloé NOVENTA

Le 23 novembre 2018

DESObTURATION ENDODONTIQUE : METHODOLOGIE D'ETUDE PAR IMAGERIE MICROTOMOGRAPHIQUE A RAYONS X

Directeur de thèse : Monsieur le Professeur Franck DIEMER
Co-directeur de thèse : Monsieur le Docteur Jérôme MICHETTI

JURY

Président	Professeur Franck Diemer
1 ^{er} Assesseur	Docteur Sabine Joniot
2 ^{ème} Assesseur	Docteur Marie Georgelin-Gurgel
4 ^{ème} Assesseur	Docteur Jérôme Michetti

Faculté de Chirurgie Dentaire

→ DIRECTION

DOYEN
Mr Philippe POMAR

ASSESEUR DU DOYEN
Mme Sabine JONJOT

CHARGÉS DE MISSION
Mr Karim NASR
Mr HAMEL Olivier
Mr Franck DIEMER

PRÉSIDENTE DU COMITÉ SCIENTIFIQUE
Mme Cathy NABET

RESPONSABLE ADMINISTRATIF
Mme Muriel VERDAGUER

→ HONORARIAT

DOYENS HONORAIRES
Mr Jean LAGARRIGUE +
Mr Jean-Philippe LODTER +
Mr Gérard PALOUDIER
Mr Michel SIXOU
Mr Henri SOULET

→ ÉMÉRITAT

Mr Damien DURAN
Mme Geneviève GRÉGOIRE
Mr Gérard PALOUDIER

→ PERSONNEL ENSEIGNANT

Section CNU 56 : Développement, Croissance et Prévention

56.01 ODONTOLOGIE PEDIATRIQUE et ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE (Mme BAILLEUL-FORESTIER)

ODONTOLOGIE PEDIATRIQUE

Professeurs d'Université : Mme BAILLEUL-FORESTIER, Mr. VAYSSE
Maîtres de Conférences : Mme NOIRRIT-ESCLASSAN, Mme VALERA, Mr. MARTY
Assistants : Mme BROUTIN, Mme GUY-VERGER
Adjoint d'Enseignement : Mr. DOMINE, Mme BROUTIN,

ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE

Maîtres de Conférences : Mr BARON, Mme LODTER, Mme MARCHAL, Mr. ROTENBERG,
Assistants : Mme YAN-VERGNES, Mme ARAGON
Adjoint d'Enseignement : Mme DIVOL,

56.02 PRÉVENTION, ÉPIDÉMIOLOGIE, ÉCONOMIE DE LA SANTÉ, ODONTOLOGIE LÉGALE (Mr. HAMEL)

Professeurs d'Université : Mr. SIXOU, Mme NABET, Mr. HAMEL
Maître de Conférences : Mr. VERGNES,
Assistant : Mr. ROSENZWEIG,
Adjoints d'Enseignement : Mr. DURAND, Mlle. BARON, Mr LAGARD

Section CNU 57 : Chirurgie Orale, Parodontologie, Biologie Orale

57.01 CHIRURGIE ORALE, PARODONTOLOGIE, BIOLOGIE ORALE (Mr. COURTOIS)

PARODONTOLOGIE

Maîtres de Conférences : Mr. BARTHET, Mme DALICIEUX-LAURENCIN, Mme VINEL
Assistants : Mr. RIMBERT, Mr. ANDUZE-ACHER
Adjoints d'Enseignement : Mr. CALVO, Mr. LAFFORGUE, Mr. SANCIER, Mr. BARRE, Mme KADDECH

CHIRURGIE ORALE

Maîtres de Conférences : Mr. CAMPAN, Mr. COURTOIS, Mme COUSTY
Assistants : Mme COSTA-MENDES, Mr. BENAT
Adjoints d'Enseignement : Mr. FAUXPOINT, Mr. L'HOMME, Mme LABADIE, Mr. RAYNALDI,

BIOLOGIE ORALE

Professeur d'Université : Mr. KEMOUN
Maîtres de Conférences : Mr. POULET, Mr. BLASCO-BAQUE
Assistants : Mr. LEMAITRE, Mr. TRIGALOU, Mme. TIMOFEEVA, Mr. MINTY
Adjoints d'Enseignement : Mr. PUISSOCHET, Mr. FRANC, Mr. BARRAGUE

Section CNU 58 : Réhabilitation Orale

58.01 DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE, PROTHESES, FONCTIONS-DYSFONCTIONS, IMAGERIE, BIOMATERIAUX (Mr. ARMAND)

DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE

Professeur d'Université : Mr. DIEMER
Maîtres de Conférences : Mr. GUIGNES, Mme GURGEL-GEORGELIN, Mme MARET-COMTESSE
Assistants : Mr. BONIN, Mme. RAPP, Mr. MOURLAN, Mme PECQUEUR, Mr. DUCASSE, Mr. FISSE
Adjoints d'Enseignement : Mr. BALGUERIE, Mr. MALLET, Mme FOURNIER

PROTHÈSES

Professeurs d'Université : Mr. ARMAND, Mr. POMAR
Maîtres de Conférences : Mr. CHAMPION, Mr. ESCLASSAN, Mme VIGARIOS, Mr. DESTRUHAUT
Assistants : Mr. EMONET-DENAND, Mme. SELVA, Mr. LEMAGNER, Mr. HENNEQUIN, Mr. CHAMPION,
Adjoints d'Enseignement : Mr. BOGHANIM, Mr. FLORENTIN, Mr. FOLCH, Mr. GALIBOURG, Mr. GHRENASSIA, Mme LACOSTE-FERRE, Mr. POGEANT, Mr. GINESTE, Mr. LE GAC, Mr. GAYRARD, Mr. COMBADAZOU, Mr. ARCAUTE, Mme DE BATAILLE,

FONCTIONS-DYSFONCTIONS, IMAGERIE, BIOMATERIAUX

Maîtres de Conférences : Mme JONJOT, Mr. NASR, Mr. MONSARRAT
Assistants : Mr. CANCEILL, Mr. OSTROWSKI, Mr. DELRIEU
Adjoints d'Enseignement : Mr. AHMED, Mme MAGNE, Mr. VERGÉ, Mme BOUSQUET

Mise à jour pour le 15 OCTOBRE 2018

Remerciements :

A mon conjoint Nicolas, pour ton amour et ton soutien quotidien, mais aussi pour ton impatience et ton courage qui me poussent depuis notre rencontre. C'est à toi que je dois la chance d'avoir pu aller au bout de ce challenge. Je mesure chaque jour le bonheur de t'avoir à mes côtés et je souhaite que la vie ensemble soit toujours aussi douce et pleine d'aventures.

A mes enfants, Ernestine ma douce et facétieuse petite fille et son petit frère bientôt dans nos bras, vous remplissez déjà nos vies de joie et de bonheur.

A mes fabuleux parents, c'est grâce à votre soutien et aux valeurs que vous m'avez transmises que je suis aussi heureuse et épanouie aujourd'hui. Merci de nous avoir offert la chance de vivre dans un cocon chaleureux et attentionné et d'être toujours présents pour vos grands enfants et maintenant vos petits-enfants.

A mon frère Arnaud, mon complice depuis toujours, merci de m'avoir si bien conseillée et ouvert la voie du milieu médical. Je suis heureuse d'avoir réussi à saisir mes seulement 30% de chance de succès. A Anne ma belle-sœur, à ce diner Bordelais (avec Gauthier et Adrien) il y a 7 ans qui a tout changé, merci pour ta gentillesse et ton soutien.

A tous les membres de ma famille et en particulier mes grands-parents pour m'avoir élevée dans une atmosphère aimante et joyeuse.

A ma belle-famille, merci pour votre accueil et votre gentillesse à mon égard depuis notre rencontre.

A Claire et Paule, je ne pensais pas pouvoir dire ça mais grâce à vous ces années sont passées trop vite ! Ça a été un plaisir d'avoir partagé avec vous ces bons moments côté cours comme côté clinique. Merci pour votre gentillesse et votre joie de vivre ; le souvenir de ces années en votre compagnie restera gravé dans ma mémoire comme une merveilleuse parenthèse.

A mes camarades de promotions, en particulier Aurélie, Elsa et Juliette, merci pour tous les bons moments partagés pendant ces années d'études et pour ce supplément de vie étudiante que vous m'avez offert.

A mes amis d'autres horizons, Emilie, Julie, Célianne, Ludovic, Coralie... merci d'être présents à mes côtés depuis longtemps et parce qu'avec tous les défis et les fêtes que l'on a célébrés ensemble, vous êtes ceux qui me comprenez le mieux.

Aux Docteurs Gargir, Azria et Zago merci de m'avoir ouvert les portes de votre cabinet et d'avoir pris le temps de me transmettre quelques astuces et surtout le goût de l'exigence et du travail bien fait.

A notre président du jury et co-directeur de thèse

Mr le Professeur **DIEMER Franck**

- Professeur des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie
- Docteur en Chirurgie Dentaire
- D.E.A. de Pédagogie (Education, Formation et Insertion), Toulouse Le Mirail
- Docteur de l'Université Paul Sabatier
- Responsable du Diplôme Inter Universitaire d'Endodontie à Toulouse
- Responsable du Diplôme Universitaire d'Hypnose
- Co-Responsable du Diplôme Inter Universitaire d'Odontologie du Sport
- Vice-Président de la Société Française d'Endodontie
- Lauréat de l'Université Paul Sabatier

Vous nous avez fait l'honneur d'accepter la présidence de notre jury de thèse ainsi que la direction de nos travaux.

Vous avez été présent tout au long de notre parcours universitaire et nous vous exprimons notre reconnaissance pour votre disponibilité, votre gentillesse et la qualité de votre encadrement. De l'hypnose à l'endodontie nous garderons précieusement en mémoire tous vos enseignements pour notre future vie professionnelle.

Veillez trouver ici l'expression de nos remerciements les plus sincères.

A notre jury de thèse

Mme le Docteur **JONIOT Sabine**

- Maître de Conférences des Universités, Praticien hospitalier d'Odontologie,
- Vice Doyen de la Faculté de chirurgie dentaire de Toulouse,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- Docteur d'Etat en Odontologie,
- Habilitation à diriger des recherches (HDR),
- Lauréate de l'Université Paul Sabatier.

Nous vous remercions de nous faire l'honneur d'avoir accepté de prendre part à ce jury.

Nous vous sommes reconnaissants pour votre implication dans le bon déroulement de nos études, votre accessibilité et votre grande gentillesse auprès des étudiants.

Veillez trouver ici l'expression de notre profonde gratitude.

A notre jury de thèse

Mme le Docteur **GURGEL-GEORGELIN Marie**

- Maître de Conférences des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- Maîtrise des Sciences Biologiques et Médicales
- D.E.A. MASS Lyon III,
- Ancienne Interne des Hôpitaux,
- Doctorat d'Université - Université d'Auvergne-Clermont

Nous sommes très honorés que vous ayez accepté de siéger dans notre jury.

Nous vous remercions pour votre bonne humeur et votre accessibilité envers les étudiants.

Vos compétences humaines et cliniques sont pour nous un modèle.

Veillez trouver ici la marque de notre respect et notre estime.

A notre co-directeur de thèse

Mr le Docteur **MICHETTI Jérôme**

- Ex Assistant hospitalo-universitaire d'Odontologie,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- Master 1 Biosanté,
- Master 2 Recherche « Radiophysique et Imagerie Médicales »,
- Lauréat de l'Université Paul Sabatier,

Nous sommes très sensibles à l'honneur que vous nous avez fait en acceptant de codiriger cette thèse, apportant, avec enthousiasme, votre expérience et vos compétences si variées.

Nous vous remercions du temps que vous nous avez consacré, pour l'élaboration de ce travail et de la confiance que vous nous avez témoigné tout au long de l'année.

Nous vous prions de bien vouloir trouver ici le témoignage de notre plus sincère gratitude.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	12
PARTIE I : La désobturation endodontique	14
I.1 Pourquoi désobturer	14
I.1.1 Définition.....	14
I.1.2 Indications	14
I.1.3 Règles générales : conditions et contre-indications.....	16
I.1.3.1 Considérations de santé générale :	16
I.1.3.2 Considérations cliniques	16
I.1.3.3 Considérations d'ordre prothétique :	17
I.2 Comment désobturer : les techniques	18
I.2.1 Instrumentation manuelle	18
I.2.1.1 Limes K et H	18
I.2.1.2 Forêts de Gates	19
I.2.2 Instrumentation rotative.....	19
En séquence inversée sur des instruments de traitement endodontique classique	
20	
I.2.2.1	20
I.2.2.2 Instruments endodontiques spécifiques au retraitement.....	24
I.2.3 Désobturation ultrasonique.....	27
I.2.4 Instrumentation thermique ou thermomécanique	28
I.2.5 Apport de l'activation.....	30
I.2.5.1 Activation sonore entre 1 et 6 kHz.....	30
I.2.5.2 Activation ultra-sonique :	30
I.2.5.3 Activation laser ou photodynamique.....	31
I.2.6 Les Solvants.....	33

I.3	Critères de réussite.....	34
PARTIE II : Elaboration d'un protocole d'analyse de l'élimination des matériaux d'obturation par imagerie tridimensionnelle.....		35
II.1	L'imagerie par micro CT	35
II.1.1	Principes généraux.....	35
II.1.2	Application en médecine bucco-dentaire	37
II.2	Elaboration d'un protocole d'analyse d'images micro CT en lien avec une étude menée par le Dr Kaloustian	38
II.2.1	Présentation de l'étude.....	38
II.2.2	Protocole d'analyse des images Micro-CT réalisé dans le cadre de cette thèse 40	
II.2.3	Validité et utilisation des données collectées	47
CONCLUSION		48
BIBLIOGRAPHIE		49

INTRODUCTION

Le traitement canalaire est conçu pour être une thérapeutique pérenne à très long terme. Une désinfection soigneuse suivie d'une obturation de bonne qualité, qui ne se dégrade pas, permet de conserver la dent traitée sur arcade.

