

**UNIVERSITE TOULOUSE III - PAUL SABATIER**

**FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE**

ANNEE 2015

2015 TOU3 3060

# **THESE**

Pour le

**DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE**

Présentée et soutenue publiquement par

**Frédérique HEDIGUER**

Le 03 Septembre 2015

## **ETUDE DE L'ADAPTATION MARGINALE DES OBTURATIONS A RETRO DU MTA Caps ® vs L'E-RRM®**

Directeur de thèse : Dr Franck DIEMER

### **JURY**

Président

Professeur Franck DIEMER

Assesseur

Docteur Marie GURGEL-GEORGELIN

Assesseur

Docteur Sarah DALICIEUX-LAURENCIN

Assesseur

Docteur Cédric BUORO

**UNIVERSITE TOULOUSE III - PAUL SABATIER**  
**FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE**

ANNEE 2015

2014 TOU3 3060

# **THESE**

Pour le  
DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE  
Présentée et soutenue publiquement par

**Frédérique HEDIGUER**

Le 03 Septembre 2015

## **ETUDE DE L'ADAPTATION MARGINALE DES OBTURATIONS A RETRO DU MTA Caps® vs L'E-RRM®**

Directeur de thèse : Dr Franck DIEMER

### **JURY**

Président  
Assesseur  
Assesseur  
Assesseur

Professeur Franck DIEMER  
Docteur Marie GURGEL-GEOGELIN  
Docteur Sarah DALICIEUX-LAURENCIN  
Docteur Cédric BUORO



## DIRECTION

### DOYEN

Mr Philippe POMAR

### ASSESEUR DU DOYEN

Mme Sabine JONJOT

### CHARGÉS DE MISSION

Mr Karim NASR

Mme Emmanuelle NOIRRIT-ESCLASSAN

### PRÉSIDENTE DU COMITÉ SCIENTIFIQUE

Mme Anne-Marie GRIMOUD

### 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

Mme Geneviève GRÉGOIRE

Mr Gérard PALOUDIER

## PERSONNEL ENSEIGNANT

### 56.01 PÉDODONTIE

*Chef de la sous-section :*

*Mr VAYSSE*

Professeur d'Université :

Mme BAILLEUL-FORESTIER

Maîtres de Conférences :

Mme NOIRRIT-ESCLASSAN, Mr VAYSSE

Assistants :

Mme DARIES, Mr MARTY

Chargés d'Enseignement :

Mr DOMINÉ

### 56.02 ORTHOPÉDIE DENTO-FACIALE

*Chef de la sous-section :*

*Mr BARON*

Maîtres de Conférences :

Mr BARON, Mme LODTER, Mme MARCHAL-SIXOU, Mr ROTENBERG,

Assistants :

Mme GABAY-FARUCH, Mme YAN-VERGNES

Assistant Associé

Mr TOURÉ

Chargés d'Enseignement :

Mme MECHRAOUI, Mr MIQUEL

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

*Chef de la sous-section :*

*Mr HAMEL*

Professeur d'Université :

Mme NABET, Mr PALOUDIER, Mr SIXOU

Maître de Conférences :

Mr HAMEL, Mr VERGNES

Assistant :

Mlle BARON

Chargés 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 MOURGUES, Mme VINEL  
 Chargés d'Enseignement : Mr CALVO, Mr LAFFORGUE, Mr SANCIER

**57.02 CHIRURGIE BUCCALE, PATHOLOGIE ET THÉRAPEUTIQUE, ANESTHÉSIOLOGIE ET RÉANIMATION**

***Chef de la sous-section :*** ***Mr CAMPAN***  
 Professeur d'Université : Mr DURAN  
 Maîtres de Conférences : Mr CAMPAN, Mr COURTOIS, Mme COUSTY  
 Assistants : Mme BOULANGER, Mme CROS, Mr EL KESRI  
 Chargés 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 KÉMOUN***  
 Professeurs d'Université : Mme DUFFAUT  
 Maîtres de Conférences : Mme GRIMAUD, Mr KÉMOUN, Mr POULET  
 Assistants : Mr BARRAGUÉ, Mme DUBOSC, Mme PESUDO, Mme SOUBIELLE  
 Chargés d'Enseignement : Mr BLASCO-BAQUE, Mr SIGNAT, Mme VALERA

**58.01 ODONTOLOGIE CONSERVATRICE, ENDODONTIE**

***Chef de la sous-section :*** ***Mr GUIGNES***  
 Maîtres de Conférences : Mr DIEMER, Mr GUIGNES, Mme GURGEL-GEORGELIN, Mme MARET-COMTESSE  
 Assistants : Mr ARCAUTE, Mr BONIN, Mr BUORO, Mme DEDIEU, Mme DUEYMES, Mr MICHETTI  
 Chargés 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  
 Assistants : Mr CHABRERON, Mr GALIBOURG, Mr HOBEILAH, Mr KNAFO, Mme SELVA  
 Chargés d'Enseignement : Mr BOGHANIM, Mr DESTRUHAUT, 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***  
 Professeur d'Université : Mme GRÉGOIRE  
 Maîtres de Conférences : Mme JONIOT, Mr NASR  
 Assistants : Mr CANIVET, Mme GARNIER, Mr MONSARRAT  
 Chargés d'Enseignement : Mr AHMED, Mme BAYLE-DELANNÉE, Mr ETIENNE, Mme MAGNE, Mr TREIL, 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 1<sup>er</sup> Juillet 2015*

## **Remerciements :**

A mes parents :

Je ne vous remercierai jamais assez du soutien que vous m'avez témoigné durant toutes ces années.

Merci pour votre amour, merci pour l'éducation que vous m'avez donnée, merci d'avoir été un support sans faille dans les bons comme dans les mauvais moments;

Avec tout mon amour, je vous dédie cette thèse.

A mon frère Alexandre :

Merci pour ton humour délicat, les nombreuses bagarres où tu m'as souvent laissé gagner et les joyeuses disputes. Je suis heureuse de la complicité qui nous unit malgré l'éloignement et nos différences de caractère. Merci pour ton amour, ta gentillesse, ton calme et ta patience.

A mon frère Antoine :

Merci pour tes blagounettes, les compétitions de natation, les batailles de guili, et ta bonne humeur, bien que tu sois le plus râleur de nous trois ! Merci pour notre complicité malgré l'éloignement et la différence d'âge.

Je t'embrasse mon pti chou !

A mes grands-parents, Lucienne et René :

Merci pour les belles vacances d'été à Fons, les WE à se requinquer chez vous et les conseils de Mamie.

A ma famille du Gabon :

Merci à Bamba que j'ai malheureusement trop peu connu ; merci à ma grand-mère Marie, à mes oncles Patrick et Stéphane et à ma tante Huguette. Mes pensées vont souvent à vous et à mon pays, le Gabon, où je suis fière d'être née et d'avoir grandi.

A mon oncle Dominique, ma tante Rosa et mes cousins Jean-Philippe et Vincent : merci à vous pour les beaux souvenirs des vacances d'été et les fêtes en famille.

#### A mes copains dentistes :

Merci mon Julien pour ton intelligence, ton ingéniosité et ta culture à toute épreuve ; Merci pour les victoires de quizz au pub, pour ta joie de vivre et ton optimisme ; merci pour ton amitié sans faille et tes bons conseils. Sans toi j'aurais eu besoin d'une équipe !

Merci Mathilde, ma binôme de choc, pour ta patience, ton calme, ton soutien et les fous rires en clinique et ailleurs ! J'ai passé de très belles années à tes côtés, maintenant à nous le soleil !

Merci Claire, même s'il nous a fallu deux ans pour nous apprivoiser aujourd'hui nous partageons une belle complicité et une profonde amitié ! Merci pour ton affection et merci de m'avoir épaulée dans les bons et mauvais moments. A tous les mojitos passés et à venir !

Merci Oihana, pour ta générosité, ton altruisme, ton affection et ton ouverture d'esprit. Je suis fière et heureuse de t'avoir en amie. Merci

Merci Manuel, pour ton intelligence, ton esprit de compétition ultra-motivant, pour ta bonne humeur et pour toutes les fêtes passées et à venir.

Merci aux autres copains dentistes que je n'ai pas cité et que j'ai eu la chance d'avoir rencontré dans mon parcours : Lucile, Clément, Cindy et les autres.

#### A mes copains de prépa et de médecine :

Benoit, Liza, Juliana et Elodie, sans vous ça n'aurait pas été pareil ; merci pour notre belle et longue amitié.

#### A mes amis Erasmus de Toulouse et de Belgique :

Spécial dédicace aux italiens pour leur bonne humeur à toute épreuve et leur sens de l'hospitalité inégalable ! Merci à ma co-équipière de planche Diana, mes amis Paolo et Michele; thank you to Becci, Chri and Ale, so many beautiful memories with you girls... I am really thankful to know you!

Merci à mon irremplaçable ami Javier, pour ton humour, les soirées passées ensemble et les longues discussions sur la vie et l'amour.

Merci à Christophe le plus français des Erasmus et qui n'en est pas un !

#### A mes amis du Gabon :

Shari, Auré, l'ensemble de la TS2 et les autres.

#### A l'équipe du cabinet de Tournefeuille :

A Jenny pour avoir eu la gentillesse et la patience de m'encadrer en stage actif, à Julie pour sa gentillesse et sa disponibilité, à Loïc pour sa bonne humeur ; à Cédric et Franck mes modèles en endodontie, j'espère être un jour aussi compétente que vous.

**A notre président de jury de thèse et notre directeur de thèse,**

**Professeur Franck DIEMER :**

- Professeur des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- Diplôme d'Etudes Approfondies en Education, Formation et Insertion  
Toulouse, Le Mirail,
- Docteur de l'Université Paul Sabatier,
- Lauréat de l'Université Paul Sabatier,

*Nous sommes très honorés de l'honneur que vous nous faites en acceptant de présider le jury de cette thèse.*

*Nous souhaitons vous exprimer notre profonde gratitude et toute notre reconnaissance pour avoir été notre maître et mentor tout au long de ces années.*

*Merci pour la qualité de vos enseignements, merci pour la confiance que vous nous avez accordée, merci de nous avoir transmis votre passion pour l'endodontie et enfin merci de votre gentillesse et l'aide apportée à rédaction de ce travail en tant que directeur de thèse.*

*Nous espérons nous montrer dignes de ce que vous nous avez appris.*

**A notre jury de thèse**

**Docteur Marie GURGEL-GEORGELIN :**

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

*Nous vous remercions de l'honneur que vous nous faites en acceptant de participer à notre jury de thèse.*

*Veillez trouver ici l'expression de notre plus profond respect pour votre savoir, la qualité de votre encadrement et votre humanisme.*

*Qu'il nous soit permis de vous témoigner notre sincère reconnaissance pour tout ce que vous nous avez appris lors de vos enseignements cliniques ou théoriques.*

*Vous resterez pour nous un modèle.*

***A notre jury de thèse***

***Docteur Sarah DALICIEUX-LAURENCIN,***

- Maître de Conférences des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie,
- Ex Assistante hospitalo-universitaire d'Odontologie,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- Docteur de l'Université Paul Sabatier,
- Diplôme Universitaire de Parodontologie.

*Vous nous faites l'honneur de participer à notre jury de thèse.*

*Nous souhaitons vous remercier pour vos conseils et votre encadrement clinique.*

*Nous portons une grande estime à vos qualités professionnelles et humaines.*

## **A notre jury de thèse**

### **Docteur Cédric BUORO**

- Assistant hospitalo-universitaire d'Odontologie,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- Docteur de l'Université Paul Sabatier,
- CES d'Odontologie Conservatrice et Endodontie

*Nous vous remercions d'avoir accepté de participer à ce jury de thèse, c'est pour nous un grand honneur.*

*Nous souhaitons vous témoigner toute notre reconnaissance pour nous avoir laissé vous assister et ainsi transmis votre passion pour l'endodontie. Merci de votre gentillesse, de votre partage d'expérience et des conseils prodigués.*

*Nous espérons que nous serons à la hauteur de votre enseignement.*

## SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION:</b> .....	<b>13</b>
<b>PARTIE THEORIQUE : LA MICRO-CHIRURGIE ENDODONTIQUE</b> .....	<b>14</b>
<b>I- DEFINITION ET INDICATIONS</b> .....	15
<b>II- LES PARAMETRES INFLUENÇANT LA REUSSITE DE LA CHIRURGIE :</b> .....	19
<b>A- Les paramètres liés au protocole opératoire</b> .....	19
<b>B- Les paramètres liés à l'instrumentation et au matériau</b> .....	20
<b>C- Paramètres liés à la dent</b> .....	23
<b>D- Paramètres opérateur dépendant</b> .....	23
<b>E- Paramètres patient dépendant</b> .....	23
<b>F- Les matériaux d'obturation rétrograde</b> .....	24
1) Les matériaux historiques .....	24
- <i>L'amalgame</i> : .....	24
- <i>La gutta percha</i> .....	24
- <i>Les ciments à base d'eugénol</i> : .....	25
- <i>Les Ciments Verres Ionomères (CVI)</i> .....	25
- <i>Les résines</i> .....	26
- <i>La biodentine</i> .....	26
2) Le MTA et les biocéramiques.....	27
- <i>Le MTA : Minéral Trioxide Aggregate</i> .....	27
- <i>Les Bioceramiques</i> : .....	30
<b>III- L'EVALUATION DE L'ETANCHEITE</b> .....	33
<b>A- Test de pénétration d'un colorant:</b> .....	33
<b>B- Pénétration bactérienne</b> .....	34
<b>C- Pénétration de radio-isotopes</b> .....	35
<b>D- Filtration de fluide sous pression</b> .....	35
<b>E- Percolation électrochimique</b> .....	36
<b>F- Observation du joint obturation-paroi dentinaire</b> .....	37
<b>PARTIE EXPERIMENTALE</b> .....	<b>38</b>
<b>INTRODUCTION :</b> .....	39
<b>MATERIEL ET METHODE :</b> .....	40
• <i>Sélection des échantillons</i> : .....	40
• <i>Préparation des échantillons</i> : .....	41
• <i>Préparation canalaire</i> : .....	41
• <i>Inclusion en résine et résection apicale</i> : .....	42
• <i>Préparation apicale</i> : .....	42
• <i>obturation apicale</i> : .....	43
• <i>Réalisation de coupes</i> : .....	44
• <i>Observation et mesures</i> : .....	45

<b>RESULTATS .....</b>	<b>47</b>
<b>DISCUSSION.....</b>	<b>51</b>
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>53</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE:.....</b>	<b>54</b>

## **Introduction:**

Pratiquée quotidiennement en cabinet, l'endodontie est une discipline dentaire en constante évolution. Les progrès effectués visent à faciliter l'acte thérapeutique, réduire le temps opératoire et optimiser les chances de succès. La recherche concerne autant les outils utilisés, que les matériaux, ou encore les techniques employées.

Ainsi, malgré la difficulté reconnue de cet acte, on atteint aujourd'hui des taux de réussite très élevés ; de l'ordre de 90 % pour un traitement conventionnel, à 85 % pour un retraitement voir 94% pour une microchirurgie endodontique (1–4).

En chirurgie apicale, les recherches portant sur les matériaux d'obturation sont nombreuses et toute une liste de matériaux a été utilisée pour obturer de manière plus ou moins étanche l'endodonte. Citons par exemple l'amalgame, les eugénates modifiés, ou plus récemment le *Mineral Trioxide Aggregate* (MTA) et les biocéramiques.

