

UNIVERSITE TOULOUSE III – PAUL SABATIER
FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

ANNEE 2018

2018-TOU3-3069

THESE

POUR LE DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement

par

Eugénie JUSTICE-ESPENAN

le 12 Novembre 2018

**ETUDE COMPARATIVE EN TOMOGRAPHIE VOLUMIQUE
DES RESIDUS DE CIMENTS D'OBTURATION CANALAIRE
APRES DESOBTURATION ENDODONTIQUE**

Directeur de thèse : Dr Vincent BLASCO-BAQUE

Co-directeur de thèse : Pr Franck DIEMER

JURY

Président :	Pr Franck DIEMER
1er assesseur :	Dr Marie GURGEL-GEORGELIN
2ème assesseur :	Dr Vincent BLASCO-BAQUE
3ème assesseur :	Dr Damien OSTROWSKI



UNIVERSITE TOULOUSE III – PAUL SABATIER
FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

ANNEE 2018

2018-TOU3-3069

THESE

POUR LE DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement

par

Eugénie JUSTICE-ESPENAN

le 12 Novembre 2018

**ETUDE COMPARATIVE EN TOMOGRAPHIE VOLUMIQUE
DES RESIDUS DE CIMENTS D'OBTURATION CANALAIRE
APRES DESOBTURATION ENDODONTIQUE**

Directeur de thèse : Dr Vincent BLASCO-BAQUE

Co-directeur de thèse : Pr Franck DIEMER

JURY

Président :	Pr Franck DIEMER
1er assesseur :	Dr Marie GURGEL-GEORGELIN
2ème assesseur :	Dr Vincent BLASCO-BAQUE
3ème assesseur :	Dr Damien OSTROWSKI



Faculté de Chirurgie Dentaire

➔ DIRECTION

DOYEN

Mr Philippe POMAR

ASSESEUR DU DOYEN

Mme Sabine JONJOT

CHARGÉS DE MISSION

Mr Karim NASR
Mr HAMEL Olivier
Mr Franck DIEMER

PRÉSIDENTE DU COMITÉ SCIENTIFIQUE

Mme Cathy NABET

RESPONSABLE ADMINISTRATIF

Mme Muriel VERDAGUER

➔ HONORARIAT

DOYENS HONORAIRES

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

➔ ÉMÉRITAT

Mr Damien DURAN
Mme Geneviève GRÉGOIRE
Mr Gérard PALOUDIER

➔ PERSONNEL ENSEIGNANT

Section CNU 56 : Développement, Croissance et Prévention

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

ODONTOLOGIE PEDIATRIQUE

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

ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE

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

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

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

Section CNU 57 : Chirurgie Orale, Parodontologie, Biologie Orale

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

PARODONTOLOGIE

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

CHIRURGIE ORALE

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

BIOLOGIE ORALE

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

Section CNU 58 : Réhabilitation Orale

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

DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE

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

PROTHÈSES

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

FONCTIONS-DYSFONCTIONS, IMAGERIE, BIOMATERIAUX

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

Mise à jour pour le 15 OCTOBRE 2018

Remerciements

A mes parents, pour votre amour et votre soutien depuis toujours. Merci pour l'éducation que vous m'avez donnée et les valeurs que vous avez su me transmettre.

Maman, ta joie de vivre et ta persévérance sont un bel exemple. Je suis très fière de ta reconversion professionnelle.

Papa, la force tranquille. Le calme et la sérénité que tu m'as transmis ont été les clefs de ma réussite. J'espère vous rendre fier aujourd'hui.

A mes frères et sœurs,

Margaux, pour ton sens de l'hospitalité à chacune de nos venues. Je suis désolée de ruiner tous vos efforts d'éducation avec mes petits neveux ! Je te souhaite beaucoup de bonheur avec François.

Arthur, « le petit dernier », merci pour ta bienveillance à mon égard depuis toujours. Bravo à tous les deux pour votre parcours professionnel exemplaire.

A mes amis,

A Margaux, inséparables depuis le lycée, cela fait maintenant dix ans que les études nous ont séparées géographiquement mais presque rien n'a changé ! Merci de m'accueillir dans votre petite maison du bonheur tous les étés avec MJ et Sacha, ma famille d'adoption !

A Victoire, ma jumelle. Ces quelques mois de collocation m'ont fait prendre conscience à quel point tu m'avais manqué. Heureusement que notre complicité est restée intacte. Je suis tellement fière de ta réussite.

A Loulou, MA BINOME de tout. De couture, de bricolage, de déco, de shopping, de fête, de voyages et accessoirement de clinique. L'association est tellement parfaite qu'il m'est difficile d'envisager l'avenir sans toi. Les six prochains mois vont être très longs. Profite bien de ton voyage mais reviens nous vite.

A Soso, tu m'as beaucoup manqué ces deux dernières années mais tu es revenue encore plus rayonnante qu'avant. Heureusement que ton rire, lui, n'a pas changé. A nos futurs matchs de padel, peut être qu'un jour l'élève dépassera le maître !