En pratique, le chirurgien-dentiste est confronté quotidiennement à la nécessité de réintervenir sur des dents déjà traitées endodontiquement et cela pour de nombreuses raisons.

Tout d'abord, les traitements initiaux peuvent s'avérer perfectibles : des études épidémiologiques menées en 1996 par l'Agence Nationale pour le Développement de l'Evaluation Médicale (ANDEM) ont démontré un taux de traitements endodontiques inadéquats compris entre 40% et 70% (1). S'ajoutent à cela tous les problèmes de perte d'étanchéité des restaurations coronaires (infiltration d'un composite, descellement d'une couronne...).

Plusieurs indications de réintervention existent ; toutes ayant pour but l'allongement de la durée de vie de la dent sur l'arcade. Les résultats positifs de ces traitements doivent inciter les chirurgiens-dentistes à davantage envisager cette possibilité avant d'avulser les dents présentant des lésions péri-apicales ou avant de vouloir réaliser une nouvelle reconstitution sur un traitement endodontique contaminé.

Un retraitement endodontique comporte plusieurs étapes :

- Analyse de la raison de l'échec du traitement endodontique précédent ou exposition septique trop longue qui permet d'anticiper un futur problème infectieux
- Analyse de la dent (conservabilité, utilité prothétique...) et pose de l'indication de retraitement
- Aménagement de la voie d'accès coronaire (reconstitution coronaire pré-endodontique si nécessaire)
- Désobturation : élimination des matériaux de comblement en place
- Désinfection mécanique et chimique
- Mise en forme (levée des butées, respect de la constriction apicale...)
- Obturation tridimensionnelle étanche

Nous allons étudier plus précisément l'étape qui concerne l'élimination des résidus du traitement obturatif précédent.

Si les critères de succès de cette opération font consensus, il existe cependant divers moyens techniques pour y parvenir.

Nous verrons dans une deuxième partie qu'il est nécessaire d'évaluer et de comparer les différentes techniques et instrumentations qui arrivent nombreuses sur le marché chaque année. Pour cela, l'utilisation de la technologie d'imagerie par micro-CT combinée à des protocoles de traitements d'images, s'avère donner aujourd'hui les renseignements les plus précis. Cette combinaison est ainsi utilisée dans la majorité des études.

PARTIE I : La désobturation endodontique

I.1 Pourquoi désobturer

I.1.1 Définition

Le glossaire de l'*American Association of Endodontists* définit le retraitement endodontique (RTE) comme « une procédure clinique qui consiste à retirer de la dent tous les matériaux d'obturation canalaire, puis à refaire le nettoyage, la mise en forme et l'obturation de l'ensemble des canaux radiculaires » (2).

La désobturation endodontique est donc un préalable indispensable à tout retraitement. Elle doit être la plus totale possible pour garantir le succès du retraitement.

Selon l'ANDEM, son objectif, comme lors du traitement initial, est de supprimer tout foyer infectieux potentiel ou déclaré et doit plus particulièrement viser à éliminer les micro-organismes qui ont résisté au traitement précédent ou qui ont ultérieurement colonisé l'endodonte de la dent(3).

Tout matériau restant va empêcher l'accession aux tissus nécrotiques et/ou aux micro-organismes présents responsables de l'échec initial et les protéger des actions mécaniques et chimiques nécessaires à leur élimination. Une mauvaise désobturation compromet donc le succès du retraitement et peut être source d'inflammation péri-apicale et autres maladies post-traitement.

I.1.2 Indications

Il y a 3 principales indications de retraitement définies par l'ANDEM :

« 1 – La présence d'une pathologie péri-apicale ou péri-radiculaire d'origine endodontique est diagnostiquée et met en cause une dent ou racine dont le réseau canalaire a déjà été obturé.

2 - En l'absence de toute pathologie, lorsque le renouvellement d'une obturation coronaire ou lorsqu'une reconstitution prothétique est envisagée, le RTE est indiqué seulement si la qualité de l'obturation est insuffisante. L'évaluation repose sur une appréciation radiologique et sur le sondage intra-canalair.

3 - La défaillance et/ou le vieillissement d'une restauration coronaire devenue non hermétique peuvent compromettre le succès d'un traitement endodontique sous-jacent et contraindre au RTE. » (3)

Selon un rapport de la Haute Autorité de Santé (HAS), l'existence d'un traitement endodontique est le premier facteur associé à la présence d'une lésion péri-apicale (4).

Un traitement endodontique qui serait incomplet, septique, non étanche ou mal protégé par la restauration coronaire entraîne une réaction inflammatoire due à la présence de germes et de toxines.

Cela peut causer les complications suivantes :

- Douleur
- Lésions péri-apicales
- Lésions endo-parodontales

<i>Signes cliniques</i>	<i>Signes radiographiques</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Symptômes intermittents non reproductibles - Sensations de tension ou impression de plénitude - Léger inconfort à la pression linguale - Besoin occasionnel de médication analgésique 	<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation de l'espace desmodontal (>1mm/<2mm) - Raréfaction osseuse stationnaire ou en légère régression - Augmentation de l'épaisseur de la lamina dura par rapport aux dents adjacentes - Signes de résorption dont on ignore l'état évolutif ou non - Densité de l'obturation avec des vides, particulièrement dans le tiers apical - Extension de l'obturation au-delà de l'apex anatomique

Tableau 1 : traitement canalaire évalué comme un résultat incertain : signes cliniques et radiologiques (1)

La décision de tenter un traitement endodontique se fait après une évaluation précise du traitement endodontique précédent ainsi qu'une étude des signes cliniques et radiographiques.

Elle doit tenir compte de l'historique de la dent : (1,5)

- comparer les radiographies antérieures avec les plus récentes afin de confirmer le diagnostic
- comparer les symptômes antérieurs aux symptômes récents
- attendre qu'un certain temps soit écoulé depuis l'ancien traitement : il faut un recul post-opératoire assez long (environ un an) pour éviter de faire un diagnostic prématuré d'échec ou de succès.

I.1.3 Règles générales : conditions et contre-indications

I.1.3.1 Considérations de santé générale :

Pour l'ensemble de la population, indépendamment de toute notion de pathologie, la Société Française de Chirurgie Orale recommande d'éliminer les foyers infectieux bucco-dentaires ainsi que les situations à risque infectieux potentiel.

Elle met cependant en garde sur le fait que la reprise d'un traitement endodontique présente un risque majoré d'entraîner une bactériémie.(6)

L'AFSAPS a édité en 2011, une mise à jour des recommandations pour la prescription des antibiotiques en pratique bucco-dentaire, qui sépare la population en 3 groupes :

- Groupe A : population générale
- Groupe B : patients immunodéprimés
- Groupe C : patients à haut risque d'endocardite infectieuse (prothèse valvulaire, antécédent d'endocardite infectieuse, cardiopathie congénitale cyanogène).

En raison de ce risque de bactériémie le retraitement endodontique se fera sous antibioprofylaxie chez le groupe B et sera contre indiqué pour le groupe C (7).

I.1.3.2 Considérations cliniques

Le RTE doit aussi répondre à certains critères de faisabilité avant d'être entrepris :

- Il faut s'assurer de pouvoir travailler à l'abri de la salive et donc de pouvoir poser un champ opératoire (digue) qui assurera l'étanchéité,
- L'intégralité du réseau canalaire doit être accessible à la désinfection,
- La dent doit avoir un bon pronostic de guérison : le praticien doit l'apprécier en fonction de l'importance de la lésion péri-apicale, l'association avec une lésion parodontale, la mobilité...

1.1.3.3 Considérations d'ordre prothétique :

D'autres paramètres sont également à évaluer avant de tenter un RTE, comme l'utilité de la dent d'un point de vue esthétique et fonctionnel.

Le praticien doit envisager la restauration de la dent d'un point de vue prothétique et analyser entre autre l'anatomie radulaire et le rapport racine/couronne.

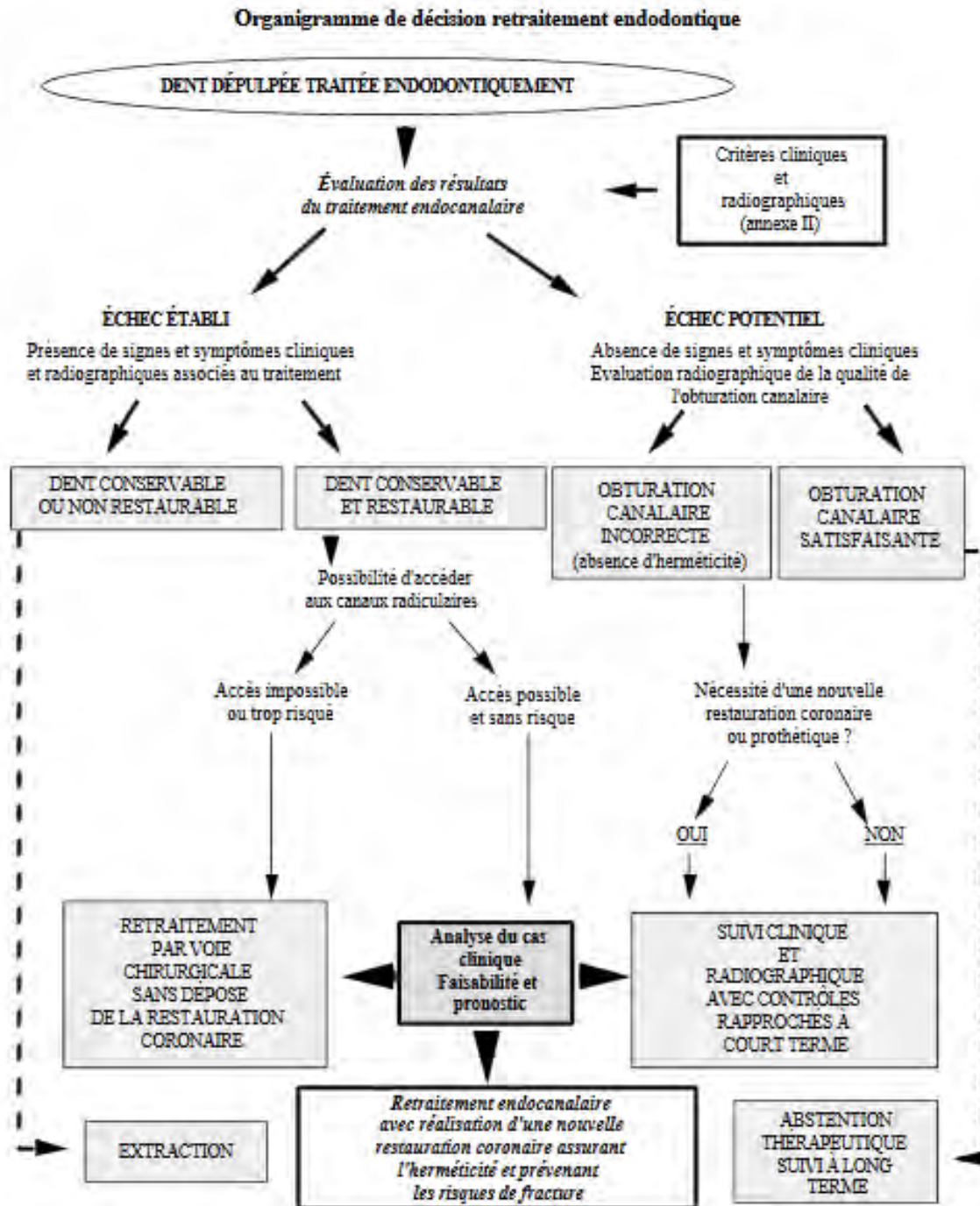


Figure 1 : Arbre décisionnel proposé par l'ANDEM (3)

I.2 Comment désobturer : les techniques

En fonction des matériaux utilisés pour l'obturation initiale, plusieurs stratégies de désobturation peuvent être envisagées. Les cônes de gutta percha associés à un ciment de scellement sont très majoritairement employés, la plupart des techniques et des instruments que nous allons détailler sont conçus pour leurs éliminations.

I.2.1 Instrumentation manuelle

Très consommatrice de temps, l'instrumentation manuelle est de plus en plus délaissée au profit de l'instrumentation rotative. Elle a son utilité lorsqu'on est en présence d'un cône de gutta « flottant » dans le canal.

Si certaines études concluent que le retraitement manuel n'est pas moins efficace et peut même montrer des résultats supérieurs dans le 1/3 apical (8) ou dans les canaux courbes (9), la majorité des études les plus récentes tendent à mettre en avant une plus grande efficacité de l'instrumentation rotative dernière génération (10–12).

En revanche l'instrumentation manuelle permet de limiter de façon significative des débris extrudés au niveau du périapex par rapport à l'instrumentation rotative (13).

Elle peut aussi s'avérer utile en complément de l'instrumentation rotative, notamment dans l'exploration et dans la finition.

I.2.1.1 Limes K et H

L'utilisation des limes K à section carrée torsadée permet une progression dans le canal. Elle s'utilise en quart de tour horaire avec pression puis retrait. On progresse jusqu'à la longueur de travail et on augmente progressivement le calibre des limes.

Lorsque l'une d'elles bloque et que l'on a atteint les 2/3, on utilise alors une Lime H.

Elle est formée à partir d'une section ronde que l'on usine avec un pas long et un angle de coupe tranchant à 90°. On utilise le calibre supérieur que l'on visse grâce à sa pointe travaillante jusqu'au même niveau, puis on tracte l'instrument pour retirer le cône de gutta en un morceau lorsque cela est possible (14).