Quel est l'apport de ces nouveaux matériaux par rapport à ceux précédemment utilisés ? L'un de ces matériaux est-il vraiment meilleur que les autres ? Quels sont les autres paramètres qui peuvent influencer le succès d'une chirurgie apicale ? Enfin comment évaluer la qualité de l'obturation rétrograde ?

Ce travail de thèse se propose d'apporter des éléments de réponse à ces questions.

Ainsi dans un premier temps nous reviendrons sur la chirurgie péri-apicale : sa définition et ses indications ; les paramètres influençant son succès ; comment peut être évaluée la qualité des obturations rétrogrades ;

Puis nous passerons rapidement en revue les différents matériaux jusqu'alors utilisés et nous nous attarderons plus particulièrement sur les propriétés physico-chimiques de deux familles de matériaux faisant actuellement référence sur le marché : le MTA et les biocéramiques.

Enfin dans une seconde partie expérimentale, nous comparerons ces deux derniers matériaux en évaluant l'adaptation marginale obtenue avec un MTA, le MTA Caps®, et une biocéramique, l'*Endosequence Root Repair Material*® (E-RRM®).

**PARTIE THEORIQUE :**

**La microchirurgie endodontique**

## **I- Définition et indications**

Le traitement endodontique est un acte thérapeutique qui a pour objectif de prévenir ou de guérir l'apparition d'une lésion inflammatoire péri apicale d'origine endodontique (LIPOE).

Il va en effet nous permettre de traiter les maladies de la pulpe et du péri-apex, cela afin de préserver le plus longtemps possible sur l'arcade une dent asymptomatique et fonctionnelle, autrement dit une dent saine (5).

Tout traitement endodontique consiste en deux phases :

- la mise en forme canalaire :

Elle permet l'exérèse du tissu pulpaire inflammé ou infecté, ainsi que l'élimination de la plus grande partie des bactéries ayant colonisé l'endodonte. D'autre part elle prépare le canal à son obturation en lui donnant une forme conique qui va optimiser le compactage ou le foulage du matériau d'obturation. Elle est aussi nommée préparation chimio-mécanique du réseau canalaire car la mise en forme est associée à une désinfection chimique. Outre un rôle de désinfection, la solution utilisée aidera à optimiser la mise en forme en lubrifiant le canal et en facilitant l'évacuation des déchets occasionnés par la préparation mécanique.

- la mise en place d'une obturation étanche :

Il est aujourd'hui admis que cette étape est primordiale car la désinfection complète de l'endodonte s'avère utopique.

Ainsi un scellement étanche permet de confiner les bactéries restantes à l'intérieur de l'endodonte, évitant là une recontamination du péri-apex par ces bactéries ou sa ré-inflammation par les toxines qu'elles produisent ; le scellement étanche va aussi forcer ces bactéries à rejoindre un état de latence en leur privant l'accès aux nutriments.

L'importance d'utiliser un matériau d'obturation de qualité est par là mise en évidence, en particulier un matériau présentant de bonnes propriétés d'étanchéité à court et long terme (6).

Ces deux phases sont décrites dans tout traitement endodontique et sont complémentaires l'une à l'autre : la mise en forme nettoie le canal et le prépare à recevoir l'obturation ; et sans obturation ce nettoyage est vain puisqu'à l'heure actuelle aucun moyen n'existe pour rétablir l'asepsie de l'endodonte, l'inflammation péri-apicale sera donc continuellement entretenue sans obturation étanche.

Face à une dent présentant une pathologie pulpaire ou péri-apicale, il existe trois types de thérapeutiques endodontiques différentes, chacune ayant ses indications:

- Le traitement conventionnel orthograde

Protégée par un champ opératoire, la dent va être traitée chimio-mécaniquement par voie orthograde après création d'une cavité d'accès occlusale. Cette thérapeutique utilisée en première intention, intervient sur une dent en pulpite irréversible ou présentant une LIPOE.

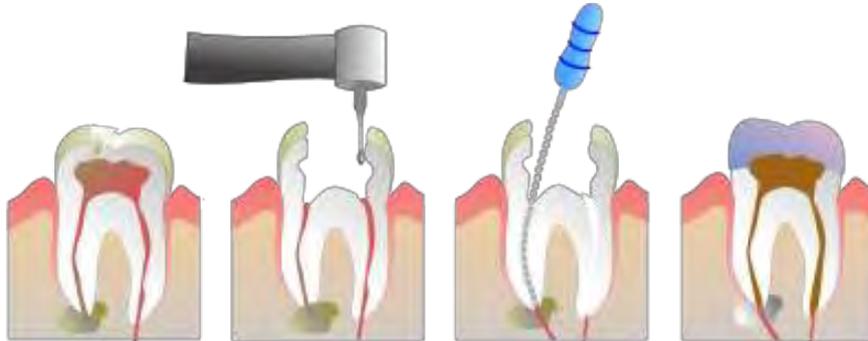


Fig 1 : le traitement endodontique conventionnel (Wikipédia.org)

- Le retraitement conventionnel orthograde

Là encore la dent sera protégée par un champ opératoire et traitée orthogradement via une cavité d'accès occlusale. C'est une thérapeutique de seconde intention comme son nom l'indique, intervenant donc sur des dents présentant une LIPOE et déjà traitées orthogradement. Il est donc nécessaire dans un premier temps d'enlever l'obturation intra-canaulaire préexistante.

- La microchirurgie endodontique ou chirurgie par voie rétrograde

Par le biais d'une voie d'abord chirurgicale, dite rétrograde, le tissu d'inflammation péri-apical est éliminé, et l'endodonte est cureté et obturé de façon étanche.

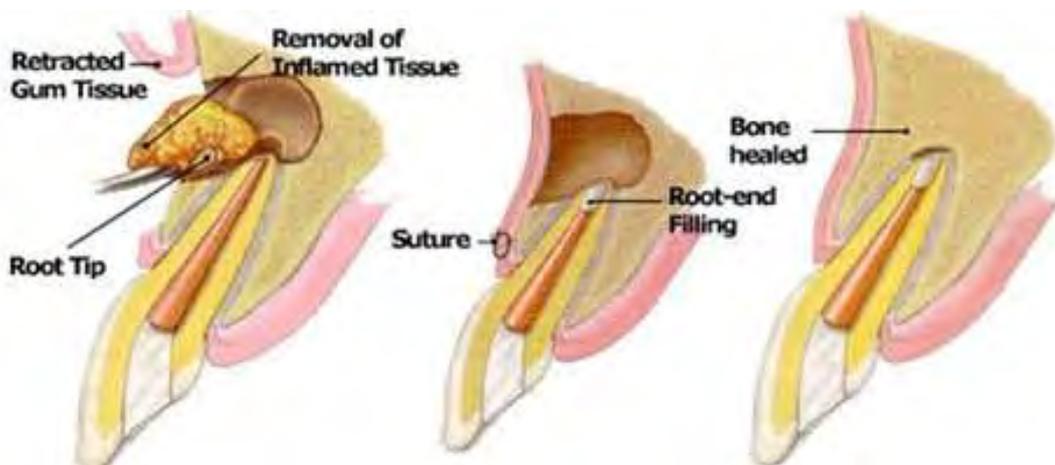


Fig 2 : la microchirurgie endodontique (7)

Voici les indications de cette chirurgie :

C'est principalement un traitement de troisième intention, lors d'un échec de retraitement conventionnel, cependant elle peut être utilisée en seconde intention :

- quand le retraitement est impossible, par exemple en présence d'un ancrage corono-radicaire imposant, d'instruments cassés dans le canal, ou en présence d'une prothèse récente bien adaptée cervicalement.
- en cas de nécessité de prélèvement anatomo-pathologique,
- en cas de suspicion de perforation ou fracture, dans ce cas elle peut même être indiquée en première intention ; Il s'agit dans ce cas d'une chirurgie exploratrice.
- en cas de volonté du patient après analyse du rapport temps/coût en comparaison avec un retraitement (8).

Mais malgré son haut taux de réussite, elle reste privilégiée en troisième intention car en tant que technique chirurgicale, elle nécessite un certain plateau technique, un certain savoir-faire et n'est pas dénuée de risques (9).

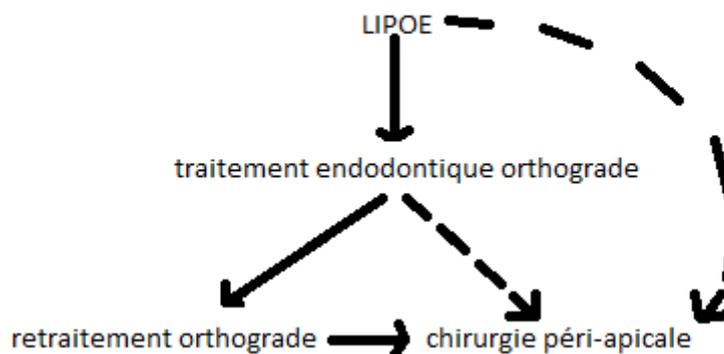


Fig 3 : indications de l'endodontie à rétro

D'autre part il existe des contre-indications à cette thérapeutique :

- des contre-indications chirurgicales liées à l'état général du patient, à la présence de structures anatomiques sensibles (nerf mentonier ...) ou à des difficultés d'accès (racine palatine) ;
- des contre-indications prothétiques comme par exemple un rapport couronne clinique/racine défavorable ;
- le facteur parodontal entre aussi en jeu. Ainsi en cas de mobilité excessive, l'avulsion de la dent et son remplacement par un implant seront par exemple préférés ;
- enfin l'inexpérience du praticien est une contre-indication, la réussite du traitement étant grandement opérateur dépendante comme nous le verrons.

Le protocole opératoire d'une microchirurgie est le suivant :

- Analyse radiographique pré-opératoire via une radiographie rétro-alvéolaire ou un cone beam : cela permet de localiser et d'évaluer la taille de la lésion ; mais aussi de mettre en évidence les éléments anatomiques à risque proches de la zone (sinus, foramen mentonier...) ;
- Décontamination du site : cutanée péri-buccale et muqueuse ; Via une solution iodée ou chlorexidine ;
- Anesthésie du site ;
- Création d'un accès chirurgical à l'apex lésé : par le biais d'un lambeau mucco-periosté permettant une bonne visibilité du site opératoire et dont les incisions de décharge se trouvent à distance de la zone ; suivi d'une ostéotomie en regard de l'apex ;
- Curetage soigneux de la lésion péri-apicale et réalisation une apicectomie avec une fraise Zecrya pour éliminer les canaux latéraux du delta apical qui ne seront pas obturés car trop petits ;
- Préparation à rétro du canal à l'aide d'inserts ultrasonores sur 3 mm de hauteur au moins ;
- Obturation du canal de manière étanche ; fait appel à des matériaux différents des matériaux conventionnels utilisés par voie orthograde. Leurs propriétés doivent permettre d'optimiser l'obturation en tenant compte des particularités et difficultés liées à la chirurgie endodontique (salive, sang.. .), tout en respectant un cahier des charges strict et commun avec les matériaux conventionnels ;
- Enfin suture du site désinfecté (10–12).

Le traitement endodontique chirurgical est un acte opératoire complexe, dont la réussite dépend du respect des indications et contre-indications, des conditions de mise en œuvre, mais aussi des matériaux utilisés lors de l'obturation.

## II- Les paramètres influençant la réussite de la chirurgie :

### A- Les paramètres liés au protocole opératoire

#### - L'accès visuel et instrumental

Il constitue le premier impératif protocolaire afin d'optimiser la chirurgie. Cela va permettre de réaliser l'éviction de l'intégralité de la lésion inflammatoire ; et aussi d'éviter toute casse d'instruments. C'est le type de lambeau et la taille de l'ostéotomie qui vont influencer ce paramètre. En effet le type de lambeau influe sur la visibilité et l'accessibilité de par sa forme, sa taille, et de par le fait que grâce au lambeau mucco-periosté le saignement per-opératoire est diminué. Après décollement, le lambeau est maintenu à distance avec un décolleur.

Quant à l'ostéotomie c'est principalement par sa taille qu'elle influe ; plus elle est grande, meilleur est l'accès au site et plus l'éviction du tissu de granulation lors du curetage sera complète. Cependant plus elle est grande, plus longue et difficile sera la cicatrisation du site (10,13).

#### - La complexité de l'anatomie canalaire

Le delta apical fait courir le risque d'une préparation et obturation à rétro incomplète et donc non étanche, d'où l'intérêt de réaliser une résection apicale afin d'éliminer la portion apicale la plus riche en bactéries et en canaux accessoires.

Il est ainsi conseillé de réséquer à 3mm de l'apex avec une fraise Zecrya, et ce perpendiculairement au canal ;

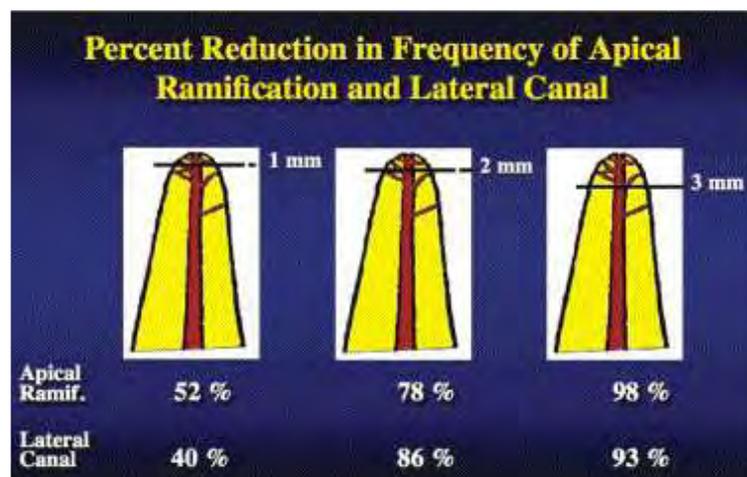


Fig 4 : intérêt de la résection apicale (12)

Si l'angle de résection est trop important, le nombre de tubules sectionnés et donc exposés sera augmenté, il y aura donc une perte potentielle d'étanchéité (10,12).

- La gestion des fluides buccaux :

C'est un paramètre primordial ; La salive et le sang affectent les propriétés des matériaux d'obturation.

Comment gérer efficacement ces fluides ?

Une aspiration efficace est le moyen le plus évident ; cependant d'autres moyens existent, par exemple la réalisation d'une bonne hémostase, dès le départ de l'opération : via une anesthésie avec vasoconstricteurs; pendant l'opération : via le décollement mucopériosté, via l'exérèse de la totalité du tissu de granulation richement vascularisé à l'aide de micro-curettes, et via l'utilisation d'agents hémostatiques avant l'obturation (telle qu'une boulette de coton imbibée d'épinéphrine) (11).

## B- Les paramètres liés à l'instrumentation et au matériau

• Influence de l'instrumentation:

La comparaison du taux de succès avant et après l'avènement du microscope, de la micro-instrumentation, et des nouveaux matériaux d'obturation montre l'importance de ce paramètre. En effet ce taux passe de l'ordre de 60% à 94% de réussite. Ces avancées technologiques ont permis de passer de la chirurgie apicale à la microchirurgie apicale (4). Citons l'influence :

- *Des aides optiques*

Le microscope opératoire qui va permettre d'améliorer la visibilité par le grossissement et l'éclairage du site; Il va permettre de vérifier que l'intégralité de la lésion et l'intégralité de l'ancienne obturation endodontique ont été retirées sur 3 mm; Il va mettre en évidence des canaux latéraux à traiter ; puisque la visibilité est meilleure, la taille de l'ostéotomie peut être diminuée(11).

