

UNIVERSITE TOULOUSE III – PAUL SABATIER

FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

ANNEE 2016

Thèse n°2016-TOU3-3068

THESE

POUR LE DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement

Par

Claire DIONNET

Le 8 novembre 2016

**L'OBTURATION ENDODONTIQUE DES DENTS PERMANENTES A APEX
LARGEMENT OUVERT :**

**ETUDE COMPARATIVE DE L'ETANCHEITE APICALE ENTRE LA TECHNIQUE DU
CONE MOULE ASSOCIEE A LA BIOCERAMIQUE ET LE BOUCHON DE MTA**

Directeur de thèse : Docteur Rami HAMDAN

JURY

Président

Assesseur

Assesseur

Assesseur

Assesseur

Pr Franck DIEMER

Dr Marie GURGEL-GEORGELIN

Dr Vincent BLASCO-BAQUE

Dr Rami HAMDAN

Dr Loïc MOURLAN



Faculté de Chirurgie Dentaire



UNIVERSITÉ
TOULOUSE III
PAUL SABATIER

→ DIRECTION

DOYEN
Mr Philippe POMAR

ASSESEUR DU DOYEN
Mme Sabine JONJOT

CHARGÉS DE MISSION
Mr Karim NASR
Mme Emmanuelle NOIRRI-ESCLASSAN

PRÉSIDENTE DU COMITÉ SCIENTIFIQUE
Mme Anne-Marie GRIMAUD

RESPONSABLE ADMINISTRATIF
Mme Marie-Christine MORICE

→ 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

56.01 PÉDODONTIE

<i>Chef de la sous-section :</i>	<i>Mme BAILLEUL-FORESTIER</i>
Professeurs d'Université :	Mme BAILLEUL-FORESTIER, Mr VAYSSE
Maîtres de Conférences :	Mme NOIRRI-ESCLASSAN, Mme VALERA
Assistants :	Mme DARIËS, Mr MARTY
Adjoints d'Enseignement :	Mr DOMINE

56.02 ORTHOPÉDIE DENTO-FACIALE

<i>Chef de la sous-section :</i>	<i>Mr BARON</i>
Maîtres de Conférences :	Mr BARON, Mme LODTER, Mme MARCHAL-SIXOU, Mr ROTENBERG,
Assistants :	Mme GABAY-FARUCH, Mme YAN-VERGNES
Assistant Associé :	Mr BOYADZHIEV

56.03 PRÉVENTION, ÉPIDÉMIOLOGIE, ÉCONOMIE DE LA SANTÉ, ODONTOLOGIE LÉGALE

<i>Chef de la sous-section :</i>	<i>Mr HAMEL</i>
Professeurs d'Université :	Mme NABET, Mr SIXOU
Maîtres de Conférences :	Mr HAMEL, Mr VERGNES
Assistant :	Mlle BARON
Adjoints d'Enseignement :	Mr DURAND, Mr PARAYRE

57.01 PARODONTOLOGIE**Chef de la sous-section :** *Mr BARTHET*

Maîtres de Conférences : Mr BARTHET, Mme DALICIEUX-LAURENCIN

Assistants : Mr RIMBERT, Mme VINEL

Adjoints d'Enseignement : Mr CALVO, Mr LAFFORGUE, Mr SANCIER, Mr BARRE

57.02 CHIRURGIE BUCCALE, PATHOLOGIE ET THÉRAPEUTIQUE, ANESTHÉSIOLOGIE ET RÉANIMATION**Chef de la sous-section :** *Mr COURTOIS*

Maîtres de Conférences : Mr CAMPAN, Mr COURTOIS, Mme COUSTY

Assistants : Mme CROS, Mme GAROBY-SALOM

Adjoints d'Enseignement : Mr FAUXPOINT, Mr L'HOMME, Mme LABADIE

57.03 SCIENCES BIOLOGIQUES (BIOCHIMIE, IMMUNOLOGIE, HISTOLOGIE, EMBRYOLOGIE, GÉNÉTIQUE, ANATOMIE PATHOLOGIQUE, BACTÉRIOLOGIE, PHARMACOLOGIE)**Chef de la sous-section :** *Mr POULET*

Professeur d'Université : Mr KEMOUN

Maîtres de Conférences : Mme GRIMOUD, Mr POULET, Mr BLASCO-BAQUE

Assistants : Mr BARRAGUÉ, Mme DUBOSC, Mr LEMAITRE,

Assistant Associé : Mme FURIGA-CHUSSEAU

Adjoints d'Enseignement : Mr SIGNAT,

58.01 ODONTOLOGIE CONSERVATRICE, ENDODONTIE**Chef de la sous-section :** *Mr DIEMER*

Professeur d'Université : Mr DIEMER

Maîtres de Conférences : Mr GUIGNES, Mme GURGEL-GEORGELIN, Mme MARET-COMTESSE

Assistants : Mr BONIN, Mr BUORO, Mme DUEYMES, Mme. RAPP, Mr. MOURLAN

Assistant Associé : Mr HAMDAN

Adjoints d'Enseignement : Mr BALGUERIE, Mr ELBEZE, Mr MALLET

58.02 PROTHÈSES (PROTHÈSE CONJOINTE, PROTHÈSE ADJOINTE PARTIELLE, PROTHÈSE COMPLÈTE, PROTHÈSE MAXILLO-FACIALE)**Chef de la sous-section :** *Mr CHAMPION*

Professeurs d'Université : Mr ARMAND, Mr POMAR

Maîtres de Conférences : Mr BLANDIN, Mr CHAMPION, Mr ESCLASSAN, Mme VIGARIOS, Mr. DESTRUHAUT

Assistants : Mr. CHABRERON, Mr. KNAFO, Mme. SELVA, Mme. ROSCA

Adjoints d'Enseignement : Mr. BOGHANIM, Mr. FLORENTIN, Mr. FOLCH, Mr. GHRENASSIA, Mme. LACOSTE-FERRE, Mr. POGÉANT, Mr. RAYNALDY, Mr. GINESTE

58.03 SCIENCES ANATOMIQUES ET PHYSIOLOGIQUES, OCCLUSODONTIQUES, BIOMATÉRIAUX, BIOPHYSIQUE, RADIOLOGIE**Chef de la sous-section :** *Mme JONIOT*

Maîtres de Conférences : Mme JONIOT, Mr NASR

Assistants : Mr. CANCEILL, Mme. GARNIER, Mr. OSTROWSKI

Adjoints d'Enseignement : Mr AHMED, Mme BAYLE-DELANNÉE, Mme MAGNE, Mr VERGÉ

L'université Paul Sabatier déclare n'être pas responsable des opinions émises par les candidats.
(Délibération en date du 12 Mai 1891).

Mise à jour au 19 octobre 2016

A notre président de thèse,

Monsieur le Professeur Franck Diemer

- Professeur des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie,
- Responsable de la sous-section d'Odontologie Conservatrice, Endodontie,
- 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,
- Habilitation à diriger des recherches (H.D.R.),
- Vice-Président de la Société Française d'Endodontie,
- Lauréat de l'Université Paul Sabatier.

*Nous vous remercions d'avoir accepté la présidence de ce jury de thèse.
Pour votre conception de la pédagogie, votre rigueur et les connaissances que vous nous avez
apportées, soyez assuré de notre gratitude et nos sincères remerciements.
Veuillez trouver par ces quelques mots l'expression de notre profond respect.*

A notre jury de thèse,

Madame la Docteur Marie GURGEL-GEORGELIN

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

Nous vous remercions d'avoir accepté de siéger à ce jury.

*Nous vous remercions pour votre gentillesse, ainsi que pour votre enseignement théorique et
clinique.*

Veillez trouver dans cette thèse, l'expression de nos sincères remerciements.

A notre jury de thèse,

Monsieur le Docteur Vincent BLASCO-BAQUE

- Maître de Conférence Universitaire et Praticien Hospitalier à la Faculté de Chirurgie Dentaire de Toulouse,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- Maîtrise Sciences, Technologies, Santé, mention : Biologie, Santé,
- Master 2 de Recherche en « Physiopathologie des approches expérimentales aux nouvelles Thérapeutiques »,
- Docteur de l'Université Paul Sabatier,
- Lauréat de l'Université Paul Sabatier,
- Diplôme Inter-Universitaire d'Endodontie de la Faculté de Chirurgie Dentaire de Toulouse.

*C'est avec beaucoup de considération que je vous remercie d'avoir accepté spontanément de
siéger à notre jury.*

Soyez certain de ma gratitude et de mon plus grand respect.

A notre jury de thèse,

Monsieur le Docteur Rami HAMDAN

- Assistant associé des universités,
- Docteur d'Etat en Chirurgie Dentaire (Syrie),
- Certificat d'Etudes Supérieures : Technologie des Matériaux employés en art dentaire,
- Certificat d'Etudes Supérieures : Odontologie conservatrice,
- Diplôme Inter-Universitaire d'Endodontie.

*Ce fut un plaisir d'avoir été sous votre direction pour la réalisation de cette thèse.
Nous vous remercions pour votre grande implication dans ce travail, votre gentillesse, votre
rigueur, et votre entière disponibilité.
Veuillez trouver dans cet ouvrage toute notre gratitude et profonde reconnaissance ainsi que
nos remerciements les plus sincères.*

A notre jury de thèse,

Monsieur le Docteur Loïc MOURLAN

- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- Assistant hospitalo-universitaire d'Odontologie,
- CES Prothèse, option : Prothèse Fixée.

*Nous vous remercions chaleureusement d'avoir accepté de juger ce travail.
Nous vous sommes reconnaissants pour votre encadrement clinique ainsi qu'en stage actif.
Veuillez trouver par ce travail l'expression de mon estime et de mon profond respect.*

Remerciements

A mes parents, qui ont toujours été là pour moi. Je vous remercie pour tout ce que vous avez fait pour moi, votre soutien, votre amour. J'espère que vous êtes fières de moi. Je vous aime.

A mes grands-parents, merci d'avoir été et d'être toujours là. **A ma famille**, pour les instants passés ensemble, bien que peu nombreux, c'est toujours un plaisir de vous revoir. Une pensée pour Cindy et à Julien pour tous nos étés, je pense à vous malgré la distance.

A mes amies tarbaises, Elodie, Audrey et Camille, les mêmes depuis toujours malgré la distance qui nous sépare depuis quelques années maintenant. J'espère que notre amitié continuera comme ça encore très longtemps.

A mes amis de promo, ils se reconnaîtront, pour toutes nos soirées depuis la P2, et il y en a, les rallyes et les WEI. Une pensée pour la team ronéo (Charlotte, Thibault), à Julie Du pour nos après shopping. A Marie, bien que difficile au début, on a su créer une véritable amitié.

A mes amis de l'AEDCT, ils se reconnaîtront aussi, ce fut un plaisir de m'être investie dans de l'associatif au pôle évènementiel.

A tous ceux qui ont partagé avec moi toutes ces années de Crit. Merci à la fine équipe de la Bodega.

Aux nouvelles amitiés, bien que récentes, nous avons déjà passé de super (gays ^^) moments ensemble : nos soirées, nos vacances, nos fous rires sont pour moi mémorables. J'espère que ce n'est que le commencement. #lescopainsdulove (Marie C, Chauchau, PA, Mathieu, Francis)

A Jérôme, qui me soutient et me rassure. Tu es toujours là pour moi. Nous avons déjà fait un petit bout de chemin ensemble et il ne fait aucun doute que ce n'est que le début. Tu vas devoir me supporter encore un bon moment je crois. Je t'aime.

Table des matières

INTRODUCTION	13
1^{ère} PARTIE : L'obturation canalair des dents à apex largement ouvert	15
1. L'obturation canalair	16
1.1. Définitions	16
1.2. Principes généraux de l'obturation canalair	16
1.3. Les prérequis nécessaires à l'obturation	17
1.4. Qualité de l'obturation endodontique	17
1.5. Les matériaux d'obturation	18
1.5.1. Le cahier des charges d'un matériau d'obturation endodontique	18
1.5.2. La gutta percha	19
1.5.2.1. Composition	19
1.5.2.2. Les différentes formes de la gutta-percha	20
1.5.2.3. Propriétés physico-chimiques et biologiques (1)	21
1.5.3. Les ciments de scellement canalair	21
1.5.3.1. Propriétés physico-chimiques et biologiques	22
1.5.3.2. Les différents types de ciments de scellement canalair.....	23
2. Les dents à apex ouvert et l'obturation	24
2.1. La dent permanente immature	24
2.1.1. Particularités.....	24
2.1.2. Caractéristiques de la dent immature.....	25
2.2. Les résorptions radiculaires externes	26
2.3. Problématiques d'un apex ouvert lors de l'obturation	26
3. La gestion des dents à apex ouvert : les différentes options thérapeutiques	27
3.1. La technique du cône moulé	27
3.1.1. Le protocole opératoire.....	28
3.1.2. Avantages, limites et contre-indications.....	29
3.2. Les thérapeutiques d'apexification	29
3.2.1. L'apexification à l'hydroxyde de calcium	30
3.2.1.1. Principes	30
3.2.1.2. Avantages et inconvénients	31

3.2.2. L'apexification en une séance	32
3.2.2.1. Indications	32
3.2.2.2. Matériaux	33
3.2.2.3. Le protocole opératoire.....	33
3.2.2.4. Avantages et inconvénients	35
3.3. La revascularisation	36
4. Des matériaux d'obturation adaptés	37
4.1.1. Mineral Trioxyde Aggregate (MTA)	37
4.1.1.1. Propriétés physico-chimiques	38
4.1.1.2. Propriétés biologiques.....	39
4.1.1.3. Etanchéité.....	40
4.1.1.4. Indications	41
4.1.1.5. Avantages et inconvénients	41
4.1.2. La biocéramique	41
4.1.2.1. Propriétés physico-chimique.....	43
4.1.2.2. Propriétés biologiques.....	45
4.1.2.3. Etanchéité.....	46
4.1.2.4. Indications	46
Conclusion	47
2^{ème} PARTIE : Evaluation de l'étanchéité apicale de deux techniques d'obturation des dents à apex largement ouvert	48
Introduction	49
1. Matériels et méthodes	49
1.1. Sélection et préparation des dents	49
1.2. Mise en forme	50
1.3. Obturation du groupe n°1	51
1.4. Obturation du groupe n°2	52
1.5. Réalisation de la restauration coronaire	54
1.6. Réalisation du test de pénétration par colorant (Dye Test).....	55
1.7. Réalisation des coupes	55
1.8. Analyse au microscope optique	56

1.9. Analyse au microscope électronique à balayage (MEB) combiné à la spectroscopie à rayons X à dispersion d'énergie (EDS).....	58
2. Résultats.....	62
2.1. Tableau des scores obtenus	62
2.2. Analyse statistique	63
2.2.1. Le Test Kappa : analyse de l'accord inter-opérateur.....	63
2.2.2. Le test exact de Fisher	66
3. Discussion.....	68
3.1. Discussion matériels et méthodes	68
3.1.1. Sélection et préparation des dents	68
3.1.2. Mise en forme	69
3.1.3. Obturation du groupe n°1	69
3.1.4. Obturation du groupe n°2	69
3.1.5. Réalisation du test de pénétration par colorant (Dye Test).....	70
3.1.6. Réalisation des coupes	70
3.1.7. Analyse au microscope optique	70
3.1.8. Analyse au microscope électronique à balayage combiné à la spectroscopie à rayons X à dispersion d'énergie.....	71
3.2. Discussion résultats	71
Conclusion.....	72
CONCLUSION.....	73
ANNEXES	75
BIBLIOGRAPHIE.....	83

INTRODUCTION

L'obturation canalaire constitue la dernière étape du traitement endodontique. L'obtention d'une étanchéité apicale va permettre la cicatrisation apicale et la pérennité du traitement réalisé. En cas de perte d'étanchéité, le taux de succès de la thérapeutique endodontique se voit impacté.

La dent à apex largement ouvert possède des caractéristiques particulières qui vont nécessiter une prise en charge spécifique.

A l'heure actuelle, le traitement de ces dents repose principalement sur les techniques d'apexification. La création d'un bouchon de MTA est la thérapeutique de référence.

L'arrivée de nouveaux ciments de scellement canalaire à base de tri calcium phosphate, type biocéramique, peut-il apporter de meilleurs résultats cliniques ?

Ce travail se divise en deux parties, une première partie théorique sur l'obturation canalaire d'une dent à apex ouvert :

- En quoi consiste une obturation canalaire ?
- Quels sont les caractéristiques et les problématiques liées à ce type de dent ?
- Quelles sont les techniques utilisées ?

Puis dans une deuxième partie expérimentale, nous proposerons une nouvelle technique d'obturation pour les apex largement ouverts en réactualisant la technique du cône moulé que nous associerons au ciment biocéramique. Nous évaluerons ainsi l'étanchéité apicale de cette méthode par rapport à la technique de référence.

1^{ère} PARTIE :

**L'obturation canalaire des dents à apex
largement ouvert**

1. L'obturation canalaire

1.1. Définitions

Selon l'American Association of Endodontists (1993), « l'obturation canalaire doit être complète, **tridimensionnelle**, aussi près que possible de la **jonction cémento-dentinaire** sans dépassement important ou sous obturation. »

L'obturation endodontique a été définie par le CNEOC (2004) comme étant un « remplissage par voie coronaire du **réseau canalaire** préalablement mis en forme, effectué à l'aide d'un matériau ou d'une **combinaison de matériaux** biocompatibles. Son but est de **s'opposer à la pénétration** de bactéries. »

1.2. Principes généraux de l'obturation canalaire

Le but de l'obturation canalaire est de s'opposer à la pénétration de bactéries par une obturation étanche de la totalité du réseau canalaire radiculaire.