Elles servent ensuite à éliminer les enduits de ciment pariétaux par raclement des parois.



Figure 2 : limes K



Figure 3 : limes H



1.2.1.2 Forêts de Gates

L'utilisation de limes manuelles était souvent associée à celles des forêts de Gates. Ceux-ci sont utilisés sur contre angle pour pénétrer dans le tiers coronaire.(13,15,16). Ils permettent d'aménager l'accès aux orifices canaux et d'éliminer la première couche de gutta souvent plus dure. Il faut faire attention à leur rigidité qui rend le centrage canalair difficile et peut être source de création de faux canal.

1.2.2 Instrumentation rotative

La mise au point d'instruments mécanisés en Nickel Titane a permis d'améliorer de façon conséquente le temps nécessaire à un RTE (17), tout en permettant à l'opérateur de bien respecter les trajectoires canales. Ils sont utilisés en séquence corono-apicale de façon à obtenir une antiseptie progressive et limiter la propulsion de débris dans la région péri-apicale (17). La plupart des systèmes de rotation continue disponibles peuvent être utilisés pour la désobturation canalair mais cela peut nécessiter une modification des séquences recommandées pour le traitement initial. Il existe par ailleurs certains systèmes de rotation continue indiqués plus spécifiquement pour la désobturation canalair (système Protaper® Universal retraitement, Dentsply-Maillefer; système R-Endo®, MicroMega ; système D-race®, FKG) ainsi que des systèmes en réciprocité.

1.2.2.1 En séquence inversée sur des instruments de traitement endodontique classique

Utilisation du Protaper® Universal (ou Protaper Gold) en séquence inversée : F3-F2-F1-(S2-S1).

Le traitement initial préconise l'utilisation de Shaping Files (de conicité variable croissante) puis des Finishing Files (conicité constante sur les 3 premiers mm puis conicité inversée)

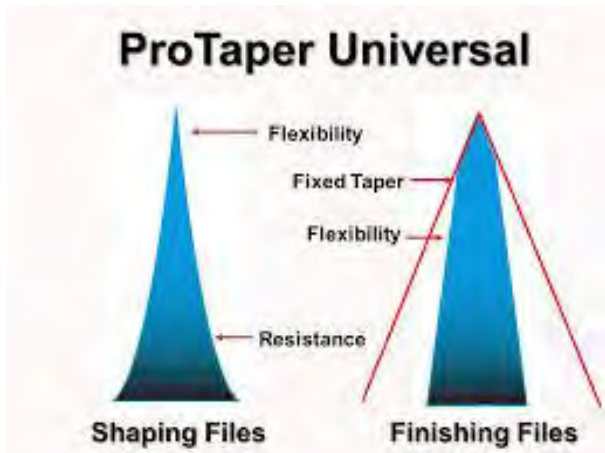


Figure 4 : conicité des instruments Protaper®, Dentsply Maillefer

En retraitement, la séquence inversée est utilisée : F3 est utilisé dans le 1/3 coronaire, F2 dans le 1/3 moyen et F1 dans le 1/3 apical. Si l'obturation est très dense en apical et que l'instrument n'arrive pas à pénétrer, on utilisera S2 puis S1.

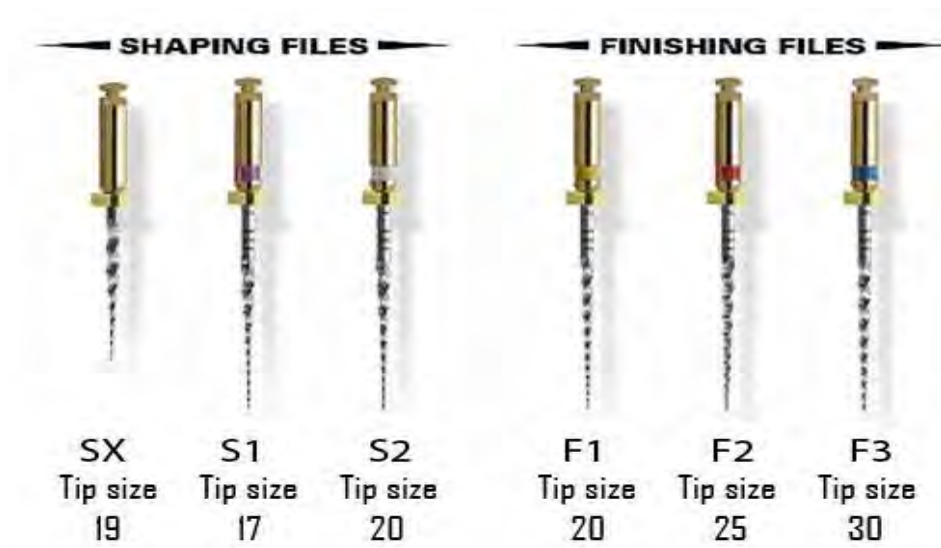


Figure 5 : séquence Protaper® Universal, Dentsply Maillefer

- [Reciproc®](#)

C'est un système mono-instrumental disponible en 3 tailles différentes:

- R25 : 8% à la pointe puis dégressif, 25/100
- R40 : 6% puis dégressif, 40/100
- R50 : 5% puis dégressif, 50/100

Il est utilisé avec un mouvement de réciprocité :

- rotation antihoraire : 150°
- rotation horaire : 30°

Plusieurs études s'accordent sur le fait que les instruments de réciprocité sont plus performants que les instruments de rotation continue pour éliminer la gutta percha et le ciment de scellement (15,18–20). Toutefois, on s'interroge sur le fait que cette technique, associée à l'utilisation de mono-instrument qui doivent prendre en charge plus de contraintes, puisse générer davantage de défauts dentinaires (micro-crack).

Ces résultats sont dus à son design :



Figure 6 : vue de la pointe et de la section en MEB, source VDW Dr David Sontag

C'est un hélicoïde inversé qui possède une section asymétrique avec deux angles de coupe et une pointe non active.

Sa section en S avec 2 angles de coupe positifs lui confèrent une grande efficacité de coupe (21).

Il faut cependant noter que d'autres études concluent à une efficacité similaire du Reciproc® avec le Protaper® (22,23), ainsi qu'une revue de la littérature conduite en 2017 par Fedele et Ahmed (24). Et d'autres à l'égalité comme par exemple l'étude de Nevares et al en 2016 sur la quantité de matériaux d'obturation et de dentine éliminés (25). Cela peut être dû aux critères d'inclusion : anatomie du réseau de canalaire, type et qualité de l'obturation initiale, utilisation de solvant...

Tout comme le Protaper, récemment proposé avec le traitement thermique « *Gold* », le Reciproc® a aussi subi une amélioration par traitement thermique appelé « *blue treatment* ». Il permet d'obtenir une meilleure flexibilité (40% en plus vs Reciproc®) afin de mieux respecter la courbure canalaire et permet une meilleure résistance à la fatigue cyclique, diminuant ainsi les risques de fracture instrumentale (2,3 fois plus de résistance à la fatigue cyclique vs. Reciproc®) selon les données du fabricant.

- [Wave one](#)

C'est également un mono-instrument qui s'utilise en réciprocité :

- rotation horaire : 160°
- rotation anti-horaire : 90°

Il a une conicité variable inversée (conicité maximale à la pointe) et une pointe inactive.

Il existe 4 types de limes à utiliser selon les cas : la small en 7% 20/100, la primary 7% 25/100, la médium 6% 35/100 et la large 5% 45/100. Elles sont toutes disponibles en 21mm, 25mm ou 31mm.

Dans le cas de retraitement, on privilégiera le médium et le large.



Figure 7 : Wave One gold primary selon www.dentsplysirona.com

Une étude menée par Kocak et al en 2016 met en évidence une efficacité supérieure du wave one® vs Reciproc®, Protaper® et technique manuelle (16). Cela a été confirmé par l'étude de Colombo et al en 2016, dans laquelle il apparaît que le wave one est plus efficace que le Protaper® sans solvant mais équivalent avec solvant (26).

- [2Shape](#)

L'instrument 2shape n'a pas été prévu par la société Micro Mega pour le retraitement endodontique.

L'étude pour laquelle nous avons traité les volumes numériques a pour but de tester l'efficacité du système 2Shape et de la comparer à celle du Reciproc® blue.

La séquence se compose de 2 instruments en Nickel Titane traités par la technologie T-Wire (électropolissage suivit d'un traitement thermique laissant l'alliage avec une majorité de phase austénite).

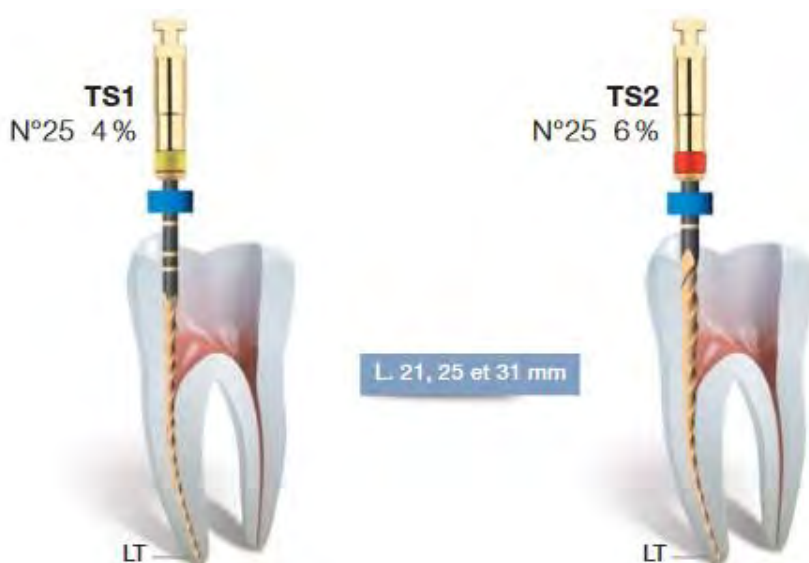


Figure 8 : système 2Shape, par Micro Mega

La section est une triple hélice asymétrique conçue pour avoir une grande efficacité de coupe et faciliter en parallèle la remontée des débris.

On comprend qu'un tel design soit également approprié à la désobturation endodontique.

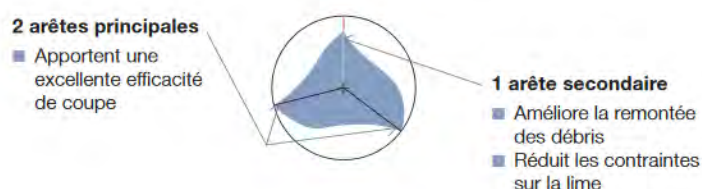


Figure 9 : section en triple hélice, par Micro Mega

1.2.2.2 Instruments endodontiques spécifiques au retraitement

Les différents systèmes de retraitement existants sur le marché comportent des instruments de fortes conicités et de forts diamètres à utiliser initialement pour désobturer la partie coronaire du canal. Cela permet ensuite d'utiliser les instruments de conicités et de diamètres inférieurs prévus pour progresser apicalement.

Les matériaux sont retirés par pression apicale contrôlée des instruments, utilisés en mouvement de va-et-vient, et sans être forcés. Ils sont retirés du canal et nettoyés régulièrement. (27)

Du solvant peut être utilisé si l'obturation est trop dense et ne permet pas le passage des instruments.

Ces instruments peuvent être dotés de pointes actives.

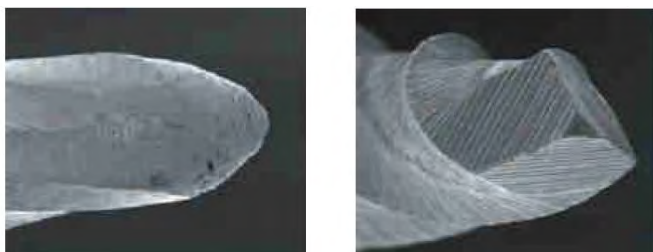


Figure 10 : pointe passive du Protaper® Universal vs pointe active du Protaper®retraitement de la lime D1 en MEB d'après Dentsply Maillefer

- [Protaper® universal retreatment](#)

Ce système se compose de 3 limes en Nickel Titane de longueurs croissantes et de conicités décroissantes pour être utilisé selon la technique du crown down en divisant la racine en tiers.

Elles sont utilisées sur contre angle avec une vitesse allant de 250tr/min (pour les préparations à base d'oxyde de zinc eugéno) jusqu'à 500 tr/min (pour de gutta solide) selon les instructions du fabricant (28).

D1 possède une pointe active contrairement à D2 et D3 afin d'éviter les fausses routes.

D1 : 9% puis 7% #30/100 16mm

D2 : 8% puis 6% #25/100 18mm

D3 : 7% puis 6% #20/100 22mm

**PROTAPER**[®]
UNIVERSAL
RETRAITEMENT



Figure 11 : Protaper® Retreatment, Dentsply Maillefer

- [D-race®](#)

La séquence D-Race® se compose de deux limes en NiTi : DR1 Acess et DR2 Full Path, toutes deux à conicité constante.

L'instrument DR1 a une pointe active pour faciliter l'attaque du matériel d'obturation. Il est utilisé dans les premiers millimètres de la partie coronaire et droite du canal selon les instructions du fabricant (29).

Une fois l'accès dégagé avec le DR1, le deuxième instrument, DR2, est utilisé jusqu'à la longueur de travail. Comme cet instrument est fortement sollicité, il est à usage unique (29).