Citons l'apport de l'endoscope qui serait plus pratique d'utilisation.

- *De la micro-instrumentation : ultrasonore et non ultrasonore*

Citons par exemple le micro-miroir pour une meilleure visibilité ; la micro curette qui permet de se faufiler là où une curette normale ne le peut ; les micro pluggers.



Fig 5 : a) micro curettes

b) micro pluggers

c) micro miroirs

(14)

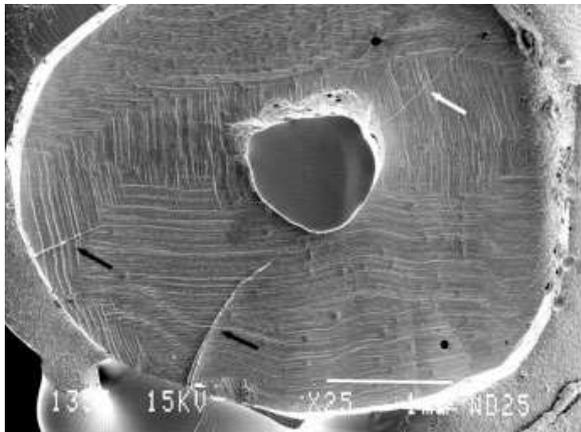
D'autre part il existe des inserts ultrasonores courbés qui sont plus précis, plus efficaces et plus économes en tissu que les fraises historiquement utilisées. (10)



*Fig 6 : utilisation des inserts ultrason en chirurgie endodontique (14)*

Ils permettent une plus grande hauteur de préparation, ainsi il est conseillé de préparer à rétro sur 3mm de hauteur minimum. Cependant les vibrations occasionnées par leur usage sont à l'origine de micro fractures dentinaires affectant l'étanchéité de l'obturation.

Le temps opératoire, le type/morphologie des inserts (diamanté ou non...), la pression exercée pendant leur utilisation, et la fréquence des vibrations influent ce paramètre (15).



*Fig 7: exemples de micro cracks d'origine ultrasonique.(15)*

#### - *Influence des hémostatiques*

Ils permettent de préserver le matériau d'obturation vis-à-vis de saignements osseux. Ces derniers pourraient interférer avec la prise du matériau et modifier ses propriétés physico-chimiques. Nous avons cité la boulette de coton imbibée d'épinéphrine, mais l'utilisation de sulfate ferrique peut être une alternative(10).

#### - *Influence de l'imagerie*

Elle permet d'anticiper la localisation et la taille de la lésion, ainsi que de mettre en évidence les structures anatomiques à risque environnantes.

• Influence du matériau d'obturation :

Un bon parage et une bonne désinfection canalaire ne peuvent assurer une asepsie parfaite du site, du fait de la complexité du réseau canalaire et de la résistance de certaines espèces bactériennes telles *anterecoccus faecalis* (16).



Fig 8 : complexité anatomique de l'endodonte (17)

L'objectif du matériau d'obturation est donc d'établir une barrière étanche permanente entre le réseau canalaire et le péri-apex, afin d'éviter une recontamination du site qui vient d'être traité (18).

Le matériau idéal doit présenter les propriétés suivantes (19,20) :

- Biocompatibilité : comme il va être en contact avec les tissus péri-apicaux, il ne doit pas être toxique pour l'organisme.
- Pas de corrosion ou d'activité électrochimique
- Stabilité dimensionnelle dans le temps
- Non résorbabilité
- Simplicité d'utilisation : il doit être aisé de manipulation compte tenu de la précision requise.
- Temps de travail suffisant et de prise plutôt court
- Hydro-compatibilité et stabilité dimensionnelle en milieu humide (insolubilité dans le temps) ;
- Radio-opacité afin de pouvoir évaluer la qualité d'obturation en fin de chirurgie
- Bioactivité : il doit induire la régénération d'un ligament parodontal complexe ; il doit en particulier activer la cémentogenèse de façon à ce qu'il soit lui-même recouvert de ciment, l'endodonte sera alors définitivement scellé. Il doit aussi favoriser l'ostéogenèse.
- Adhérence aux parois dentinaires : autrement dit l'adaptation marginale du matériau doit être bonne ;
- Etanchéité par rapport aux bactéries et aux produits bactériens ;

## C- Paramètres liés à la dent

Le pronostic de la chirurgie dépend aussi de la dent traitée. En effet la complexité anatomique de la dent ainsi que sa position et donc son accessibilité vont influencer. D'autre part la taille de la lésion, la présence de douleurs pré-opératoires ou d'autres signes cliniques associés (une fistule par exemple) ; et la longueur du tenon, s'il y en a un, vont aussi jouer un rôle (21). Enfin l'histoire médicale de cette dent va aussi modifier le taux de succès : si cette dent a déjà subi un retraitement le taux de succès est plus faible, d'autant plus si ce retraitement était de mauvaise qualité ; de même si elle a déjà subi une première chirurgie apicale (22).

## D- Paramètres opérateur dépendant

L'expérience et les aptitudes techniques de l'opérateur semblent être un facteur primordial bien que cette variable a été peu étudiée dans les études cliniques évaluant les facteurs pronostiques d'une chirurgie apicale (2).

En effet seule une étude compare les résultats obtenus selon les aptitudes techniques de spécialistes endodontistes et de chirurgiens oraux, mais de nombreuses autres variables interviennent dans cette étude, il est donc difficile de juger de l'importance de ce facteur. Cependant la qualité de la chirurgie et la précision avec laquelle est placé le matériau d'obturation seraient meilleures dans le groupe de spécialistes (23). Pour ce qui est de l'expérience, les études sont là encore peu nombreuses et en plus sont contradictoires (2,24,25).

Cependant les nombreuses études analysant ce facteur lors d'endodonties orthogrades, et les travaux de thèse de deux confrères : Laura SPIGARELLI et Maamar BOUYACOUB, montrent qu'elle influence grandement les résultats de la chirurgie (26).

## E- Paramètres patient dépendant

Il est admis que ce paramètre va intervenir sur la pose de l'indication de la chirurgie : par exemple en cas de risque d'endocardite infectieuse, l'avulsion de la dent sera préférée plutôt que de risquer une chirurgie endodontique. Cependant lorsque l'indication est posée, il ne semble pas y avoir de corrélation entre le pronostic de la dent traitée par chirurgie endodontique et des facteurs patient dépendant tels que l'âge ou le sexe (21). L'influence du tabac en post opératoire n'a pas non plus été très étudiée et, bien que son usage interfère avec le processus de cicatrisation, il ne semblerait pas que cela affecte le pronostic de la dent (27).

En conclusion de nombreux paramètres influent sur le pronostic de la dent, qu'ils soient pré, per ou post opératoires. La chirurgie apicale est donc une thérapeutique très sensible, et l'impact du facteur *opérateur dépendant* devrait être étudié plus précisément dans les études à venir car il semble être un paramètre important.

## F- Les matériaux d'obturation rétrograde

### 1) Les matériaux historiques

#### - *L'amalgame :*

C'est un matériau utilisé en pratique dentaire depuis plus de 150 ans. Il est le produit d'une réaction d'amalgamation entre une poudre d'alliages métalliques (argent, étain, cuivre et zinc) et du mercure liquide. Matériau de choix pour des obturations coronaires postérieures en technique directe, il a été pendant longtemps le matériau d'obturation de référence en chirurgie apicale car simple d'utilisation, faible de coût et radio-opaque (28).

Mais aujourd'hui il n'est plus recommandé car sa biocompatibilité n'est pas très bonne du fait de la cytotoxicité du Zinc et du Mercure, et de la corrosion du matériau qui crée une inflammation. En outre cette corrosion est à l'origine de tatouages gingivaux;

D'autre part son étanchéité, même si elle s'améliore dans le temps du fait de la production de produits de corrosion au niveau du joint avec la dentine, est au départ mauvaise puisqu'il n'y a pas d'adhésion chimique avec la dentine (10,29,30).

Pour remédier à ce manque d'étanchéité l'utilisation d'un agent de collage a été préconisée mais des études à long terme montrent un faible taux de succès associé à l'utilisation de l'amalgame comme matériau d'obturation rétrograde (31).



*Fig 9 : Contenu d'une capsule : particules métalliques à gauche séparées, via une membrane, du mercure liquide. (32)*

#### - *La gutta percha*

Elle n'est plus du tout recommandée non plus, principalement de par sa faible adaptation marginale et sa porosité. En effet, l'obturation obtenue n'est pas étanche malgré l'utilisation d'un ciment de scellement à base d'eugénol (33). De plus la biocompatibilité n'est pas très bonne avec une réponse inflammatoire iatrogène gênant la cicatrisation (30).

- *Les ciments à base d'eugéno*l :

L'oxyde de zinc eugéno

l, et ses dérivés que sont *L'Intermediate Restorative Material* (IRM) et le Super EBA contiennent tous de l'eugénol et de la poudre d'oxyde de zinc dans leur composition.

Le premier s'il était simple d'utilisation et donnait de meilleurs résultats que l'amalgame, était tout de même résorbable dans le temps ce qui empêchait son usage sur le long terme. Il a donc été modifié pour donner :

- L'IRM : qui est un ZOE renforcé avec du polyméthyl méthacrylate :

Poudre	Liquide
oxyde de Zinc 80%	eugénol 99%
polyméthyl methacrylate 20%	acide acetique 1%

- Le Super EBA : qui est un ZOE dont une partie de l'eugénol a été substituée avec de l'acide etoxybenzoique (EBA) et auquel de l'oxyde d'aluminium est ajouté à la poudre de zinc (34).

Poudre	Liquide
oxyde de zinc 60%	eugénol 37,5%
oxyde d'aluminium 34%	acide etoxybenzoique 62,5%
résine naturelle 6%	

Ces ciments montrent tous une adhésion chimique à la paroi dentinaire, l'étanchéité est donc grandement améliorée par rapport à l'amalgame. Concernant leur biocompatibilité, la présence d'eugéno

l et de Zinc est à l'origine d'une réponse inflammatoire iatrogène initiale qui diminue et devient nulle dans le temps, permettant d'obtenir des taux de succès élevés et comparables pour l'IRM et le Super EBA, ce dernier semblant être un peu plus biocompatible (10,33).

- *Les Ciments Verres Ionomères (CVI)*

Constitués d'un mélange poudre liquide où la poudre est faite de particules d'alumine, silice et fluorure de calcium de silicates et le liquide d'acide polyalkéoi

que, ils peuvent être renforcés en résine pour donner des CVI-MAR (Modifiés par Adjonction de Résine). Ils sont non recommandés car la biocompatibilité laisse à désirer avec une réaction inflammatoire initiale élevée, bien que celle-ci diminue par la suite ; D'autre part ils ont un temps de prise long associé à une sensibilité importante à l'humidité, cela rendant donc leur manipulation difficile (9,30,31).

### - Les résines

Différents types ont été utilisées :

Les résines composites : leur biocompatibilité, liée à la quantité de monomères cytotoxiques types EGDMA, est en générale bonne. Leur principal problème étant leur difficulté de manipulation : pour réaliser un bon collage il faut un site opératoire bien sec. Citons le Rétroplast® associé à l'adhésif Gluma® ;

Les résines époxy comme le AH-plus® par exemple ou les résines de polycétone comme le Diaket® sont des résines à l'origine utilisées comme ciment d'obturation orthograde (33,34). Elles semblent prometteuses malgré une légère rétraction de prise car biocompatibles, bioactives et faciles de manipulation. Cependant le *Minéral Trioxide Aggregate* (MTA) resterait plus biocompatible (30,32).

### - La biodentine

C'est un matériau récent (2010), issu d'un mélange poudre-liquide, la poudre étant constituée principalement de calcium tricalcique et le liquide de chlorure de calcium aqueux. Il en résulte un matériau à prise rapide, biocompatible, bioactif, adhérent aux parois dentinaires et étanche. D'après le constructeur il serait de manipulation plus aisée que le MTA (36).

Matériau de substitution dentinaire indiqué en cas de carie profonde (coiffage pulpaire direct et indirect), de perforations, ou d'apexification ; ses propriétés physico-chimiques en font un matériau très prometteur concernant l'obturation à rétro. Le principal défaut décrit pour l'heure, concernant cette indication, est sa faible radio-opacité (11,34).

De nombreux autres matériaux ont été utilisés mais leur usage a été rapidement abandonné principalement par défaut d'étanchéité, ou par un manque de biocompatibilité. Citons par exemple le Cavit, l'hydroxyde de calcium ou les ciments polycarboxylates.

La recherche scientifique portant sur les matériaux d'obturation à rétro a permis de telles améliorations techniques qu'aujourd'hui leurs propriétés physico-chimiques sont de plus en plus proches de celles du matériau idéal. Le MTA et les biocéramiques sont les matériaux disponibles les plus aboutis. Avant de les comparer voyons quelles sont leur composition et leurs propriétés.

## 2) Le MTA et les biocéramiques

### - Le MTA : Mineral Trioxide Aggregate

C'est un biomatériau développé en 1993 par le Dr Mahmoud Torabinejad, professeur et chercheur à l'université californienne Loma Linda.

Il a été développé à visée endodontique avec pour indications :

- Réparation de perforations
- Coiffage pulpaire
- Apexification
- Obturation à rétro

### Composition :

Le MTA est le résultat d'un mélange poudre-liquide dans lequel le liquide est de l'eau distillée, et la poudre est constituée par :

ciment de portland 75%
oxyde de bismuth 20%
gypse 5%

Le ciment de portland est couramment utilisé dans l'industrie du bâtiment. Il est constitué d'un mélange de silicates tri et di-calciques, d'aluminate tricalcique et d'aluminate ferrique.

Du fait de l'abondance de calcium tricalcique, le MTA est de composition proche de celle de la Biodentine (33,34).

Enfin il existe différents types de MTA : en effet la distinction est faite entre le MTA originel gris (Grey MTA, GMTA), dont la teneur en aluminate ferrique donne une couleur grise, et le MTA blanc (white MTA, WMTA) exempt d'aluminate ferrique.

Le MTA a été commercialisé pour la première fois en 1998, sous le nom de Pro-root MTA® par Dentsply. La composition de ce MTA a ensuite été quelque peu modifiée pour améliorer certaines propriétés physicochimiques; ainsi par exemple le MTA Angelus® ne contient pas de gypse et aurait de ce fait un temps de prise raccourci à 15minutes.

Dans notre partie expérimentale nous travaillerons avec du MTA Caps® qui a aussi pour avantage un temps de prise réduit à 20 min (temps de prise complète à 2h); Le temps de travail du MTA Caps ® étant de 2 minutes (38).

### Propriétés physico-chimiques :

La réaction de prise du matériau se fait par hydratation de la poudre de MTA. En effet les fines particules hydrophiles constituant la poudre vont être mélangées à l'eau dans un rapport de 1 volume pour 3. Un gel colloïdal constitué d'une phase amorphe et d'une phase cristalline est alors obtenu. Le respect de ce ratio est important car une augmentation de quantité de liquide rendrait le matériau plus poreux et moins résistant.

Après mélange, la réaction de prise doit cependant se faire en milieu humide.

Il est insoluble dans l'eau et non résorbable, en ce sens il est parfaitement adapté pour l'obturation à rétro (39,40).