L'obturation va permettre d'emmurer les bactéries résiduelles qui n'ont pas été détruites au cours du nettoyage et de la préparation canalaire. Elle va ainsi les priver de leur substrat nutritif, combler les espaces vides et prévenir la réinfection par les bactéries et leurs endotoxines. Elle crée un environnement biologique favorable à la cicatrisation par l'obtention d'une fermeture cémentaire apicale physiologique.

Il est nécessaire de **respecter les tissus de soutien** lors d'un traitement endodontique afin d'obtenir une étanchéité apicale. En effet, la zone péri-apicale est une zone souvent agressée et affaiblie. Toutes les étapes du traitement endodontique doivent la respecter et ne pas

provoquer d'agressions supplémentaires qui pourraient aboutir à un retard de la cicatrisation. Les matériaux utilisés doivent être, par conséquent, biocompatibles et si possible bio-actifs.

Les matériaux d'obturation sont mis en place à la limite apicale de préparation définie et ne doivent pas dépasser cette limite pour ne pas endommager le péri-apex.

1.3. Les prérequis nécessaires à l'obturation

L'obturation est réalisée à la fin de la mise en forme canalaire, après l'irrigation finale (2 mL EDTA à 17%, suivi de 3 mL d'hypochlorite de sodium à 2,5%), permettant d'éliminer l'enduit pariétal, et le séchage du canal au moyen de cônes de papier.

Il convient de vérifier la perméabilité apicale au moyen d'une lime manuelle K 10/100.

Le maître cône doit être de même diamètre et conicité que la dernière lime de préparation, en obtenant une résistance au retrait (tug back). L'ajustage de celui-ci est ensuite vérifié radiologiquement.

En présence d'un saignement ou d'un suintement persistant, de douleur des tissus de soutien, de fautes opératoires (salive, non-respect de la longueur de travail...), ou de résorption interne radiculaire, l'obturation devra être reportée.

1.4. Qualité de l'obturation endodontique

La qualité de l'obturation endodontique dépend de la longueur de l'obturation (respect de la longueur de travail) et de l'homogénéité de l'obturation (obturation tridimensionnelle du système canalaire, absence de vide visible).

Le matériau d'obturation doit donc être radio-opaque afin de permettre au praticien de contrôler la qualité de son obturation radiologiquement.

1.5. Les matériaux d'obturation

1.5.1. Le cahier des charges d'un matériau d'obturation endodontique

Théoriquement, l'obturation doit permettre le remplissage de l'ensemble du volume canalaire : les canaux instrumentés et les zones non instrumentées (cryptes, canaux accessoires, tubulis dentinaires).

Selon Grossman (1970), le matériau d'obturation idéal devrait :

- Être facile à introduire dans le canal ;
- Sceller le canal latéralement et apicalement ;
- Être radio-opaque ;
- Être stérilisable ;
- Permettre la ré-intervention.

Il ne devrait pas :

- Subir de rétraction pendant ou après la prise ;
- Être altéré par l'humidité ;
- Colorer la dent ;
- Irriter les tissus péri-apicaux ;
- Altérer la structure dentaire.

Afin de remplir l'ensemble de ces critères, il est admis aujourd'hui que le matériau de choix pour réaliser cette obturation tridimensionnelle est la gutta percha associée à un mince film de ciment de scellement (de l'ordre de quelques microns).

La gutta percha va permettre d'assurer la stabilité et la facilité de mise en œuvre de l'obturation. Le ciment de scellement quant à lui assure l'herméticité ainsi que le rôle de joint entre la dent et la gutta percha.

1.5.2. La gutta percha

La gutta percha est un matériau naturel, issu du *Palaquium oblongifolia* et introduit en endodontie par Bowman en 1867. Elle fait partie de la famille du caoutchouc, elle est aujourd'hui synthétisée.

La gutta percha est une molécule de haut poids moléculaire. C'est un isomère trans de l'isoprène, le cis correspondant au caoutchouc naturel. Sa chaîne moléculaire est moins ramifiée et plus rectiligne que celui-ci, ce qui lui confère une plus grande rigidité. La gutta percha est plus dure mais aussi plus fragile.

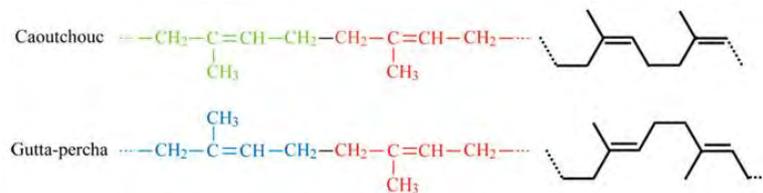


Figure n°1 : Formule chimique de la gutta percha et du caoutchouc

C'est un matériau isolant, non-résorbable et biocompatible.

1.5.2.1. Composition

La gutta percha utilisée en endodontie est composée de :

- 15 à 25 % de gutta-percha naturelle ;
- 60 à 70 % d'oxyde de zinc : pour les propriétés antibactériennes ;
- 2 à 4 % d'agents plastifiants (résine et/ou cire) : pour améliorer sa malléabilité ;
- 10 à 20 % de colorants (érythrosine) et de radio-opacifiants (sulfates métalliques).

La composition est variable d'un fabricant à un autre. Certains ajoutent des agents antimicrobiens, comme l'hydroxyde calcium ou la chlorhexidine.

Elle se présente classiquement sous forme de cônes de diamètre et de conicité réglés par le fabricant mais aussi sous forme non standardisée.

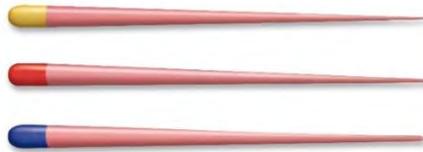


Figure n°2 : Cône de gutta percha

1.5.2.2. Les différentes formes de la gutta-percha

La gutta existe sous deux formes cristallines : la forme α et la forme β qui se différencient de par leurs propriétés thermiques et volumétriques mais qui présentent les mêmes propriétés mécaniques.

La forme α correspond à la forme naturelle de gutta. Elle recouvre les tuteurs en plastiques (Thermafil®, MicroMega – Besançon – France) et est utilisée dans les systèmes de gutta injectable.

La forme β correspond, quant à elle, à la forme commerciale. Elle a subi un traitement thermique afin de pouvoir incorporer d'autres composants et d'être préparée sous forme de cônes.

1.5.2.3. Propriétés physico-chimiques et biologiques (1)

- Ne présente aucune adhérence à la dentine ;
- Dilatation thermique importante ;
- Conductibilité thermique faible ;
- Faible résistance à la compression ;
- Élasticité faible ;
- Résistance à l'usure et à l'écrasement faible ;
- Stabilité volumétrique ;
- Rigidité ;
- Viscosité ;
- Radio-opacité ;
- Oxydation ;
- Solubilité ;
- Biocompatible ;
- Non résorbable ;
- Activité antibactérienne.

1.5.3. Les ciments de scellement canalaire

Le ciment de scellement canalaire joue le rôle de **joint entre la gutta-percha et les parois canaux**.

Il assure l'**étanchéité apicale** prévenant ainsi tout risque de migration bactérienne et risque de percolation.

Il permet de **combler les vides** au sein de la masse de gutta percha, et participe à l'obturation des variations anatomiques du système canalaire (canaux latéraux, delta apicaux, isthmes...).

Il **lubrifie** le cône de gutta pour faciliter sa mise en place dans le canal.

Il crée un **milieu défavorable** au développement de micro-organismes.

1.5.3.1. Propriétés physico-chimiques et biologiques

Idéalement un ciment de scellement canalaire devrait présenter les propriétés suivantes :

- Etre de **manipulation facile** ;
- Présenter un **temps de prise court** mais un **temps de travail suffisant**. En effet, il est difficile de maintenir un canal sec, le ciment doit donc prendre assez rapidement tout en laissant le temps de le manipuler (notamment dans des cas complexes). ;
- Présenter une **bonne adhésion** à la dentine et au matériau d'obturation (gutta percha...);
- Avoir une **plasticité adéquate** lui permettant de combler les irrégularités canalaires ainsi qu'une tension superficielle et une fluidité assurant l'obturation des canaux accessoires, des deltas apicaux et des tubulis dentinaires ;
- Présenter une **viscosité peu importante** pour faciliter l'insertion du matériau d'obturation ;
- Avoir des propriétés mécaniques acceptables même sous la forme d'un film très fin ;
- Avoir une **stabilité dimensionnelle** lors de la prise, pour éviter la création de hiatus entre la dentine et le matériau d'obturation, et dans le temps ;
- Etre **insoluble aux fluides organiques** ;
- Etre **radio-opaque** permettant de juger la qualité du traitement endodontique ;
- Permettre une **désobturation aisée** en étant soluble dans les solvants ;
- Etre **biocompatible** compte tenu de sa proximité avec les tissus péri-apicaux ;
- Etre résorbable en cas de dépassement de ciment dans le péri-apex ;
- Présenter une action **bactériostatique** pour prévenir le risque de développement de micro-organismes non éliminés par la préparation chimio-mécanique ;
- Ne **pas colorer** les structures dentaires.

1.5.3.2. Les différents types de ciments de scellement canalaire

Actuellement, il existe plusieurs types de ciments de scellement canalaire :

- Les ciments à base d'**oxyde de zinc eugénol** (Sealite[®], Pulp Canal Sealer[®])
- Les ciments **verres ionomères** (KetacEndo[®], Endion[®])
- Les ciments à base d'**hydroxyde de calcium** (AcroSeal[®], Apexit[®], Sealapex[®])
- Les ciments à base de **résine** :
 - Résine époxy (AH plus[®], MM Seal[®])
 - Résine diméthacrylateuréthane (EndoREZ[®])
 - Résine polyvinyles (Diaket[®])
- Les ciments **résineux composites** (Real Seal[®], Epiphany[®])
- Les ciments à base de **silicones** (RoekoSealAutomix (RSA)[®])
- Les ciments à base de **MTA** (ProRoot MTA[®], MTA Fillapex[®])
- Les **biocéramiques** (Total Fill[®], BioRoot[®])

2. Les dents à apex ouvert et l'obturation

La dent à apex ouvert est caractérisée par l'absence de constriction apicale.

Un apex ouvert peut être la conséquence d'une résorption apicale externe sur une dent mature ou bien d'un arrêt de l'édification radiculaire sur une dent permanente immature nécrosée suite à la présence d'une carie profonde ou d'un traumatisme.

2.1. La dent permanente immature

2.1.1. Particularités

Une dent permanente présente sur l'arcade est dite immature tant que la jonction dentino-cémentaire apicale n'est pas en place.

La dent fait son éruption au stade 8 de Nolla, lorsque les deux tiers de sa longueur radiculaire totale sont édifiés, et atteint le stade 10, stade de fermeture apicale, en 3 à 4 ans. Entre ces deux états, la dent est immature.

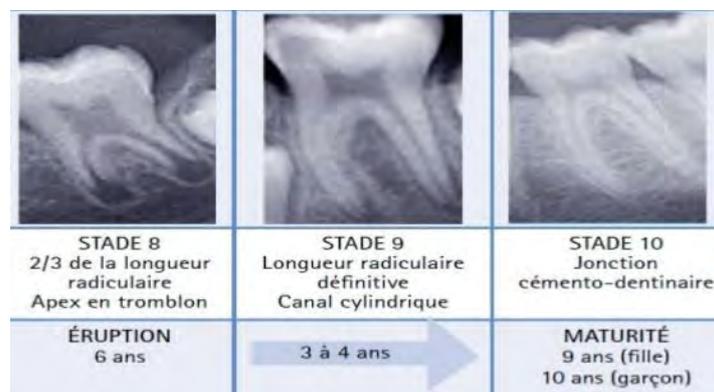


Figure n°3 : Les différents stades de maturation d'une première molaire permanente (2)

Elle présente des caractéristiques anatomiques, physiologiques et histologiques particulières, qui la rendent fragile et particulière à traiter.

2.1.2. Caractéristiques de la dent immature

Les sillons de la dent sont anfractueux ; ils constituent une zone de rétention de plaque peu accessible à la salive et au brossage.

A ce stade, les tissus dentaires comme l'émail, la dentine, la pulpe ou encore l'os alvéolaire sont immatures :

- L'émail est poreux. Il sera par conséquent moins résistant aux attaques bactériennes mais en revanche très réceptifs aux traitements fluorés favorisant la reminéralisation.
- Les tubulis dentinaires sont très larges ce qui favorise l'invasion bactérienne.
- Le volume pulpaire au niveau coronaire est très important. La pulpe possède une vascularisation riche et un fort potentiel cellulaire de réparation qui permet l'apposition de dentine tertiaire.

Au niveau des racines, le canal radiculaire est large et les parois radiculaires sont minces et divergentes. L'épaisseur de cément est réduite.

L'apex est ouvert en entonnoir ou en tromblon. En conséquence, l'inflammation peut diffuser plus rapidement dans le péri-apex et la non compression des vois nerveuses entraîne une absence de signaux à la douleur.

Dans la zone péri-apicale, il existe de vastes espaces médullaires favorisant la diffusion rapide de l'inflammation à l'os.

2.2. Les résorptions radiculaires externes

Selon l'American Association of Endodontists (1994), une résorption est un « état associé à un processus physiologique ou pathologique provoquant une perte de tissu dentaire, cémentaire ou osseux ».

La résorption externe est un processus pathologique. Elle résulte de la destruction partielle ou totale des tissus dentaires, consécutif à une inflammation et/ou un traumatisme.



Figure n°4 : Résorption de la racine distale d'une 46 suite à une LIPOE (3)

2.3. Problématiques d'un apex ouvert lors de l'obturation

Le risque de **dépassement de matériaux d'obturation** dans la zone péri-apicale est augmenté du fait de la largeur de l'orifice apical.

L'**étanchéité** apicale va être difficile à obtenir.

Les parois canalaires sont fines et fragiles, et sont par conséquent plus susceptibles à la fracture.

Face à ces problématiques, une obturation classique ne peut être envisageable pour ce type de dent. Il est donc nécessaire de mettre en œuvre des techniques plus spécifiques.

3. La gestion des dents à apex ouvert : les différentes options thérapeutiques

L'absence de constriction apicale complique la réalisation d'une obturation étanche du système canalaire.

Plusieurs thérapeutiques peuvent être envisagées afin de pallier à ce problème d'étanchéité apicale :

- Le calibrage d'un maître cône ou la technique du cône moulé ;
- Les thérapeutiques d'apexification par formation d'une barrière apicale naturelle et/ou artificielle.

Le choix entre ces différentes techniques va dépendre de la taille du foramen et de la maturité de la dent.

3.1. La technique du cône moulé

La technique du cône moulé ou chloroform-dip consiste à réaliser une empreinte du tiers apical avec un cône de gutta percha afin que celui-ci s'adapte parfaitement à l'anatomie apicale.

Elle est indiquée pour les **canaux larges et rectilignes** de diamètres apicaux compris entre **60 et 90 mm**. (4)

3.1.1. Le protocole opératoire

Le cône utilisé doit être surdimensionné. Pour cela, on utilise soit un maître cône normalisé de deux numéros supérieurs au diamètre apical, soit un cône préparé. Dans ce cas, plusieurs cônes de gros diamètres sont ramollis à la chaleur puis roulés entre deux plaques de verre jusqu'à obtenir un cône de forme et de volume souhaité.

Le cône de gutta-percha est ensuite ramolli soit dans un solvant de la gutta percha pendant 4 secondes (eucalyptol, chloroforme, halothane...) ou réchauffé au moyen d'une source de chaleur. (5)

Le cône est introduit et placé en force dans le canal préalablement rempli d'hypochlorite de sodium.

Cette séquence est répétée jusqu'à ce que le cône atteigne la longueur de travail.

Il est important de réaliser un repère sur le cône permettant d'indiquer le sens d'insertion afin de le repositionner de manière identique dans le canal.

Après avoir vérifié l'empreinte au niveau de la pointe du cône, celui-ci est désinfecté dans de l'alcool puis séché.

Le canal est irrigué à l'hypochlorite de sodium et séché avec les pointes de papiers.

Le cône est enduit de ciment d'obturation canalaire et poussé délicatement dans le canal afin d'éviter que l'effet piston entraîne un dépassement de ciment.

Il est possible de réaliser une condensation latérale à froid suite à l'obturation au cône moulé pour améliorer la qualité de l'obturation tridimensionnelle.

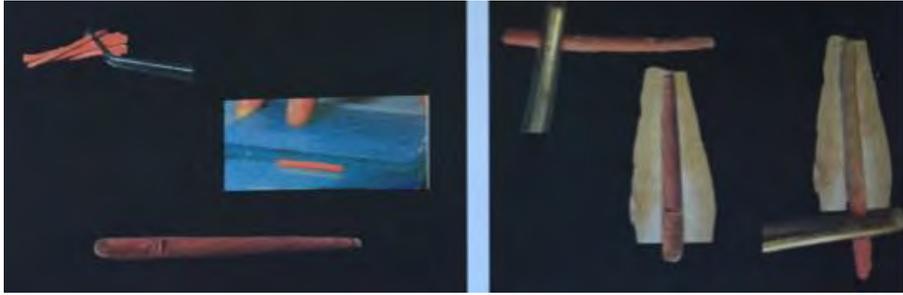


Figure n°5 : Protocole opératoire d'une obturation au cône moulé (6)

3.1.2. Avantages, limites et contre-indications

Les avantages de cette technique sont les suivants :

- Rapide ;
- Sûre ;
- Peu coûteuse ;
- Obturation non traumatique.