DR1 : 10%, #30/100, 15mm, s'utilise de 800 à 1000 tr/min

DR2 : 4%, #25/100, 16mm, s'utilise de 400 à 600 tr/min

Ils s'utilisent sur contre angle avec un couple de 1,5Ncm



La gamme a été complétée par le XP-endo® Finisher R afin de mieux finaliser la désobturation des canaux courbes.

Il est en NiTi avec une bonne flexibilité du fait de sa finesse et une résistance à la fatigue cyclique. Sa capacité d'expansion et sa forme faucille lui permettent de nettoyer les zones difficilement accessibles (zones courbes et ovales). Sa flexibilité lui permet d'entrer en contact et gratter la surface de la dentine et/ou le matériau d'obturation sans changer la forme originelle du canal. (30)

XP-endo® Finisher R : 0%, #30/100, 21 ou 25mm, s'utilise de 800 à 1000 tr/min, couple: 1 Ncm. Il est à usage unique.

Room Temperature



Body Temperature

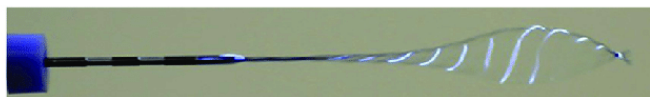


Figure 12 : mécanisme d'action du XP-endo® Finisher R (31)

Des études récentes concluent que l'expansion de la lime en fonctionnement et son mouvement hélicoïdale permettent de diminuer les résidus de matériaux d'obturation de 60% à 70% (31,32).

- [R-endo®](#)

R-endo® est composé de 3 types d'instruments : une lime manuelle en acier (Rm) pour fracturer la pellicule dure du matériau d'obturation et 4 instruments Nickel Titane de conicité constante à utiliser en rotation continue pour supprimer les contraintes coronaires (Re) et mettre en forme progressivement les 3 niveaux de l'espace radulaire (R1, R2, R3).

Rm : 4%, 25/100, 17mm

Re : 12%, 25/100, 15mm

R1 : 8%, 25/100, 15mm

R2 : 6%, 25/100, 19mm

R3 : 4%, 25/100, 23mm

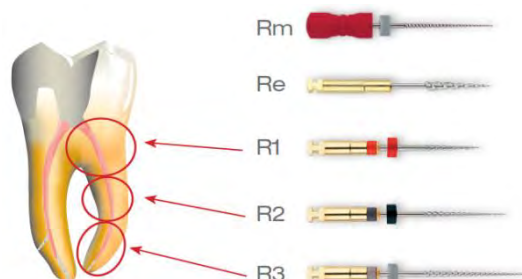


Figure 13 : kit R-endo, image PinkBlue.in

- [M-two® retraitement](#)

Les limes conçues pour le retraitement possèdent une pointe active et s'utilisent après avoir ouvert l'accès au canal par un forêt de Gates par exemple et nettoyer le tiers coronaire.

Ces limes en NiTi sont disponibles en :

5%, 15/100 - Longueur 21mm - pointe active

5%, 25/100 - Longueur 21mm - pointe active



Figure 14 : pointe active du Mtwo® R en MEB, dentalweb.com

Elle existe aussi en 7%, 25/100 - Longueurs 21mm et 25mm – avec des pointes non actives pour canaux larges. La partie active est de 16mm pour toute la séquence.

Il faut effectuer des mouvements de va-et-vient sans pression jusqu'à la LT. Utiliser ensuite les instruments de mise en forme Mtwo® prévus pour le traitement initial afin d'obtenir la taille souhaitée.

C'est une instrumentation simple et efficace qui permet un gain de temps par rapport aux autres systèmes (13).

I.2.3 Désobturation ultrasonique

La désobturation ultrasonique s'avère utile dans les cas où le canal est obturé avec des résines dures. Elle sera de préférence associée à un contrôle visuel par aide optique : microscope, téléloupes.

Le protocole opératoire fait intervenir un insert long et pointu (insert de condensation latérale) au début, suivi d'une lime endosonore de petit diamètre (le plus souvent 15) éventuellement raccourcie pour en majorer la rigidité (33).

On peut utiliser des inserts spécifiques type : ProUltra® Endo, ET20®, ET25®...) ou limes montées sur US de tailles décroissantes pour descendre progressivement dans la portion rectiligne du canal (27).



Figure 15 : ProUltra® Endo à gauche, ET25® à droite

L'énergie de l'instrument ultrasonique produit de la chaleur et ramollit les obturations à base de gutta percha. Les inserts vont donc pouvoir pénétrer dans les canaux déjà mis en forme et déplacer la gutta percha résiduelle coronairement dans la chambre pulpaire ou elle est ensuite supprimée (14).

I.2.4 Instrumentation thermique ou thermomécanique

- Thermique

La désobturation par instrumentation thermique repose sur la possibilité de ramollir la gutta percha en la chauffant.

On utilise pour cela des instruments de type «heat carrier» originellement destinés à la condensation verticale à chaud et présentant un plugger chauffant comme le System B®(Sybron Endo) ou le Touch'n Heat® (Analytic Technology).



Figure 16 : Touch'n Heat® à gauche, System B® à droite

Deux techniques peuvent être utilisées :

- La première consiste à chauffer l'instrument et à l'insérer dans la masse de gutta percha puis à attendre qu'il refroidisse avant de la retirer. On peut ainsi extraire des tronçons de gutta refroidi qui se sont collés à l'instrument (34,35). Cette technique est à privilégier pour les canaux larges et rectilignes.
- La deuxième technique consiste à insérer l'instrument chauffé et à le retirer immédiatement. Tant que la gutta est ramollie, on y insère une lime H qui va s'y enfoncer rapidement puis on attend que la gutta refroidisse avant de l'extraire. Un tronçon de gutta se sera alors pris dans les spires de la lime et sera extrait (35,36). Pour les canaux mal obturés (non compactés), on peut même espérer retirer tout le cône de gutta d'un coup. Ce système peut s'avérer utile pour les obturations dépassant la constriction apicale.

- Thermo-mécanique

L'instrument mécanisé conçu pour cette technique est le GPX® (Gutta Percha Xtractor), il comporte une partie active formée d'une succession de spirales symétriques sans angle vif. Cela permet la pénétration dans le canal sans phénomène de vissage avec plastification de la gutta-percha par friction et extraction du matériau en direction coronaire (inverse du compactage thermomécanique).

Le GPX® est proposé en trois tailles, 25, 30 et 35, en acier. Il existe aussi le GPXF® en NiTi en taille 25 et 30, de longueur 21mm et de conicité 2%.

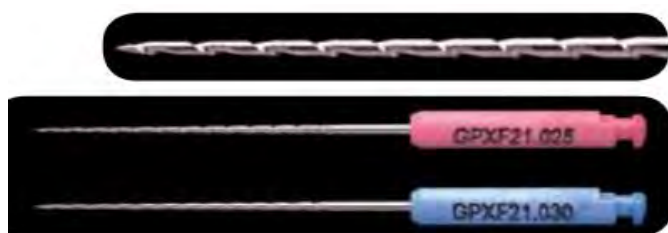


Figure 17 : GPXF en 25/100 et 30/100 en bas, profil de la partie active en haut

Ils doivent être utilisés sur contre angle à une vitesse de 2 000 à 4 000 tr/min. en choisissant le plus gros diamètre compatible avec le canal afin d'optimiser l'effet de friction. L'instrument est mis en rotation et l'on exerce une légère pression permettant une progression continue jusqu'à la longueur de travail choisie. La gutta percha remonte coronairement le long de l'instrument par friction. Puis on retire le GPX® toujours en rotation. Le modèle en acier peut être utilisé dans les canaux courbes contrairement à celui en NiTi. À la jonction entre le niveau du traitement initial incomplet et la portion canalaire non obturée, il faudra revenir à l'utilisation de limes de petit diamètre 8, 10.

L'atout majeur de cet instrument est la non-utilisation de solvant qui peut permettre de réduire le temps d'intervention nécessaire à la désobturation.

Une étude menée par Betti et col. 2010 met en évidence un net gain de temps par rapport à l'instrumentation manuelle mais de moins bons résultats en terme d'élimination de gutta percha. De plus, ils remarquent que le GPX® ne peut retirer la gutta au-delà de la limite apicale de l'instrument (21mm) (37). Une étude de Hülsmann et Stotz 1997 confirme ces résultats et préconise l'utilisation combinée du GPX® avec des limes H (38).

Si on estime que le nettoyage mécanique ne peut se faire en moyenne que sur 60% de la surface des canaux(39), la possibilité d'éliminer les résidus de matériaux d'obturation lors d'un retraitement est du même ordre. Les études publiées offrent des résultats contradictoires quant à la supériorité d'un système par rapport à l'autre. Une revue de la littérature suggère donc que le nettoyage mécanique est plus influencé par l'anatomie que par le design des différents instruments : Siqueira et al.2013(40).

I.2.5 Apport de l'activation

I.2.5.1 Activation sonore entre 1 et 6 kHz

Le but de ces instruments est de générer un fluide hydrodynamique facilitant l'élimination de la boue dentinaire et du biofilm, lors des traitements endodontiques. Il existe par exemple l'Endoactivator® de Dentsply disponible avec 3 tailles d'embouts activateurs : petit 15/02, moyen 25/04 et large 35/04 qui peuvent se régler sur 3 puissances de vibration.



Figure 18 : l'Endoactivator® de Dentsply

I.2.5.2 Activation ultra-sonique :

Une onde ultrasonique qui se propage dans un liquide va créer un phénomène de cavitation ; des bulles de vapeur se forment et implosent de façon assez violente pour permettre de détacher des débris du réseau canalaire.

Parallèlement à ce phénomène, on va avoir la formation de micro-courants qui provoquent des forces de cisaillement qui ont un effet nettoyant mais également bactéricide.

Les inserts ultra sonores vont d'autre part générer une élévation de la température qui va favoriser le ramollissement de la gutta et donc son élimination.

En endodontie, c'est la PUI (« Passive Ultrasonic Irrigation ») qui est principalement utilisée. On insère dans le canal rempli de solution une lime vibrant à une fréquence de 20 000 Hz qui ne modifie pas la préparation canalaire mais aide au nettoyage et à la désinfection.



Figure 19 : ex d'activateur ultra sonique Endo Ultra® par Micro Mega

Des études confirment que l'activation ultrasonique utilisée avec un retraitement endodontique réduit de façon significative la quantité de matériaux d'obturation restant et ce, quel que soit la technique utilisée (15).

D'autres études en revanche ne notent pas d'amélioration significative au niveau de la désobturation que ce soit avec une activation sonore ou ultrasonique (41,42).

Cela peut-être dû à la nature du réseau canalaire à traiter : l'étude de Martins (42) porte sur des prémolaires mandibulaires avec une anatomie de canaux accessibles à l'instrumentation mécanique alors que l'étude de Cavenago et al (43) est faite sur les canaux mésiaux des molaires mandibulaires donc comportant plus d'isthmes, ce qui rend l'action mécanique plus difficile. Bernardes et al (15) étudient des incisives inférieures, qui ont des canaux plus aplatis. Dans ces situations on comprend que l'intérêt de l'agitation de l'irrigant devienne plus évident, d'autant qu'il apporte un effet bactériostatique non mesuré dans ces études.

I.2.5.3 Activation laser ou photodynamique

- Actions du laser

Le laser a de larges applications en endodontie et cumule plusieurs effets possibles :

- **Action photomécanique** : le laser crée comme les ultrasons un effet de cavitation. Mais l'intérêt du laser, par rapport aux ultrasons, est de pouvoir générer des effets de cavitation excessivement puissants à des endroits très précis en positionnant bien l'extrémité de la fibre.
- **Action photoacoustique** : création d'ondes de choc qui décollent la matière (pression/dépression).
- **Action photochimique** : les lasers chauffent NaOCl dans le canal, ce qui potentialise son action désinfectante en le propulsant dans des zones inaccessibles et en provoquant des réactions photochimiques complexes créant un chlore beaucoup plus bactéricide. Les vapeurs créées diffusent mieux que les liquides dans les fins canalicules des réseaux canaux.
- **Action thermique** : contre les parois canales irradiées, les liquides atteignent des températures avoisinant les 700 degrés Celsius. Cela peut être utile pour ramollir la gutta mais peut également être irritant pour les tissus environnants.

- [Exemple d'utilisation d'un laser diode ou Nd-Yag](#)

Dans le cas du retraitement endodontique avec un laser diode ou Nd-Yag, on peut, en réglant l'énergie (mJ) et la longueur d'onde (Hz), l'utiliser de 2 façons consécutives et complémentaires :

- désobturation par effet photomécanique : l'extrémité de la fibre est amenée au contact du matériau d'obturation existant, puis les tirs activés vont ramollir la gutta existante. On peut ensuite poursuivre avec un agent chimique désobturant et une lime H en alternance avec les tirs laser.
- décontamination par thérapie photochimique : la fibre est amenée à l'intérieur du canal (rempli d'eau oxygénée à 10 volumes) jusqu'à la longueur de travail moins 1 mm, puis on procède aux shoots au cours d'un mouvement de retrait de la fibre vers l'entrée du canal. L'utilisation du laser permet une propulsion du liquide dans les canaux accessoires par effet de souffle. Le liquide va se troubler de débris et des bulles d'O₂ vont apparaître (44).

Il faudra cependant se méfier de l'effet d'augmentation de température sur les tissus environnants et de l'effet de dentine fondue (carbonisation) qui obstrue les tubulis (45).

- [Laser-activated Irrigation \(LAI\)](#)

L'activation au laser est basée sur le phénomène de cavitation, l'erbium laser est la dernière innovation mise en place dans les cabinets dentaires pour compléter une désobturation endodontique.

L'efficacité concernant l'élimination de débris a été étudiée dans plusieurs études.