Il a un temps de prise moyen de 2h45, donc plus long que l'IRM ou le super EBA (moins de 10 minutes), et un temps de travail d'environ 5 minutes (41). Ce temps de prise varie avec la température, les conditions d'humidité et le ratio poudre-liquide. Notons qu'un temps de prise long est un point faible de ce matériau compte tenu que tout au long de cette réaction de prise le matériau est sensible à la détersion et l'acidité du milieu (réaction inflammatoire); Mais c'est aussi un point fort car la prise lente en milieu humide évite toute rétraction et améliore donc l'étanchéité. (42)

L'étanchéité est d'ailleurs l'une des qualités les plus reconnues de ce matériau de par son hydrophilie, la non rétraction du matériau et sa bonne adaptation marginale. (6,37). D'autre part la finesse et l'homogénéité des particules minérales favoriseraient le scellement étanche de l'endodonte puisque ces particules seraient en début de réaction de prise de taille inférieure à celle des tubulis dentinaires et leur hydratation progressive serait à l'origine d'une légère expansion de prise (moins de 0,1%) permettant une obturation étanche (37,39).

Le pH après mélange sera de 10,2 puis augmentera jusqu'à atteindre 12,5 en fin de prise; cela étant dû à l'abondance de molécules d'hydroxyde de calcium formées lors de la prise du matériau. Ce pH alcalin explique les propriétés antibactériennes du MTA, propriétés particulièrement intéressantes dans un contexte de LIPOE. Le MTA a une action bactéricide envers les bactéries aérobies et anaérobies facultatives ; il n'a cependant aucun effet sur les bactéries anaérobies strictes (qui sont par ailleurs les plus impliquées lors d'un LIPOE) (41).

La présence d'oxyde de bismuth confère sa radio-opacité au matériau ; celle-ci est légèrement plus importante que la dentine ce qui permet de contrôler le placement et l'évolution du matériau. Cependant l'oxyde de bismuth est aussi à l'origine d'une discoloration dentinaire gênante lors de l'obturation à rétro de dents antérieures (6).

Sa consistance de sable mouillé rend sa manipulation difficile. L'usage d'un porte MTA, comme le MTA gun, facilite grandement la mise en place.

Ses propriétés mécaniques : la résistance à la compression est inférieure à l'amalgame mais reste bonne, proche de celle de l'IRM, et s'améliore dans le temps ; la micro-dureté est diminuée par l'usage de chélatant, un pH acide et la sécheresse.

### Biocompatibilité :

Parce qu'il est en contact étroit avec le péri-apex et afin d'optimiser la cicatrisation, le matériau d'obturation à rétro doit avoir une bonne biocompatibilité.

La biocompatibilité est définie comme la capacité d'un matériau à ne pas interférer négativement avec l'organisme hôte.

Le MTA est le matériau d'endodontie le plus étudié sur le plan de la biocompatibilité (6). Il en ressort qu'il est (44) :

- Non mutagène
- Peu cytotoxique (moins que l'IRM et le super EBA) et non neurotoxique
- Il a un effet anti-inflammatoire

D'autre part, avec le Diaket®, les résines composites et les biocéramiques, c'est l'un des seuls matériaux d'obturation par voie rétrograde dit bioactif. C'est-à-dire qu'il a la capacité de favoriser activement, via des interactions chimiques, le processus de cicatrisation.

En effet la réaction de prise du MTA forme de l'hydroxyde de calcium qui va réagir avec les ions phosphates des tissu minéraux voisins pour former à la surface du matériau une fine couche d'hydroxyapatite ; cette couche, outre une action positive sur l'étanchéité de l'obturation (en comblant les porosités superficielles), est en particulier à l'origine des propriétés de bioactivité du MTA et permet d'obtenir une régénération du péri-apex avec (45–47) :

- Cémentogenèse : à partir de précurseurs osseux et de cellules du ligament desmodontal le MTA induit la formation d'un néo-cément à sa surface.
- Ostéogenèse : le MTA favorise le recrutement d'ostéoblastes et la production par ces derniers d'os ; Il est à la fois ostéoconducteur et ostéoinducteur.
- Régénération ligamentaire

En conclusion, le MTA est un matériau très étanche ; ses propriétés physico-chimiques le rendent parfaitement adapté aux conditions d'humidité dans lesquelles se fait l'obturation à rétro ; il est de plus très biocompatible et favorise la régénération du péri-apex. Les principaux défauts décrits dans cette indication sont sa difficulté de manipulation, son coût, une discoloration inesthétique pour les dents antérieures et son long temps de prise (48).

- Les Bioceramiques :

Une céramique est définie comme un matériau minéral inorganique, constitué de deux phases : une phase désordonnée vitreuse et une phase ordonnée cristalline.(49)

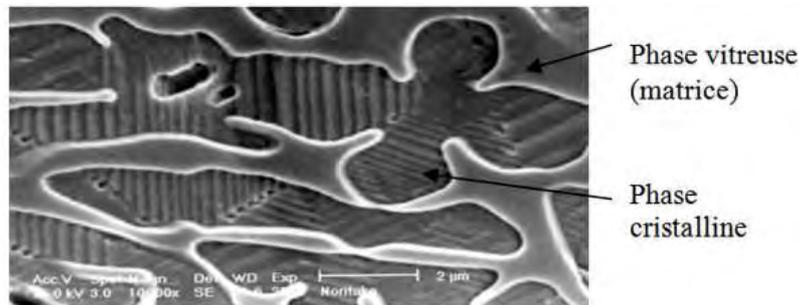


Fig 10 : microphotographie en MEB d'une céramique (49)

L'usage dentaire des céramiques dans les domaines de la prothèse et de la chirurgie osseuse est déjà ancien, mais ça n'est que récemment qu'elles ont été introduites en endodontie. En effet, c'est en 2007 que la compagnie Canadienne Innovative BioCeramix a commercialisé pour la première fois ce nouveau type de biomatériaux endodontiques en mettant sur le marché un ciment de scellement puis en complétant sa gamme de biocéramiques « IRoot® » par deux matériaux de réparation de perforation, différents de par leur consistance. Aujourd'hui ces trois types de biocéramiques endodontiques sont aussi disponibles dans les gammes Endosequence® et TotalFill® de la firme américaine Brasseler. L'ensemble de ces produits étant de composition comparable : par définition une combinaison de silicate de calcium et de phosphate de calcium (4,50).

Nous avons choisi d'utiliser l'*Endosequence Root Repair Material*®(E-RRM®) dans la partie expérimentale, c'est donc ce dernier qui sera développé ici.

Notons que parce qu'il s'agit d'un matériau récent, comme la Biodentine, il n'y a que peu de publications scientifiques sur ce sujet ; pour cette partie théorique nous nous reporterons donc régulièrement aux données du fabricant.

Ses indications sont les suivantes (51) :

- obturation à rétro
- réparation de perforations
- réparation de résorptions
- apexification
- coiffage pulpaire

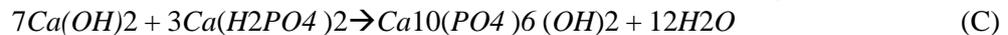
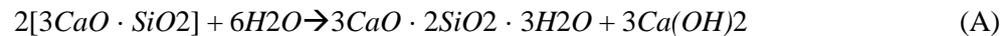
Ce sont donc les mêmes que le MTA.

Composition:

silicates de calcium
phosphate de calcium monobasique
oxyde de zirconium
hydroxyde de calcium
oxyde de tantale
durcisseurs et épaississants

### Propriétés physico-chimiques

La réaction de prise, très similaire à celle du MTA, est comme pour ce dernier une réaction d'hydratation ; voilà une approximation de ce qui se passe chimiquement lors de la prise du matériau :



En A et en B le silicate de calcium s'hydrate et permet la formation d'hydroxyde de calcium ; en C ce dernier forme de l'hydroxyapatite en présence d'ions phosphate (52).

In vivo cette réaction de prise est permise par la faible taille des particules constituant l'E-RRM®, de l'ordre du nanomètre, qui peuvent pénétrer et s'hydrater à l'intérieur des tubulis dentinaires naturellement humides.

Le temps de travail confortable, 30 min, ainsi que le temps de prise, 4h, sont supérieurs à ceux du MTA (53).

L'hydroxyapatite est à l'origine du pH alcalin de L'E-RRM® : 12,7. Cette alcalinité lui confère des propriétés antibactériennes équivalentes à celles du MTA (54), ainsi que son activité anti-inflammatoire.

L'E-RRM® existe soit sous forme de gel, il est alors mis en place à l'aide de seringues ; soit sous forme de pâte de haute viscosité. Dans tous les cas il ne nécessite aucune préparation, il est directement utilisable, la prise du matériau se faisant au contact de l'humidité tissulaire. Enfin sa consistance de la forme pâte est proche de celle de l'IRM. L'ensemble de ces caractéristiques rend sa manipulation plus aisée que celle du MTA (50).

L'oxyde de zirconium ainsi que l'oxyde de tantale rendent le matériau radio-opaque. Contrairement à l'oxyde de bismuth ils ne sont à l'origine d'aucune discoloration ni cytotoxicité.(55)



*Fig 11 : A gauche l'E-RRM® de couleur stable ; à droite la discoloration du MTA (55)*

Le matériau est insoluble et ses propriétés mécaniques sont très bonnes : très bonne adhésion aux parois dentinaires (56,57) ; une résistance à la compression similaire au MTA (51,58).

Il ne présente pas de rétraction de prise ; au contraire, son hydratation permet une légère expansion de prise à l'origine d'un scellement étanche de l'endodonte. La pénétration par les nanoparticules hydrophiles à l'intérieur des tubulis dentinaires assure encore plus d'étanchéité. Des études montrent une étanchéité et une adaptation marginale comparable avec le MTA (59–61).

## Biocompatibilité

Les études montrent une biocompatibilité équivalente à celle du MTA, avec

- peu ou pas de cytotoxicité (62–64) :

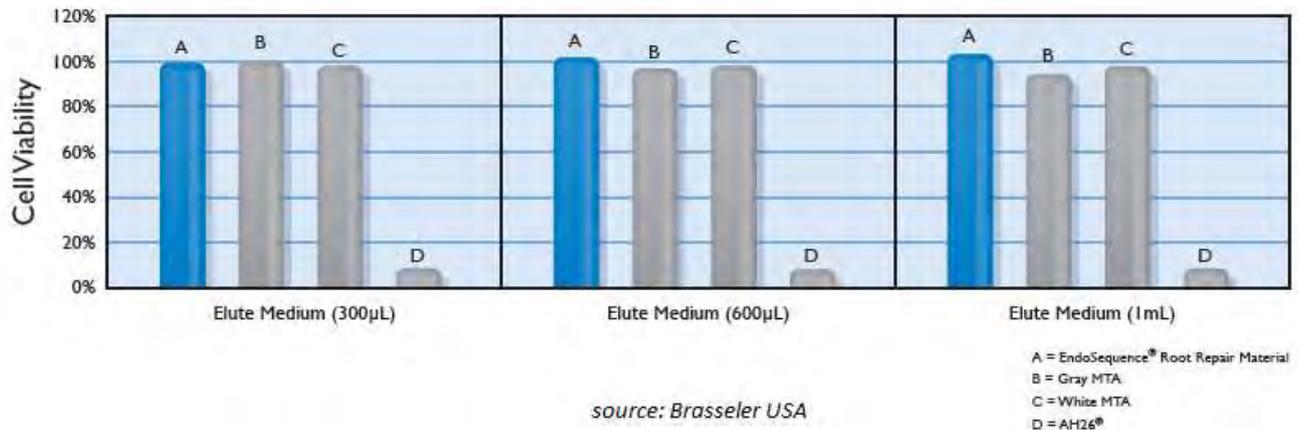


Fig 12 : comparaison cytotoxicité E-RRM, GMTA et WMTA à J+3 (51)

- Une bonne adhésion et prolifération cellulaire (53,62)
- Non mutagénicité (65)
- Un effet anti-inflammatoire

D'autre part c'est aussi un matériau bioactif capable d'induire une régénération du péri-apex en promouvant le recrutement, la différenciation et l'activation de cellules capables de produire de l'os, de ciment et du ligament parodontal. Ces propriétés de bioactivité, sont comme pour le MTA, dues à la forte réactivité des silicates de Calcium qui sont capables, du fait de la réaction de prise, de libérer des composants qui vont notamment interférer avec l'activité enzymatiques des cellules présentes (48,63,64).

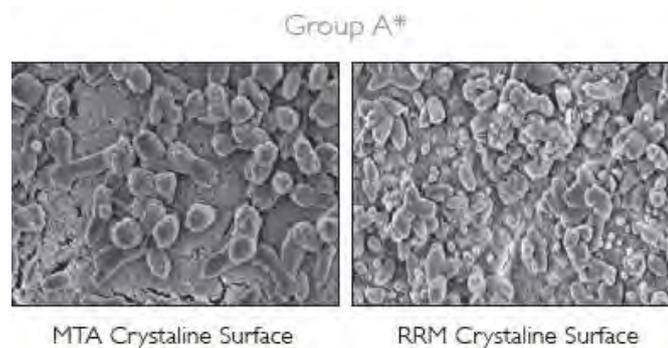


Fig 13 : couche d'hydroxyapatite de surface (51)

En conclusion d'après les études actuelles, les avantages de l'ERRM sur le MTA sont principalement sa facilité de manipulation et l'absence de discoloration. Il semblerait que sur la biocompatibilité et l'étanchéité ces deux matériaux soient équivalents et supérieurs aux autres matériaux. C'est cette dernière propriété d'étanchéité que nous nous proposerons d'étudier dans la partie expérimentale.

### **III- L'évaluation de l'étanchéité**

La percolation est définie par l'AAE en 1994 comme étant le mouvement de fluides tissulaires péri-radicaux, de microorganismes et de leurs toxines au niveau de défauts d'obturation (68). Ces défauts d'obturations étant eux même définis comme des vides, des interstices compris entre le matériau d'obturation et les parois dentinaires. Ainsi la percolation va dépendre de la taille de ces défauts comme de celle des éléments susceptibles d'y pénétrer (69).

Le manque d'étanchéité est depuis longtemps considéré comme une cause majeure d'échec endodontique (70). De ce fait maintes études portent sur ce sujet et nombreux sont les tests qui ont été utilisés pour évaluer les propriétés d'étanchéité des matériaux dentaires, qu'ils soient à usage d'obturation coronaire ou qu'ils soient à usage endodontique (71). Voilà un aperçu des plus courants :

#### **A- Test de pénétration d'un colorant:**

C'est le test d'étanchéité le plus courant car il est facile à mettre en œuvre et peu cher. Il cherche à mettre en évidence la possible pénétration d'un colorant à l'intérieur du canal grâce au phénomène de capillarité ou de diffusion selon le vide (72). Cette pénétration peut se faire soit entre la paroi canalaire et le matériau d'obturation, soit à l'intérieur même du matériau d'obturation. Pour cela la surface de la dent est isolée à l'aide d'une couche de vernis, immergée à l'intérieur d'une solution aqueuse comportant le marqueur coloré pendant une durée X, et des coupes de la dent sont réalisées: une coupe longitudinale permettra de visualiser la longueur de pénétration ; des coupes transversales apporteront une information supplémentaire concernant l'adaptation marginale de l'obturation. L'information obtenue est qualitative (73).