A Yannis, le petit rat de champs ariégeois devenu grand conférencier ! Merci de me faire autant rire depuis cette prise de tension pendant notre premier stage à la Fac ! Tu es un vrai rayon de soleil, avec un humour hors-norme, je suis ta première fan mais tu le sais déjà !

A Fabien, Maître Befaf, inséparables du premier jour de Fac jusqu'à la dernière repêche. Je suis très impressionnée par le pêcheur téméraire que tu es devenu ! Nos virées chaotiques en scooter ont laissé place aux sorties en Harley, mais notre complicité, elle, n'a pas changée.

A Capoux, tu as le courage de supporter le gros Babtou au quotidien et ça ne doit pas être facile tous les jours ! Je suis vraiment contente que tu fasses partie de la team, ta joie de vivre est maintenant indispensable à nos vacances.

A tous les MOUTH'S, de nos premières soirées d'inté jusqu'à nos soirées de thèse, je garde de merveilleux souvenirs de ces cinq années d'étude. Merci à tous !

Aux Docteurs FISSE et MICHETTI pour leur aide si précieuse dans la réalisation de ce travail.

**A notre président du jury,
A notre co-directeur de thèse,**

Monsieur le Professeur Franck DIEMER,

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

Nous souhaitons vous remercier d'avoir accepté de diriger cette thèse.

Merci pour votre disponibilité, votre patience et votre implication dans ce travail.

Merci de nous avoir enseigné l'endodontie avec rigueur et passion pendant toutes ces années d'étude.

Soyez certain de notre gratitude et de notre profonde estime personnelle et professionnelle.

A notre jury de thèse,

Madame le Docteur Marie GURGEL-GEORGELIN,

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

Je vous suis très reconnaissante pour votre présence dans ce jury.

Je vous remercie pour votre gentillesse, votre dynamisme, votre approche humaine de l'exercice, et votre accompagnement tout au long de nos études.

Veillez trouver ici l'expression de notre reconnaissance et de notre profond respect.

A notre directeur de thèse,

Monsieur le Docteur Vincent BLASCO-BAQUE,

- Maître de Conférence Universitaire et Praticien Hospitalier à la Faculté de Chirurgie Dentaire de Toulouse,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- Master 2 de Recherche en « Physiopathologie des approches expérimentales aux nouvelles thérapeutiques »,
- Docteur de l'Université Paul Sabatier,
- Lauréat de l'Université Paul Sabatier,
- Diplôme Inter-Universitaire d'Endodontie de la Faculté de Chirurgie Dentaire de Toulouse,
- Responsable Diplôme Inter-Universitaire de Médecine bucco dentaire du Sport.

*Je tiens à vous remercier pour votre disponibilité et vos précieux conseils pendant la rédaction de cette thèse.
Merci pour votre pédagogie et votre enthousiasme, nous avons su apprécier la qualité de votre enseignement et de votre encadrement pendant les vacations cliniques tout au long de nos études.
J'espère que vous saurez juger notre travail avec autant de rigueur et de plaisir que sur un terrain de rugby.
Veuillez trouver dans cette thèse, le témoignage de notre profonde gratitude.*

A notre jury de thèse,

Monsieur le Docteur Damien OSTROWSKI

- Assistant Hospitalo-Universitaire d'Odontologie
- Docteur en Chirurgie Dentaire
- CES de Chirurgie Dentaire : Biomatériaux en Odontologie
- CES de Chirurgie Dentaire : O C E

*Nous vous remercions très chaleureusement d'avoir accepté de siéger parmi notre jury de thèse.
Votre expérience, vos qualités humaines et votre bonne humeur m'ont fait particulièrement apprécier mes remplacements au sein de votre cabinet.
Veuillez trouver dans cette thèse, le témoignage de notre gratitude et de notre profonde considération.*

Table des matières

PARTIE I : LES CIMENTS BIOCERAMIQUES UTILISES EN ENDODONTIE – *Etude bibliographique*

1. Introduction	13
1.1. Limites des ciments endodontiques conventionnels	13
1.2. Les biomatériaux	13
1.2.1. Définition.....	13
1.2.2. Classification.....	14
1.3. Les biocéramiques	14
1.3.1. Définition.....	14
1.3.2. Classification.....	14
2. Propriétés des ciments biocéramiques	15
2.1. Propriétés physico-chimiques	15
2.1.1. Propriétés mécaniques.....	15
2.1.2. Stabilité dimensionnelle.....	16
2.1.3. pH alcalin et relargage d'ions calcium.....	16
2.1.4. Radio-opacité importante.....	17
2.1.5. Fluidité.....	17
2.1.6. Faible porosité.....	18
2.1.7. Faible solubilité.....	18
2.1.8. Temps de prise court.....	18
2.2. Propriétés biologiques	19
2.2.1. Biocompatibilité.....	19
2.2.2. Bioactivité : induction de la minéralisation.....	20
2.2.3. Induction de la différenciation cellulaire.....	20
2.2.4. Activité antibactérienne.....	20
3. Indications des ciments biocéramiques	23
3.1. Apexification de dents immatures	23
3.2. Restaurations coronaires/radiculaires en cas de perforation	25
3.3. Obturation rétrograde en endodontie chirurgicale	26
3.4. Traitement des résorptions externes	27
3.5. Ciment d'obturation utilisé seul	29
3.6. Ciment de scellement associé à la gutta-percha	29
3.7. Coiffages pulpaire et pulpotomies	31
3.8. Extraction/réimplantation	32
4. Limites des ciments biocéramiques	33
4.1. Le matériau idéal selon Grossman	33
4.2. Le matériau idéal selon Schmalz	34
4.3. Possibilité de reprise du traitement endodontique	34