Une étude montre que le laser Er Yag n'est pas aussi efficace que la PUI quant à la quantité de gutta retirée car il ne peut pas atteindre certaines zones comme le tiers apical ou les zones de courbure (46).

Alors qu'une étude sur des canines avec un canal unique relativement droit et sans isthme met en évidence une meilleure efficacité du laser Er-Yag vs PUI, irrigation classique, lime finisher (sefl ajustable file) et Nd-Yag (47).

Même si l'anatomie canalaire ne permet pas toujours au laser d'être la solution optimale pour désobturer les canaux, son effet bactéricide reste un avantage largement prouvé et doit être pris en compte (48–50).

1.2.6 Les Solvants

La désobturation chimique est une aide à la désobturation mécanique qui se fait par le biais de 2 principaux types de solvants :

- ceux qui agissent sur le ciment : huiles essentielles d'agrumes, Trichloroéthane (Endosolv®), Tétrachloroéthylène (Désocclusol®, Eugésolv®).
- ceux qui agissent sur la gutta : on peut utiliser tous les solvants de l'oxyde de zinc eugénol (la composition d'un cône de gutta-percha comporte une grande proportion d'oxyde de zinc). L'utilisation de solvants spécifiques de la gutta-percha est aussi retenue, ces solvants sont à base d'halothane, d'eucalyptol ou encore de chloroforme.

Grâce à l'utilisation de solvants, on obtient une meilleure pénétration des instruments, tout en réduisant les forces lors de la pénétration dans les canaux obturés et donc en limitant le risque de fausse route et de perforation (51).

Le solvant est d'autant plus efficace qu'il reste en contact avec le matériau d'obturation et certains solvants doivent être d'abord absorbés par le matériau avant que celui-ci ne soit dissout. Cliniquement, le solvant est considéré comme efficace lorsqu'il passe d'un aspect visuel translucide à une certaine opacité.

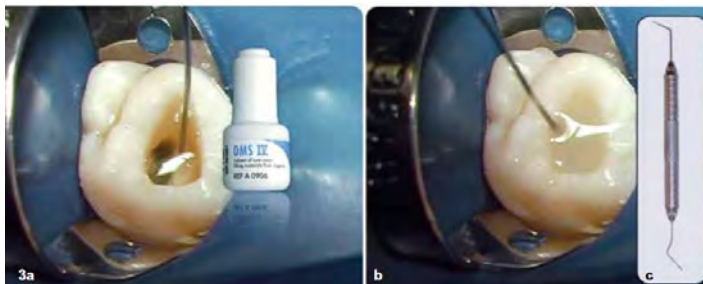


Figure 20 : Opacification du solvant, Réalité clinique 2016, Vol 27 n°4 p157

L'utilisation des solvants ne doit pas être systématique mais peut être nécessaire lorsque le matériau est impénétrable ou difficile à désobturer. Ces solvants sont le plus souvent toxiques et volatiles, ils doivent être utilisés sous champs opératoire et il convient d'éviter leur utilisation dans le tiers apical (52) pour éviter les effets cytotoxiques et oncogènes lorsque que ces produits sont expulsés au-delà du périapex (53).

L'autre inconvénient à l'utilisation de ces solvants est que leur utilisation peut aboutir à la formation d'une boue collante très difficile à éliminer des parois canalaire en particulier en association avec la gutta-percha (14).

C'est pourquoi il convient de privilégier l'utilisation d'un solvant spécifique au ciment qui réduit le temps opératoire mais également la quantité de débris extrudés au-delà de l'apex par rapport à l'utilisation de solvant pour gutta-percha ou la non utilisation de solvant (54).

I.3 Critères de réussite

Afin de mener des études comparatives sur les capacités d'élimination de différents systèmes, il est nécessaire d'établir une liste de critères d'évaluation.

- Élimination de tous les matériaux d'obturation et de leurs résidus (boues, débris)
- Élimination de la dentine contaminée (couche supplémentaire) tout en minimisant le transport canalaire
- Obtenir un bon cathétérisme, ce qui est difficile pour des canaux préalablement obturés
- S'assurer de la perméabilité apicale (d'autant plus en cas de LIPOE).

PARTIE II : Elaboration d'un protocole d'analyse de l'élimination des matériaux d'obturation par imagerie tridimensionnelle

II.1 L'imagerie par micro CT

II.1.1 Principes généraux

La micro-tomographie à rayons X (micro computed tomography, MCT, microscanner, Micro-CT ou μ -CT) a été développée par Elliott et Dover en 1982 et utilisée pour la première fois par Feldkamp (55) pour étudier la structure trabéculaire de l'os.

C'est une technique d'imagerie permettant la reconstruction 3D d'un échantillon. La méthode consiste à reconstituer une image volumique à partir de radiographies 2D prises sur 360° en attribuant à chaque position de l'espace une valeur de densité liée à l'épaisseur et au coefficient d'absorption de chaque matériau traversé par les rayons X.

D'un point de vue technique, un générateur de rayons X émet un faisceau de forme conique. Il traverse l'objet à explorer puis est enregistré, après atténuation, par un système de détection.

L'utilisation d'un faisceau conique, contrairement au scanner médical conventionnel, permet en une seule révolution de balayer l'ensemble du volume à scanner au lieu de superposer les coupes lors des multiples rotations du système (56).

La source de rayons X et le récepteur sont solidaires et alignés. L'appareil utilisé pour cette étude comprend un complexe tube-détecteur immobile et une plateforme tournante permettant à la dent d'effectuer une rotation pendant l'émission du faisceau (56).

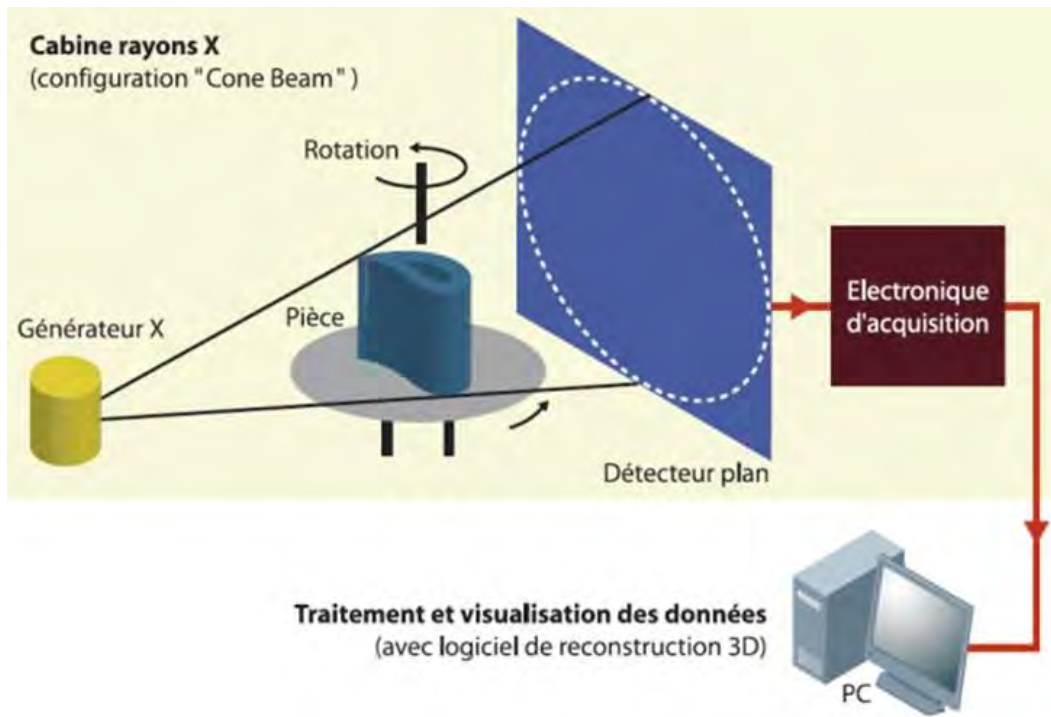


Figure 21 : Complexe tube-détecteur immobile – objet en rotation (Document Patrick Bouvet)

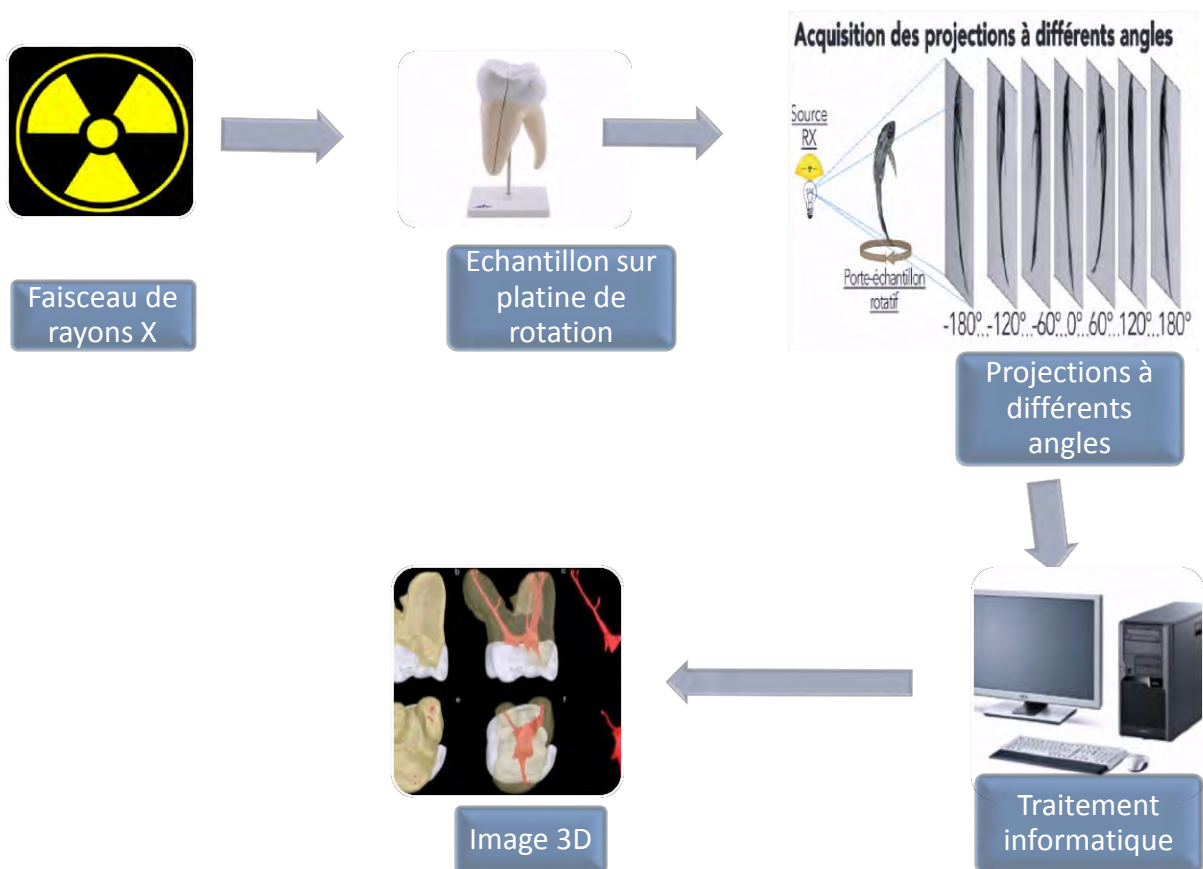


Figure 22 : étapes de création d'une image 3D

La tomographie combine les informations fournies par un très grand nombre de radiographies, chacune étant réalisée pour un angle différent de l'échantillon par rapport aux rayons X et au détecteur qui demeure fixe.

Si l'angle entre chaque vue est suffisamment petit et la source de rayons X monochromatique, il devient possible, à partir d'un ensemble complet de radioscopies, de calculer par reconstruction informatique la valeur locale du coefficient $\mu(x,y,z)$ en chaque point de l'échantillon. La taille de l'échantillonnage 3D est conditionnée par la résolution du système d'imagerie. Le volume élémentaire autour de chaque point reconstruit est appelé voxel (extension du pixel en 3D).

II.1.2 Application en médecine bucco-dentaire

L'imagerie par Micro-CT est actuellement considérée comme l'outil le plus performant pour obtenir des résolutions fortes (de l'ordre du micron).

Son domaine d'application en odontologie est exclusivement destiné à la recherche car il existe de nombreuses contraintes à son utilisation clinique :

- contraintes d'utilisations : coût des analyses, temps d'acquisition importants, accès limité, poids élevé des images obtenues ;
- contraintes de taille : il existe une relation directe entre la résolution et la taille de l'échantillon, l'analyse à haute résolution généralement entre 10 μm et 100 μm contre 0.5 mm pour le CT médical) limite donc la taille de l'échantillon.
- balance bénéfice/risque négative : les doses d'irradiation pour une micro CT sont plus fortes que pour un CBCT alors que les informations données par un CBCT sont assez précises pour poser la majorité des diagnostics dentaires,

Pour étudier le système canalaire, les acquisitions tridimensionnelles sont réalisées à partir de dents extraites, limitant ainsi la taille des échantillons analysés. Bien que la microtomographie ne puisse être utilisée *in vivo*, elle est considérée comme la méthode radiologique tridimensionnelle de référence en recherche dentaire (Hannig et al., 2006(57) ; Peters et al., 2000(58)).

II.2 Elaboration d'un protocole d'analyse d'images micro CT en lien avec une étude menée par le Dr Kaloustian

II.2.1 Présentation de l'étude

Dans le cadre d'une thèse de recherche, coordonnée par le Docteur Jean Philippe Mallet, et dont le co-directeur de thèse est le Professeur Franck Diemer, le Docteur Marc Kaloustian (Université Saint-Joseph, Beyrouth, Liban) nous a sollicité pour évaluer l'efficacité de différents systèmes de désobturation sur des images micro CT.