Toutefois elle présente des limites et notamment une **mauvaise étanchéité apicale**.

Elle est contre-indiquée en présence de contre dépouille et de dent à apex à tromblon.

Aujourd'hui, elle est considérée comme une technique ancienne et abandonnée.

3.2. Les thérapeutiques d'apexification

Le traitement endodontique classique d'une dent à apex ouvert comporte deux temps : l'apexification suivie de l'obturation endodontique de la dent.

L'apexification est définie comme « une thérapeutique endodontique effectuée sur une racine à apex ouvert et à pulpe nécrosée, du fait d'une évolution incomplète, d'un évènement

iatrogène ou d'une résorption. Elle vise à induire l'édification d'une barrière apicale minéralisée afin de permettre l'obturation définitive du réseau canalaire confinée dans l'espace canalaire. » (7)

Elle peut se réaliser avec de l'hydroxyde de calcium, du MTA ou encore de la Biodentine.

3.2.1. L'apexification à l'hydroxyde de calcium

C'est une technique ancienne qui présente un taux de succès élevé compris entre 77% et 98% (Andreasen et Andreasen 1994). (8)

3.2.1.1. *Principes*

L'hydroxyde de calcium est capable de se dissocier en ions calcium et hydroxydes responsables de l'alcalinité de ce matériau. Ils vont diffuser dans les tissus péri-apicaux avec une action bactériostatique et créer un environnement favorable à la réparation tissulaire. (9)

L'hydroxyde de calcium est placé dans le canal au contact des tissus apicaux et sera ensuite renouvelé jusqu'à la formation d'une barrière apicale de tissu minéralisé. Le canal sera ensuite obturé avec de la gutta percha et un ciment de scellement endodontique.

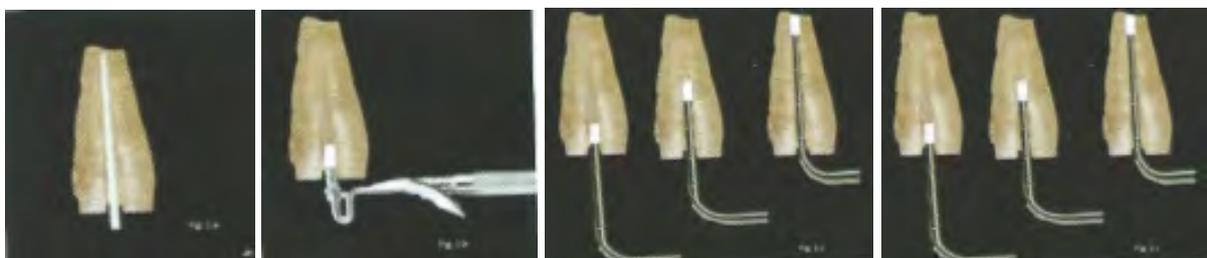


Figure n°6 : *Protocole opératoire d'une apexification à l'hydroxyde de calcium* (6)

Le renouvellement de l'hydroxyde de calcium se réalise tous les 3 mois jusqu'à l'édification de la barrière apicale. Toutefois il n'existe pas de réel consensus sur la fréquence du renouvellement de celui-ci. Certains auteurs considèrent qu'il faut renouveler systématiquement l'hydroxyde de calcium tous les 3 mois et d'autres qu'il faut le renouveler seulement si sa dissolution est visible radiologiquement. (10)

La dissolution de ce matériau dépend de la surface de contact avec les tissus péri-apicaux et du degré d'inflammation de ces derniers. (11)

Le renouvellement régulier de l'hydroxyde de calcium permet de maintenir un pH élevé au sein du canal permettant ainsi la libération prolongée et régulière d'ions hydroxydes au niveau de la région apicale, et de contrôler l'édification de la barrière apicale. (11)

Le temps de traitement dépend donc de la fermeture apicale qui est non prédictible. En effet, la durée moyenne de formation de la barrière apicale est fonction du stade de développement de la dent, de la divergence des parois radiculaires et de la présence ou non de pathologie péri-apicale.

3.2.1.2. Avantages et inconvénients

Les avantages de cette thérapeutique sont les suivants :

- Taux de succès élevé ;
- Recul clinique important ;
- Technique simple ;
- Peu coûteuse.

Les inconvénients sont :

- Le **temps de traitement** est **variable** et **long** pouvant aller jusqu'à 2 ans : ce qui nécessite la coopération et le suivi du patient.

- Pas d'obturation ni de restauration définitive tant que la barrière apicale ne s'est pas formée : il existe un **risque** de perte de la restauration temporaire et de **réinfection** du réseau canalaire.
- La durée du traitement augmente en présence d'une lésion péri-apicale ou d'une symptomatologie préopératoire.
- On constate une diminution des propriétés mécaniques de la dentine lors d'une exposition prolongée à l'hydroxyde de calcium, entraînant un **risque élevé de fractures**. (12)(13)
- Le risque de fracture est d'autant plus élevé sur les dents immatures, et notamment les incisives, qui ont des parois radiculaires fines. (12) (14)

3.2.2. L'apexification en une séance

L'apexification en une séance permet de pallier à la majorité des inconvénients de l'hydroxyde de calcium.

La technique consiste à créer une barrière apicale minéralisée en plaçant un bouchon apical étanche de ciment type MTA® ce qui permettra de réaliser l'obturation définitive une fois le matériau durci.

La fermeture apicale par l'édification d'une barrière de tissu minéralisé se fait ultérieurement, à l'interface entre le matériau et les tissus péri-apicaux.

3.2.2.1. *Indications*

- Dent immature nécrosée
- Apex résorbé suite à une pathologie apicale (Simon et all 2007)
- Diamètre apicaux > 90 mm

3.2.2.2. Matériaux

Cette technique utilise des ciments bioactifs type silicate de calcium qui vont être capables d'induire la formation d'une couche d'hydroxyapatite à leur surface au contact des tissus péri-apicaux.

On distingue les ciments à base de Mineral Trioxide Aggregate (Pro Root MTA[®], MM MTA[®], MTA Caps[®]...) et ceux à base de silicate tricalcique (Biodentine[®]).

L'utilisation de MTA constitue la solution de choix de par ses propriétés (étanchéité, biocompatibilité...), la Biodentine[®] quant à elle ne présente pas encore assez de recul clinique.

3.2.2.3. Le protocole opératoire

- **Lors de la première séance :**

Après anesthésie et pose du champ opératoire, la cavité d'accès est réalisée et la longueur de travail déterminée.

Le canal est ensuite nettoyé et désinfecté avec une lime H de gros diamètre utilisée en appui pariétal léger et une irrigation à l'hypochlorite de sodium 2,5%. Il est séché avec des cônes de papier.

Un fouloir de condensation verticale est sélectionné : celui-ci doit être amené à la longueur de travail moins 3 ou 4 mm correspondant à l'épaisseur du futur bouchon apical. Cette longueur d'enfoncement est marquée par un stop.

Le MTA est préparé selon les données du fabricant. Il est alors amené au niveau de la zone apicale grâce à un porte matériau adapté (ex : MTA Gun[®]) et est ensuite condensé à l'aide du fouloir sélectionné précédemment.

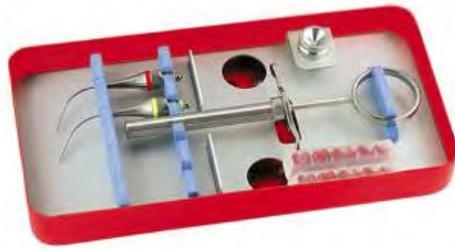


Figure n°7 : MTA Gun® (Dentsply Maillefer – Ballaigues – Suisse)

L'utilisation d'aide optique favorise un meilleur contrôle lors de la mise en place du matériau et la propreté des parois sus-jacentes.

L'apport en MTA est renouvelé jusqu'à obtenir un bouchon apical d'une hauteur de 3 à 5 mm.

La prise du MTA se fait en milieu humide. Selon les types de MTA, cette prise varie entre 20 minutes (MM MTA®) et 3 à 4 heures pour les autres formes commerciales. Pour les cas de prise lente (supérieure à 20 minutes), une pointe de papier ou une boulette de coton imbibée de sérum physiologique sera placée au contact du MTA avant de mettre en place la restauration coronaire temporaire.

Une fois la restauration coronaire temporaire réalisée, on effectue une radiographie de contrôle afin de vérifier la position et l'épaisseur du bouchon.



Figure n°8 : Protocole opératoire d'une apexification en une séance au MTA (6)

- **Lors de la deuxième séance :**

Le patient est revu 24 à 48h après. La prise du MTA est vérifiée avec une lime ou une sonde puis le système canalaire est obturé.

3.2.2.4. Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
2 séances rapprochées	Coûteuse
Obturation endodontique rapide	Technique délicate pour les opérateurs peu expérimentés
Restauration coronaire rapide	Aide optique nécessaire
Bouchon apical solide et étanche	Matériels spécifiques
Taux succès 89% (8)	

Tableau n°1 : Avantages et inconvénients de la technique d'apexification par bouchon de MTA

Cette thérapeutique ne renforce pas les structures radiculaires, le risque de fracture est donc toujours élevé.

Une méta-analyse de Lin et al conduite en 2016 a comparé l'efficacité du MTA par rapport à celle de l'hydroxyde de calcium pour l'apexification des dents immatures. Les deux techniques montrent des résultats cliniques similaires. Le taux de réussite clinique, radiographique et de formation de la barrière apicale ne présentent pas de différence. Toutefois le temps nécessaire à la formation de cette barrière est significativement plus court avec le traitement à base de MTA®. (15)

Le MTA® peut être remplacé par de la Biodentine®. Avec un temps de prise de 12 minutes, elle permettrait de réaliser cette thérapeutique en une seule séance. Mais il existe très peu de recul clinique pour ce matériau.

	MTA	Cône moulé
Indications	Dent nécrosée Apex ouvert	
Diamètre apical	> 90 mm	60 – 90 mm
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> - Tout type d'anatomie canalaire - Etanchéité du bouchon apical - Taux de succès élevé 	<ul style="list-style-type: none"> - Peu coûteux - Rapide - Sûr
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> - Coûteux - Matériels spécifiques - Application délicate - Aide optique nécessaire 	<ul style="list-style-type: none"> - Mauvaise étanchéité apicale - Contre-indiqué en présence de contre-dépouille et d'apex en tromblon

Tableau n°2 : *Tableau comparatif entre la technique d'obturation au MTA® et celle du cône moulé*

3.3. La revascularisation

La revascularisation est une alternative aux traitements classiques par apexification, basée sur des techniques d'ingénierie tissulaire. Elle repose sur le recrutement des cellules souches de la papille apicale (SCAPs : Stem Cells of Apical Papilla).

Son but est de régénérer le complexe dentino-pulpaire des dents permanentes immatures nécrosées à apex ouvert.

Les études ont démontré que le canal est obturé non pas par un nouveau tissu pulpaire, mais par un tissu parodontal. (16)

Cependant, il n'existe pas encore de compromis sur un protocole bien défini, et le recul clinique reste faible.

4. Des matériaux d'obturation adaptés

Les conditions cliniques et biologiques particulières des dents à apex ouvert (tissus pulpaire nécrosés, lésions péri-apicales, exsudations) imposent des propriétés aux matériaux d'obturation : **prise en milieu humide, étanchéité apicale optimale et biocompatibilité.**

Actuellement, les ciments qui peuvent répondre au mieux à ces exigences sont les ciments à base de silicates de calcium comme le MTA et la Biodentine®, et nouvellement les biocéramiques.

Nous allons nous pencher sur les caractéristiques du MTA et des biocéramiques qui seront utilisés par la suite pour notre expérimentation.

4.1.1. Mineral Trioxide Aggregate (MTA)

Le MTA a été mis au point par le Dr TORABINEJAD en 1993 à l'université Loma Linda USA. Il a été commercialisé en France sous le nom de ProRoot MTA® (Dentsply Maillefer – Ballaigues – Suisse) et a obtenu l'approbation de la FDA (Food and Drug Administration) aux USA en 1998. Depuis il a fait l'objet de nombreuses publications.

Il a été introduit initialement en endodontie pour l'obturation lors des traitements par voie rétrograde.

Le MTA est un ciment de Portland. Il est composé de :

- 75 % d'un mélange de silicate dicalcique et tricalcique, d'aluminate tricalcique et d'aluminate ferrite tricalcique ;
- 20 % d'oxyde de bismuth pour la radio-opacité ;
- 5 % de gypse ;
- Traces de : CaO, MgO, SiO₂ et du Na₂SO₄.

Originellement commercialisé sous forme de poudre grise, il est actuellement remplacé par une poudre de couleur blanche.

La composition du MTA blanc est légèrement différente, les particules ferriques ont été supprimées afin de limiter les colorations dentaires secondaires grisâtres. (17)

Le MTA est composé d'une poudre de fines particules hydrophiles qui durcissent en présence d'eau stérile. Le ratio poudre/liquide est de 3. Il peut se présenter également sous forme de capsules pré-dosées.



Figure n°9 : MM-MTA® de Micro Méga - Besançon - France

4.1.1.1. Propriétés physico-chimiques

- **Propriétés physiques :**

Le mélange obtenu après 5 minutes se présente sous la forme d'un gel colloïdal de consistance sableuse.

Son temps de prise varie entre 2h45 et 4h pour le MTA traditionnel. Toutefois, les nouvelles préparations pré-dosées (MM-MTA® de Micro Mega® – Besançon – France ou MTA Caps® de Pierre Roland – Merignac – France) permettent de ramener le temps de prise à 15 minutes mais cela dégrade leur résistance à la compression.

Les propriétés mécaniques définitives sont obtenues au bout de 7 jours.

Sa résistance à la compression est faible (67 Mpa) et quasiment nulle à la flexion. Ces faibles propriétés mécaniques ne permettent pas d'envisager son utilisation comme un matériau de restauration. (18)

Sa radio-opacité est similaire à celle de la gutta percha : elle est supérieure à celle de la dentine. (19)

Il est stable dimensionnellement.

Selon plusieurs études, le MTA présente une adaptation marginale aux parois dentaires plus importantes que l'IRM, l'amalgame ou le Super EBA. (19)

- **Propriétés chimiques :**

La réaction de prise du MTA est une **hydratation**.

Le **pH** du MTA varie en fonction du temps. Initialement, il est de 10,2 après mélange puis il passe au bout de 3 heures à 12,5, pH très alcalin, et reste constant.

Le MTA est **insoluble** après sa prise. (18)

4.1.1.2. Propriétés biologiques

Le MTA est **biocompatible**. (20) (21)(22)

Les études sur la cytotoxicité du MTA montrent qu'il possède un degré de cytotoxicité faible comparé aux autres matériaux utilisés (amalgame et Super EBA). (23)

Il n'a pas été mis en évidence de pouvoir mutagène ni génotoxique. (24)(25)

Selon différents cas cliniques étudiés, le MTA induit la formation de tissus minéralisés in vivo : la formation d'un pont dentinaire, l'apposition de ciment en regard du matériau, l'apposition de tissu osseux et la formation de cristaux d'hydroxyapatite. (26)

Il permet également de diminuer l'inflammation et de créer une nouvelle attache desmodontale.

Dans les cas d'obturation de dent immature à apex ouvert avec un bouchon apical de MTA, l'apposition d'un néo-cément ainsi qu'une régénération parodontale ont été observées. (27)

Il possède des **propriétés antibactériennes modérées**, liées à son pH élevé. Il n'agit que sur certaines bactéries aérobies anaérobies facultatives (streptococcus faecalis, autres streptocoques, lactobacillus, escherichia coli) mais pas sur les bactéries anaérobies strictes. (28)

4.1.1.3. Etanchéité

L'étanchéité du MTA a été évaluée par des tests de pénétration de colorants, de radio-isotopes, de bactéries ainsi que par des moyens de filtration des fluides.

Ces études montrent que quelles que soient la méthode et l'indication posée (obturation rétrograde, scellement de communication endo-parodontale pathologique ou iatrogène, apexification ou coiffage), le MTA possède d'**excellente capacité de scellement** et d'**étanchéité**. (25)

Cette capacité de scellement serait liée à sa nature hydrophile et à sa faible extension de prise en milieu humide.

Son étanchéité n'est pas altérée par la présence d'humidité ou de sang. (20)

4.1.1.4. Indications

Les indications du MTA sont nombreuses :

- Coiffage pulpaire direct sur dents vitales ;
- Obturation des perforations radiculaires et du plancher ;
- Obturation à rétro ;
- Obturation des dents à apex ouvert ;
- Matériaux d'isolement au cours d'un éclaircissement interne.

4.1.1.5. Avantages et inconvénients

Avantages	Limites
Bioactivité	Propriétés mécaniques insuffisantes pour restauration
Excellente étanchéité	Manipulation difficile
Nouveaux conditionnements et formulations	Nécessite une instrumentation spécifique
	Temps de prise long

Tableau n°3 : Avantages et inconvénients du MTA®

A l'heure actuelle, le MTA est le matériau de choix pour réaliser l'obturation apicale des dents à apex ouvert.