Il est possible d'obtenir une information quantitative sur la pénétration du colorant en détruisant la dent par déminéralisation (acide nitrique) et en mesurant la concentration de colorant par spectrophotométrie. Un marqueur fluorescent peut aussi être utilisé ; sa concentration sera mesurée par fluorométrie après destruction de la dent (74).

Le colorant le plus utilisé est le bleu de méthylène en raison de son faible poids moléculaire, de sa bonne pénétration du système canalaire (solution aqueuse), de sa facile utilisation (visible à l'œil nu, à la lumière du jour) ; mais d'autres colorants peuvent être utilisés.



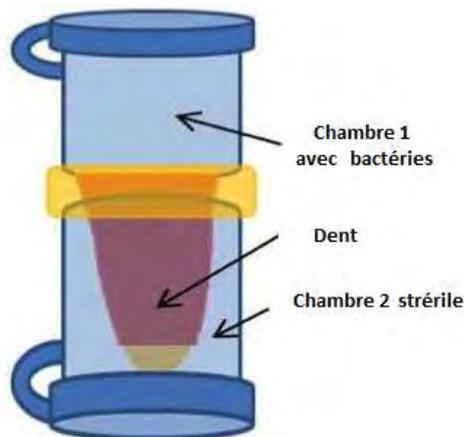
*Fig 14 : Pénétration de bleu de méthylène à l'interface amalgame-dentine (75)*

Plusieurs reproches peuvent être faits à l'encontre de ce test qui semble pourtant simple et efficace ; citons principalement (71,76) :

- L'absence de standardisation dans le protocole du test qui permet l'utilisation de différents colorants ayant des propriétés physico-chimiques variables (poids moléculaires, acidité...) Ceci affecte la facilité de pénétration du marqueur à l'intérieur du canal et donc biaise potentiellement les résultats et les comparaisons entre différentes études.
- La présence de bulles d'air à l'interface matériau d'obturation-dent qui affecte la pénétration du traceur et biaise l'information quantitative.
- La nécessaire destruction des échantillons (coupe ou déminéralisation) empêche de refaire le test sur une même dent à un moment ultérieur. Il est donc impossible de faire varier uniquement le facteur temps.

### **B- Pénétration bactérienne**

Le principe est le même mais cette fois les marqueurs sont des bactéries de petite taille et de grande mobilité. Ce test est plus représentatif de la situation clinique que la pénétration de petits molécules colorantes (72).



*Fig 15 : test de percolation bactérienne (77)*

Lors de cette expérience la turbidité de la chambre stérile est mesurée afin d'apprécier qualitativement la pénétration bactérienne (la croissance bactérienne exponentielle interdisant une mesure quantitative) (73,78).

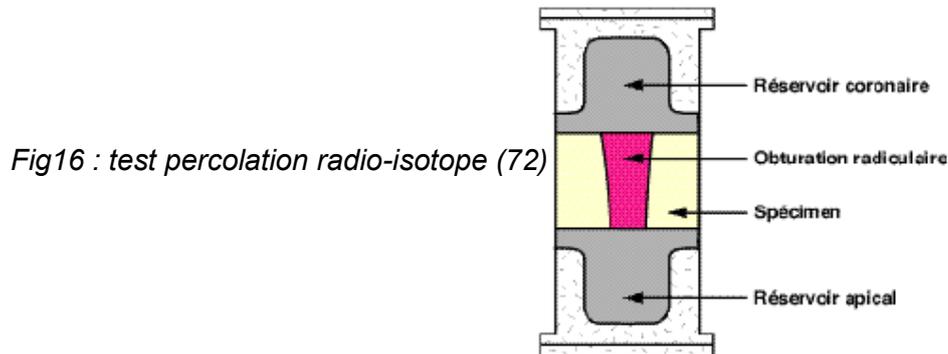
La pénétration de métabolites bactériens peut aussi être mesurée en remplaçant les bactéries dans la chambre 1 par ces derniers. Prenons l'exemple de l'acide butyrique : sa présence dans la chambre 2, si percolation il y a, pourra être mesurée quantitativement par chromatographie de gaz (79).

L'inconvénient de cette technique est qu'il faut être extrêmement minutieux afin d'éviter toute contamination de la chambre stérile.

### C- Pénétration de radio-isotopes

Le principe est de tester l'étanchéité de l'obturation en mesurant le degré de pénétration d'un marqueur radioactif lié à de petites molécules en solution. Là encore différents protocoles coexistent.

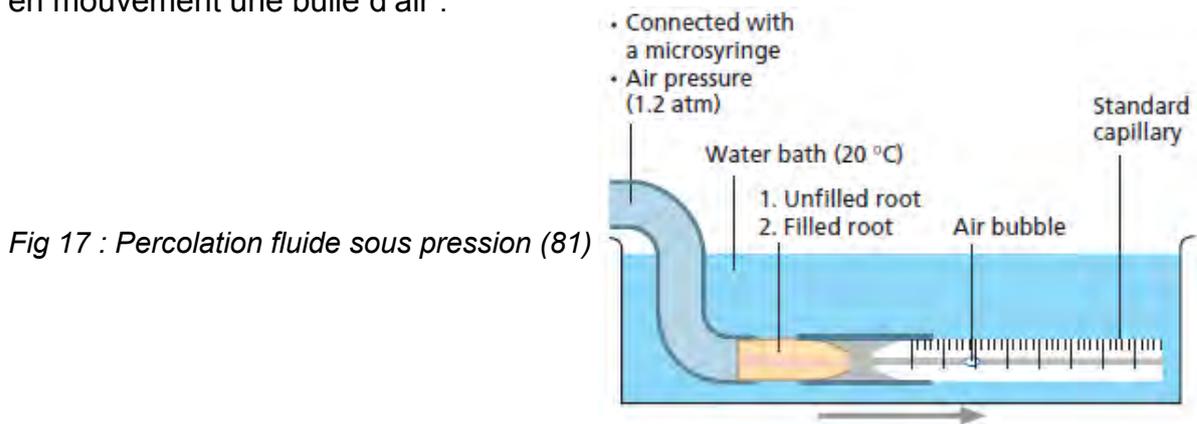
Dans l'un d'eux, la dent sectionnée coronairement est suspendue dans un bain contenant une solution non radioactive, alors qu'en coronaire est placée une solution radioactive. La présence qualitative et quantitative de radio-isotope dans le bain apical est évaluée au cours du temps (72) :



Dans un autre, la dent est plongée dans une solution radioactive de Technicium 99, rincée, et la radioactivité interne est mesurée à l'aide d'une gamma caméra ; l'image est ensuite analysée qualitativement et quantitativement par programme informatique (80).

### D- Filtration de fluide sous pression

Dans cette méthode l'étanchéité d'une obturation est évaluée en mesurant le mouvement d'un fluide sous pression qui va traverser l'échantillon et ainsi mettre en mouvement une bulle d'air :



La dent à tester est attachée à deux tubes : celui de gauche qui contient un fluide sous pression et celui de droite qui est relié à un cathéter contenant une bulle d'air. L'ensemble est placé dans un bac d'eau. En mesurant le déplacement de la bulle d'air on obtient une information à la fois qualitative et quantitative. L'utilisation de pression permet d'améliorer la pénétration du fluide au travers de la dent qui pourrait être artificiellement ralentie ou stoppée du fait de la présence d'air à l'intérieur de l'obturation. Cela permet d'éviter un biais présent dans la technique du marqueur coloré (72,81).

### E- Percolation électrochimique

Pour ce test une anode est connectée à l'extrémité coronaire de la dent, puis celle-ci est plongée dans un bain d'électrolytes contenant une cathode. Les deux électrodes sont reliées à un générateur de courant. Si la solution électrolytique parvient à infiltrer l'obturation, un courant électrique mettant en évidence la percolation du traitement sera enregistré. L'amplitude du courant créé permet d'autre part de quantifier l'importance de cette percolation.

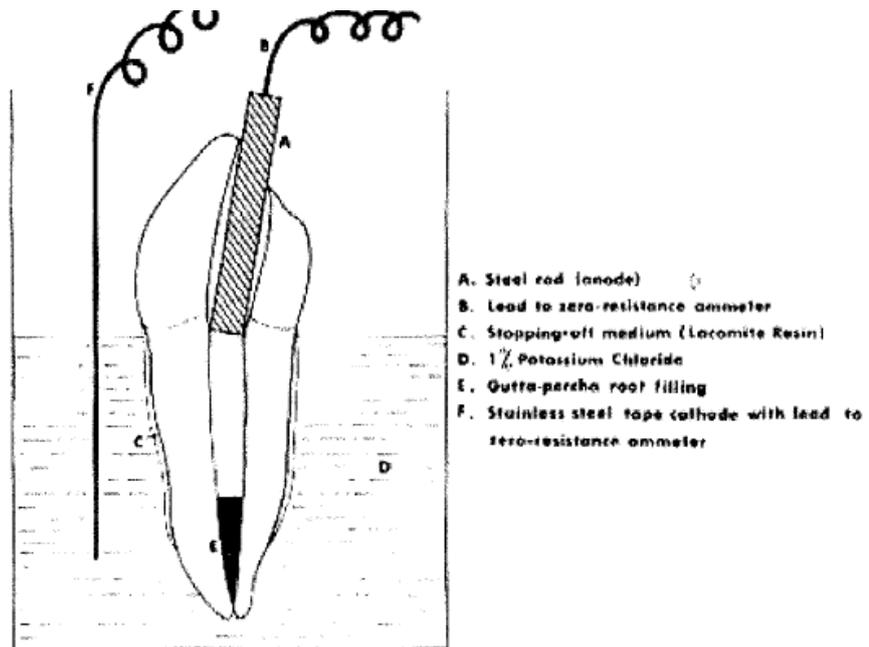


Fig 18 : test de percolation électrochimique (82)

Le problème de cette technique est qu'il peut y avoir une accumulation de produits de corrosion autour de l'anode interférant avec le flux d'ions ; d'autre part les conditions expérimentales peuvent conduire à la dissolution des ciments à base d'oxyde de zinc eugéol, biaisant les résultats (69).

## **F- Observation du joint obturation-paroi dentinaire**

L'adaptation marginale de l'obturation rétrograde est observée afin de mettre en évidence des vides, qui sont mesurés (longueur, surface, aire....) et les données mesurées sont analysées statistiquement afin de comparer différents matériaux ; ou alors afin d'étudier le comportement d'un même matériau dans différentes conditions.

Différentes techniques existent : microscopie optique, microscopie électronique, microscopie électronique à balayage ou encore profilométrie. L'intérêt des deux dernières techniques est qu'elles fournissent des images tridimensionnelles; les topographies de surface de l'obturation et de la paroi dentinaire peuvent donc être observées et la surface de vide comprise entre le traitement et la dent, ainsi que la longueur minimale/maximale/moyenne du vide existant au niveau du joint peuvent être mesurées (61,83–87).

Là encore le problème est que l'observation se faisant sur des coupes, il y a destruction de l'échantillon. L'effet, seul, de la variable temps sur une même dent ne peut donc pas être observé.

Enfin, des études contradictoires existent quant au lien à faire entre la micro-infiltration et l'adaptation marginale du matériau : il semblerait que la corrélation entre les deux ne peut être faite. En effet il peut y avoir une micro-infiltration importante malgré une bonne adaptation marginale (28–32). Ceci s'expliquerait par le fait que la micro infiltration peut se faire à la fois :

- à l'interface entre le matériau d'obturation et les parois dentinaires en direction apicale ou coronaire,
- mais aussi à travers le matériau,
- et encore à partir des tubulis ouverts latéralement lors de la résection apicale.

En conclusion une mauvaise adaptation marginale est logiquement synonyme d'une micro-infiltration importante, donc d'un manque d'étanchéité ; cependant une bonne adaptation marginale n'est pas forcément signe d'une faible micro-infiltration car d'autres voies de contamination existent.

Ceci est à pondérer avec la notion de l'échelle à laquelle se fait cette micro-infiltration. En effet, il faut distinguer la micro-infiltration à l'échelle du nanomètre, permettant le passage de bactéries, à celle à l'échelle infra-nanomètre qui l'en empêche mais qui peut laisser passer les toxines bactériennes.

## **Partie expérimentale**

## **Introduction :**

La recherche dans le domaine des biomatériaux dentaires a un rôle fondamental dans les progrès en dentisterie. Couplée aux évolutions technologiques des instruments, ainsi qu'à l'amélioration des connaissances thérapeutiques et des procédures cliniques, elle permet de rendre accessible à une majorité de praticien de nouvelles solutions thérapeutiques fiables.

En chirurgie endodontique le MTA est aujourd'hui le *gold standard* des matériaux d'obturation du fait de ses bonnes propriétés physicochimiques qui lui confèrent notamment une très bonne biocompatibilité et étanchéité. Mais il ne constitue pas le matériau idéal car réputé difficile à manipuler et ayant un temps de prise long. L'E-RRM® est une biocéramique récente avec la même indication que le MTA pour l'obturation endodontique par voie rétrograde. C'est un matériau récent, peu étudié mais présenté comme révolutionnaire.

L'objectif de cette étude est de comparer l'adaptation marginale de l'E-RRM® avec celle du MTA Caps®.

### **Matériel et méthode :**

- **Sélection des échantillons :**

28 racines de dents humaines extraites ont été sélectionnées.

Elles sont issues de dons anonymes à la banque de dents du service d'odontologie conservatrice et d'endodontie de l'Université de Toulouse.

Le choix de ces dents a été fait à partir des critères d'inclusion suivant :

- Dents mono ou pluri-radiculées
- Présence d'un seul canal par racine
- Apex mature
- Absence de résorption
- Absence de fêlure ou de fracture
- Absence de courbure importante :  $>30^\circ$
- Absence de traitement endodontique
- Longueur radiculaire suffisante :  $>12\text{mm}$

- Avant et pendant l'étude, les dents sont conservées dans une solution saline.



*Fig 19 : dents sélectionnées (89)*



*Fig 20: dents conservées dans une solution saline (89)*

• Préparation des échantillons :

Les échantillons sont nettoyés aux ultra-sons et observés à la loupe afin de détecter d'éventuelles fêlures ou fractures.

Les racines sont ensuite découronnées : elles sont sectionnées à l'aide d'un disque diamanté (365.524.300HP, Stoner®, Brent, Suisse) monté sur pièce à main.

• Préparation canalaire :

Un traitement endodontique orthograde classique est mené :

- Détermination des longueurs de travail à l'aide d'une lime K n°10 (MMC, Micro-Méga, Besançon, France)
- Mise en forme à l'aide d'une séquence d'instruments de rotation continue en NiTi du système Révo-S (Micro-Méga, besançon, France) ; et irrigation à l'hypochlorite à 2,6% à raison de 2mL entre chaque instrument et 8 mL en fin de préparation.
- Ajustage du maître cône et séchage du canal via des pointes de papier calibrées.
- Obturation canalaire à l'aide de Gutta Percha et de ciment d'obturation canalaire à base d'oxyde de zinc eugéol (Sealite, Pierre Roland, Mérignac, France). La technique d'obturation choisie étant la condensation latérale.

Par la suite les échantillons sont conservés 21 jours dans une atmosphère saturée en humidité.



Fig 21 : le système RevoS® (source : Microméga.fr)



Fig 22 : Préparation canalaire (89)

- Inclusion en résine et résection apicale :

Les racines traitées sont placées dans des cuves de photoélasticimétrie de façon à les incorporer dans de la résine polyester d'inclusion (Neovents, Sainte Gemme, France). Un délai de 7 jours est nécessaire à la prise complète de la résine. Ensuite la résection apicale est menée : les racines sont sectionnées à basse vitesse, perpendiculairement à leur grand axe, à 3 mm de l'apex grâce à une micro tronçonneuse de précision (disque diamanté 12.7 :100x0.3mm, Asahi Diamond ; Industrial Europe S.A.S., Chartres, France).