PARTIE II : LE RETRAITEMENT ENDODONTIQUE DE DENTS OBTUREES AU CIMENT BIOCERAMIQUE – *Etude comparative In Vitro*

1. Introduction.....	37
2. Matériels & Méthodes.....	37
2.1. Sélection des dents.....	37
2.2. Aménagement des voies d'accès.....	39
2.3. Détermination de la longueur de travail.....	40
2.4. Mise en forme.....	41
2.5. Obturation canalaire.....	42
2.6. Retraitement endodontique.....	45
2.6.1. Désobturation du groupe A.....	45
2.6.2. Désobturation du groupe B.....	45
2.6.3. Désobturation du groupe C.....	46
2.6.4. Désobturation du groupe D.....	46
3. Evaluation des différents critères.....	46
3.1. Capacité à retrouver la longueur de travail.....	46
3.2. Perméabilité du canal.....	47
3.3. Temps de retraitement.....	47
3.4. Quantité résiduelle de ciment : analyse CBCT.....	47
3.4.1. Acquisition.....	47
3.4.2. Analyse avec le logiciel CTan®.....	49
4. Résultats.....	53
4.1. Capacité à retrouver la longueur de travail.....	53
4.2. Perméabilité du canal.....	53
4.3. Temps de retraitement.....	54
4.4. Quantité de matériaux résiduels.....	54
4.4.1. Résultats concernant le volume canalaire total.....	54
4.4.2. Résultats coupe par coupe.....	55
5. Discussion.....	58
5.1. Choix des matériels et méthodes.....	58
5.1.1. Sélection des échantillons.....	58
5.1.2. Préparation des dents.....	58
5.1.3. Obturation endodontique.....	58
5.1.4. Désobturation endodontique.....	59
5.1.5. Utilisation de solvants.....	59
5.1.6. Méthode de mesure.....	59
5.2. Discussion des résultats.....	59
6. Conclusion.....	60

PARTIE I

**LES CIMENTS
BIOCERAMIQUES UTILISES
EN ENDODONTIE**

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Introduction

1.1. Limites des ciments endodontiques conventionnels

Les ciments endodontiques les plus fréquemment utilisés en cabinet sont de trois sortes :

- les ciments à base d'oxyde de zinc et d'eugéno1 (Sealite®, Pulp Canal Sealer®, ...),
- les ciments à base d'hydroxyde de calcium (Sealapex®, Apexit Plus®, ...),
- les ciments à base de résine (AH Plus®, Spad®,...).

Ils offrent tous de nombreux avantages mais présentent aussi quelques limites.

Par exemple, les ciments à base d'oxyde de zinc et d'eugéno1 ont une faible adhésion aux parois dentinaires et peuvent entraîner des discolorations grisâtres de la dent, à cause de l'argent qu'ils contiennent.

Les ciments à base d'hydroxyde de calcium sont naturellement résorbés dans l'organisme ce qui induit une perte d'étanchéité sur le long terme.

Enfin, les ciments à base de résine sont cytotoxiques et complètement insolubles : s'ils n'ont pas été associé à des cônes de gutta-percha, le retraitement endodontique est impossible.

Ces inconvénients ont poussé les distributeurs à rechercher de nouveaux types de ciments.

1.2. Les biomatériaux

1.2.1. Définition

Le terme « biomatériau » a plusieurs significations. En 1986, la Société Européenne des Biomateriaux (European Society for Biomaterials, ESB) le définit de la façon suivante : « un biomatériau est un matériau non vivant, utilisé dans un dispositif médical, destiné à interagir avec les systèmes biologiques, qu'il participe à la constitution d'un dispositif à visée diagnostique ou à celle d'un substitut de tissu ou d'organe ou encore à celle d'un dispositif de suppléance (ou d'assistance) fonctionnelle » (1).

Cette notion de biomatériaux est donc très vaste et regroupe de nombreux produits d'origine naturelle ou issus de la synthèse de matériaux.

Le biomatériau est destiné à être implanté dans le corps humain où il sera, à moyen ou à long terme, en contact avec les tissus (tissus mous et durs) et les fluides biologiques.