4.1.2. La biocéramique

Le ciment de scellement biocéramique a été mis sur le marché pour la première fois en 2007 par la firme canadienne InnovativeBioCeramix qui a ensuite développé sa gamme de biocéramique « IRoot® ».

La biocéramique est un mélange de calcium et de phosphate présents sous forme d'hydroxyapatite ou de phosphate tricalcique.

La biocéramique est composée : (29)

- Oxyde de zirconium (radio-opacifiant) ;
- Silicate tricalcique, dicalcique ;
- Silice colloïdale ;
- Calcium de silicates ;
- Phosphate de calcium monobasique ;
- Hydroxyde de calcium.

Elle peut se trouver soit sous une forme de pâte pré-mélangée (ex : TotalFill® – FKG – Dentaire SA – La Chaux de Fonds – Suisse) soit sous une forme poudre/liquide (ex : BioRoot® RCS Septodont – USA).



Figure n°10 : TotalFill®BC Obturation Kit KG – Dentaire SA – La Chaux de Fonds – Suisse ; destiné à l'obturation canalaire

Actuellement, de nombreuses recherches sont réalisées sur ces ciments de scellement. Le BC Sealer® (EndoSequence – Brasseler – USA) est la biocéramique la plus décrite dans la littérature.

4.1.2.1. Propriétés physico-chimique

- La réaction de prise est une **hydratation** comme pour le MTA®.

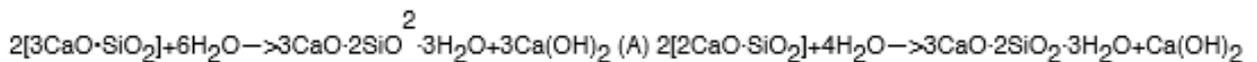
Lorsque le matériau de scellement est introduit dans le canal, il absorbe l'humidité contenu dans les tubulis dentinaires. Il se forme alors une phase de silicate de calcium hydraté.

Ce silicate de calcium hydraté se transforme en gel de silicate de calcium et d'hydroxyde de calcium. L'hydroxyde de calcium réagit avec les ions phosphates pour précipiter en hydroxyapatite et en eau. Ce précipité d'hydroxyapatite permet de renforcer la liaison entre le ciment de scellement et la paroi canalaire. (30)

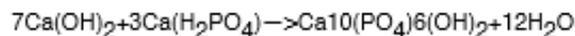
L'eau, provenant à la fois des tubulis dentinaires et de la réaction entre l'hydroxyde de calcium et le phosphate de calcium, continue de réagir avec le silicate de calcium pour précipiter en un pseudo-gel de silicate de calcium hydraté. (31)

L'eau fournie par cette réaction est un facteur majeur du contrôle du taux d'hydratation dans le temps de prise.

La réaction d'hydratation du silicate de calcium est :



La réaction de précipitation du phosphate de calcium apatitique est :



L'humidité contenue dans les tubulis dentinaires permet d'initier et de terminer la réaction de prise du ciment biocéramique.

- **Pas de rétraction de prise** voir même une légère expansion de prise qui permet un scellement étanche.

- **Très bonne propriété de scellement** : le ciment établit une liaison chimique solide entre ses groupes hydroxy- et l'hydroxyapatite contenue dans la dentine. Ce collage chimique est renforcé par une adhésion micromécanique des particules. (32) (33)
- **Prise rapide** (3 à 4 heures) : selon les fabricants, le temps de travail est de 4h à température ambiante et le temps de prise varie de 4h à 10h suivant l'humidité contenu dans les canaux.
- **Stable chimiquement** dans un environnement biologique.
- **Hydrophile** et faible angle de contact : la propagation est plus aisée sur les parois canalaires, permettant la pénétration et l'obturation des micro-canaux latéraux.
- **Prise en milieu humide** : un précipité de silicate de calcium se forme en entourant les cristaux d'hydroxyde de calcium.
- **Non résorbable** par les fluides organiques.
- **Bonnes propriétés mécaniques** : très bonnes adhésions aux parois dentinaires, résistance à la compression similaire au MTA®.
- **Etanchéité**
- **Stabilité dans le temps**
- **Radio-opacité** liée à la présence d'oxyde de zirconium. La radio-opacité du BC Sealer (3,83 mm Al) est supérieure au seuil minimal requis (3,00 mm Al) mais inférieure au AH Plus (6,936 mm Al). (34)
- **Manipulation aisée** : plus facile que le MTA®. (35)(36)
- **Retraitement difficile** : plusieurs études sur le retraitement ont démontré que l'élimination complète de la biocéramique est difficile. (29)(37)(38)

4.1.2.2. Propriétés biologiques

La biocéramique est **biocompatible** vis-à-vis des tissus. (39) (40)

Elle n'entraîne pas de réaction inflammatoire en cas de dépassement dans le péri-apex.

C'est un matériau **bioactif** : au contact de l'eau contenu dans les tubulis dentinaires, il entraîne la formation de cristaux d'hydroxyapatite.

Elle ne provoque pas de discoloration ni de cytotoxicité. (41)

Ce matériau présente une **activité antibactérienne** liée à son pH alcalin, à son hydrophilie et à la libération d'hydroxyde de calcium actif. Cette propriété antibactérienne est équivalente à celle du MTA. (42)

Le pH alcalin est également à l'origine d'une activité **anti-inflammatoire**.

Cependant, les fibroblastes gingivaux humains peuvent se fixer et s'étendre à la surface de la biocéramique. Selon une étude, le BC Sealer® montre une viabilité des fibroblastes significativement plus élevée qu'un autre ciment de scellement AH Plus. (43)

Des résultats inverses ont toutefois été rapportés. (31)

La biocéramique comme le MTA peut induire la différenciation cellulaire. (39)(44)

Il **renforce les structures** radiculaires résiduelles. (45)

4.1.2.3. *Étanchéité*

L'étanchéité est liée à la légère extension de prise du ciment biocéramique et à la pénétration de nanoparticules hydrophiles de ce matériau au sein des tubulis dentinaires.

Des études montrent que l'**étanchéité** est une adaptation marginale comparable à celles du MTA®. (46)(47)

4.1.2.4. *Indications*

Les indications sont les mêmes que celles du MTA :

- Coiffage pulpaire direct sur dents vitales ;
- Obturation des perforations radiculaires et du plancher ;
- Obturation à rétro ;
- Obturation des dents à apex ouvert ;
- Matériaux d'isolement au cours d'un éclaircissement interne.

Ce ciment de scellement semble intéressant pour l'obturation des apex largement ouverts. En effet, c'est un matériau biocompatible. Il permet un protocole d'obturation facile en technique mono-cône ou en condensation latérale à froid. Il renforce la structure radiculaire déjà fragilisée. Il possède une bonne étanchéité apicale et une bonne qualité d'obturation.

Conclusion

L'obturation des dents à apex largement ouvert nécessite des protocoles spécifiques et l'utilisation de matériaux particuliers.

Les différentes options thérapeutiques pour l'obturation des apex largement ouverts présentent chacune leurs limites. Le cône moulé ne permet pas d'obtenir une bonne étanchéité apicale. L'apexification par hydroxyde de calcium fragilise les parois radiculaires, et exige un temps de traitement long. Le bouchon de MTA offre une option efficace mais d'applications parfois délicates car difficile à manipuler.

Le nouveau ciment de scellement biocéramique répond à de nombreux critères d'obturation :

- Facile de manipulation ;
- Obturation simple par technique mono-cône ou condensation laérale à froid ;
- Bonne qualité d'obturation ;
- Renforcement des structures résiduelles.

Nous avons donc réfléchi à une nouvelle option thérapeutique : utiliser la technique du cône moulé et afin de palier à son défaut d'étanchéité, utiliser la biocéramique comme ciment de scellement.

2^{ème} PARTIE :

**Evaluation de l'étanchéité apicale de deux
techniques d'obturation des dents à apex
largement ouvert**

Introduction

L'objectif de cette étude est d'évaluer la qualité de l'étanchéité apicale pour l'obturation des dents à apex largement ouvert en comparant la méthode de référence, l'apexification au MTA, et une possible alternative : la technique du cône moulé associée à la biocéramique.

Tous les diamètres des dents sélectionnées se situent entre 1 et 3 mm, ce qui nécessite une prise en charge spéciale.

L'hypothèse nulle testée dans cette étude est qu'il n'existe pas de différence significative entre les deux méthodes d'obturation concernant l'étanchéité apicale à 1 mm et 3 mm.

1. Matériels et méthodes

1.1. Sélection et préparation des dents

34 dents humaines avulsées ont été sélectionnées.

Les critères d'inclusion de ces dents ont été les suivants :

- Dents mono ou pluriradiculées ;
- Présence d'un seul canal par racine ;
- Présence d'un apex largement ouvert : supérieur à 1 mm ;
- Absence de fêlures et de fractures ;
- Absence de courbure importante.

Les dents sont découronnées à l'aide d'un disque diamanté pour avoir une longueur unique de 15 mm.

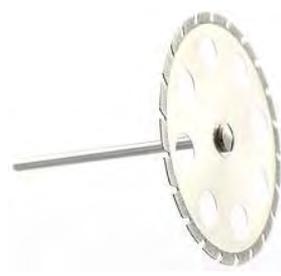


Figure 11 : Disque diamanté (référence 354-524-220HP ; Stoner[®] – Brent – Suisse)

Deux couches de vernis à ongles de deux couleurs différentes sont appliquées sur la face extérieure des racines, en excluant la zone apicale pour empêcher l'infiltration du nitrate d'argent à partir de la surface externe de la racine. (48)

Des photos sont prises afin d'estimer le diamètre apical de chacune des dents (diamètre de Féret) et ainsi répartir de manière équitable les dents dans deux groupes différents :

- Le **groupe 1** qui sera obturé au MTA ;
- Le **groupe 2** qui sera obturé avec la technique du cône moulé associée à la biocéramique.

Chaque groupe comporte ainsi 17 dents dont 2 qui serviront de contrôle.

Chaque échantillon est conservé dans de l'hypochlorite de sodium à 2,5%.

1.2. Mise en forme

Nous avons réalisé une mise en forme chimique classique à l'hypochlorite de sodium à 2,5%.

1.3. Obturation du groupe n°1

Dans un premier temps, nous vérifions que la longueur de travail est bien de 15 mm.

Une irrigation finale est réalisée pour chaque dent : 2mL d'EDTA à 17% pendant 3 minutes puis rinçage avec 3mL d'hypochlorite de sodium 2,5% ; puis les canaux sont séchés avec des pointes de papier.

Nous choisissons ensuite le fouloir le mieux adapté selon le cas. Nous utilisons soit :

- Un fouloir de Machtou qui doit atteindre la longueur de travail moins 1 mm quand cela est possible ;
- Un tuteur en plastique du système Thermafill® que nous adaptons en fouloir en retirant la gutta percha (méthode s'inspirant de la technique de M. Giovarruscio).

Nous préparons le MTA Caps® (Pierre Roland – ACTEON – Mérignac – France) selon les recommandations du fabricant.



Figure n°12 : MTA Caps® (Pierre Roland – ACTEON – Mérignac – France)

Le MTA est mise en place dans le canal à l'aide du fouloir préalablement choisi et réglé jusqu'à obtenir un bouchon apical de 5 mm garant d'une bonne étanchéité. (49)

Une boulette de coton humide est ensuite placée dans le canal pour permettre la prise du MTA.

1.4. Obturation du groupe n°2

La première partie consiste à fabriquer le cône moulé pour chacun des échantillons.

Deux méthodes ont été utilisées :

- La première consiste à couper la partie apicale d'un cône de gros calibre ;
- La deuxième consiste à venir rouler deux cônes entre deux plaques de verre afin d'obtenir un cône de plus gros calibre.

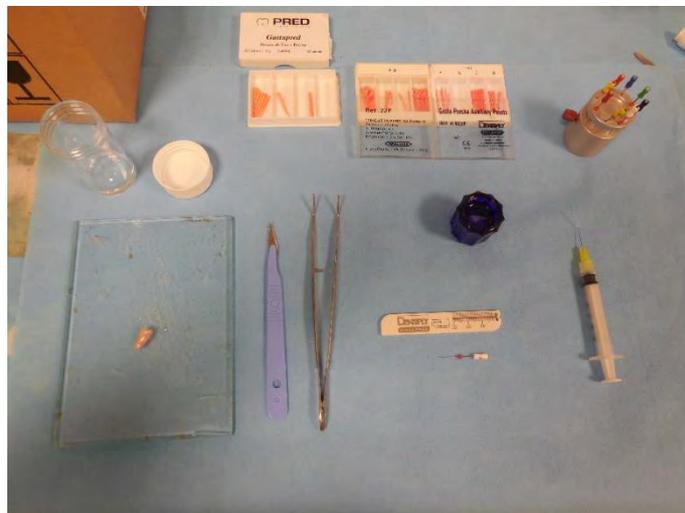


Figure n°13 : Plateau technique pour la réalisation des cônes moulés

Après vérification de la longueur de travail au moyen d'une lime K 25/100, le maître cône est inséré dans le canal et doit bloquer à la longueur de travail moins 3 à 5 mm.

Après irrigation du canal à l'hypochlorite de sodium à 2,5%, le cône fabriqué est trempé dans de l'eucalyptol (solvant de la gutta percha) pendant 20 à 30 secondes, puis inséré dans le canal pour gagner l'apex.

Cette étape se répète jusqu'à ce que le cône atteigne la longueur de travail.

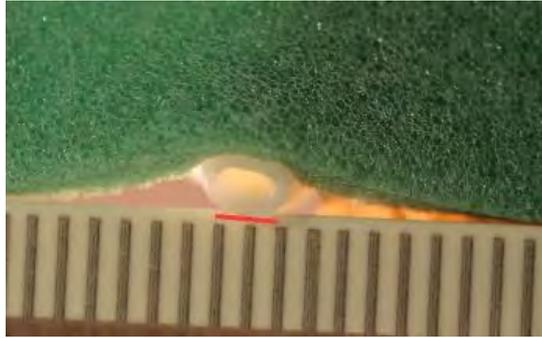


Figure n°14 : Photographie de l'apex d'un échantillon (détermination du diamètre de Feret)



Figure n°15 : Photographie du cône moulé obtenu pour l'obturation de cet échantillon

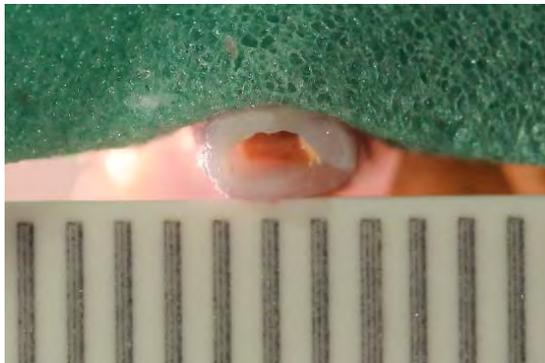


Figure n°16 : Photographie du cône en place pour le même échantillon

Une irrigation finale est réalisée pour chaque dent : 2mL d'EDTA à 17% pendant 3 minutes puis rinçage avec 3mL d'hypochlorite de sodium 2,5% ; puis les canaux sont séchés avec des pointes de papier.

Le sens d'insertion du cône moulé est vérifié.

Nous avons utilisé comme biocéramique le BioRoot® RCS (Septodont – USA). Elle se présente sous la forme d'un mélange poudre/liquide : un flacon contenant la poudre, et de pipette monodose d'eau stérile.



Figure n°17 : Présentation de la BioRoot® RCS (Septodont – USA)

La biocéramique a été préparée selon les données fabricants : une cuillère de poudre et 5 gouttes d'eau stérile, mélangées pendant 30 secondes. (50)

Les parois canalaires sont enduites de ciment de scellement biocéramique avec une lime hélicifile de diamètre 20, puis à l'aide du cône. Le cône moulé est ensuite scellé.

1.5. Réalisation de la restauration coronaire

Une restauration coronaire étanche avec un ciment verre ionomère est réalisée sur chacune des dents des deux groupes.

Les échantillons sont ensuite conservés dans une cuve dans un milieu humide à 100%, à 37°C, pendant **1 mois**.

1.6. Réalisation du test de pénétration par colorant (Dye Test)

L'évaluation de l'étanchéité par un test d'infiltration est une méthode simple à mettre en œuvre. (51)

La technique de pénétration par colorant consiste à mesurer de façon linéaire la pénétration d'un colorant entre les parois canalaire et le matériau grâce au phénomène de capillarité. La solution utilisée doit contenir des molécules suffisamment petites, ayant un faible poids moléculaire, pour pénétrer un scellement imparfait. (52)

Tous les échantillons, mis à part ceux servant de contrôle, sont trempés dans une solution de **nitrate d'argent** AgNO_3 à 50% pendant **une heure** en **l'absence de lumière**.

Les échantillons sont ensuite rincés à l'eau distillée pour éliminer l'argent de surface puis immergés dans un révélateur photo (Dektol – Kodak – Brazil) et exposés à la lumière pendant 24 heures.

Pour terminer, ils sont rincés à l'eau distillée.

1.7. Réalisation des coupes

Les échantillons sont inclus dans une résine polyester d'inclusion (RESIPOL – Neovents) de manière à standardiser les coupes lors de la découpe et ne pas dégrader les échantillons (parois radiculaires fines).

Les coupes sont réalisées perpendiculairement à l'axe de la racine à 1 et 3 mm de l'apex, au moyen d'une scie circulaire et d'un système de refroidissement à eau.