*Fig 23 : a) racines prêtes à l'inclusion*

*b) Résection à la micro tronçonneuse*

- Préparation apicale :

Une cavité apicale homothétique de 3 mm de profondeur est créée à l'aide d'inserts ultrasoniques (S12-90ND, Satelec®, Mérignac, France). Les cavités sont alors observées au microscope pour vérifier l'absence de résidus de Gutta, de ciment, ou encore de fractures ou fêlures.



*Fig 24 : préparation apicale ultrasonore sur 3mm (89)*

- obturation apicale :

Deux groupes de racines sont créés, chacun contenant 14 échantillons :

- Le groupe 1 :

Les 14 premières racines sont obturées au MTA Caps® (Pierre Roland, Acteon, Mérignac, France). Ce dernier, qui est conditionné sous forme de capsules prédosées, est dans un premier temps placé dans un vibreur afin de mélanger la poudre au liquide, puis mis en place directement avec la capsule et condensé via un fouloir.



Fig 25 : capsules de MTA Caps® et applicateur (90)

- Le groupe 2 :

Les 14 autres racines sont obturées à l'Endosequence Root Repair Matériel® (BUSA). Il s'agit de la forme « putty » qui est conditionnée à l'état de pâte ; aucun mélange n'est nécessaire. Le matériau est prélevé à la micro spatule et une forme conoïde lui est donné manuellement ; il est ensuite placé dans la cavité à l'aide de la précelle, puis condensé par un fouloir.



Fig 26 : a) ERRM Putty (91)

b) formation de cônes (en bas à droite)

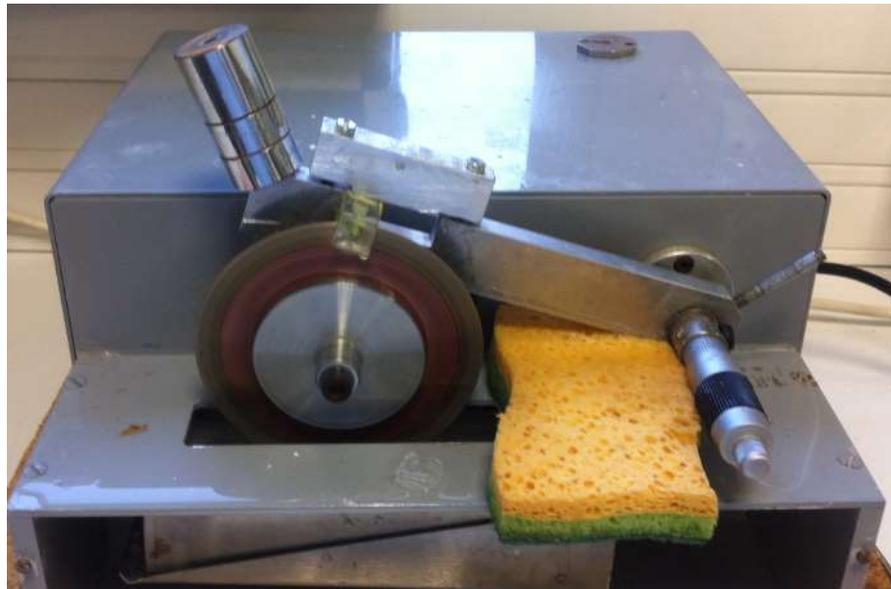
Les échantillons sont par la suite conservés dans une atmosphère saturée en humidité pendant 7 jours afin d'obtenir une prise complète des deux matériaux.

- Réalisation de coupes :

Deux sections transversales des racines sont faites à l'aide de la micro tronçonneuse.



*Fig 27 : les blocs de résine de chaque groupe (B : E-RRM®, M : MTA Caps®) près à découpe*



*Fig 28 : la micro tronçonneuse*

Cette dernière est calibrée de façon à produire des coupes de 1mm d'épaisseur. En tout c'est donc deux coupes par dent qui sont obtenues.

Chacune de ces coupes est nommée du numéro de la dent sectionnée et ses faces sont identifiées comme suit :

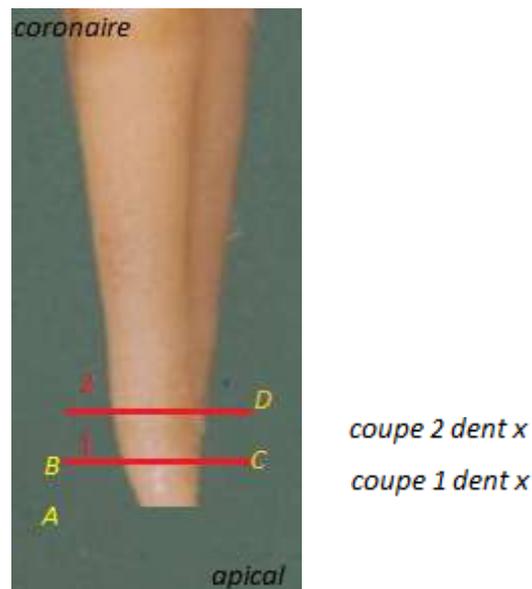


Fig 29 : numérotation des coupes

En rouge les deux sections ; la face A est la plus apicale de la coupe 1 ; la face B est la face la plus coronaire de la coupe 1 ; la face C correspond à la face la plus apicale de la seconde coupe ; la D étant la plus coronaire.

• Observation et mesures :

Après retrait des excès d'humidité, chaque coupe est placée sur un fond noir et des photographies sont faites de chaque face à l'aide d'un appareil photo numérique reflex (EOS 600D, Canon®, France) équipé d'un objectif macroscopique (EF 100mm f/2,8 Macro USM, Canon®, France) et d'un flash (MR-14EX, Canon®, France).



Fig 30:

a) cliché de coupe au MTA Caps®

b) appareil photo  
(Canon.fr)

c) cliché coupe ERRM®

Chaque cliché est ensuite analysé à travers le logiciel d'étude géométrique : *ImageJ*® 64 (1,45b, Wayne Rasband ; National Institut of Health, Bethesde, MD).

Après grossissement X50 des images, trois mesures ont été réalisées pour le canal, ou le hiatus quand il existe :

- L'aire
- Le périmètre
- Le diamètre de féret

Les valeurs mesurées sont exprimées en voxels. Des rapports d'aire, de périmètre et de diamètre de féret entre canal et hiatus sont ensuite calculés.

Les résultats sont ensuite analysés statistiquement via le logiciel *Statview*® 5.0 (SAS Institute, Orange®, CA, USA) qui réalisera l'analyse de la variance et le test à postériori de Fisher avec un risque  $\alpha$  de 5%.

## **Résultats**

Sur les 112 clichés réalisés, aucun n'a été exclu et toutes les faces de chaque coupe ont été analysées.

Sur la majorité des coupes A, la visualisation de l'interface canalaire préparée avec le matériau n'a pas été possible. Les mesures, du fait d'un débordement de matériau par-dessus la dentine, ont été majorées par rapport à la taille réelle du canal. Mais il a été choisi de ne pas exclure ces faces car ce débordement montrait qu'il n'y avait pas de hiatus :



*Fig 31: MTA Caps® débordant sur la dentine, coupe A8*

D'autre part, plusieurs coupes présentent des traits de fracture dans le matériau. Ils sont sans doute dus à des défauts de manipulation : étant donné la finesse des coupes, leur flexion est possible et à l'origine de ce défaut.



*Fig 32: exemple de trait de fracture sur l'échantillon 5B*

Sur les échantillons D1 et 6C le matériau d'obturation rétrograde est en étroit contact avec la gutta percha du traitement orthograde mais il n'y a aucun hiatus :

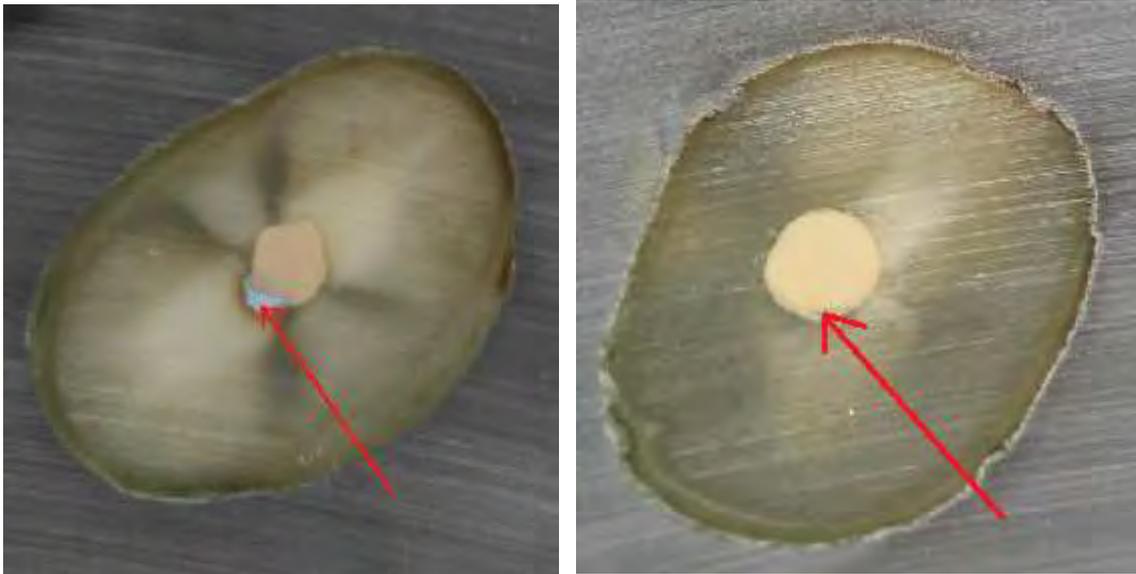


Fig 33: gutta visible sur : a) échantillon 1D ;

b) échantillon 6C

La présence de hiatus a été mise en évidence sur 4 coupes ce qui fait 3,57% de la totalité des coupes. L'ensemble de ces 4 coupes ayant été obturées au MTA Caps®, ce qui fait donc 7,4% des échantillons obturés au MTA Caps®.

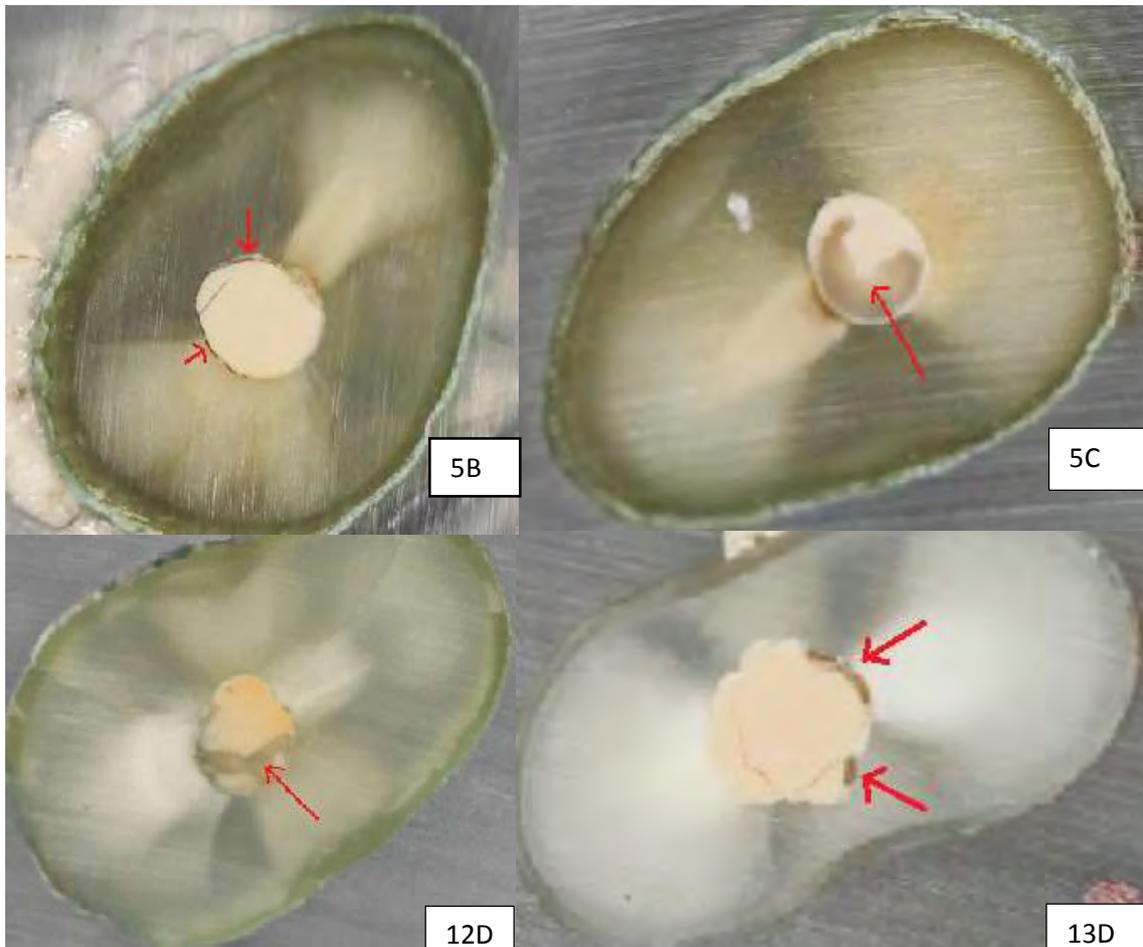


Fig 34 : coupes présentant des hiatus

### Analyse statistique :

Afin d'évaluer l'adaptation marginale des matériaux, trois paramètres ont été mesurés pour le canal et pour le hiatus quand il existait : le périmètre, l'aire et diamètre de féret.

L'analyse statistique s'est essentiellement focalisée sur l'impact du matériau ;  
Les variables observées ont été :

- le type de matériau : MTA Caps® vs E-RRM®.
- le niveau de coupe

L'hypothèse nulle était qu'il n'y avait pas de différence entre les deux matériaux.

### *Les statistiques descriptives :*

Les calculs des moyennes et des écarts types des aires des canaux mesurées sont assez proches entre les deux groupes.

Le test de l'égalité de la variance montre une valeur statistiquement non significative ( $p=0,2999$ ), l'hypothèse nulle qu'il n'y a pas de différence statistique entre les deux groupes est donc vérifiée ; ce qui nous indique qu'ils sont homogènes et statistiquement comparables.

	aire canal	aire hiatus	périmètre canal	périmètre hiatus	diamètre de féret canal	diamètre de féret hiatus
Moyennes MTA Caps	40740.69	484.57	725.52	37.80	249.85	12.75
Ecart types MTA Caps	16723.89	2213.17	150.62	138.06	52.95	46.58
Moyennes E-RRM	47480.71	0.00	785.05	0.00	273.84	0.00
Ecart types E-RRM	19249.69	0.00	158.90	0.00	59.42	0.00

*Fig 35: Moyennes et écarts types des paramètres mesurés pour les deux groupes*

D'autre part, en fonction du niveau de coupe, la surface du hiatus augmente dans le groupe MTA (fig 36), sans que cela ne soit statistiquement significatif ( $p=0.5545$ ).