Le but de cette étude est de comparer l'efficacité en désobturation d'un instrument unique en réciprocité (Reciproc®) avec un nouveau système en rotation continue (2shape®) sur des molaires mandibulaires. L'intérêt d'associer à cette désobturation, une activation passive ultrasonore de l'irrigation, a également été évalué dans cette étude.

Préparation des échantillons et acquisitions réalisées par le Dr Kaloustian :

66 molaires mandibulaires intactes ont été extraites pour des raisons parodontales, traitées endodontiquement, puis scannées au microCT. Ces échantillons ont ensuite été répartis aléatoirement en 2 groupes homogènes :

1^{er} groupe : désobturation des racines avec le système 2shape®

2^{ème} groupe : désobturation des racines avec le système Reciproc®

Les dents ont ensuite subi un 2^{ème} scan au microCT afin de contrôler la qualité de la désobturation.

Par la suite, elles ont de nouveau été réparties aléatoirement dans 2 sous-groupes.

1^{er} sous-groupe : activation ultra sonore

2^{ème} sous-groupe : activation sonore

Un dernier scan par micro CT a été réalisé pour évaluer l'amélioration dans l'élimination des matériaux d'obturation par les 2 techniques.



Figure 23 : Micro-CT Quantum FX de Perkin Elmer utilisé lors de l'étude

Chaque dent a été scannée seule avec le scanner Micro-CT (Quantum FX ; Perkin Elmer Health Sciences; Hopkinton; United-States 2012) avant et après préparation canalaire.

Ce micro-tomographe est composé :

- d'un tube à rayons X, ayant pour caractéristiques :
 - un voltage variable de 30 à 90 mV
 - une intensité de 20 à 200 μ A
 - une rotation sur 360°
- d'un détecteur haute résolution :
 - à phase solide de type flat panel
 - ayant une résolution de 10 μ m à 295 μ m
 - de champ de vue de 5 mm à 73 mm
 - d'une vitesse d'acquisition variable de 17 secondes à 4.5 minutes.

Le champ de vue a été fixé à 10 mm pour obtenir des images 3D avec une résolution de 20 μ m. Deux volumes, correspondants aux régions coronales et apicales, ont été enregistrés par dent.

Les paramètres d'acquisition étaient :

- un voltage de 160 kV
- une intensité de 90 mA
- une rotation de l'imagerie sur 360°
- une durée moyenne d'imagerie de 2 minutes par dent.

Les données récoltées ont été traitées informatiquement par le logiciel Quantum FX micro-CT puis converties en volume 3D (une image en 3 dimensions de 512x512x512 voxels).

II.2.2 Protocole d'analyse des images Micro-CT réalisé dans le cadre de cette thèse

L'étude à laquelle nous avons participé a pour but de comparer l'efficacité de plusieurs techniques de retraitement endodontique. Pour cela il nous fallait mesurer avec précision la quantité de matériaux d'obturation (gutta-percha et ciment de scellement) qui a pu être retirée par les différents outils. Ces mesures ont été faites au global mais également pour chaque tiers du canal afin d'affiner les résultats.

- Superposition des volumes coronaux et apicaux

Les volumes coronaux et apicaux ont été fusionnés à l'aide du logiciel Matlab® (v. R2014b) en exploitant le tronçon commun présent dans chaque volume.

- Recalage des volumes pré et post-opératoires

Un recalage rigide a été effectué pour obtenir un positionnement identique des volumes dans une même matrice. Les volumes après désobturation et les volumes après PUI ont été recalés sur les volumes initiaux. Ainsi recalés, une comparaison par couple a pu être réalisée:

- Dent à l'état initial vs Dent après première phase de désobturation (Dent ApT1)
- Dent à l'état initial vs Dent après deuxième phase de désobturation (Dent ApT2)

Le recalage a été réalisé en utilisant la fonction « imregtform » fournie par le logiciel Matlab®.

- Binarisation des images selon la méthode d'Otsu (59)

La méthode d'Otsu a été celle sélectionnée pour sa fiabilité et sa rapidité (60–62). Elle permet à l'opérateur de segmenter l'image ou le volume en un certain nombre de régions ou classes en fonction du nombre de seuils choisis. On parle de seuillage global car tous les voxels de l'image sont utilisés par l'intermédiaire de l'histogramme pour déterminer de manière automatique la valeur du ou des seuil(s) (63,64).

L'algorithme est itératif. Il calcule alors le seuil optimal T qui sépare deux classes afin que la variance intra-classe soit minimale et que la variance inter-classe soit maximale.

Dans notre protocole, nous avons défini 2 seuils pour déterminer 3 classes :

- Le fond (valeur attribuée aux voxels = 0)
- La dentine (valeur attribuée aux voxels = 1)
- Les matériaux d'obturation (valeur attribuée aux voxels = 2)

Analyse de l'histogramme

Afin de réaliser le seuillage, nous avons procédé sous Matlab au calcul de l'histogramme.

C'est un tableau qui comporte 256 niveaux de gris : chaque voxel qui compose l'image est associé à un niveau de gris. A la fin de l'analyse de l'image on aura donc dans notre tableau un nombre de voxel correspondant à chacun de 256 niveaux de gris et cela permet de former une courbe statistique indiquant la répartition des pixels selon leur valeur.

Dans le cas de notre étude, l'histogramme forme 3 pics d'intensités différentes: un pic correspond au fond, un autre à la dentine et un troisième aux matériaux d'obturation.

La quantité de matériaux d'obturation étant faible et la valeur de sa moyenne de gris se rapprochant de celle de la dentine, il a fallu définir 2 seuils pour bien l'isoler. Avec un seul seuil, on aurait obtenu des voxels correspondant à la dentine dans notre quantité de voxel de matériaux d'obturation.

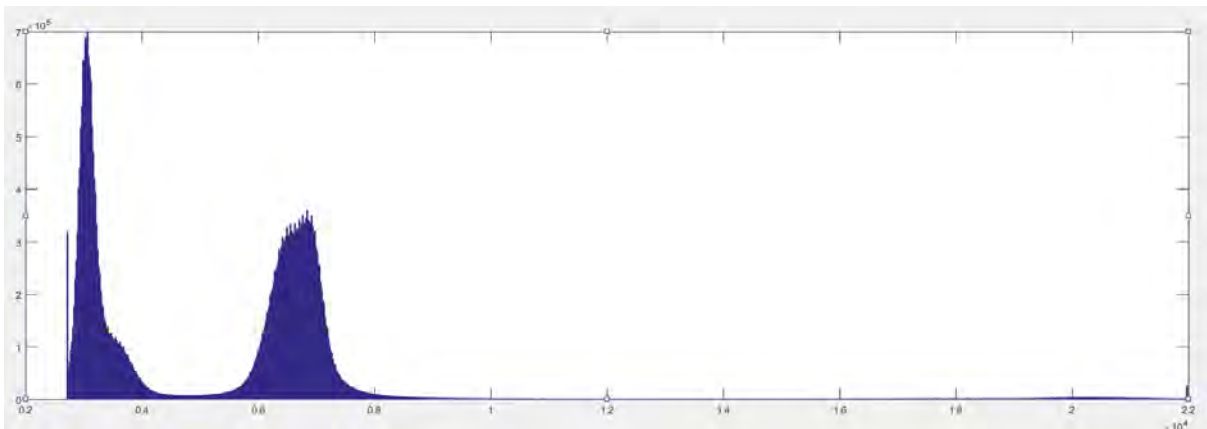


Figure 24 : histogramme avec en abscisse les valeurs de gris et en ordonnée le nombre d'occurrence de cette valeur

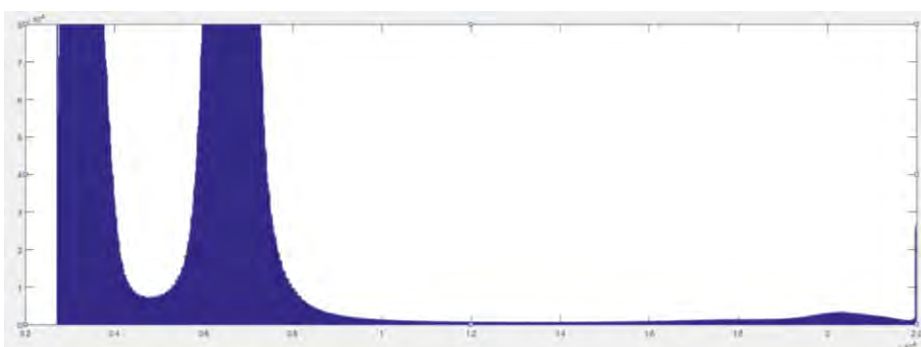


Figure 25 : même histogramme que ci-dessus avec les ordonnées divisées d'un facteur 10 afin de visualiser les 3 pics

Par la suite, en regroupant les voxels du fond et de la dentine, nous avons binarisé les volumes afin de mesurer uniquement les variations de quantité de matériaux d'obturation.

L'algorithme qui en résulte permet d'attribuer à tous les pixels ayant un niveau de gris supérieur à la valeur seuil, la couleur blanche(1). Dans le cas contraire on leur attribue la couleur noire(0).

Nous obtenons des images à deux valeurs :

- Fond et dentine en noir
- Matériaux d'obturation en blanc

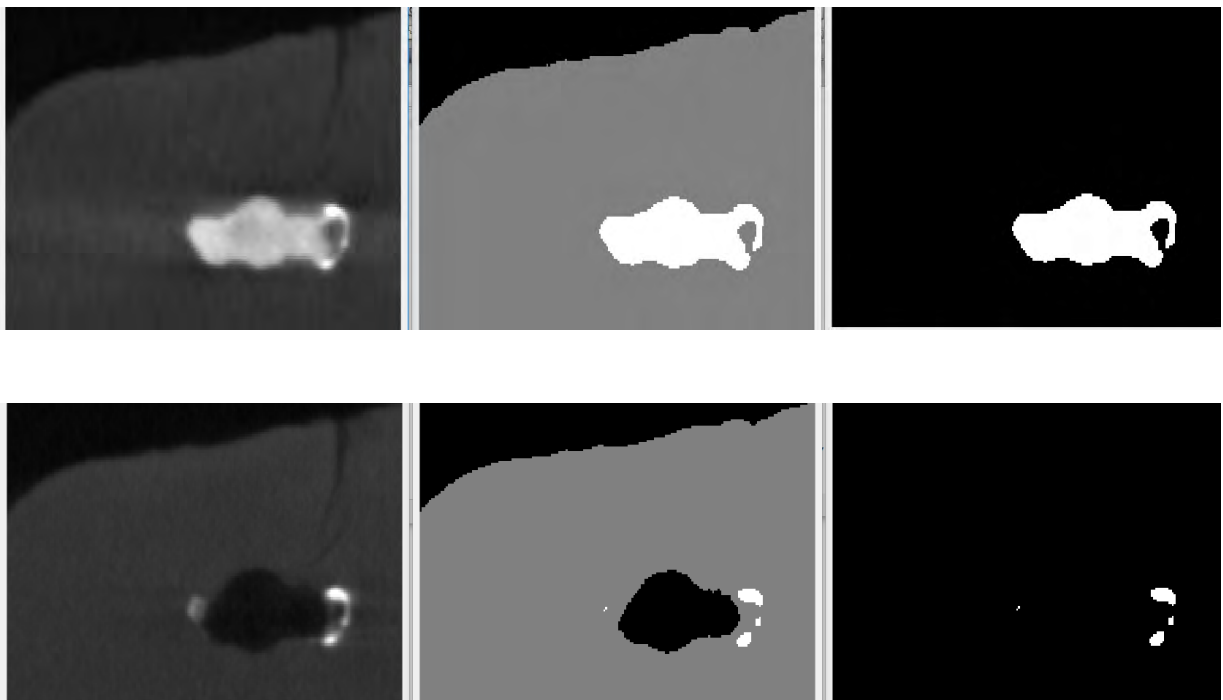


Figure 26 : procédé de binarisation sous Matlab®

Le résultat de cette procédure est une image 3D où les voxels appartenant aux tissus durs de la dent ou au fond ont été mis à 0 (noir) et tous les pixels des matériaux d'obturation ont été mis à 1 (blanc).

NB : comme pour toute technique de seuillage sur des images en niveaux de gris, il peut exister une perte d'information liée à la définition du seuil : si la densité du ciment est proche du niveau dentine, un voxel « ciment » peut être classé en « dentine » et inversement.

- [Calcul des quantités de matériaux retirés :](#)

Définition des volumes d'intérêt :

Le volume à étudier doit être défini manuellement afin de comporter l'intégralité du volume canalaire et des produits d'obturation le cas échéant.

Nous avons délimité le plus grand volume possible contenant le réseau canalaire sur les volumes initiaux sans donnée parasite. Nous avons en effet constaté qu'après le seuillage il apparaissait sur certaines dents des zones de même intensité que la gutta, comme par exemple des matériaux de restauration ou des dépôts sur les parois de l'émail ou du ciment.

La limite coronaire choisie comme point de référence était la fin de la chambre ou début d'individualisation des canaux. Au niveau apical nous avons pris comme limite la coupe correspondant à la zone de constriction apicale (volume canalaire entouré par 4 parois dentinaires).

Les coordonnées du volume d'intérêt ainsi défini ont été reportées sur les volumes après retraitement. Le recalage des volumes ayant été effectué, la comparaison des mesures a pu être réalisée sur des volumes identiques.

Le but de l'étude pour laquelle nous avons traité les volumes numériques était de pouvoir analyser les résultats sur les racines mésiales distinctement de ceux obtenus sur les racines distales. Certaines dents ont ainsi été enregistrées en 2 parties : les racines mésiales dans un volume et la racine distale dans un autre volume permettant ainsi de faire ces mesures séparément.