1.8. Analyse au microscope optique

Les coupes obtenues sont examinées au microscope optique avec un grossissement x16 pour enregistrer les résultats obtenus par le test de pénétration.

Chaque coupe est photographiée puis analysée par deux opérateurs de manière indépendante afin de déterminer la présence d'une infiltration.

Le nitrate d'argent, lorsqu'il est infiltré et traité par la lumière, donne une coloration bleu foncé voir noire ce qui met en évidence le manque d'étanchéité.

Nous avons choisi d'attribuer un score qualitatif pour chaque coupe :

- Score 0 : absence d'infiltration (étanchéité parfaite) ;
- Score 1 : infiltration qui concerne le quart des contours canalaires
- Score 2 : infiltration qui concerne jusqu'à la moitié des contours canalaires ;
- Score 3 : infiltration qui concerne plus de la moitié des contours canalaires mais moins des trois quarts ;
- Score 4 : infiltration totale qui concerne tous les contours canalaires.



Figure n°18 : Photographie de la coupe 1-15-3 sous microscope optique (x16) – Score 0



Figure n°19 : Photographie de la coupe 1-8-3 sous microscope optique (x16) – Score 1

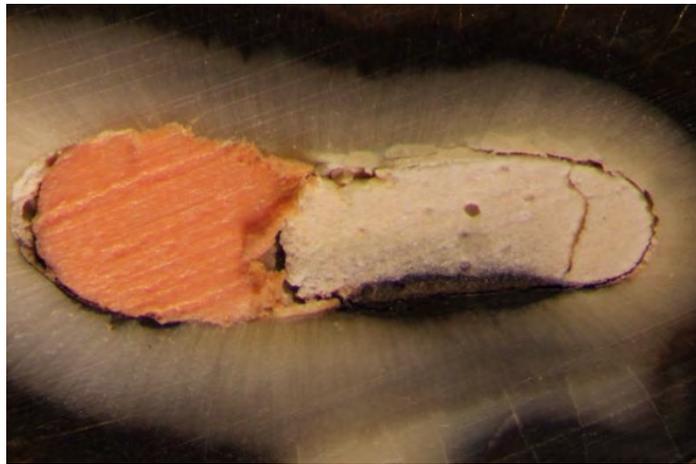


Figure n°20 : Photographie de la coupe 2-14-3 sous microscope optique (x16) – Score 2



Figure n°21 : Photographie de la coupe 1-8-1 sous microscope optique (x16) – Score 3

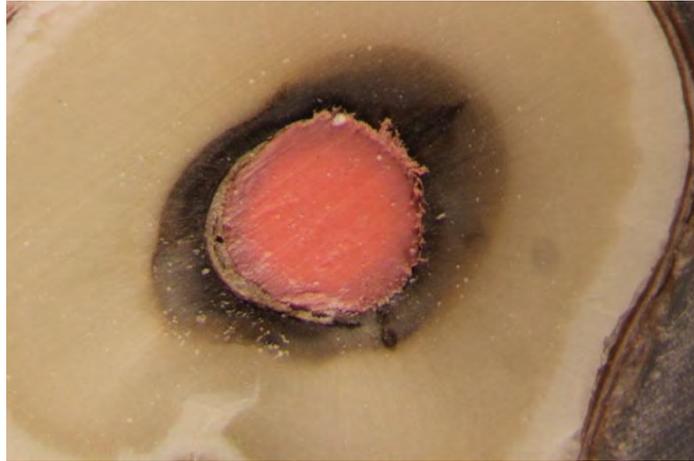


Figure n°22 : Photographie de la coupe 2-1-3 sous microscope optique (x16) – Score 4

1.9. Analyse au microscope électronique à balayage (MEB) combiné à la spectroscopie à rayons X à dispersion d'énergie (EDS)

La microscopie électronique à balayage est une technique capable de produire des images de haute résolution à partir d'un échantillon en utilisant le principe des interactions entre les électrons et la matière.

Un faisceau très fin d'électrons, monocinétique, balaie la surface de l'échantillon où se produisent des interactions dont l'intensité de rayonnement émise en chaque point est détectée par un capteur.

Combinée avec un détecteur EDS (Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy), l'analyse par microscopie électronique à balayage permet de mener une identification élémentaire de presque tout le tableau périodique des éléments. En effet, chaque rayon X produit lors de l'impact du faisceau d'électrons sur l'échantillon est caractéristique d'un élément présent.
(53)

L'analyse au microscope électronique à balayage (JSM-5310LV Scanning Microscope) a pour but de confirmer les scores déterminés au microscope optique. Seule les coupes qui ont posé

un problème d'interprétation (Groupe 1 à 3 mm : échantillons 3, 4, 7, 8 et 10 ; Groupe 2 à 3 mm : échantillons 9 et 12) sont examinées.

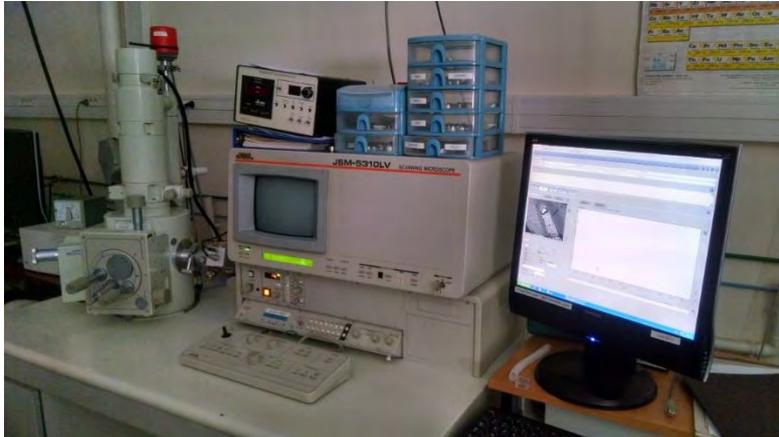


Figure n°23 : Microscope électronique à balayage à l'INSA Toulouse (JSM-5310LV Scanning Microscope)

Les échantillons sont placés sur un support métallique et la résine est recouverte d'une couche de carbone pour assurer la conductibilité de toute la surface de l'échantillon. En effet, la résine est un matériau isolant qui ne permet pas aux électrons de la traverser et qui empêchent ainsi une bonne lecture de l'image.

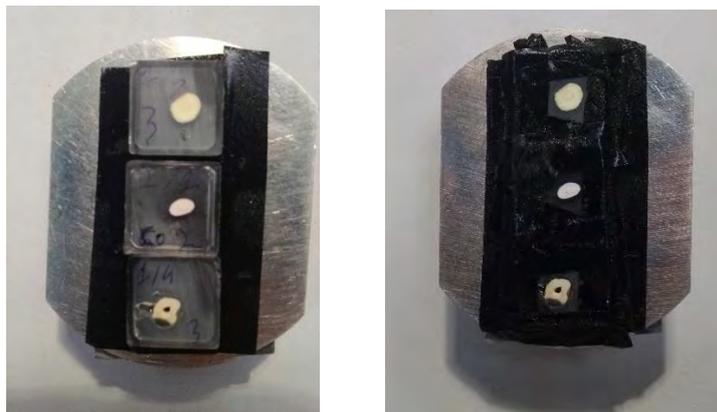


Figure n°24 : Photographie des échantillons sur le support métallique avant analyse au MEB

Les échantillons sont ensuite placés à l'intérieur du microscope électronique.

Des régions et points d'intérêts sont sélectionnés au niveau des zones où la présence d'une infiltration n'a pas pu être confirmée : à l'interface ciment-dent, au sein de la masse de ciment, dans les tubulis dentinaires.

La spectroscopie à rayon X va rechercher la présence ou l'absence d'argent dans ces régions d'intérêts.

Grâce à ce procédé, il est possible de confirmer ou non la présence d'une infiltration et ainsi confirmer les scores. (cf annexes)

L'ensemble des résultats obtenus est ensuite analysé statistiquement.

Exemple de l'échantillon 1-3-3 :

Dans ce cas, le score peut soit être 0 soit 3.



Figure n°25 : Photographie de la coupe observée au microscope optique (x16)

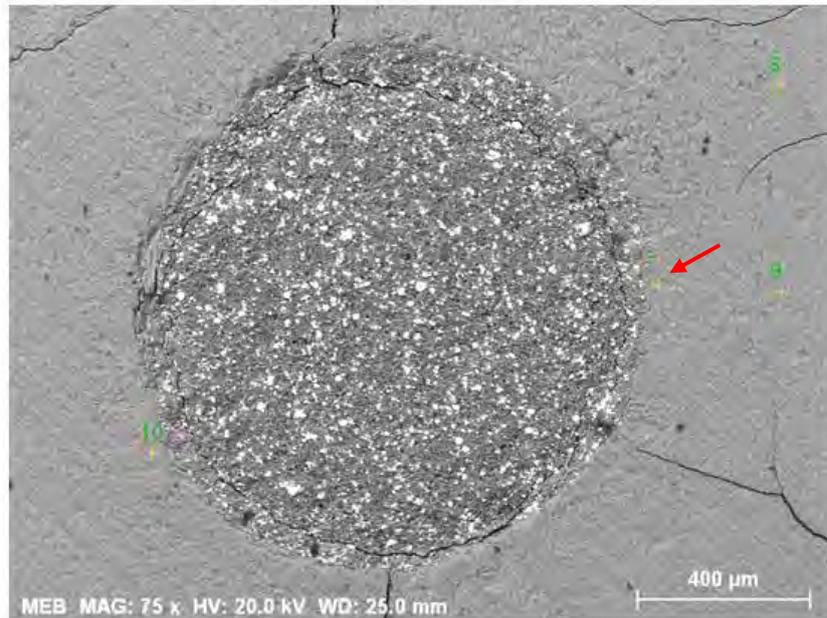


Figure n°26 : Image au MEB de cette coupe

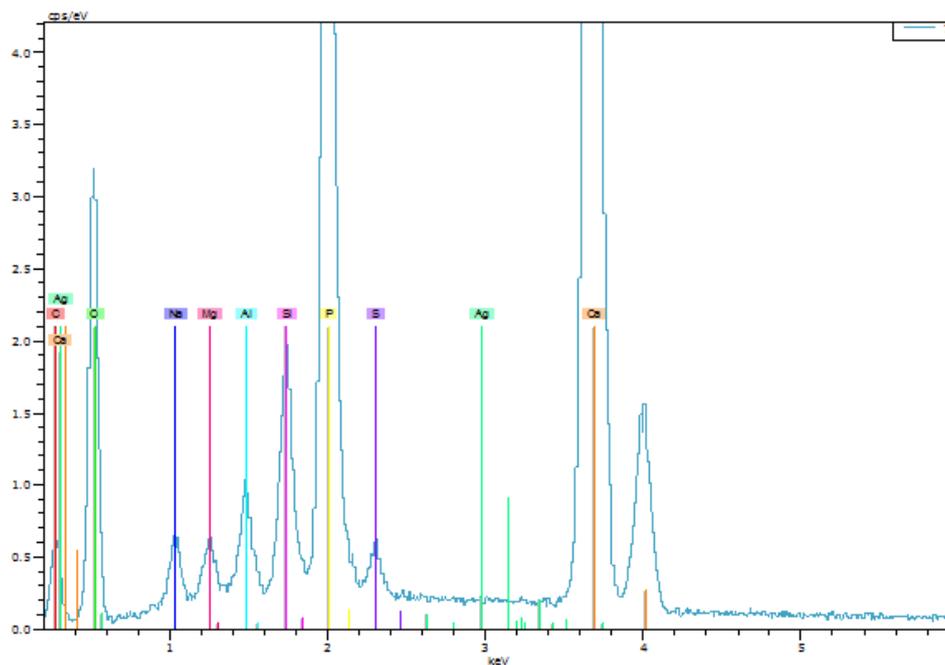


Figure n°27 : Résultat de l'analyse par spectroscopie à rayon X

Après la sélection des points d'intérêts, nous obtenons les résultats de l'analyse par spectroscopie à rayons X suivants : il n'y a pas de trace d'argent au niveau des points situés à l'interface de la dent et de l'obturation. Nous pouvons donc en conclure à une absence d'infiltration pour cette coupe, le score est de 0.

2. Résultats

2.1. Tableau des scores obtenus

Les résultats obtenus sont sous forme de tableaux Excel qui regroupent le score d'infiltration de chaque échantillon à 1 mm et 3 mm, pour les deux examinateurs.

Pour les coupes à 1 mm, nous observons que presque toutes ont été infiltrées par le nitrate d'argent que ce soit pour le groupe n°1 obturé au MTA ou le groupe n°2 obturé avec la biocéramique.

En revanche, nous pouvons constater que sur les coupes à 3 mm, le groupe n°1 (MTA) comporte plus de coupes étanches que le groupe n°2 (cône moulé et biocéramique - BC).

N° dent	Evaluateur n°1		Evaluateur n°2	
	MTA	BC	MTA	BC
1	4	4	4	4
2	4	4	4	4
3	4	4	4	4
4	1	4	1	4
5	0	2	0	2
6	1	3	4	4
7	3	3	4	4
8	4	4	4	4
9	2	2	4	4
10	2	1	3	4
11	3	3	3	4
12	2	2	4	4
13	2	3	3	4
14	3	3	4	4
15	3	2	4	4

Tableau n°4 : *Tableau des scores des coupes à 1 mm pour les deux évaluateurs*

N° dent	Evaluateur n°1		Evaluateur n°2	
	MTA	BC	MTA	BC
1	3	4	3	4
2	0	1	0	1
3	0	2	0	3
4	1	3	0	0
5	0	0	0	0
6	3	4	4	4
7	1	4	1	4
8	1	4	1	4
9	1	1	2	0
10	0	3	1	4
11	0	3	0	3
12	0	0	0	0
13	0	3	0	4
14	2	2	3	2
15	0	1	0	1

Tableau n°5 : Tableau des scores des coupes à 3 mm pour les deux évaluateurs

2.2. Analyse statistique

Dans un premier temps, nous avons réalisé le test kappa pour calculer l'accord inter-opérateur ; l'analyse ayant été faite par deux évaluateurs.

Nous avons ensuite procédé au test de Fisher pour comparer les résultats obtenus et ainsi accepter ou réfuter notre hypothèse nulle.

2.2.1. Le Test Kappa : analyse de l'accord inter-opérateur

Nous calculons la valeur de kappa (compris entre -1 et 1) afin d'évaluer la concordance des résultats entre les deux évaluateurs pour chaque groupe à 1 et 3 mm :

- < 0 : désaccord ;
- Entre 0 et 0,2 : accord très faible ;
- Entre 0,21 et 0,4 : accord faible ;
- Entre 0,41 et 0,6 : accord modéré ;
- Entre 0,61 et 0,8 : accord fort ;
- Entre 0,81 et 1 : accord presque parfait.

Nous remplissons la table de contingence suivante :

		Evaluateur n°1		
		Score 0	Score 1, 2, 3, 4	TOTAL
Evaluateur n°2	Score 0	A	C	
	Score 1, 2, 3, 4	B	D	
	TOTAL			

Les cases A et D correspondent à l'accord entre les évaluateurs 1 et 2 et les cases B et C montrent le désaccord.

- **Résultats pour le groupe 1 à 1 mm :**

		Evaluateur n°1		
		Score 0	Score 1, 2, 3, 4	TOTAL
Evaluateur n°2	Score 0	1	0	1
	Score 1, 2, 3, 4	0	14	14
	TOTAL	1	14	15

La valeur de Kappa est égale à 1. Les deux évaluateurs sont en accord parfait.

- Résultats pour le groupe 1 à 3 mm :

		Evaluateur n°1		
		Score 0	Score 1, 2, 3, 4	TOTAL
Evaluateur n°2	Score 0	7	1	8
	Score 1, 2, 3, 4	1	6	7
	TOTAL	8	7	15

La valeur de Kappa est égale à 0,73. L'accord entre les deux évaluateurs est fort.

- Résultats pour le groupe 2 à 1 mm :

		Evaluateur n°1		
		Score 0	Score 1, 2, 3, 4	TOTAL
Evaluateur n°2	Score 0	0	0	0
	Score 1, 2, 3, 4	0	15	15
	TOTAL	0	15	15

La valeur de Kappa ne peut être calculée dans ce cas car lors du remplissage du tableau il n'y a que des 0 sur une même colonne et une même ligne.

Cependant, les deux examinateurs ont constaté que tous les échantillons ont été infiltrés, l'accord est donc considéré comme parfait.

- **Résultats pour le groupe 2 à 3 mm :**

		Evaluateur n°1		
		Score 0	Score 1, 2, 3, 4	TOTAL
Evaluateur n°2	Score 0	2	2	4
	Score 1, 2, 3, 4	0	11	11
	TOTAL	2	13	15

La valeur de Kappa est égale à 0,595. L'accord entre les deux évaluateurs est modéré.

Nous pouvons donc en conclure que l'accord entre les deux évaluateurs est cohérent.

2.2.2. Le test exact de Fisher

Le test exact de Fisher va nous permettre de valider ou réfuter notre hypothèse nulle de départ et ainsi déterminer s'il existe une supériorité d'une méthode par rapport à une autre.

Pour chaque groupe, on compte le nombre de fois où la valeur 0, qui correspond à une étanchéité parfaite, a été observée et le nombre de fois où la valeur est différente de 0, c'est-à-dire où l'on constate un manque d'étanchéité.