	Moyenne	Variance
Coupe A	0.00	0.00
Coupe B	132.86	497.11
Coupe C	757.86	2835.64
Coupe D	1047.57	3409.85

*Fig 36 : moyennes des aires des hiatus en fonction du niveau de coupe*

*Analyse de la variance et test à posteriori de Fisher :*

L'analyse comparant les groupes montre qu'il n'y a pas de différences significatives ( $p=0,1126$ ) au niveau de l'adaptation marginale entre les deux matériaux en fonction de la profondeur de coupe.

	Diff. Moy.	Valeur p	Significativité
Coupe A, Coupe B	-66,43	0,88	NS
Coupe A, Coupe C	-378,93	0,38	NS
Coupe A, Coupe D	-523,79	0,22	NS
Coupe B, Coupe C	-312,5	0,47	NS
Coupe B, Coupe D	-457,36	0,29	NS
Coupe C, Coupe D	-144,86	0,74	NS

*Fig 37: test PSLD de Fisher pour l'aire du hiatus selon le niveau de coupe*

## **Discussion**

L'étanchéité est un critère indiscutable de réussite lors de ce genre de chirurgies. Quatre études s'intéressent à cette comparaison entre MTA et E-RRM® (60,61,92,93). Les résultats de ces études sont contradictoires puisque Hirschberg, qui utilise du ProRoot MTA®, trouve ce dernier plus étanche à l'E-RRM®, alors que Jeevani montre l'inverse avec du MM-MTA® ; et les deux dernières études (BUSA avec du ProRoot MTA® et Shokouhinejad avec du ProRoot MTA®) trouvent les matériaux équivalents.

Ces différences de résultats peuvent provenir du faible nombre d'échantillons étudiés (entre 36 et 62 racines) ainsi que des différences de protocoles utilisés, en effet aucune étude n'utilise le même test d'étanchéité.

Il apparaît donc intéressant de faire plus d'études sur le sujet.

### **Matériel et méthode :**

Notre étude expérimentale s'appuie sur 28 racines dentaires humaines ayant subi le même test d'adaptation marginale que Shokouhinejad (61), selon un protocole déjà éprouvé (84).

Il s'agit d'une étude in vitro : les échantillons ne sont pas soumis aux mêmes conditions environnementales que dans la bouche. Cela limite la portée des résultats, comme pour la plupart des autres études d'étanchéité (94).

Les échantillons ont été inclus en résine pour éviter toute coaptation à l'interface matériau-dentine, liée à la déshydratation dentinaire. En effet de précédentes études décrivent des faux positifs d'échantillons déshydratés non inclus. (95,96). De plus ils ont été maintenus dans une atmosphère saturée en humidité à 37°C.

Après préparation ultrasonique il a été vérifié l'absence de micro cracks dentinaires car selon certaines études ceux-là peuvent affecter l'étanchéité de l'obturation (15).

Même si la littérature décrit plutôt des sections longitudinales dans ce genre d'expérimentation, il a été fait plusieurs coupes transversales afin d'observer l'adaptation marginale sur la hauteur radulaire. Celle-ci peut en effet être bonne en un point A et mauvaise en un point B, d'où l'intérêt de ces coupes. Cependant il a été démontré que les résultats peuvent être différents selon le sens des coupes du fait des propriétés physiques des matériaux (viscosité...) et du mode de mise en place (condensation...) (96).

Les coupes ont été millimétrées de façon à obtenir des échantillons de 1mm d'épaisseur, mais malgré cette épaisseur il a été observé des traits de fractures à l'intérieur du matériau. Ces derniers n'interfèrent pas a priori avec l'étanchéité et ils sont probablement dus à des flexions des coupes lors des manipulations.

Concernant la manipulation des matériaux, il a été clairement ressenti une plus grande facilité de manipulation avec l'E-RRM® plutôt qu'avec le MTA Caps®, du fait de la consistance et du temps de travail réduit de ce dernier.

En effet malgré l'utilisation d'un applicateur, intégré à la capsule, la consistance « sable mouillé » du MTA rend sa condensation canalaire difficile. D'autre part sa manipulation est source de stress pour l'opérateur : nécessité de mettre le matériau à vibrer, temps de travail court. Enfin, in vivo l'utilisation de l'applicateur est impossible, il est nécessaire de réaliser manuellement des carottes de matériau que l'on mettra en place à la précelle ou à la micro spatule. La manipulation du MTA s'avère donc non aisée, d'autant plus que l'opérateur n'avait aucune expérience préalable en microchirurgie endodontique. L'hypothèse que la combinaison de ces deux facteurs explique la présence de vacuités sur quatre des coupes du MTA peut être émise.

Enfin il n'a pas été fait de traitement de finition des matériaux (brunissage...) car il a été prouvé que cela n'influencerait que très peu l'étanchéité (84).

Cependant un nettoyage de la face la plus apicale aurait été nécessaire pour retirer les excès de matériau débordant en regard des marges dentinaires car ceux-ci rendent les tracés sur ImageJ® difficiles ; mais les échantillons ont été conservés et analysés car l'absence de hiatus est assuré par ce débordement.

#### Méthode d'évaluation de l'étanchéité :

De nombreux tests d'étanchéité existent et les résultats obtenus varient suivant le protocole empreinté.

Le test le plus utilisé étant celui de la mise en évidence d'une micro infiltration des racines par un marqueur (colorant, glucose, isotopes radioactif, bactéries...) (44).

Il est admis que l'adaptation marginale demeure une méthode indirecte représentative de mesure de l'étanchéité d'une obturation (97). Ce test a été souvent utilisé pour le MTA (84,98,99). Il est à noter que de la même façon qu'in vivo l'étanchéité est affectée par de nombreux critères environnementaux (gestion des fluides buccaux...), le protocole utilisé peut faire varier les résultats obtenus. En effet, les conditions dans lesquelles sont stockés les échantillons, le délai d'attente entre l'obturation et l'observation peuvent faire varier les résultats.

#### Méthode d'observation :

Dans cette expérimentation il a été choisi de prendre des clichés photographiques des coupes réalisées puis d'analyser les images informatiquement. En cela notre protocole diffère de la plupart des études d'adaptation marginale qui font appel à l'usage de microscope électronique à balayage (MEB) (44,100).

L'utilisation d'un appareil photo numérique reflexe avec un objectif macroscopique empêche un trop fort grossissement des images obtenues par pixellisation ; de ce fait l'interprétation de certains clichés est complexe avec un grossissement supplémentaire de 50% nécessaire avec le logiciel de traitement ImageJ®.

## Conclusion

La microchirurgie endodontique représente souvent la dernière possibilité de conservation d'une dent sur l'arcade. Cet acte particulièrement complexe, a profondément évolué ces dernières années avec l'utilisation d'aides optiques et d'ultrasons qui ont grandement amélioré le pourcentage de réussite de cette chirurgie. La recherche portant sur les biomatériaux d'obturation à rétro, en particulier les nouvelles familles de ciments minéraux, a aussi permis de faire évoluer cette thérapeutique.

Le MTA est actuellement considéré comme le « *gold standard* » des ciments de réparation endodontique, mais de nouveaux matériaux continuent d'apparaître sur le marché. La Biodentine® est, à l'heure actuelle, plutôt indiquée pour des thérapeutiques coronaires alors que les biocéramiques comme l'E-RRM® ont été spécialement conçues pour un usage radiculaire. Cette dernière famille de matériau est très récente et semble présenter des propriétés biologiques et physico-chimiques très intéressantes. C'est pourquoi nous avons choisi de comparer l'adaptation marginale d'un de ses représentants, l'E-RRM®, avec l'un des derniers MTA apparu sur le marché, le MTA Caps®.

Les deux matériaux ont présenté une adaptation aux parois dentinaires à la fois excellente et équivalente. En effet seulement 4 coupes sur les 112 analysées ont présenté des hiatus, et malgré le fait que ces 4 coupes aient toutes été obturées au MTA Caps®, l'analyse statistique a conclu à une absence de différence significative entre les matériaux selon le niveau de coupe. ( $p=0,1126$ )

La présence de ces quelques défauts d'adaptation peut être corrélée à la difficulté de manipulation du MTA Caps® ressentie par l'opérateur, et à son inexpérience. En effet la consistance pâteuse de l'E-RRM® facilite grandement sa manipulation contrairement à la consistance « sable mouillé » du MTA Caps® et le temps de travail confortable et l'absence de préparation préalable du matériau sont d'autres avantages indéniables de l'E-RRM® par rapport au MTA Caps®.

Finalement l'E-RRM® et le MTA Caps® sont deux excellents matériaux d'obturation à rétro, présentant une adaptation marginale équivalente ; et l'E-RRM® offre l'avantage d'être plus simple d'utilisation que le MTA Caps®, ce qui rend la microchirurgie endodontique plus accessible au praticien inexpérimenté.

Professeur F. DIEMER

Directeur et Président du jury

**Bibliographie:**

1. Setzer FC, Shah SB, Kohli MR, Karabucak B, Kim S. Outcome of Endodontic Surgery: A Meta-analysis of the Literature—Part 1: Comparison of Traditional Root-end Surgery and Endodontic Microsurgery. *J Endod.* nov 2010;36(11):1757-65.
2. Torabinejad M, Corr R, Handysides R, Shabahang S. Outcomes of Nonsurgical Retreatment and Endodontic Surgery: A Systematic Review. *J Endod.* juill 2009;35(7):930-7.
3. Elemam RF, Pretty I. Comparison of the Success Rate of Endodontic Treatment and Implant Treatment. *ISRN Dent* 2011:640509.
4. Shinbori N, Grama AM, Patel Y, Woodmansey K, He J. Clinical Outcome of Endodontic Microsurgery That Uses EndoSequence BC Root Repair Material as the Root-end Filling Material. *J Endod.* mai 2015;41(5):607-12.
5. Rapport Traitement endodontique Disponible sur: [http://www.has-sante.fr/portail/plugins/ModuleXitiKLEE/types/FileDocument/doXiti.jsp?id=c\\_736790](http://www.has-sante.fr/portail/plugins/ModuleXitiKLEE/types/FileDocument/doXiti.jsp?id=c_736790)
6. Simon S, Machtou P, Pertot W-J, Friedman S. *Endodontie*. Rueil-Malmaison: Editions CdP; 2012.
7. *Endodontic Surgery (Apicoectomy) Plymouth MN* Disponible sur: <http://www.endoprofessionals.com/endodontic-procedures/apicoectomy.html>
8. Evans GE, Bishop K, Renton T. Update of guidelines for surgical endodontics – the position after ten years. *Br Dent J.* 26 mai 2012;212(10):497-8.
9. Karabucak B, Setzer F. Criteria for the ideal treatment option for failed endodontics: surgical or nonsurgical? *Compend Contin Educ Dent Jamesburg NJ* 1995. juin 2007;28(6):304-10; quiz 311, 332.
10. VERTOMMEN C. *LA CHIRURGIE APICALE: LES DONNEES ACQUISES DE LA SCIENCE*. Thèse d'exercice de santé;2013 NANCY; Disponible sur: [http://docnum.univ-lorraine.fr/public/BUPHA\\_TD\\_2013\\_VERTOMMEN\\_CHRISTELLE.pdf](http://docnum.univ-lorraine.fr/public/BUPHA_TD_2013_VERTOMMEN_CHRISTELLE.pdf)
11. Kim S, Kratchman S. Modern Endodontic Surgery Concepts and Practice: A Review. *J Endod.* juill 2006;32(7):601-23.
12. Bouammar O. Evaluation de l'étanchéité des ciments silicates tricalciques (MTA®, MM-MTA®, Biodentine®) dans les obturations rétrogrades en chirurgie endodontique: analyse de

la littérature. 2014. 46 p. Thèse d'exercice de santé; 2014LYO1D030

13. Spigarelli L. Obturations a retro: étude comparative de l'adaptation marginale d'un ciment de portland modifié vs IRM®. 2011. 132 p. Thèse d'exercice de santé; 2011TOU33038
14. Abhijeet K. Endodontic surgery. Slide share. Disponible sur: <http://fr.slideshare.net/abhijeet1104/endodontic-surgery-1-32624795>
15. De Bruyne MAA, De Moor RJG. SEM analysis of the integrity of resected root apices of cadaver and extracted teeth after ultrasonic root-end preparation at different intensities. *Int Endod J.* 2005;38(5):310-9.
16. BERGER L. le biofilm bactérien endodontique- thèse d'exercice de santé; 2010 Nancy1 3198
17. Les technologies performantes en endodontie : l'association gagnante du microscope opératoire et du laser erbium YAG - Le Fil Dentaire - Le portail du monde dentaire [Internet]. Disponible sur: <http://www.lefildentaire.com/articles/pratique/ergonomie-materiel/1290-les-technologies-performantes-en-endodontie-lassociation-gagnante-du-microscope-operatoire-et-du-laser-erbium-yag>
18. Witherspoon DE, Gutmann JL. Analysis of the healing response to gutta-percha and Diaket when used as root-end filling materials in periradicular surgery. *Int Endod J.* 1 janv 2000;33(1):37-45.
19. Gartner AH, Dorn SO. Advances in endodontic surgery. *Dent Clin North Am.* 1992 Apr;36(2):357-78.
20. Hargreaves K, Berman L. Cohen's Pathways of the Pulp Expert Consult, 10th Edition
21. Arx T von, Peñarrocha M, Jensen S. Prognostic Factors in Apical Surgery with Root-end Filling: A Meta-analysis. *J Endod.* juin 2010;36(6):957-73.
22. Barone C, Dao TT, Basrani BB, Wang N, Friedman S. Treatment Outcome in Endodontics: The Toronto Study—Phases 3, 4, and 5: Apical Surgery. *J Endod.* janv 2010;36(1):28-35.
23. Rahbaran S, Gilthorpe MS, Harrison SD, Gulabivala K. Comparison of clinical outcome of periapical surgery in endodontic and oral surgery units of a teaching dental hospital: A retrospective study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology.* juin 2001;91(6):700-9.