Une qualité essentielle est l'absence d'effet délétère pour l'organisme, c'est-à-dire sa biocompatibilité. Historiquement, la biocompatibilité a d'abord été appréhendée de manière passive, avec le développement de matériaux les plus inertes possibles vis-à-vis des tissus. Depuis les années 1980, une interaction positive est recherchée, dans le but d'une intégration plus rapide et pérenne des biomatériaux et une guérison des tissus (2).

1.2.2. Classification

Les biomatériaux peuvent être classés en fonction de leur réactivité biologique après implantation. Ils sont alors :

- biocompatibles ou biotolérés,
- bioinertes ou bioactifs,
- biorésorbables ou non-résorbables,
- ostéoconducteurs ou ostéoinducteurs (3).

Etant donnée l'étendue de la définition des biomatériaux, il est de coutume de les classer en quatre groupes, en fonction de leur nature chimique :

- les métaux et alliages métalliques,
- les céramiques,
- les polymères,
- les matériaux d'origine naturelle (4)

1.3. Les biocéramiques

1.3.1. Définition

Les biocéramiques sont des matériaux spécialement conçus pour un usage médical et dentaire. Ce sont des matériaux inorganiques, non métalliques et biocompatibles. Leur excellente biocompatibilité est expliquée par leur forte similitude avec l'hydroxyapatite biologique.

Au cours des années 1960 et 1970, ces matériaux ont été développés pour une utilisation dans le corps humain, telle que le remplacement articulaire, les plaques osseuses, le ciment osseux, les ligaments et tendons artificiels, les prothèses vasculaires, les valves cardiaques, les appareils de réparation cutanée (tissus artificiels), les implants dentaires, etc ...

1.3.2. Classification

Les biocéramiques peuvent être classés en trois familles :

- les céramiques **bioinertes** qui n'interagissent pas avec les systèmes biologiques (alumine et zircone utilisées principalement en prothèse),
- les céramiques **bioactives** qui persistent dans les tissus et qui peuvent subir des interactions avec les tissus environnants (verres bioactifs, céramiques vitreuses bioactives, hydroxyapatite et silicates de calcium).
- les céramiques **biodégradables, solubles ou résorbables** qui sont remplacées ou incorporés dans des tissus (phosphates de calcium, verres bioactifs) (5)(6).

Les ciments biocéramiques utilisés en endodontie appartiennent à la famille des céramiques bioactives.

Ils peuvent être classés par composition, mécanisme de prise, ou encore type de présentation. Il existe des ciments destinés à être utilisés avec de la gutta-percha, et d'autres « mastics », conçus pour être utilisés seuls (comme le MTA).

Certains se présentent sous la forme poudre / liquide et nécessitent un mélange manuel. La manipulation de ces systèmes est très opérateur-dépendante et produit un gaspillage important. D'autres ciments, dits « prémélangés », se présentent sous la forme de seringue automélangeuse. Cette présentation permet d'obtenir une consistance uniforme et évite le gaspillage. Les ciments prémélangés nécessitent l'humidité des tissus environnants pour faire leur réaction de prise.

2. Propriétés des ciments biocéramiques

2.1. Propriétés physico-chimiques

2.1.1. Propriétés mécaniques

2.1.1.1. Dureté

La dureté peut être définie comme la résistance à la déformation plastique de la surface d'un matériau. La dureté va influencer la résistance à l'abrasion, la transmission des contraintes occlusales au sein du matériau et à la dent traitée. Selon le test de Knoop, la dureté des tissus dentaires se rapproche de (kg/mm^2) :

- 340 pour l'émail
- 60 pour la dentine(7)

Il serait optimal que la dureté superficielle d'un matériau biocéramique atteigne le même niveau que la dentine.

2.1.1.2. Résistance à la compression

La résistance à la compression est un facteur important à prendre en compte car le matériau d'obturation sera placé dans une cavité soumise, indirectement, à la pression occlusale (8) .

2.1.1.3. Résistance à la flexion

La résistance à la flexion est la capacité d'un matériau à résister à la déformation sous une charge (9). Plus la résistance flexionnelle du matériau est élevée, plus le risque de fracture est faible.

2.1.1.4. Résistance à la traction

La résistance à la traction est une propriété importante pour les ciments d'obturation, notamment lorsqu'ils sont utilisés dans la réparation de perforations radiculaires, car le mouvement de la dent au sein de son parodonte peut déloger le matériau (10).

2.1.2. Stabilité dimensionnelle

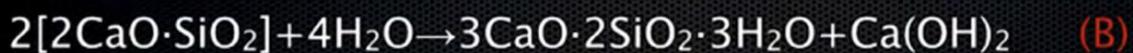
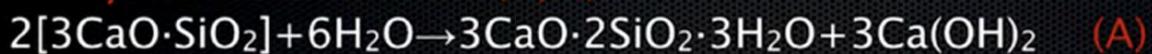
La réaction de prise de certaines biocéramiques entraîne une légère dilatation, ce qui assure une étanchéité maximale au niveau des joints ciment/dentine et ciment/gutta-percha (5).