D'autres dents ont été enregistrées dans leur intégralité (racines mésiales et distales sur le même volume). Après avoir défini nos deux volumes d'intérêts dans les 3 sens de l'espace (rectangle), il s'est avéré que pour 3 cas sur 66 nous avons obtenu une superposition des régions d'intérêt définis pour les canaux mésiaux avec celles définies pour les canaux distaux.

Du matériau d'obturation présent dans la racine distale aurait donc pu être pris en compte dans le volume de matériau restant calculé pour la racine mésiale et inversement.

Ces superpositions se sont produites sur un nombre réduit de coupes. Afin de palier à ce problème et ainsi pouvoir étudier les racines séparément, nous avons exclus des volumes d'intérêt les coupes en coronaire ou en apicale où ces interférences sont présentes.

Analyse des volumes et résultats

Le projet d'étude du Dr Kaloustian comportait en plus dans l'analyse des données une comparaison des mesures sur 3 niveaux radiculaires : coronaire, médian et apical. Pour ce faire, chaque volume d'intérêt a été divisé automatiquement en 3 portions de hauteur identique.

Les mesures fournies en fin de notre protocole correspondaient à la quantité de matériaux d'obturation présente dans chaque volume d'intérêt :

Acquisition initiale :

- MO : Matériaux d'Obturation sur tout le canal
- MOa : Matériaux d'Obturation dans le tiers apical
- MOM : Matériaux d'Obturation dans le tiers médian
- MOc : Matériaux d'Obturation dans le tiers coronaire

Acquisition après retraitement 1 ou 2 :

- MR : Matériaux Résiduel sur tout le canal
- MRa : Matériaux Résiduel dans le tiers apical
- MRm : Matériaux Résiduel dans le tiers médian
- MRc : Matériaux Résiduel dans le tiers coronaire

Dans la mesure où les volumes avaient été préalablement binarisés, la quantité de matériaux a été obtenue en sommant la valeur de tous les voxels de chaque volume d'intérêt. Comme seuls les voxels des matériaux d'obturation avaient une valeur '1', le résultat de cette addition nous a donné la quantité de voxels « matériaux » que nous avons converti en volume (mm³) en le multipliant par la taille du voxel (0,02mm x 0,02mm x 0,2mm).

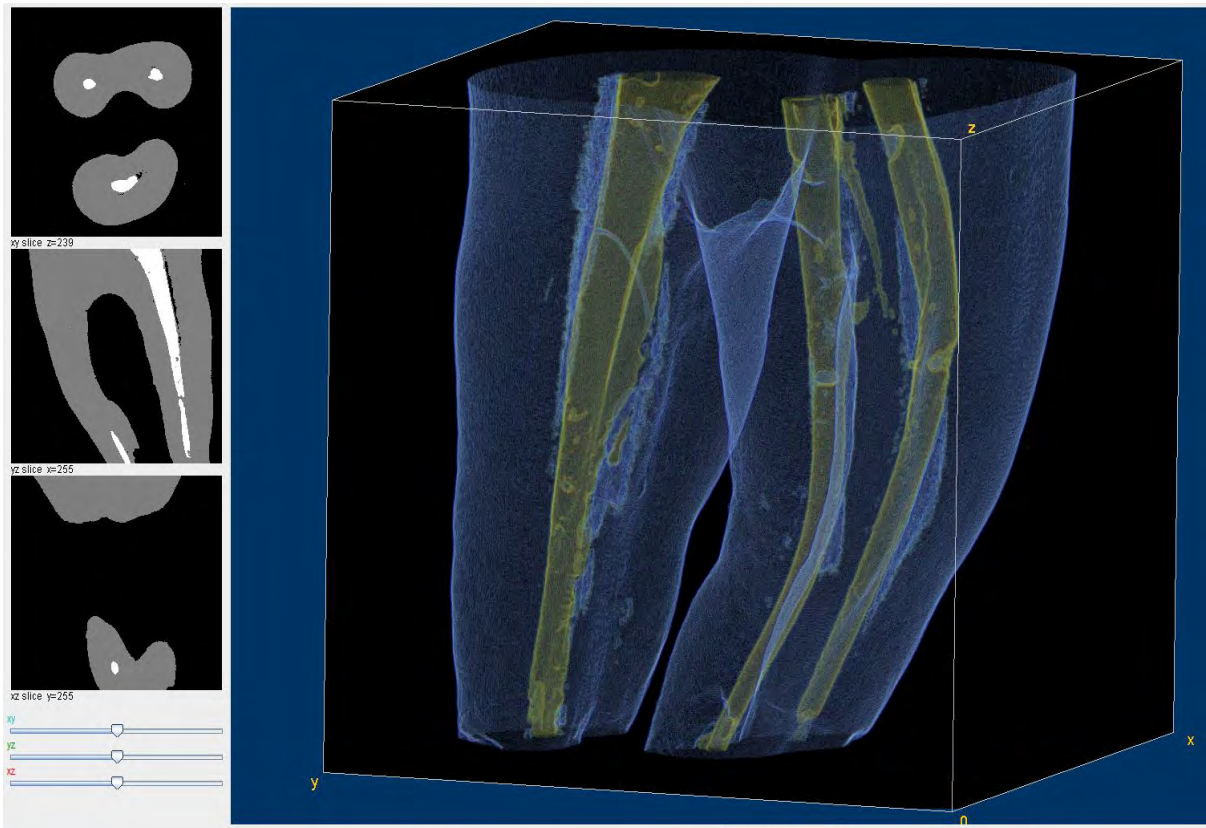


Figure 27 : reconstruction 3D d'une dent étudiée avant retraitement sur Fiji®

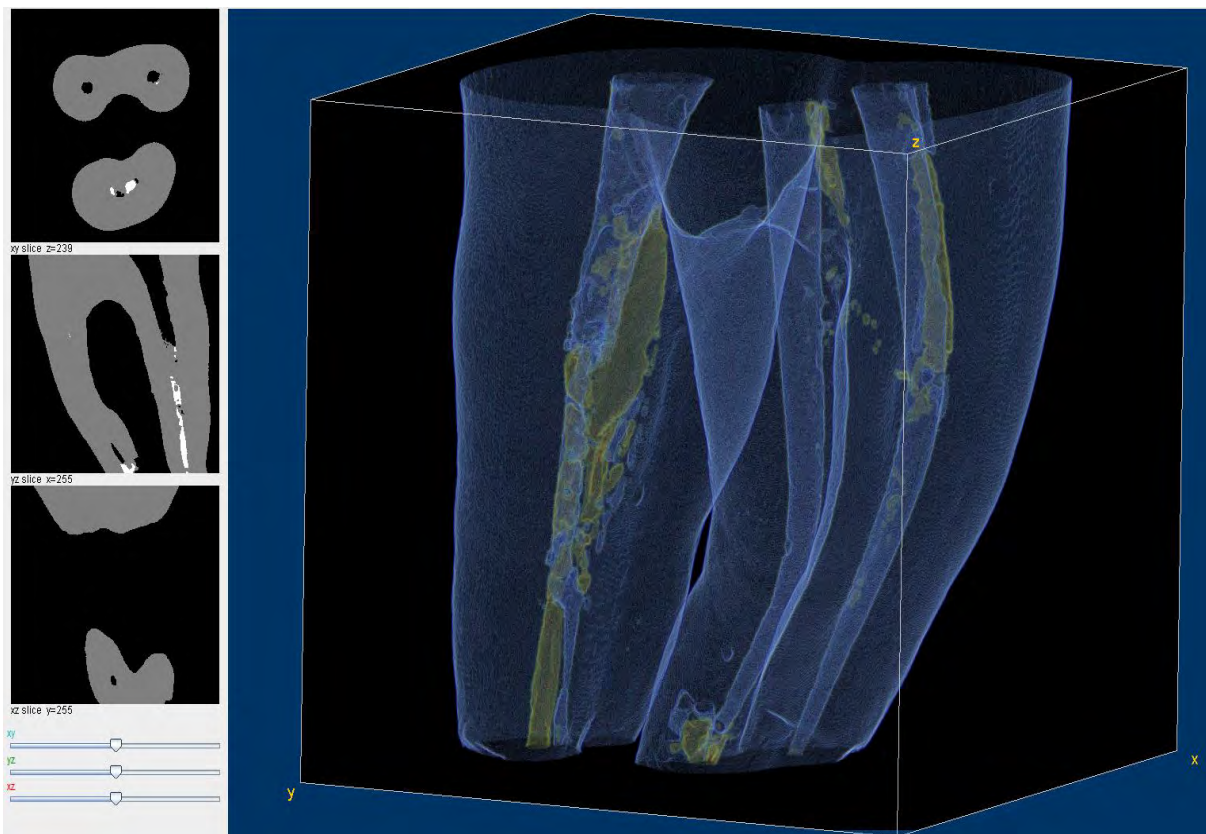


Figure 28 : après passage des instruments rotatifs



Figure 29 : après activation

Sur ces volumes on peut distinguer les matériaux d'obturation en jaune, des tissus dentaires en bleu. On remarque l'élimination et le déplacement de ces matériaux au fur et à mesure du retraitement.

A gauche des images 3D, on a des coupes d'images seuillées dans les 3 plans de l'espace.

Exemple de résultat pour la dent visualisée ci-dessus :

Pour la racine distale

	Avant retraitement	Après retraitement	Après activation
MO total	5.1783	1.1037	0.4323
MO apical	0.5972	0.2144	0.2455
MO médian	1.7382	0.6194	0.0839
MO coronaire	2.8429	0.2699	0.1029

Pour les racines mésiales

	Avant retraitement	Après retraitement	Après activation
MO total	5.1734	0.3875	0.4078
MO apical	0.8029	0.0039	0.1663
MO médian	1.5592	0.1256	0.1899
MO coronaire	2.8113	0.2580	0.0516

II.2.3 Validité et utilisation des données collectées

Le temps de traitement des images brutes reçues jusqu'à la collecte chiffrée des volumes de matériaux retirés a été de 370 heures.

Ces données ont ensuite été envoyées pour analyse au Dr Marc Kaloustian et sont en cours de soumission pour publication dans une revue internationale impactée.

CONCLUSION

L'étude à laquelle nous avons participé corrobore le fait qu'encore aucun système de retraitement ne permet d'éliminer complètement les matériaux d'obturation.

De nouvelles méthodes de retraitement et de nouveaux instruments sont ainsi conçus régulièrement afin de se rapprocher de cet objectif.

Ils sont désormais nombreux et chaque nouveau système doit faire preuve d'une meilleure efficacité que ses concurrents pour exister sur le marché.

On comprend alors la nécessité pour les praticiens exerçant en cabinet de pouvoir se fier à des études comparatives afin de pouvoir choisir leur instrumentation en toute objectivité.

Le protocole et le traitement informatique des données mis en place lors de ces études a toute son importance car selon sa conception il affectera les résultats. En témoignent les nombreux résultats contradictoires que nous avons pu observer dans les différentes études référencées dans ce document.

Les images fournies par la micro tomographie à rayons X sont de plus en plus précises et pour conserver la pertinence de cette précision, il est nécessaire de se pencher sur les protocoles de traitement des informations numériques ainsi fournies.

Cette thèse fait état d'un protocole fiable et reproductible qui est conforme aux données acquises de la science mais qui sera amenée à évoluer avec l'amélioration des techniques d'imagerie et de traitement des données numériques.

Le président du jury et directeur de thèse :

Pr Franck DIEMER

A black ink signature of Franck Diemer, consisting of a large, stylized 'F' followed by 'diemer' in a cursive script.

Le co-directeur de thèse :

Dr Jérôme MICHETTI

A blue ink signature of Jérôme Michetti, featuring a complex, overlapping cursive script.

BIBLIOGRAPHIE

1. Roth F, Lasfargues J. Retraitement endodontique des dents permanentes et matures. Recommandations et références de l'ANDEM. *Réalité Clinique*. 1996;7(3):385-403.
2. American Association of Endodontics. Glossary of Endodontic Terms 2016.
3. ANDEM. Recommandations et références dentaires. 1996.
4. Haute Autorité de Santé. Traitement endodontique - Rapport d'évaluation [Internet]. Disponible sur: <https://www.has-sante.fr/>
5. Krief A, Mallet JP. Le retraitement endodontique. *Inf Dent*. 2002;(32):2315-8.
6. Société Française de Chirurgie Orale. Prise en charge des foyers infectieux bucco-dentaires. *Médecine Buccale Chir Buccale*. août 2012;18(3):251-314.
7. Lesclous P. Prescription des antibiotiques en pratique bucco-dentaire: Recommandations Afssaps 2011. *Médecine Buccale Chir Buccale*. nov 2011;17(4):334-46.
8. Jayasenthil A, Sathish ES, Prakash P. Evaluation of Manual and Two-Rotary Niti Retreatment Systems in Removing Gutta-Percha Obturated with Two Root Canal Sealers. *ISRN Dent*. 2012;2012:1-4.
9. Çelik Ünal G, Üreyen Kaya B, Taç AG, Keçeci AD. A comparison of the efficacy of conventional and new retreatment instruments to remove gutta-percha in curved root canals: an *ex vivo* study. *Int Endod J*. avr 2009;42(4):344-50.
10. Colaco AS, Pai VAR. Comparative Evaluation of the Efficiency of Manual and Rotary Gutta-percha Removal Techniques. *J Endod*. nov 2015;41(11):1871-4.
11. Chandrasekar, Ebenezer AVR, Kumar M, Sivakumar A. A Comparative Evaluation of Gutta Percha Removal and Extrusion of Apical Debris by Rotary and Hand Files. *J Clin Diagn Res JCDR*. nov 2014;8(11):ZC110-4.
12. Mittal N, Jain J. Spiral computed tomography assessment of the efficacy of different rotary versus hand retreatment system. *J Conserv Dent JCD*. 2014;17(1):8-12.
13. Somma F, Cammarota G, Plotino G, Grande NM, Pameijer CH. The Effectiveness of Manual and Mechanical Instrumentation for the Retreatment of Three Different Root Canal Filling Materials. *J Endod*. avr 2008;34(4):466-9.
14. Simon S, Machtou P, Pertot W-J. Endodontie. *CdP*. 2012. 305-308 p. (JPIO).
15. Bernardes RA, Duarte MAH, Vivian RR, Alcalde MP, Vasconcelos BC, Bramante CM. Comparison of three retreatment techniques with ultrasonic activation in flattened canals using micro-computed tomography and scanning electron microscopy. *Int Endod J*. sept 2016;49(9):890-7.