On obtient ainsi la valeur de la p-value :

- Si elle est supérieure à 0,05 : il n'y a pas de différence significative entre les deux méthodes ;
- Si elle est inférieure à 0,05 : il existe une différence significative entre les deux méthodes.

- **Pour l'évaluateur n°1 :**

A 1 mm :

	Groupe n°1	Groupe n°2
Score 0	1	0
Autre	14	15

La p-value est égale à 1. Il n'y a donc pas de différence significative entre le groupe n°1 et le groupe n°2.

A 3 mm :

	Groupe n°1	Groupe n°2
Score 0	8	2
Autre	7	13

La p-value est égale à 0,05. On est à la limite de l'existence d'une différence significative entre les deux groupes. Ici on peut interpréter ce résultat par une tendance à la supériorité vers le groupe n°1, mais cela reste non-significatif.

- **Pour l'évaluateur n°2 :**

A 1 mm :

	Groupe n°1	Groupe n°2
Score 0	1	0
Autre	14	15

La p-value est égale à 1. Il n'y a donc pas de différence significative entre le groupe n°1 et le groupe n°2.

A 3 mm :

	Groupe n°1	Groupe n°2
Score 0	8	4
Autre	7	11

La p-value est égale à 0,26. Il n'y a donc pas de différence significative entre le groupe n°1 et le groupe n°2.

Toutes les valeurs obtenues sont supérieures à 0,05. La supériorité d'une méthode sur l'autre n'est pas prouvée statistiquement.

Cependant pour la valeur de l'évaluateur n°1 à 3 mm, on est à la limite d'une différence significative.

3. Discussion

3.1. Discussion matériels et méthodes

3.1.1. Sélection et préparation des dents

34 dents ont été sélectionnées. Un nombre d'échantillon plus grand nous aurait peut-être permis de conclure de manière significative à 3 mm.

3.1.2. Mise en forme

La mise en forme des canaux s'est réalisée uniquement de manière chimique afin de ne pas fragiliser d'avantage les parois radiculaires.

3.1.3. Obturation du groupe n°1

Lors de l'obturation au MTA, nous avons constaté la fracture de deux apex nous obligeant à re-préparer deux nouveaux échantillons.

Ces fractures sont liées à la fragilité des parois canales mais surtout au fait que nous travaillons sur des dents extraites dans des conditions in-vitro.

3.1.4. Obturation du groupe n°2

Pour l'obturation de groupe n°2 avec le cône moulé et la biocéramique, nous avons rencontré plusieurs difficultés.

Tout d'abord, la fabrication du cône moulé n'est pas aisée pour un opérateur peu expérimenté. Toutefois, cette technique présente une courbe d'apprentissage rapide et devient ainsi relativement facile à réaliser.

La biocéramique choisie, BioRoot® RCS (Septodont – USA), n'a pas été simple à manipuler de par sa consistance solide, difficile à mettre en place dans le canal.

Une biocéramique conditionnée sous une autre forme, comme par exemple une seringue pré-mélangée, aurait peut-être été plus facile à manipuler et ainsi entrainer de meilleurs résultats pour cette méthode.

On peut également noter que le pré-dosage de ce produit n'est pas bien adapté pour l'obturation d'une seule dent : il donne une quantité importante de matériau et entraîne ainsi en clinique du gaspillage.

3.1.5. Réalisation du test de pénétration par colorant (Dye Test)

Un délai de 1 mois a été respecté avant de réaliser le test afin de s'assurer que la prise du MTA et de la biocéramique soit complète.

Le choix du colorant s'est porté sur le nitrate d'argent (pH = 6) car il permet une interprétation facile de l'infiltration par un contraste important avec la dent et les matériaux d'obturation (zone infiltrée en bleu foncé). Il nous offre également la possibilité d'évaluer l'infiltration au microscope électronique à balayage (MEB). (54)

Le pH du nitrate d'argent est légèrement acide. Il existe ainsi un risque d'interactions avec le ciment de scellement biocéramique ou le MTA. (48)

D'autres méthodes d'évaluation auraient pu être envisageables comme une mesure des fluides sous pression ou encore le test de pénétration bactérienne.

3.1.6. Réalisation des coupes

Afin de ne pas contaminer les coupes avec le nitrate d'argent lors de la coupe, un surfaçage de chaque dent aurait été nécessaire pour éliminer les particules résiduelles.

3.1.7. Analyse au microscope optique

L'interprétation des coupes a parfois été difficile. En effet, nous avons observé sur certaines coupes une coloration venant de l'extérieur qui a pu perturber nos scores.

La présence de cette coloration peut s'expliquer soit par la détérioration du vernis sur la face externe des racines probablement lié au milieu de conservation des échantillons, soit par la présence des fractures et fêlures.

3.1.8. Analyse au microscope électronique à balayage combiné à la spectroscopie à rayons X à dispersion d'énergie

L'analyse par microscope électronique à balayage et spectroscopie à rayons X est indiquée pour apporter une information supplémentaire.

C'est pourquoi nous avons utilisé ce procédé uniquement pour les coupes où l'interprétation était difficile.

3.2. Discussion résultats

Le test exact de Fisher ne nous a pas permis de conclure de manière significative sur la supériorité de la technique du bouchon de MTA par rapport à l'obturation associant le cône moulé et la biocéramique.

En effet, il existe une supériorité de la technique avec le MTA à 3 mm par rapport à la biocéramique mais non prouvée statistiquement : nous sommes à la limite d'une différence significative, probablement liée à un manque de puissance.

Conclusion

Cette étude a permis d'évaluer la qualité de l'étanchéité apicale pour deux techniques d'obturation des apex largement ouverts.

Les deux techniques testées dans cette étude ne sont pas suffisantes pour garantir une bonne étanchéité apicale.

La complexité anatomique des apex ouverts rend difficile la réalisation d'une obturation complètement étanche. À 1 mm, ni le MTA ni la biocéramique ne garantissent une étanchéité apicale optimale. Cependant on peut noter à 3 mm que le MTA assure une meilleure étanchéité.

Toutefois, aucune différence significative de supériorité entre ces deux techniques n'a pu être mise en évidence, ni à 1 mm, ni à 3 mm.

La technique du cône moulé associée à la biocéramique peut être considérée comme une alternative au bouchon de MTA pour l'obturation des apex largement ouverts vu qu'aucune technique n'a démontré sa supériorité par rapport à l'autre.

En effet cette alternative est facile à mettre en œuvre, se réalise en une seule séance et ne nécessite pas de matériel spécifique contrairement au protocole utilisant le MTA.

CONCLUSION

L'obturation des apex largement ouverts impose l'utilisation de techniques et de matériaux spécifiques pour s'adapter aux conditions cliniques et biologiques particulières de ce type de cas.

L'objectif est de parvenir à un scellement hermétique et durable de l'endodonte afin d'obtenir une cicatrisation péri radiculaire et prévenir une contamination bactérienne secondaire.

En conclusion de notre étude, nous pouvons proposer une alternative au gold standard actuel (apexification au MTA) : réaliser un cône moulé avec la biocéramique comme ciment de scellement.

Nous pouvons également noter qu'aucune technique ne permet d'obtenir une étanchéité parfaite dans tous nos cas.

Cependant, toutes ces techniques ne permettent pas une édification radiculaire physiologique. Les évolutions technologiques et notamment l'ingénierie tissulaire avec la revascularisation nous le permettent mais il n'existe pas encore de compromis sur un protocole bien défini, et le recul clinique reste faible. L'avenir semble tout de même prometteur.

Le président du jury :

Pr Franck DIEMER

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'F. Diemer', written in a cursive style.

Le directeur de thèse :

Dr Rami HAMDAN

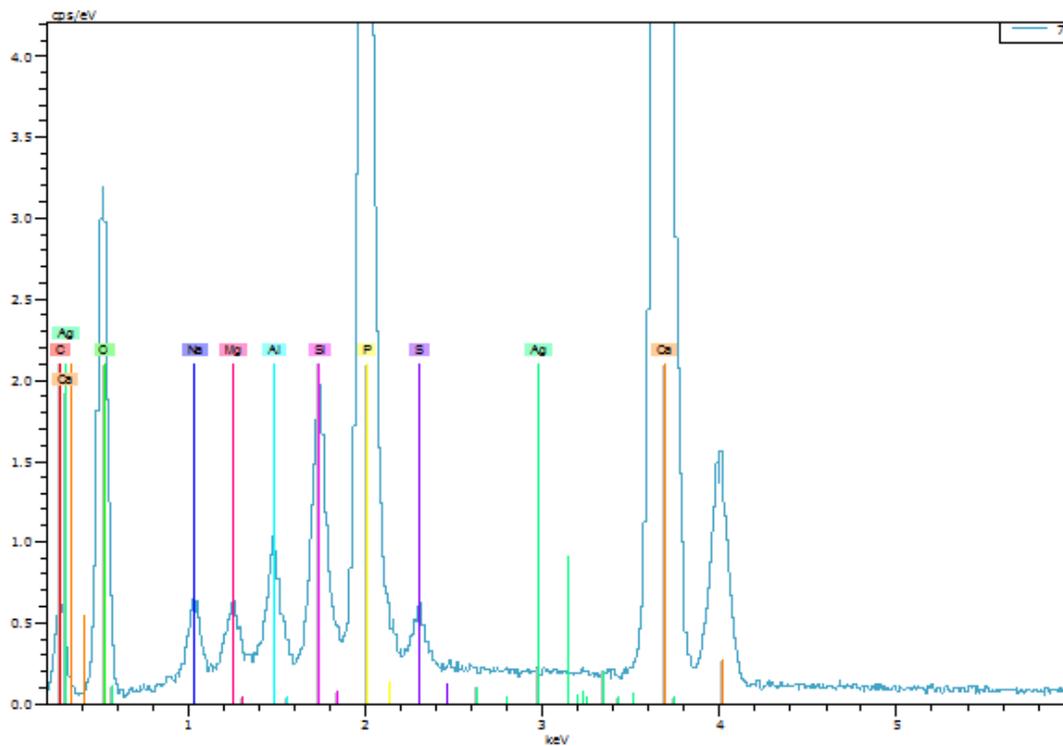
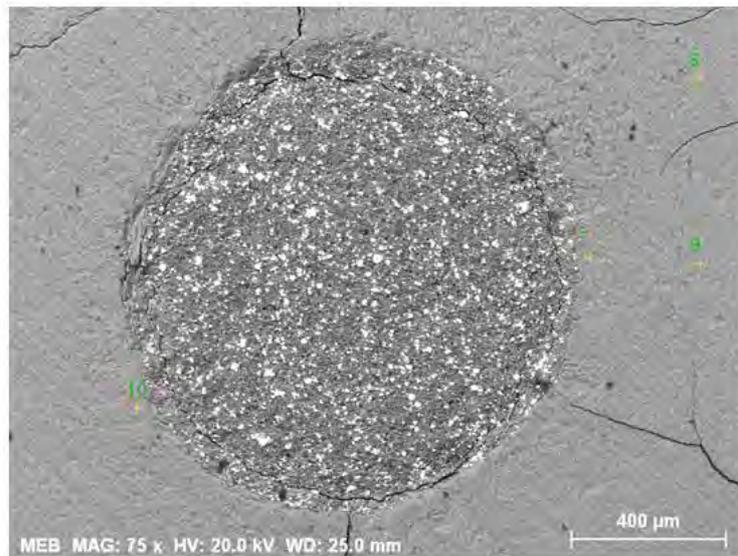
A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Rami Hamdan', written in a cursive style.

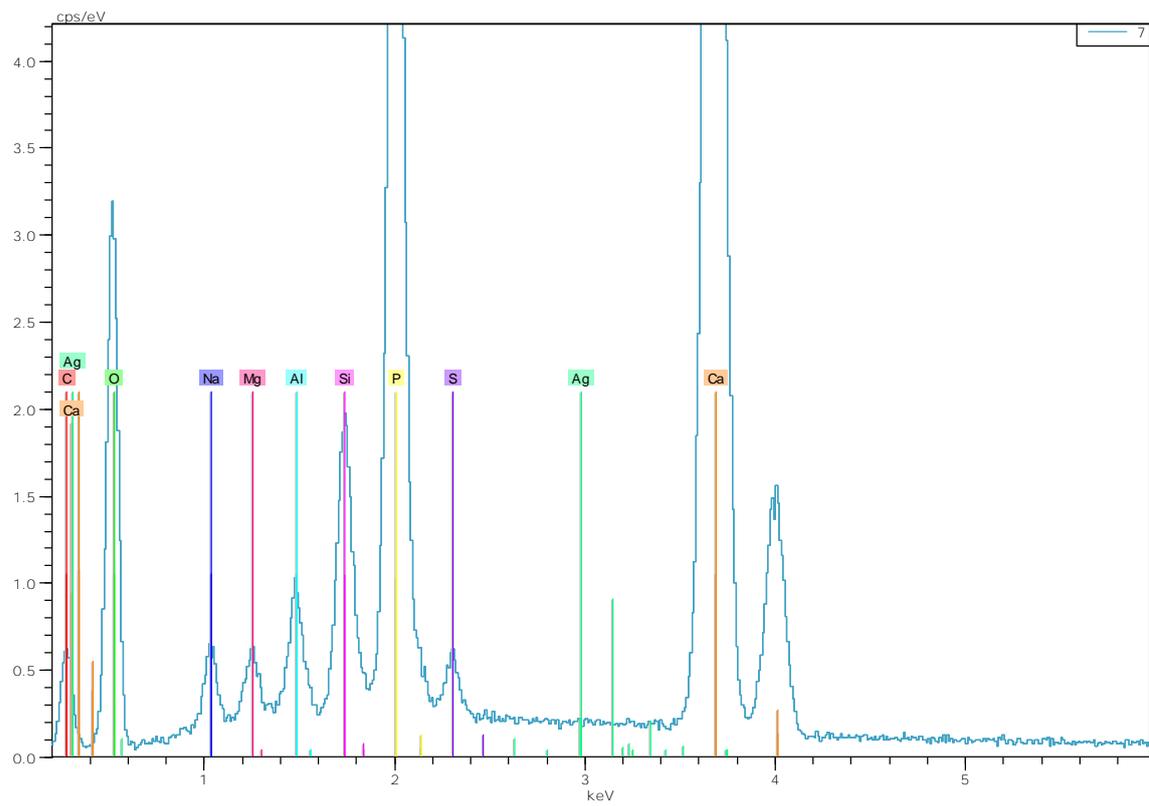
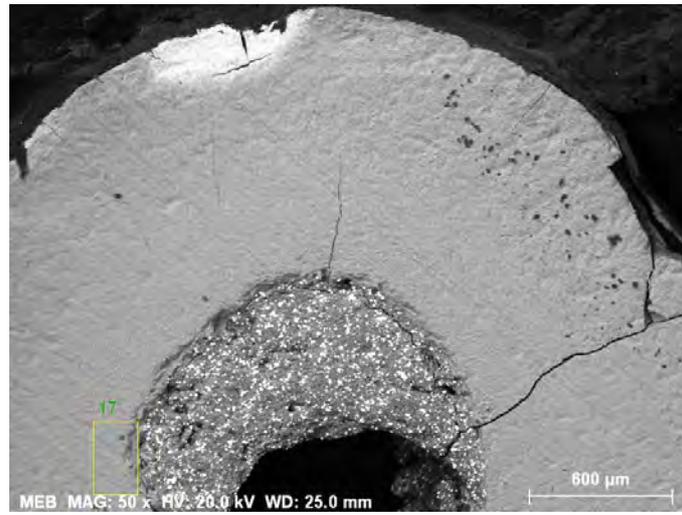
ANNEXES