Le MTA Fillapex® et l'Endosequence BC Sealer® présentent respectivement une rétraction et expansion de prise répondant à la norme ISO (11).

2.1.3. pH alcalin et relargage d'ions calcium

Lorsque les matériaux biocéramiques entrent en contact avec les fluides tissulaires, une réaction d'hydratation se produit, le pH est alors supérieur à 12. Cette réaction va former de l'hydroxyde de calcium, qui va se dissocier en ions calcium et hydroxyle.

• Hydration Reactions (A, B)



• Precipitation Reaction



Réaction d'hydratation d'une biocéramique en présence d'eau (A et B)

Réaction de précipitation de la biocéramique (C)

L'hydroxyde de calcium libéré va interagir avec les ions phosphates présents dans les fluides tissulaires pour former de l'hydroxyapatite et de l'eau. C'est ce que l'on appelle la bioactivité.

Cette propriété est très recherchée lors de coiffages pulpaire, d'apexifications, et de réparations de perforations. Elle participe aussi à l'étanchéité de l'obturation endodontique. En effet, les cristaux d'hydroxyapatite formés vont assurer, avec les parois canalaires, une liaison chimique et micromécanique.

Ce précipité d'hydroxyapatite permet de renforcer la liaison entre le ciment de scellement et les parois canalaires.

Des études ont comparé la bioactivité de BC Sealer® avec celle de la Biodentine®, du MTA® et du ProRoot MTA®. Ces deux études s'accordent à dire que ces ciments biocéramiques possèdent bien une bioactivité avec cependant des résultats supérieurs pour la Biodentine®, le MTA® et le ProRoot MTA® (12) (13).

Camps et Al ont comparé la bioactivité de Bioroot RCS®, avec celle du Pulp Canal Sealer® en étudiant leur interaction avec des cellules du desmodonte. On constate une toxicité moindre et une sécrétion accrue de facteur de croissance ostéogénique pour Bioroot RCS® (14).

La bioactivité d'un ciment biocéramique est donc supérieure à celle d'un ciment à base d'Oxyde de Zinc/Eugénol.

2.1.4. Radio-opacité importante

La radio-opacité est une propriété essentielle qui permet la visualisation des matériaux d'obturation par examen radiographique, afin de vérifier la qualité du traitement endodontique.

Selon les normes ISO, un ciment endocanalair doit être visible radiologiquement après une irradiation à travers une plaque d'aluminium d'au moins 3 mm d'épaisseur.

L'Endosequence BC Sealer® répond à cette norme ISO avec une valeur de 3.8 mm. Sa radio opacité est toutefois inférieure à celle d'AH Plus® (15). A titre indicatif, la dentine présente une radio opacité de 1.0 mm.

2.1.5. Fluidité

La fluidité est la capacité d'un ciment à pénétrer dans les irrégularités et les canaux accessoires du système canalair. Plus la fluidité est élevée, meilleure est la capacité à pénétrer dans les irrégularités. La fluidité est également influencée par la taille des particules : plus les particules sont petites, plus l'écoulement est important (16).

Cependant, si le débit est excessif, le risque d'extravasation de matériau dans le periapex est augmenté, ce qui pourrait endommager les tissus parodontaux et compromettre la cicatrisation. Ainsi, une fluidité modérée est recherchée.

Lors des tests, une goutte de ciment est placée entre deux plaques de verres et soumise à une charge. Le diamètre du disque de ciment ainsi obtenu est mesuré et comparé à la norme ISO 6876/2001 (au minimum 20mm)(11). Ces tests ont permis d'obtenir les résultats de plusieurs ciments :

- pour BC Sealer®, les valeurs vont de 23.1 à 26.96 mm (11) (15) ;
- pour MTA Fillapex®, le résultat est de 22 mm (11);
- le Bioroot RCS® présente une fluidité légèrement inférieure avec un diamètre de 16 mm (17).

2.1.6. Faible porosité

La résistance mécanique des matériaux dépend en partie de leur faible niveau de porosité. La porosité d'un ciment est liée à la quantité d'eau ajoutée pour former une pâte, à l'emprisonnement de bulles d'air pendant le mélange et à la valeur du pH environnemental(18). Plus la porosité est faible, plus la résistance mécanique est élevée.

2.1.7. Faible solubilité

La solubilité d'un matériau est la perte de volume lors de son immersion dans l'eau. Le manque de solubilité est une caractéristique recherchée pour les matériaux d'obturation et de réparation canalair. Il s'agit d'une propriété importante pour les ciments car une solubilité trop importante entrainera des vides dans l'obturation et donc une perte d'étanchéité permettant une réinfiltration bactérienne.

Pour qu'elle soit satisfaisante, la perte de matière ne doit pas excéder les 3% de la masse totale après 24h d'immersion. Selon *Zhou et al*, le MTA Fillapex® et l'Endosequence BC Sealer® ont une solubilité satisfaisante avec une valeur supérieure pour l'Endosequence BC Sealer (2.9%) (11). On retrouve aussi des valeurs satisfaisantes pour Bioroot RCS® (19).