16. Kocak MM, Kocak S, Turker SA, Saglam BC. Cleaning efficacy of reciprocal and rotary systems in the removal of root canal filling material. *J Conserv Dent.* 3 janv 2016;19(2):184.
17. Hulsmann M, Bluhm V. Efficacy, cleaning ability and safety of different rotary NiTi instruments in root canal retreatment. *Int Endod J.* juill 2004;37(7):468-76.
18. Üstün Y, Topçuoğlu HS, Düzgün S, Kesim B. The effect of reciprocation versus rotational movement on the incidence of root defects during retreatment procedures. *Int Endod J.* oct 2015;48(10):952-8.
19. Zuolo AS, Mello JE, Cunha RS, Zuolo ML, Bueno CES. Efficacy of reciprocating and rotary techniques for removing filling material during root canal retreatment. *Int Endod J.* oct 2013;46(10):947-53.
20. Bago I, Suk M, Katić M, Gabrić D, Anić I. Comparison of the effectiveness of various rotary and reciprocating systems with different surface treatments to remove gutta-percha and an epoxy resin-based sealer from straight root canals. *Int Endod J.* 25 juill 2018;
21. Plotino G, Giansiracusa Rubini A, Grande NM, Testarelli L, Gambarini G. Cutting Efficiency of Reciproc and WaveOne Reciprocating Instruments. *J Endod.* août 2014;40(8):1228-30.
22. Crozeta BM, Silva-Sousa YTC, Leoni GB, Mazzi-Chaves JF, Fantinato T, Baratto-Filho F, et al. Micro-Computed Tomography Study of Filling Material Removal from Oval-shaped Canals by Using Rotary, Reciprocating, and Adaptive Motion Systems. *J Endod.* mai 2016;42(5):793-7.
23. Rödiger T, Reicherts P, Konietschke F, Dullin C, Hahn W, Hülsmann M. Efficacy of reciprocating and rotary NiTi instruments for retreatment of curved root canals assessed by micro-CT. *Int Endod J.* oct 2014;47(10):942-8.
24. Rossi-Fedele G, Ahmed HMA. Assessment of Root Canal Filling Removal Effectiveness Using Micro-computed Tomography: A Systematic Review. *J Endod.* avr 2017;43(4):520-6.
25. Nevares G, de Albuquerque DS, Freire LG, Romeiro K, Fogel HM, dos Santos M, et al. Efficacy of ProTaper NEXT Compared with Reciproc in Removing Obturation Material from Severely Curved Root Canals: A Micro-Computed Tomography Study. *J Endod.* mai 2016;42(5):803-8.
26. Colombo APM, Fontana CE, Godoy A, Martin ASD, Kato AS, Rocha DG-P, et al. Effectiveness of the Waveone and Protaper D Systems for removing gutta-percha with or without a solvent. *Acta Odontol Latinoam.* 2016;29:6.
27. Simon S, Pertot WJ. *La reprise du traitement endodontique.* Paris; Berlin; Chicago: Quintessence international; 2006. (Réussir).
28. PROTAPER UNIVERSAL | Product Categories | Dentsply Maillefer [Internet]. Disponible sur: <http://www.dentsplymaillefer.com/product-category/glide-path-shaping/protaper-universal>

29. D-Race | FKG Dentaire [Internet]. Disponible sur: <https://www.fkg.ch/fr/produits/endodontie/retraitement/d-race>
30. Vaz-Garcia ES, Vieira VTL, Petitet NP da SF, Moreira E JL, Lopes HP, Elias CN, et al. Mechanical Properties of Anatomic Finishing Files: XP-Endo Finisher and XP-Clean. *Braz Dent J.* mars 2018;29(2):208-13.
31. Alves FRF, Marceliano-Alves MF, Sousa JCN, Silveira SB, Provenzano JC, Siqueira JF. Removal of Root Canal Fillings in Curved Canals Using Either Reciprocating Single- or Rotary Multi-instrument Systems and a Supplementary Step with the XP-Endo Finisher. *J Endod.* juill 2016;42(7):1114-9.
32. Silva EJNL, Belladonna FG, Zuolo AS, Rodrigues E, Ehrhardt IC, Souza EM, et al. Effectiveness of XP-endo Finisher and XP-endo Finisher R in removing root filling remnants: a micro-CT study. *Int Endod J.* janv 2018;51(1):86-91.
33. Machtou P. Le retraitement non chirurgical. Ed.Cdp. Paris; 1993. 215-237 p. (Guide clinique : endodontie).
34. Guess G. Predictable Therma-fil Removal Technique Using the System-B Heat Source. *J Endod.* janv 2004;30(1):61-61.
35. Ingle JI, Baumgartner JC. Ingle's Endodontics 6. PMPH-USA; 2008. 1588 p.
36. Wolcott JF, Himel VT, Hicks ML. Thermafil retreatment using a new "system B" technique or a solvent. *J Endod.* nov 1999;25(11):761-4.
37. Betti LV, Bramante CM, de Moraes IG, Bernardineli N, Garcia RB. Comparison of GPX with or without solvent and hand files in removing filling materials from root canals—An ex vivo study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology.* nov 2010;110(5):675-80.
38. Hülsmann M, Stotz S. Efficacy, cleaning ability and safety of different devices for gutta-percha removal in root canal retreatment. *Int Endod J.* 30 oct 2003;30(4):227-33.
39. Paqué F, Ganahl D, Peters OA. Effects of Root Canal Preparation on Apical Geometry Assessed by Micro-Computed Tomography. *J Endod.* juill 2009;35(7):1056-9.
40. Siqueira JF, Alves FRF, Versiani MA, Rôças IN, Almeida BM, Neves MAS, et al. Correlative Bacteriologic and Micro-Computed Tomographic Analysis of Mandibular Molar Mesial Canals Prepared by Self-Adjusting File, Reciproc, and Twisted File Systems. *J Endod.* août 2013;39(8):1044-50.
41. Rosa RA da, Santini MF, Cavenago BC, Pereira JR, Duarte MAH, Só MVR. Micro-CT Evaluation of Root Filling Removal after Three Stages of Retreatment Procedure. *Braz Dent J.* déc 2015;26(6):612-8.
42. Martins MP, Duarte MAH, Cavenago BC, Kato AS, da Silveira Bueno CE. Effectiveness of the ProTaper Next and Reciproc Systems in Removing Root Canal Filling Material with Sonic or Ultrasonic Irrigation: A Micro-computed Tomographic Study. *J Endod.* mars 2017;43(3):467-71.

43. Cavenago BC, Ordinola-Zapata R, Duarte MAH, del Carpio-Perochena AE, Villas-Bôas MH, Marciano MA, et al. Efficacy of xylene and passive ultrasonic irrigation on remaining root filling material during retreatment of anatomically complex teeth. *Int Endod J.* nov 2014;47(11):1078-83.
44. Para A. Illustration des effets laser diode et Nd-YAG en endodontie et en chirurgie. *Actual Odonto-Stomatol.* sept 2015;(272):15-22.
45. Anjo T, Ebihara A, Takeda A, Takashina M, Sunakawa M, Suda H. Removal of Two Types of Root Canal Filling Material Using Pulsed Nd:YAG Laser Irradiation. *Photomed Laser Surg.* déc 2004;22(6):470-6.
46. Gorduysus. Using erbium-doped yttrium aluminum garnet laser irradiation in different energy output levels versus ultrasonic in removal of root canal filling materials in endodontic retreatment.
47. Keles A, Kamalak A, Keskin C, Akçay M, Uzun İ. The efficacy of laser, ultrasound and self-adjustable file in removing smear layer debris from oval root canals following retreatment: A scanning electron microscopy study: Efficacy of Various Methods in Smear Layer Removal. *Aust Endod J.* déc 2016;42(3):104-11.
48. Perin FM, França SC, Silva-Sousa YTC, Alfredo E, Saquy PC, Estrela C, et al. Evaluation Of The Antimicrobial Effect Of Er:YAG Laser Irradiation Versus 1% Sodium Hypochlorite Irrigation For Root Canal Disinfection. *Aust Endod J.* avr 2004;30(1):20-2.
49. Gutknecht N, Franzen R, Schippers M, Lampert F. Bactericidal Effect of a 980-nm Diode Laser in the Root Canal Wall Dentin of Bovine Teeth. *J Clin Laser Med Surg.* févr 2004;22(1):9-13.
50. Lee MT, Bird PS, Walsh LJ. Photo-Activated Disinfection Of The Root Canal: A New Role For Lasers In Endodontics. *Aust Endod J.* déc 2004;30(3):93-8.
51. Friedman S, Rotstein I, Shar-Lev S. Bypassing gutta-percha root fillings with an automated device. *J Endod.* sept 1989;15(9):432-7.
52. Ribeiro DA, Matsumoto MA, Marques MEA, Salvadori DMF. Biocompatibility of gutta-percha solvents using in vitro mammalian test-system. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology.* mai 2007;103(5):e106-9.
53. Barbosa SV, Burkard DH, Spångberg LSW. Cytotoxic effects of gutta-percha solvents. *J Endod.* janv 1994;20(1):6-8.
54. Çanakçı BC, Er O, Dincer A. Do the Sealer Solvents Used Affect Apically Extruded Debris in Retreatment? *J Endod.* sept 2015;41(9):1507-9.
55. Feldkamp LA, Davis LC, Kress JW. Practical cone-beam algorithm. *JOSA A.* 1 juin 1984;1(6):612-9.
56. Giron J, Joffre F. Bases physiques et évolution de l'imagerie radiologique. Edition Masson. Paris; 1993.

57. Hannig C, Krieger E, Dullin C, Merten H-A, Attin T, Grabbe E, et al. Volumetry of human molars with flat panel-based volume CT in vitro. *Clin Oral Investig.* sept 2006;10(3):253-7.
58. Peters OA, Laib A, Rügsegger P, Barbakow F. Three-dimensional Analysis of Root Canal Geometry by High-resolution Computed Tomography. *J Dent Res.* juin 2000;79(6):1405-9.
59. Otsu N. A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms. *IEEE Trans Syst Man Cybern.* janv 1979;9(1):62-6.
60. Vala MHJ, Baxi A. A Review on Otsu Image Segmentation Algorithm. 2(2):3.
61. Baradez M-O, McGuckin CP, Forraz N, Pettengell R, Hoppe A. Robust and automated unimodal histogram thresholding and potential applications. *Pattern Recognit.* juin 2004;37(6):1131-48.
62. Liao P-S, Chen T-S, Chung P-C. A Fast Algorithm for Multilevel Thresholding. :15.
63. Kyaw Moe MM, Ha JH, Jin MU, Kim YK, Kim SK. Root Canal Shaping Effect of Instruments with Offset Mass of Rotation in the Mandibular First Molar: A Micro-computed Tomographic Study. *J Endod.* mai 2018;44(5):822-7.
64. Silveira SB, Alves FRF, Marceliano-Alves MF, Sousa JCN, Vieira VTL, Siqueira JF, et al. Removal of Root Canal Fillings in Curved Canals Using Either Mani GPR or HyFlex NT Followed by Passive Ultrasonic Irrigation. *J Endod.* févr 2018;44(2):299-303.e1.

DESObTURATION ENDODONTIQUE : METHODOLOGIE D'ETUDE PAR IMAGERIE MICROTOMOGRAPHIQUE A RAYONS X

RESUME EN FRANÇAIS :

Le retraitement endodontique est une thérapeutique que chaque chirurgien-dentiste est amené à faire dans son exercice quotidien. Pour cela, il doit s'assurer de procéder à une désobturation la plus complète possible du réseau canalaire radiculaire. De nombreuses techniques et instrumentations sont à sa disposition afin d'y parvenir. La microtomographie à rayons X (μ CT) permet de fournir des images tridimensionnelles précises utiles à l'évaluation des effets des instruments sur l'endodonte. Dans le cadre de cette thèse, nous avons développé une méthodologie de traitement et d'analyse des images μ CT pour déterminer la quantité de matériaux retirés par les instruments. La méthode proposée associe des techniques de recalage, de segmentation et de mesure des volumes au niveau du tiers apical, médian et coronaire des racines de premières molaires mandibulaires.

TITRE EN ANGLAIS :

Endodontic filling removal procedure: methodology for micro-computed tomography assessment

DISCIPLINE ADMINISTRATIVE : Odontologie conservatrice, endodontie (58.01)

MOTS-CLES :

Désobturation, endodontie, retraitement, microtomographie à rayon X, recalage, segmentation.

INTITULE ET ADRESSE DE L'UFR :

Université Toulouse III-Paul Sabatier
Faculté de chirurgie dentaire
3, Chemin des Maraîchers
31062 Toulouse Cedex

Directeurs de thèse : Pr Franck DIEMER et Dr Jérôme MICHETTI