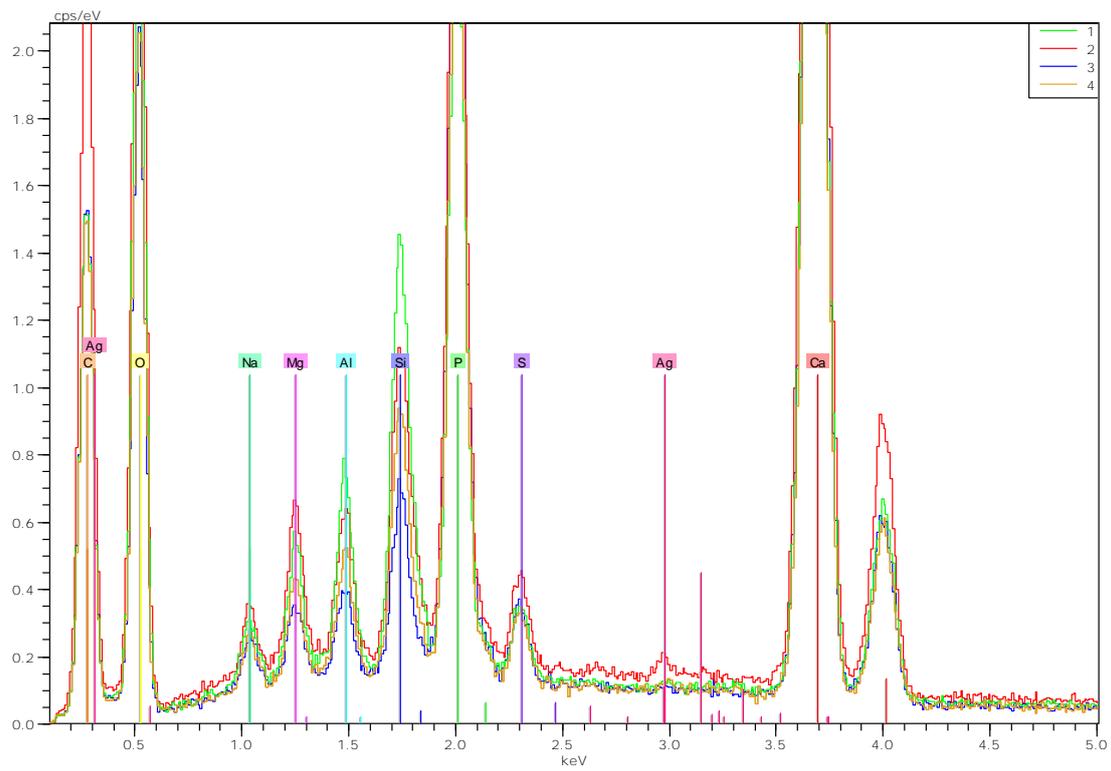
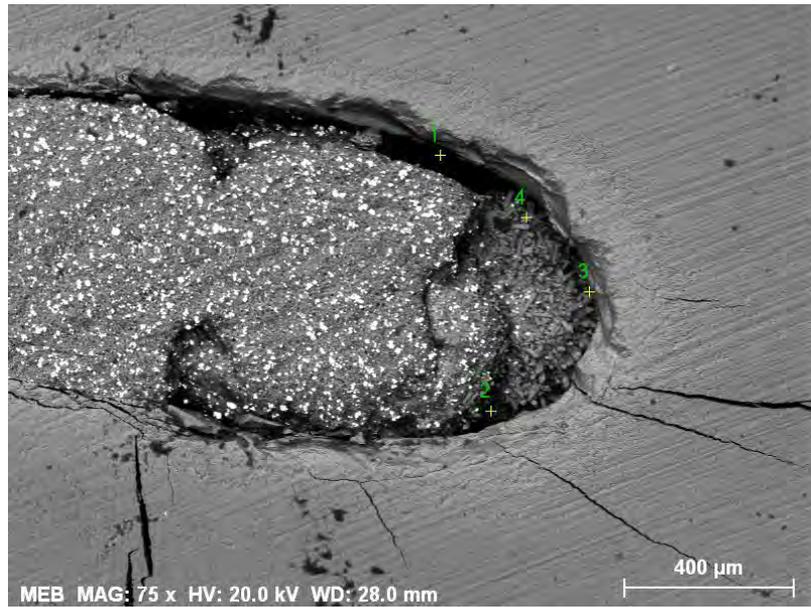
Résultats de l'analyse au microscope électronique à balayage et de la spectroscopie à rayons X à dispersion d'énergie

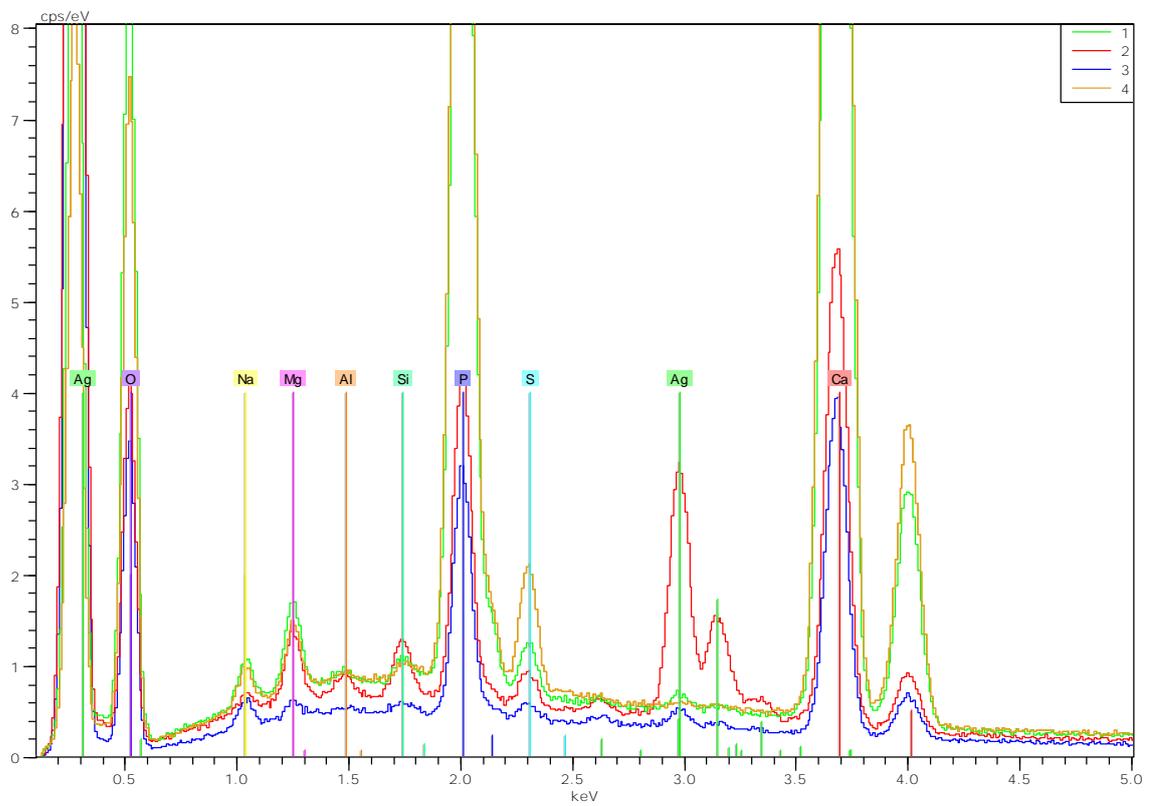
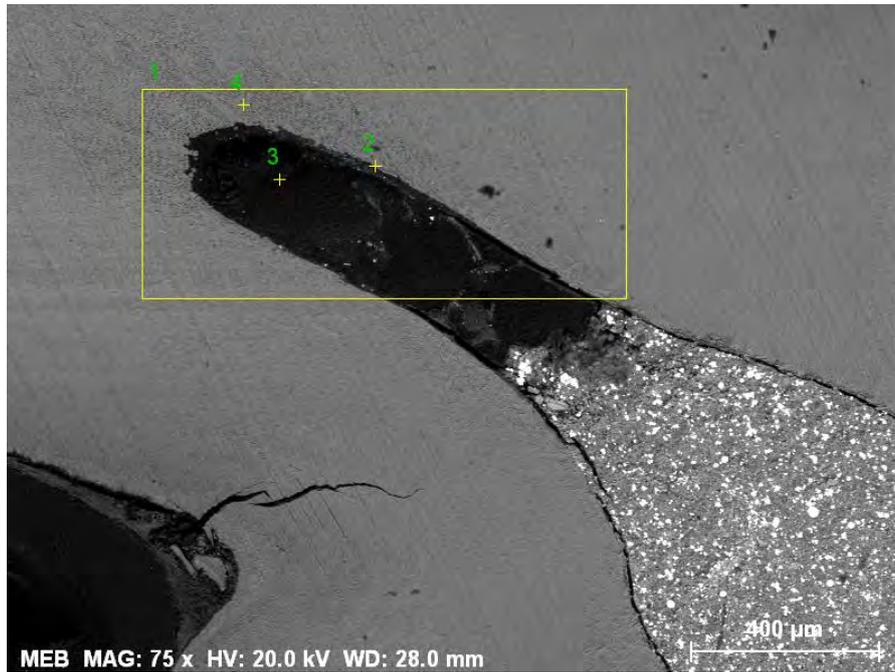


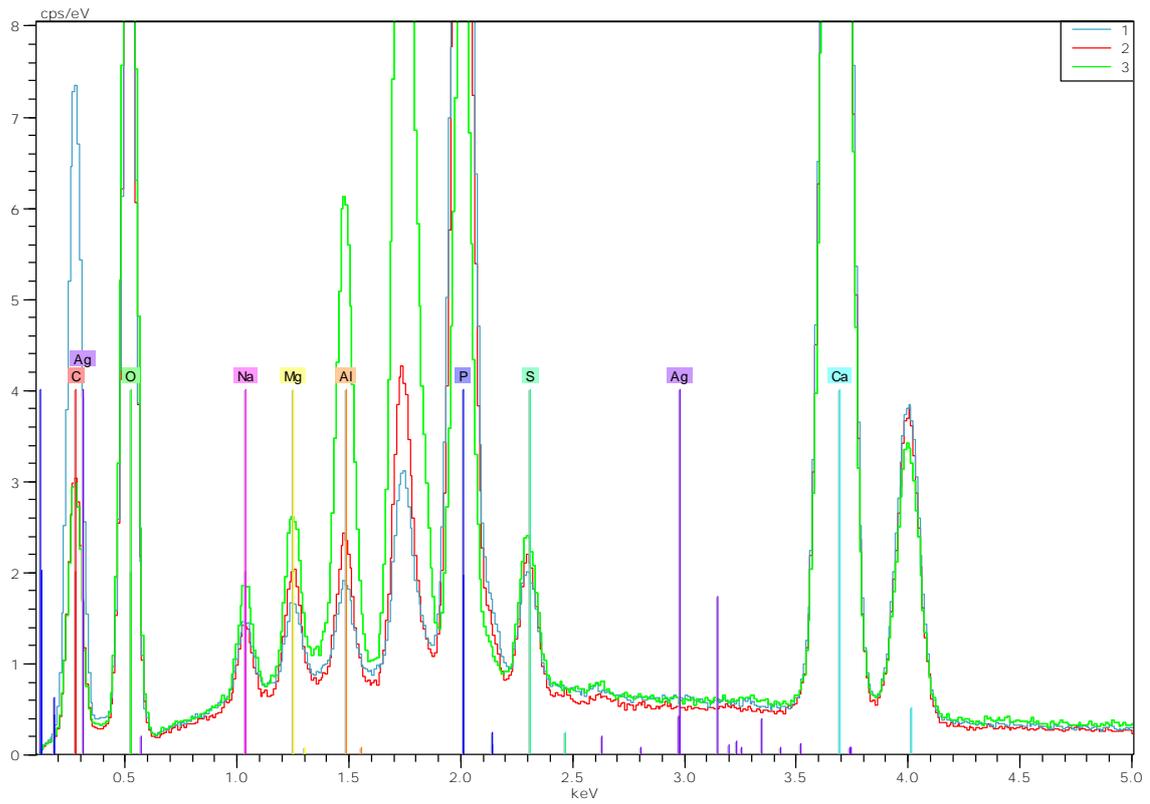
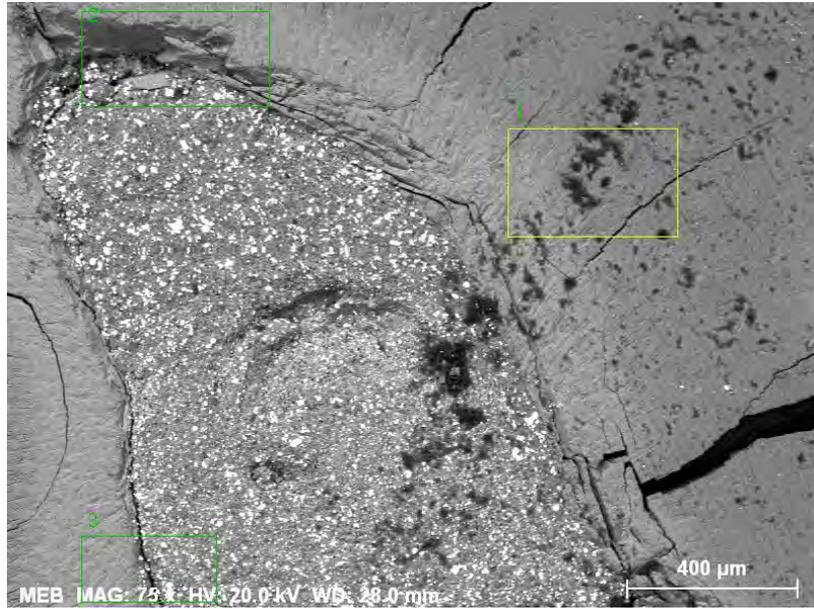
Coupe 1-3-3 :

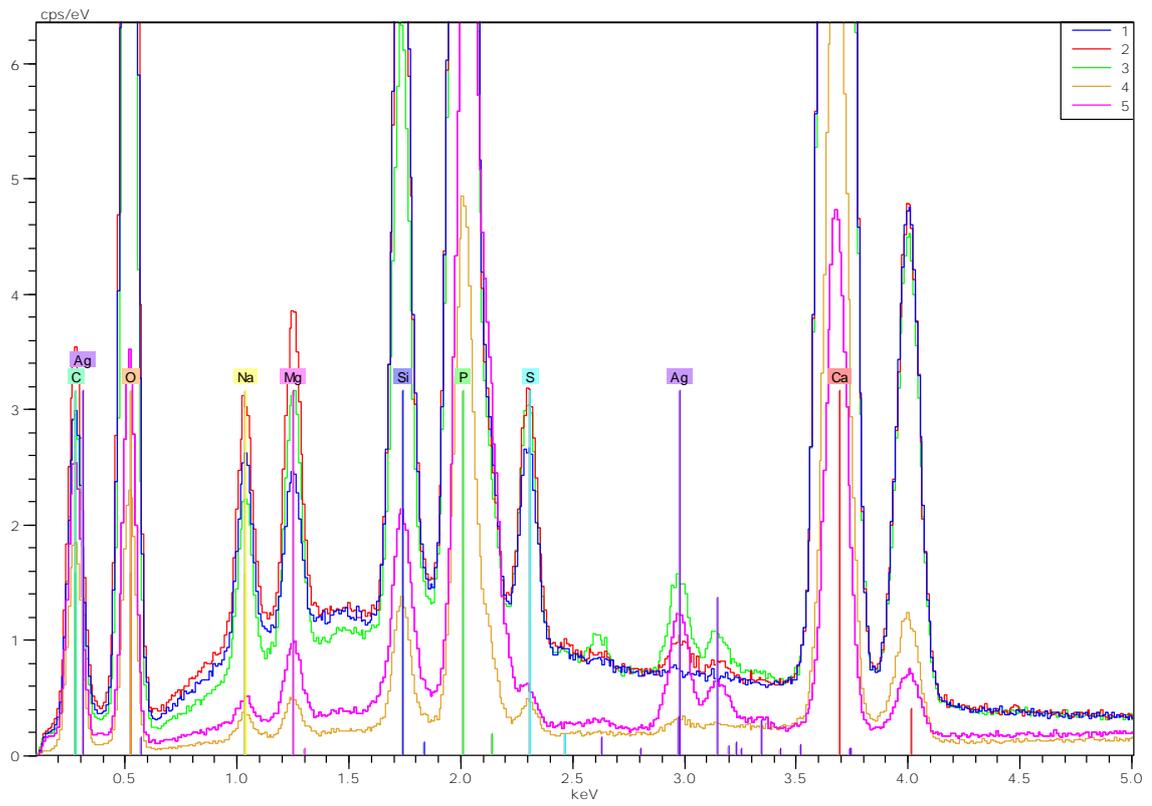
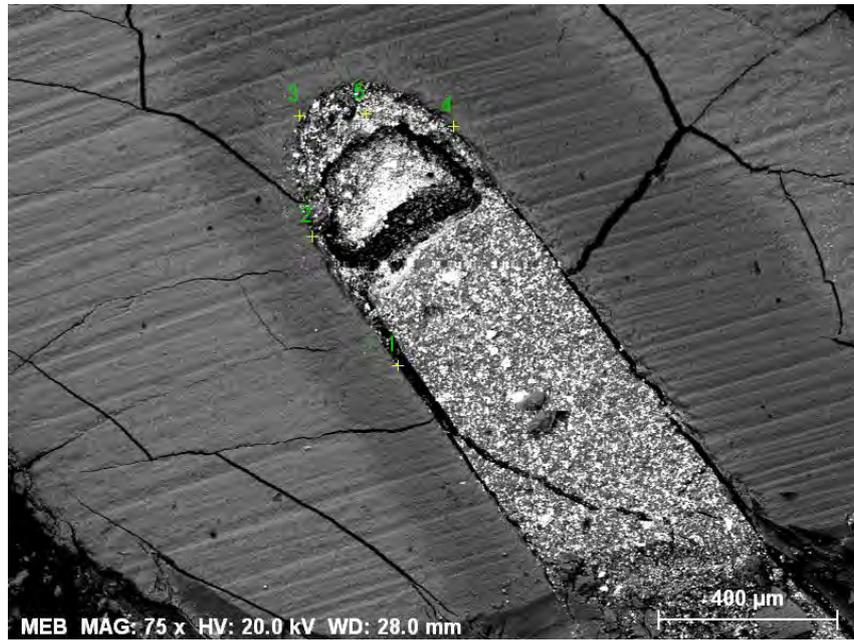


Coupe 1 – 4 – 3 :