2.1.8. Temps de prise court

Le temps de prise est la durée pendant laquelle un matériau doit passer d'un état fluide à un état dur. La présence d'humidité est requise pour les matériaux biocéramiques. Un temps de prise court améliore l'étanchéité entre le système canalair et le parodonte.

Zhou et al montrent, dans leur étude, qu'en milieu humide l'Endosequence BC Sealer® et le MTA Fillapex® réalisent leur prise respectivement en 2.5 et 2.7 heures (11). Le Bioroot RCS® a un temps de prise beaucoup plus rapide (27.4 min), en milieu humide (17).

2.2. Propriétés biologiques

2.2.1. Biocompatibilité

Un matériau est dit biocompatible lorsqu'une fois en contact avec l'hôte il n'induit pas de réaction de défense, tels que des phénomènes inflammatoires, cytotoxiques, irritatifs, allergiques ou carcinogéniques (20).

Les matériaux utilisés en endodontie sont placés en contact intime avec le parodonte et doivent donc être non toxiques et biocompatibles. Il existe différents tests *in vitro* et *in vivo* pour évaluer la biocompatibilité des matériaux dentaires. Afin d'étudier la biocompatibilité d'un ciment, le modèle que l'on retrouve le plus fréquemment est l'étude de la cytotoxicité.

Dans ces études le ciment est mis en contact avec une culture cellulaire puis sa viabilité est étudiée. *Zoufran et Al* ont comparé la cytotoxicité de quatre ciments : AH Plus®, TubliSeal®, Gutta Flow® et Endosequence BC sealer®. Que ce soit avant ou après la prise du ciment, BC sealer® et Gutta Flow® ont démontré moins de cytotoxicité qu'AH Plus® et Tubli Seal® (21). Cette meilleure biocompatibilité correspond aux résultats trouvés dans d'autres études (22).

Par ailleurs, une étude sur la cytotoxicité du MTA Fillapex® a démontré qu'il restait cytotoxique pendant toute la durée de l'étude (5 semaines). En revanche, les autres ciments testés (AH Plus®, Pulp Canal Sealer®, Sealapex®, RoekoSeal®...) perdent leur cytotoxicité. RoekoSeal® est le seul ciment qui n'a montré aucun effet cytotoxique ($p < 0,05$).

Tous les autres ciments testés présentaient une toxicité sévère au départ (semaine 0) qui a diminué progressivement au fil du temps (23). Concernant le MTA Fillapex®, sa moins bonne biocompatibilité serait due à un de ses composants, la résine salicylate (24)(25).

2.2.2. Bioactivité : induction de la minéralisation

Les ciments biocéramiques assurent non seulement l'étanchéité (liaison mécanique) avec le milieu extérieur et le parodonte mais sont aussi capables d'induire une formation d'hydroxyapatite au niveau de la dentine (26).

La barrière de tissu minéralisé nouvellement formée protège alors le canal contre les agressions bactériennes. Ce processus de biominéralisation pourrait être responsable de l'amélioration, au fil du temps, de la qualité du joint ciment/dentine (27).

2.2.3. Induction de la différenciation cellulaire

Une exposition pulpaire sévère et la destruction de la couche sous-jacente d'odontoblastes peuvent, dans certaines conditions, initier la régénération du complexe dentino-pulpaire par le recrutement de cellules progénitrices et leur différenciation en cellules sécrétrices (26).

Il va alors se former une barrière de tissu minéralisé (dentine tertiaire) pour protéger la pulpe contre d'autres agressions. Cliniquement, les traitements tels que le coiffage pulpaire direct ou la pulpotomie ont pour objectif de sceller la plaie pulpaire, d'induire une différenciation des cellules odontoblastiques et de stimuler la sécrétion de dentine afin de construire un pont dentinaire (28).

Par conséquent, afin d'améliorer les résultats cliniques, les nouveaux biomatériaux doivent stimuler de façon optimale et spécifique les voies de différenciation des odontoblastes.

2.2.4. Activité antibactérienne

La mise en forme du canal et l'irrigation réduisent mais n'éliminent généralement pas tous les microbes présents. Il persiste toujours des microorganismes dans les tubulis dentinaires, les canaux latéraux et la région apicale, ce qui peut entraîner des échecs de traitements (apparition d'une LIPOE). L'activité antibactérienne d'un ciment endodontique est donc une qualité essentielle (29).

L'augmentation du pH pendant l'hydratation d'une part, et la présence d'hydroxyde de calcium d'autre part, sont responsables de l'action antibactérienne des ciments (30).

Zhejun et Al ont testé l'activité antibactérienne de AH Plus®, BC Sealer® et Pulp canal sealer® sur *Enterococcus faecalis*. Les résultats décrivent une activité antibactérienne supérieure chez AH Plus® et BC Sealer® avec une activité persistante à trente jours après la prise du ciment (31).