24. Lustmann J, Friedman S, Shaharabany V. Relation of pre- and intraoperative factors to prognosis of posterior apical surgery. *J Endod.* mai 1991;17(5):239-41.
25. Alley BS, Gray Kitchens G, Alley LW, Eleazer PD. A comparison of survival of teeth following endodontic treatment performed by general dentists or by specialists. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology.* juill 2004;98(1):115-8.
26. Bouyacoub M. Etude de l'adaptation marginale des obturations à rétro de l'IRM® vs le MM-MTA® - Thèses d'exercice de Santé. 2014 TOU3 3018
27. Arx T von, Jensen SS, Hänni S. Clinical and Radiographic Assessment of Various Predictors for Healing Outcome 1 Year After Periapical Surgery. *J Endod.* févr 2007;33(2):123-8.
28. Le mercure des amalgames dentaires - ANSM : Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé. Disponible sur: <http://ansm.sante.fr>
29. Fogel HM, Peikoff MD. Microleakage of Root-End Filling Materials. *J Endod.* juill 2001;27(7):456-8.
30. Chong BS, Pitt Ford TR, Kariyawasam SP. Short-term tissue response to potential root-end filling materials in infected root canals. *Int Endod J.* juill 1997;30(4):240-9.
31. Pereira CL, Cenci MS, Demarco FF. Sealing ability of MTA, Super EBA, Vitremer and amalgam as root-end filling materials. *Braz Oral Res.* 2004;18(4):317-21.
32. Fiches - Odontologie biomatériaux - Restauration directe au ciment verre ionomère - Présentation du matériau. Disponible sur: [http://partages.univ-rennes1.fr/files/partages/Services/CIRM/UNSOF/odonto-fiche-bio\\_mat/html/tp6/presentation\\_materiau.html](http://partages.univ-rennes1.fr/files/partages/Services/CIRM/UNSOF/odonto-fiche-bio_mat/html/tp6/presentation_materiau.html)
33. Bodrumlu E. Biocompatibility of retrograde root filling materials: A review. *Aust Endod J.* 1 avr 2008;34(1):30-5.
34. Saxena P, Gupta SK, Newaskar V. Biocompatibility of root-end filling materials: recent update. *Restor Dent Endod.* août 2013;38(3):119-27.
35. Adanir N, Cobankara FK, Belli S. Sealing properties of different resin-based root canal sealers. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* avr 2006;77(1):1-4.
36. Biodentine™ as a root-end filling - Munin - Universitetet i Tromsø [. Disponible sur: <https://www.yumpu.com/en/document/view/8096786/biodentinetm-as-a-root-end-filling-munin-universitetet-i-troms>

37. Nayak G, Hasan MF. Biodentine-a novel dentinal substitute for single visit apexification. *Restor Dent Endod*. mai 2014;39(2):120-5.
38. Notice d'usage MTA caps. Disponible sur: [http://www.acteongroup-products.com/IMG/pdf/rcp\\_gb\\_mta\\_caps\\_-\\_2.pdf](http://www.acteongroup-products.com/IMG/pdf/rcp_gb_mta_caps_-_2.pdf)
39. Shie M-Y, Huang T-H, Kao C-T, Huang C-H, Ding S-J. The effect of a physiologic solution pH on properties of white mineral trioxide aggregate. *J Endod*. janv 2009;35(1):98-101.
40. Beslot A. Mineral Trioxyde Aggregate MTA® Matériau d'apexification? *Inf Dent*. 2004;86(35):2263-73.
41. Parirokh M, Torabinejad M. Mineral Trioxide Aggregate: A Comprehensive Literature Review—Part I: Chemical, Physical, and Antibacterial Properties. *J Endod*. janv 2010;36(1):16-27.
42. PRODUCT PROFILE: Mineral Trioxide Aggregate (MTA): An Updated Review Disponible sur: <http://www.oralhealthgroup.com/news/product-profile-mineral-trioxide-aggregate-mta--an-updated-review/1000145860/?&er=NA>
43. Anusavice KJ, Shen C, Rawls HR. *Phillips' Science of Dental Materials*. Elsevier Health Sciences; 2014. 588 p.
44. Torabinejad M, Parirokh M. Mineral Trioxide Aggregate: A Comprehensive Literature Review—Part II: Leakage and Biocompatibility Investigations. *J Endod*. févr 2010;36(2):190-202.
45. M G Gandolfi PT. Apatite-forming ability (bioactivity) of ProRoot MTA. *Int Endod J*. 2010;43(10):917-29.
46. Seung-Ho Baek HP. Periapical tissue responses and cementum regeneration with amalgam, SuperEBA, and MTA as root-end filling materials. *J Endod*. 2005;31(6):444-9.
47. Regan JD, Gutmann JL, Witherspoon DE. Comparison of Diaket and MTA when used as root-end filling materials to support regeneration of the periradicular tissues; *Journal Int Endod J*. 2002 Oct;35(10):840-7.
48. Parirokh M, Torabinejad M. Mineral Trioxide Aggregate: A Comprehensive Literature Review—Part III: Clinical Applications, Drawbacks, and Mechanism of Action. *J Endod*. mars 2010;36(3):400-13.

49. DEJOU J. Les céramiques. Disponible sur: <http://campus.cerimes.fr/odontologie/enseignement/chap17/site/html/cours.pdf>
50. Ree M, Schwartz R. Clinical applications of bioceramic materials in endodontics. Endodontic Practice US. Disponible sur: <http://endopracticeus.com/ce-articles/clinical-applications-of-bioceramic-materials-in-endodontics/>
51. EndoSequence BC RRM | Bioceramic Root Repair Material [Internet]. Brasseler USA - Dental. Disponible sur: <http://brasselerusadental.com/products/bc-rrm/>
52. Koch K, Brave D, Nasseh AA. A review of bioceramic technology in endodontics. CE Artic. 2012;4:6-12.
53. Ma J, Shen Y, Stojicic S, Haapasalo M. Biocompatibility of Two Novel Root Repair Materials. J Endod. juin 2011;37(6):793-8.
54. Lovato KF, Sedgley CM. Antibacterial Activity of EndoSequence Root Repair Material and ProRoot MTA against Clinical Isolates of Enterococcus faecalis. J Endod. nov 2011;37(11):1542-6.
55. Keskin C, Demiryurek EO, Ozyurek T. Color Stabilities of Calcium Silicate-based Materials in Contact with Different Irrigation Solutions. J Endod. mars 2015;41(3):409-11.
56. DeLong C, He J, Woodmansey KF. The Effect of Obturation Technique on the Push-out Bond Strength of Calcium Silicate Sealers. J Endod. mars 2015;41(3):385-8.
57. Shokouhinejad N, Razmi H, Nekoofar MH, Sajadi S, Dummer PM, Khoshkhounejad M. Push-out bond strength of bioceramic materials in a synthetic tissue fluid. J Dent Tehran Iran. nov 2013;10(6):540-7.
58. Walsh RM, Woodmansey KF, Glickman GN, He J. Evaluation of compressive strength of hydraulic silicate-based root-end filling materials. J Endod. juill 2014;40(7):969-72.
59. 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 Endodontology. août 2011;112(2):e74-7.
60. Brasseale BJ. AN IN-VITRO COMPARISON OF MICROLEAKAGE WITH E. FAECALIS IN TEETH WITH ROOT-END FILLINGS OF PROROOT MTA AND BRASSLER'S ENDOSEQUENCE ROOT REPAIR PUTTY [Internet]. Disponible sur: <https://scholarworks.iupui.edu/handle/1805/2707>

61. 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.
62. AlAnezi AZ, Jiang J, Safavi KE, Spangberg LSW, Zhu Q. Cytotoxicity evaluation of endosequence root repair material. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology.* mars 2010;109(3):e122-5.
63. Damas BA, Wheeler MA, Bringas JS, Hoen MM. Cytotoxicity Comparison of Mineral Trioxide Aggregates and EndoSequence Bioceramic Root Repair Materials. *J Endod.* mars 2011;37(3):372-5.
64. Hirschman WR, Wheeler MA, Bringas JS, Hoen MM. Cytotoxicity Comparison of Three Current Direct Pulp-capping Agents with a New Bioceramic Root Repair Putty. *J Endod.* mars 2012;38(3):385-8.
65. MSDS-Endosequence-Root-Repair-Material.pdf. Disponible sur: <http://brasselerusa.com/wp-content/files/MSDS-Endosequence-Root-Repair-Material.pdf>
66. Shokouhinejad N, Nekoofar MH, Razmi H, Sajadi S, Davies TE, Saghiri MA, et al. Bioactivity of EndoSequence root repair material and bioaggregate. *Int Endod J.* déc 2012;45(12):1127-34.
67. Durgun E, Manzano H, Pellenq RJM, Grossman JC. Understanding and Controlling the Reactivity of the Calcium Silicate phases from First Principles. *Chem Mater.* 10 avr 2012;24(7):1262-7.
68. Mourlan L. Pénétration de ciment de scellement endodontique dans les tubules dentinaires : pré-étude en microscopie à fluorescence de trois techniques d'obturation. Thèse d'exercice de santé. 2013TOU33041
69. CLAUDON O. Etanchéité apicale de ciments canalaires. Thèse d'exercice de santé; 2002 NANCY1 3602
70. John Ide Ingle, Jerry F. Taintor. *Endodontics* 1985
71. Wu MK, Wesselink PR. Endodontic leakage studies reconsidered. Part I. Methodology, application and relevance. - *Int Endod J.* 1993 Jan;26(1):37-43.
72. EMERY Olivier. Evaluation de l'étanchéité des obturations endocanalaire: revue de la littérature, Disponible sur: <http://www.sop.asso.fr/admin/documents/ros/ROS0000136/126.pdf>

73. Veríssimo DM, do Vale MS. Methodologies for assessment of apical and coronal leakage of endodontic filling materials: a critical review. *J Oral Sci.* sept 2006;48(3):93-8.
74. Camps J, Pashley D. Reliability of the dye penetration studies. *J Endod.* 2003 Sep;29(9):592-4.
75. Sayed M El, Saeed M. In vitro comparative study of sealing ability of Diadent BioAggregate and other root-end filling materials. *J Conserv Dent.* 2012;15(3):249.
76. De-Deus G. New directions in old leakage methods. *Int Endod J.* août 2008;41(8):720-1.
77. Tomazinho FSF. Bacterial Leakage of Mineral Trioxide Aggregatebased and Resin-based Sealers in Teeth Ready for Root Retainers. *J Dent App* 2015
78. Britto LR, Grimaudo NJ, Vertucci FJ. Coronal microleakage assessed by polymicrobial markers. *J Contemp Dent Pract.* 15 août 2003;4(3):1-10.
79. Kersten HW, Moorer WR. Particles and molecules in endodontic leakage. *Int Endod J.* mai 1989;22(3):118-24.
80. Canalda-Sahli C, Brau-Aguade E, Sentis-Vilalta J, Aguade-Bruix S. The apical seal of root canal sealing cements using a radionuclide detection technique. *Int Endod J.* sept 1992;25(5):250-6.
81. Pommel L, Camps J. In vitro apical leakage of system B compared with other filling techniques. *J Endod.* juill 2001;27(7):449-51.
82. Jacobson SM, Fraunhofer JA von. The investigation of microleakage in root canal therapy. An electrochemical technique. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* déc 1976;42(6):817-23.
83. Orosco FA, Bramante CM, Garcia RB, Bernardineli N, Moraes IG de. Sealing ability, marginal adaptation and their correlation using three root-end filling materials as apical plugs. *J Appl Oral Sci.* avr 2010;18(2):127-34.
84. Gondim E, Zaia AA, Gomes BPF, Ferraz CCR, Teixeira FB, Souza-Filho FJ. Investigation of the marginal adaptation of root-end filling materials in root-end cavities prepared with ultrasonic tips. *Int Endod J.* juill 2003;36(7):491-9.
85. Fouzan K Al, Awadh M, Badwelan M, Babhair S, Rejaie M Al-, Hezaimi K Al, et al. Marginal adaptation of mineral trioxide aggregate (MTA) to root dentin surface with orthograde/retrograde application techniques: A microcomputed tomographic analysis. *J*

Conserv Dent. 2015;18(2):109.

86. Abdal AK, Retief DH. The apical seal via the retrosurgical approach. I.A. preliminary study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* juin 1982;53(6):614-21.
87. Xavier CB, Weismann R, de Oliveira MG, Demarco FF, Pozza DH. Root-end filling materials: apical microleakage and marginal adaptation. *J Endod.* juill 2005;31(7):539-42.
88. Tobón-Arroyave SI, Restrepo-Pérez MM, Arismendi-Echavarría JA, Velásquez-Restrepo Z, Marín-Botero ML, García-Dorado EC. Ex vivo microscopic assessment of factors affecting the quality of apical seal created by root-end fillings. *Int Endod J.* 1 août 2007;40(8):590-602.
89. Bonin B. Les biocéramiques en chirurgie endodontique [Internet]. 2014 déc Disponible sur: [http://free.mailbigfile.com/download\\_from\\_cloud.php?file\\_id=10949826&retrieval\\_token=f6700b61b6f9891e7702c976f2ac8348](http://free.mailbigfile.com/download_from_cloud.php?file_id=10949826&retrieval_token=f6700b61b6f9891e7702c976f2ac8348)
90. MTA Caps - Acteon Products. Disponible sur: <http://www.acteongroup-products.com/fr/mta-caps.html>
91. Koch K, Brave D, Nasseh A. Bioceramic Technology: Closing the Endo-Restorative Circle, Part 2 Disponible sur: <http://www.dentistrytoday.com/endodontics/2588-bioceramic-technology-closing-the-endo-restorative-circle-part-2>
92. Hirschberg CS, Patel NS, Patel LM, Kadouri DE, Hartwell GR. Comparison of sealing ability of MTA and EndoSequence Bioceramic Root Repair Material: a bacterial leakage study. *Quintessence Int.* 2013 May;44(5):e157-62.
93. Jeevani E, Jayaprakash T, Bolla N, Vemuri S, Sunil CR, Kalluru RS. Evaluation of sealing ability of MM-MTA, Endosequence, and biodentine as furcation repair materials: UV spectrophotometric analysis. *J Conserv Dent.* 2014 Jul;17(4):340-3. doi: 10.4103/0972-0707.136449.
94. Fernández-Yáñez Sánchez A, Leco-Berrocal MI, Martínez-González JM. Metaanalysis of filler materials in periapical surgery. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.* Mars 2008; 13(3):E180-5.
95. Costa AT, Konrath F, Dedavid B, Weber JBB, de Oliveira MG. Marginal adaptation of root-end filling materials: an in vitro study with teeth and replicas. *J Contemp Dent Pract.* 2009; 10(2):75-82.
96. 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.* Juin 1995; 21(6):295-9.

97. Stabholz A, Friedman S, Abed J. Marginal adaptation of retrograde fillings and its correlation with sealability. *J Endod.* Mai 1985; 11(5):218-23.
98. Shipper G, Grossman ES, Botha AJ, Cleaton-Jones PE. Marginal adaptation of mineral trioxide aggregate (MTA) compared with amalgam as a root-end filling material: a low-vacuum (LV) versus high-vacuum (HV) SEM study. *Int Endod J.* 1 mai 2004; 37(5):325-36.
99. Camilleri J, Pitt Ford TR. Evaluation of the effect of tracer pH on the sealing ability of glass ionomer cement and mineral trioxide aggregate. *J Mater Sci Mater Med.* août 2008; 19(8):2941-8.
100. Bidar M, Moradi S, Jafarzadeh H, Bidad S. Comparative SEM study of the marginal adaptation of white and grey MTA and Portland cement. *Aust Endod J J Aust Soc Endodontology Inc.* avr 2007;33(1):2-6.

**ETUDE DE L'ADAPTATION MARGINALE DES OBTURATIONS A  
RETRO DU MTA Caps® ET DE L'E-RRM®**

---

**Résumé en français :**

Parfois indiquée en cas d'échec de traitement endodontique, la microchirurgie endodontique est une thérapeutique très performante mais aussi très sensible. En effet nombreux sont les facteurs influençant la réussite de ce traitement. Parmi ceux-là, les propriétés d'étanchéité du matériau d'obturation jouent un rôle primordial. Ce travail de thèse évalue et compare l'étanchéité du MTA-Caps® et de l'E-RRM® à travers leur adaptation marginale.....

---

**Titre en anglais:** Assessment of MTA Caps® vs E-RRM® marginal adaptation as root-end filling materials

---

**Discipline administrative:** Odontologie conservatrice Endodontique

---

**Mots clefs :** microchirurgie endodontique ; adaptation marginale ; MTA Caps® ; ERRM®

---

**Intitulé et adresse de l'UFR ou du laboratoire**

FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE  
3, Chemin des Maraîchers  
31062 TOULOUSE CEDEX 9

---

**DIRECTEUR DE THESE :** Professeur Franck DIEMER