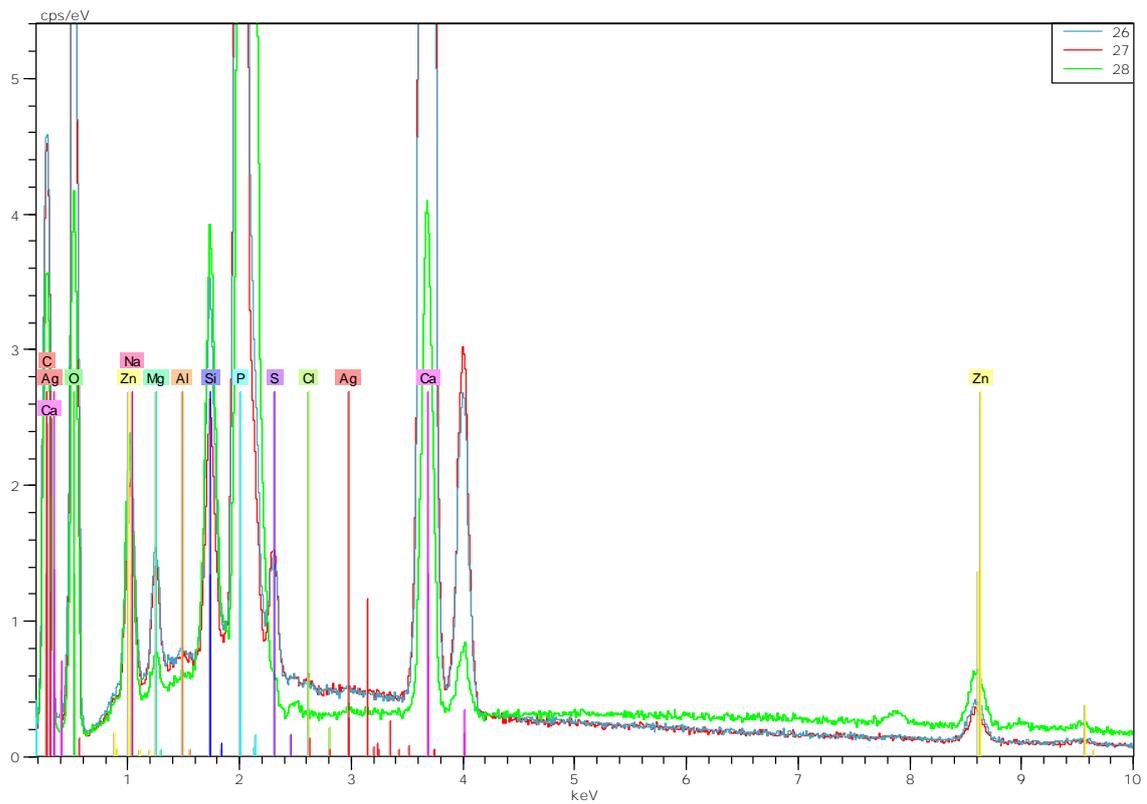
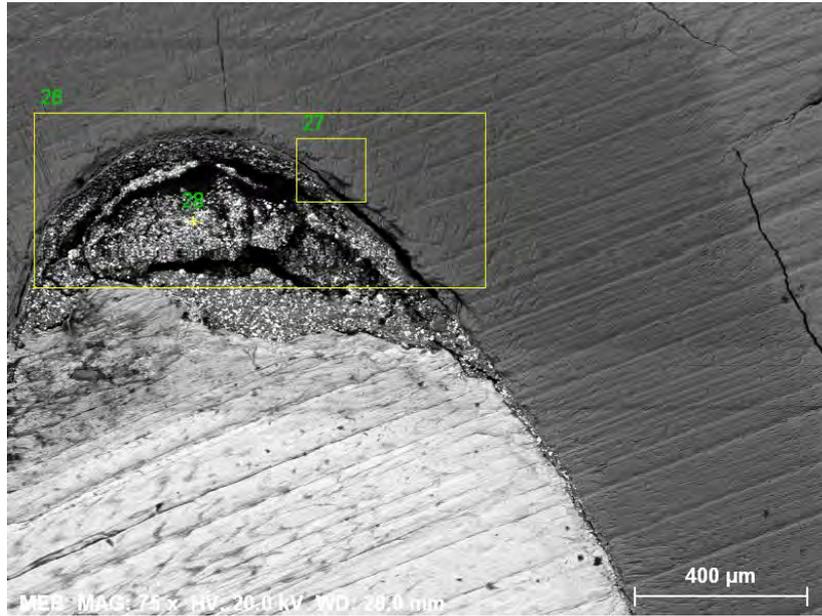
Coupe 1-7-3 :

Coupe 1 – 8 – 3 :

Coupe 1 – 10 – 3 :

Coupe 2-9-3 :

Coupe 2 – 12 – 3 :



BIBLIOGRAPHIE

1. Société Francophone de Biomatériaux Dentaires - F. JORDANA, PH. CHOUSSAT, J. COLAT-PARROS. La Gutta Percha [Internet]. 2009 [cited 2016 Sep 13]. Available from: <http://campus.cerimes.fr/odontologie/enseignement/chap20/site/html/cours.pdf>
2. Le traitement des dents permanentes immatures [Internet]. [cited 2016 Sep 14]. Available from: <http://fr.slideshare.net/pathologistebuccodentaire/apexogense-et-apexification>
3. Themes UFO. 9: Problem Solving in Working Length Determination | Pocket Dentistry [Internet]. [cited 2016 Jun 9]. Available from: <http://pocketdentistry.com/9-problem-solving-in-working-length-determination/>
4. Pommel L., Pertot W.J. Endodontie. In: ed CDP. 2012.
5. Kerezoudis NP, Valavanis D, Prountzos F. A method of adapting gutta-percha master cones for obturation of open apex cases using heat. *Int Endod J.* 1999 Jan;32(1):53–60.
6. Commission des dispositifs médicaux de l'ADF. Obturation canalair. 2014. (Dossier de l'ADF).
7. Collège National des Enseignants en Odontologie Conservatrice et Endodontie. Dictionnaire francophone des termes d'odontologie conservatrice. Espace id Ed. Paris; 2010.
8. Bakland LK, Andreasen JO. Will mineral trioxide aggregate replace calcium hydroxide in treating pulpal and periodontal healing complications subsequent to dental trauma? A review. *Dent Traumatol Off Publ Int Assoc Dent Traumatol.* 2012 Feb;28(1):25–32.
9. Torabinejad M, Abu-Tahun I. Management of teeth with necrotic pulps and open apices. *Endod Top.* 2010 Sep 1;23(1):105–30.
10. Rafter M. Apexification: a review. *Dent Traumatol Off Publ Int Assoc Dent Traumatol.* 2005 Feb;21(1):1–8.
11. Abbott PV. Apexification with calcium hydroxide--when should the dressing be changed? The case for regular dressing changes. *Aust Endod J J Aust Soc Endodontology Inc.* 1998 Apr;24(1):27–32.
12. Andreasen JO, Farik B, Munksgaard EC. Long-term calcium hydroxide as a root canal dressing may increase risk of root fracture. *Dent Traumatol Off Publ Int Assoc Dent Traumatol.* 2002 Jun;18(3):134–7.
13. Yassen GH, Platt JA. The effect of nonsetting calcium hydroxide on root fracture and mechanical properties of radicular dentine: a systematic review. *Int Endod J.* 2013 Feb;46(2):112–8.
14. Doyon GE, Dumsha T, von Fraunhofer JA. Fracture resistance of human root dentin exposed to intracanal calcium hydroxide. *J Endod.* 2005 Dec;31(12):895–7.
15. Lin J-C, Lu J-X, Zeng Q, Zhao W, Li W-Q, Ling J-Q. Comparison of mineral trioxide aggregate and calcium hydroxide for apexification of immature permanent teeth: A systematic review and meta-analysis. *J Formos Med Assoc Taiwan Yi Zhi.* 2016 Feb 22;
16. Shimizu E, Ricucci D, Albert J, Alobaid AS, Gibbs JL, Huang GT-J, et al. Clinical, radiographic, and histological observation of a human immature permanent tooth with chronic apical abscess after revitalization treatment. *J Endod.* 2013 Aug;39(8):1078–83.

17. Vianney DESCROIX, Frédéric RILLIARD, François BRONNEC, Kazutoyo YASUKAWA, Wilhelm-J PERTOT. Médicaments et dispositifs médicaux en endodontie. Dossier de l'ADF; 2008. (Dossier de l'ADF).
18. Torabinejad M, Hong CU, McDonald F, Pitt Ford TR. Physical and chemical properties of a new root-end filling material. *J Endod.* 1995 Jul;21(7):349–53.
19. Torabinejad M, Smith PW, Kettering JD, Pitt Ford TR. Comparative investigation of marginal adaptation of mineral trioxide aggregate and other commonly used root-end filling materials. *J Endod.* 1995 Jun;21(6):295–9.
20. Pace R, Giuliani V, Nieri M, Di Nasso L, Pagavino G. Mineral trioxide aggregate as apical plug in teeth with necrotic pulp and immature apices: a 10-year case series. *J Endod.* 2014 Aug;40(8):1250–4.
21. Simon S, Rilliard F, Berdal A, Machtou P. The use of mineral trioxide aggregate in one-visit apexification treatment: a prospective study. *Int Endod J.* 2007 Mar;40(3):186–97.
22. Osorio RM, Hefti A, Vertucci FJ, Shawley AL. Cytotoxicity of endodontic materials. *J Endod.* 1998 Feb;24(2):91–6.
23. Keiser K, Johnson CC, Tipton DA. Cytotoxicity of mineral trioxide aggregate using human periodontal ligament fibroblasts. *J Endod.* 2000 May;26(5):288–91.
24. Kettering JD, Torabinejad M. Investigation of mutagenicity of mineral trioxide aggregate and other commonly used root-end filling materials. *J Endod.* 1995 Nov;21(11):537–42.
25. Torabinejad M, Parirokh M. Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review--part II: leakage and biocompatibility investigations. *J Endod.* 2010 Feb;36(2):190–202.
26. Baek S-H, Plenck H, Kim S. Periapical tissue responses and cementum regeneration with amalgam, SuperEBA, and MTA as root-end filling materials. *J Endod.* 2005 Jun;31(6):444–9.
27. Shabahang S, Torabinejad M. Treatment of teeth with open apices using mineral trioxide aggregate. *Pract Periodontics Aesthetic Dent PPAD.* 2000 Apr;12(3):315–20; quiz 322.
28. Torabinejad M, Hong CU, Pitt Ford TR, Kettering JD. Antibacterial effects of some root end filling materials. *J Endod.* 1995 Aug;21(8):403–6.
29. Hess D, Solomon E, Spears R, He J. Retreatability of a bioceramic root canal sealing material. *J Endod.* 2011 Nov;37(11):1547–9.
30. Yang Q, Troczynski T, Liu D-M. Influence of apatite seeds on the synthesis of calcium phosphate cement. *Biomaterials.* 2002 Jul;23(13):2751–60.
31. Loushine BA, Bryan TE, Looney SW, Gillen BM, Loushine RJ, Weller RN, et al. Setting properties and cytotoxicity evaluation of a premixed bioceramic root canal sealer. *J Endod.* 2011 May;37(5):673–7.
32. Zhang W, Li Z, Peng B. Assessment of a new root canal sealer's apical sealing ability. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2009 Jun;107(6):e79–82.

33. Leal F, De-Deus G, Brandão C, Luna AS, Fidel SR, Souza EM. Comparison of the root-end seal provided by bioceramic repair cements and White MTA. *Int Endod J*. 2011 Jul;44(7):662–8.
34. Candeiro GT de M, Correia FC, Duarte MAH, Ribeiro-Siqueira DC, Gavini G. Evaluation of radiopacity, pH, release of calcium ions, and flow of a bioceramic root canal sealer. *J Endod*. 2012 Jun;38(6):842–5.
35. Ree M, Schwartz R. Clinical applications of bioceramic materials in endodontics [Internet]. [cited 2016 Jun 9]. Available from: <http://endopracticeus.com/wp-content/uploads/2015/02/CE-Ree.pdf>
36. Leal F, De-Deus G, Brandão C, Luna A, Souza E, Fidel S. Similar sealability between bioceramic putty ready-to-use repair cement and white MTA. *Braz Dent J*. 2013;24(4):362–6.
37. Ma J, Al-Ashaw AJ, Shen Y, Gao Y, Yang Y, Zhang C, et al. Efficacy of ProTaper Universal Rotary Retreatment system for gutta-percha removal from oval root canals: a micro-computed tomography study.
38. Ersev H, Yilmaz B, Dincol ME, Daglaroglu R. The efficacy of ProTaper Universal rotary retreatment instrumentation to remove single gutta-percha cones cemented with several endodontic sealers. *Int Endod J* 2012.
39. Chen I, Salhab I, Setzer FC, Kim S, Nah H-D. A New Calcium Silicate-based Bioceramic Material Promotes Human Osteo- and Odontogenic Stem Cell Proliferation and Survival via the Extracellular Signal-regulated Kinase Signaling Pathway. *J Endod*. 2016 Mar;42(3):480–6.
40. Tay KCY, Loushine BA, Oxford C, Kapur R, Primus CM, Gutmann JL, et al. In vitro evaluation of a Ceramicrete-based root-end filling material. *J Endod*. 2007 Dec;33(12):1438–43.
41. Keskin C, Demiryurek EO, Ozyurek T. Color stabilities of calcium silicate-based materials in contact with different irrigation solutions. *J Endod*. 2015 Mar;41(3):409–11.
42. Lovato KF, Sedgley CM. Antibacterial activity of endosequence root repair material and proroot MTA against clinical isolates of *Enterococcus faecalis*. *J Endod*. 2011 Nov;37(11):1542–6.
43. Zhou H, Du T, Shen Y, Wang Z, Zheng Y, Haapasalo M. In vitro cytotoxicity of calcium silicate-containing endodontic sealers. *J Endod*. 2015 Jan;41(1):56–61.
44. Zhang W, Li Z, Peng B. Effects of iRoot SP on mineralization-related genes expression in MG63 cells. *J Endod*. 2010 Dec;36(12):1978–82.
45. Topçuoğlu HS, Tuncay Ö, Karataş E, Arslan H, Yeter K. In vitro fracture resistance of roots obturated with epoxy resin-based, mineral trioxide aggregate-based, and bioceramic root canal sealers. *J Endod*. 2013 Dec;39(12):1630–3.
46. Nair U, Ghattas S, Saber M, Natera M, Walker C, Pileggi R. A comparative evaluation of the sealing ability of 2 root-end filling materials: an in vitro leakage study using *Enterococcus faecalis*. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2011 Aug;112(2):e74–7.
47. Shokouhinejad N, Nekoofar MH, Ashoftehyazdi K, Zahraee S, Khoshkhounejad M. Marginal adaptation of new bioceramic materials and mineral trioxide aggregate: a scanning electron microscopy study. *Iran Endod J*. 2014;9(2):144–8.

48. Xavier CB, Weismann R, de Oliveira MG, Demarco FF, Pozza DH. Root-end filling materials: apical microleakage and marginal adaptation. *J Endod.* 2005 Jul;31(7):539–42.
49. Al-Kahtani A, Shostad S, Schifferle R, Bhambhani S. In-vitro evaluation of microleakage of an orthograde apical plug of mineral trioxide aggregate in permanent teeth with simulated immature apices. *J Endod.* 2005 Feb;31(2):117–9.
50. BioRoot™ RCS | Septodont [Internet]. [cited 2016 Aug 29]. Available from: <http://www.septodontusa.com/products/bioroot-rcs>
51. Aqrabawi J. Sealing ability of amalgam, super EBA cement, and MTA when used as retrograde filling materials. *Br Dent J.* 2000 Mar 11;188(5):266–8.
52. Olivier Emery. Evaluation de l'étanchéité des obturations endocanalisaires : revue de la littérature [Internet]. 2002 [cited 2016 Jul 29]. Available from: <http://www.sop.asso.fr/admin/documents/ros/ROS0000136/126.pdf>
53. Spectroscopie à rayons X à dispersion d'énergie, analyse EDS [Internet]. [cited 2016 Jul 28]. Available from: <http://www.eaglabs.fr/cm/eds.html>
54. Wu W, Cobb E, Dermann K, Rupp NW. Detecting margin leakage of dental composite restorations. *J Biomed Mater Res.* 1983 Jan;17(1):37–43.

**L'OBTURATION ENDODONTIQUE DES DENTS PERMANENTES A APEX
LARGEMENT OUVERT :**

**ETUDE COMPARATIVE DE L'ETANCHEITE APICALE ENTRE LA TECHNIQUE DU
CONE MOULE ASSOCIEE A LA BIOCERAMIQUE ET LE BOUCHON DE MTA**

RESUME EN FRANÇAIS :

L'obturation endodontique des dents permanentes à apex ouvert nécessite des thérapeutiques et des matériaux adaptés aux caractéristiques biologiques et cliniques de ces dents. Les nouveaux ciments de scellement biocéramique sont biocompatibles, présentent un protocole simple à mettre en œuvre, garantissent une bonne étanchéité apicale et renforcent les structures résiduelles. Notre étude clinique montre que l'utilisation de la biocéramique comme ciment de scellement associée à un cône moulé est une alternative possible à l'apexification au MTA.

TITRE EN ANGLAIS :

Root canal filling of permanent teeth with very wide apices : comparative study of apical sealing between modified single cone technique with bioceramic and MTA plug

DISCIPLINE ADMINISTRATIVE : Odontologie conservatrice, endodontie (58.01)

MOTS-CLES : apex largement ouvert, obturation, étanchéité apicale, MTA, cône moulé, biocéramique

UNTITULE ET ADRESSE DE L'U.F.R :

Université Toulouse III – Paul Sabatier
Faculté de Chirurgie Dentaire
3 Chemin des Maraîchers 31062 TOULOUSE Cedex

Directeur de thèse : Dr Rami HAMDAN