Candeiro et Al montrent aussi une activité bactérienne similaire entre AH Plus® et BC sealer® sur *Enterococcus faecalis* (32).

Une autre étude comparant BC Sealer® à MM Seal® et Zycal® sur d'autres bactéries (*Candida albicans*, *Lactobacillus*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* et *Pseudomonas aeruginosa*), montre des résultats supérieurs pour BC Sealer® (33).

Table 1: Summary of reported physico-chemical and biological properties of bio ceramic materials used in endodontics

	Biodentine	MTA	MTA Angelus	ERRM (or iRoot BP Plus)	BC Sealer (or iRoot SP)	MTA Fillapex	MTA Plus
pH	11.7–12.4 (69)	9.0–12.5 (16,162)	7.3–9.6 (162,167,168)	7.3–8.9 (192)	10.3–11.1 (34)	9.7–10.5 (35,226,237)	8.3–11.7 (243)
Calcium release (mg/L)	14.7–34.0 (71)	9.7–24.0 (10,71)	0.8–122.3 (162,167,168,216)	179.6 (216)	2.5–11.3 (34,71)	144.4 (216)	7.7–43.4 (243)
Flow rate (mm)	–	–	–	–	26.9 (34)	31.0 (216)	–
Porosity (%)	6.8 (63)	30.3–38.4 (37)	28.0 (166)	–	–	–	40.3 (243)
Solubility (%)	< 0.0 (64)	1.7–2.8 (37)	-1.2–6.4 (167,168,216)	–	20.6 (216)	14.8–16.1 (216,226)	18.5 (243)
Radiopacity (mm Al)	3.3–4.1 (63,64)	7.1 (16)	5.3–6.9 (167)	–	3.8 (34)	7.0 (35)	–
Setting time (h)	0.1–0.7 (63,64)	6.9 (16,97)	0.2–5.3 (12,167,168)	>24.0 (3)	72.0–240.0 (34,203)	>12.0 (233)	0.9 (243)
Microhardness (VHN or KHN)	48.4–130.0 VHN (63,64)	53.2–60.0 VHN (105,108), 46.6–52.3 KHN (109)	36.3–84.3 VHN (169)	–	>15.0 KHN (203)	–	–
Compressive strength (N)	67.1–316.4 (63,64)	60.0–101.7 (108,110)	53.4–81.3 (110)	41.0–43.0 (191)	–	–	32.0–47.0 (191)
Push-out bond strength (MPa)	6.47–7.64 (22,74)	3.0–9.4 (22,115–117)	–	–	0.8–3.4 (206,212,241)	0.2–3.0 (21,117, 206,212)	0.98–2.3 (241)
Flexural strength (MPa)	34.0 (63)	10.7–14.2 (113)	–	–	–	–	–
Cell viability (%)	60.0–100.0 (39,63)	55.0–110.0 (3,127,177)	88.9–105.4 (127,177,195)	40.0–110.0 (3,127,195)	>90.0–100.0 (221)	35.0–95.0 (35)	>80.0 (243)

Data are collected in ranges from different experimental conditions in various studies. Data are shown in values (references).

Tableau récapitulatif des propriétés de plusieurs ciments biocéramiques utilisés en endodontie

3. Indications des ciments biocéramiques

Le premier ciment biocéramique utilisable en endodontie a été mis au point en 2006 par l'équipe iranienne du *Dr Asgary*. Cette biocéramique expérimentale appelée Calcium Enriched Mixture (CEM) ou NEC (New Endodontic Cement) est présentée comme un nouveau matériau endodontique bioactif constitué de différents composés, tels que l'oxyde de calcium, le phosphate de calcium, le carbonate de calcium, le sulfate de calcium, le chlorure de calcium, l'hydroxyde de calcium et enfin le silicate de calcium(34).

Néanmoins, son absence de commercialisation sur les marchés occidentaux rend difficile son utilisation et fait de ce produit un excellent matériau à l'aspect encore expérimental.

En 2008, de nouvelles biocéramiques ont été introduites sur le marché américain par la société *Brasseler* sous le nom d'EndoSequence® en vue de proposer une alternative clinique à l'utilisation du Mineral Trioxyde Aggregate® (ProRoot MTA®, Dentsply).

Par l'intermédiaire de cas cliniques, nous allons voir les principales indications d'utilisation des matériaux biocéramiques.

3.1. Apexification de dents immatures

La nécrose pulpaire des dents immatures à apex ouvert a pour conséquence d'interrompre l'édification radiculaire. Les racines sont donc courtes et généralement fines ce qui rend la dent particulièrement fragile. Traditionnellement, l'apexification était réalisée avec de l'Hydroxyde de Calcium mais cette technique a montré des limites : notamment, la nécessité de visites multiples, la difficulté de contrôler l'infection ou encore le caractère imprévisible de la fermeture apicale(35).

Le MTA a ensuite été utilisé pour les apexifications de dents immatures et l'on a noté une amélioration du développement radiculaire. En effet, le MTA est biocompatible, il possède une meilleure capacité d'étanchéité que l'Hydroxyde de Calcium et induit une plus grande formation de dentine radiculaire(36). Cependant, le MTA a ses propres limites, y compris la difficulté de manipulation, le temps de prise long, le coût élevé et la présence de certains éléments toxiques(37).

Une étude a récemment comparé, cliniquement et radiologiquement, les résultats de l'utilisation du MTA et de biocéramique (iRoot BP®) lors de l'apexification de molaires permanentes immatures nécrosées(38).

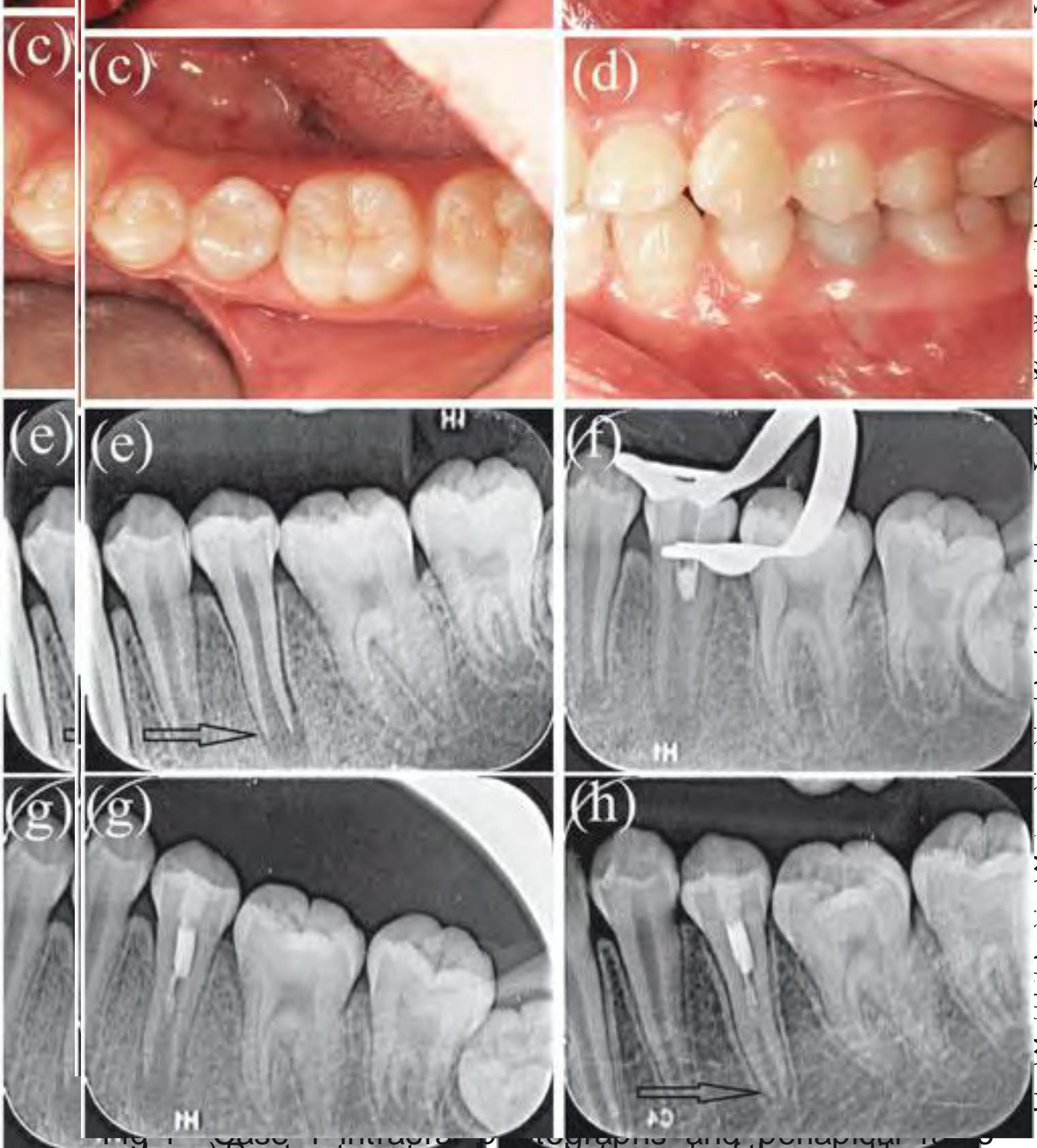


Fig 1a) Pre-treatment occlusal photograph of the mandibular left second premolar showing a fracture. b) Intraoral photograph at 8-month follow-up showing swelling and redness on the buccal mucosa (arrow). c) Occlusal photograph at 8-month follow-up. d) Intraoral photograph at 8-month follow-up. e) Pre-treatment periapical radiograph of tooth 35 showing the periapical radiolucency and immature root (arrow). f) Intraoral photograph at 8-month follow-up. g) Periapical radiograph at 8-month follow-up. h) Intraoral photograph at 8-month follow-up.

Protocole utilisé (38) :

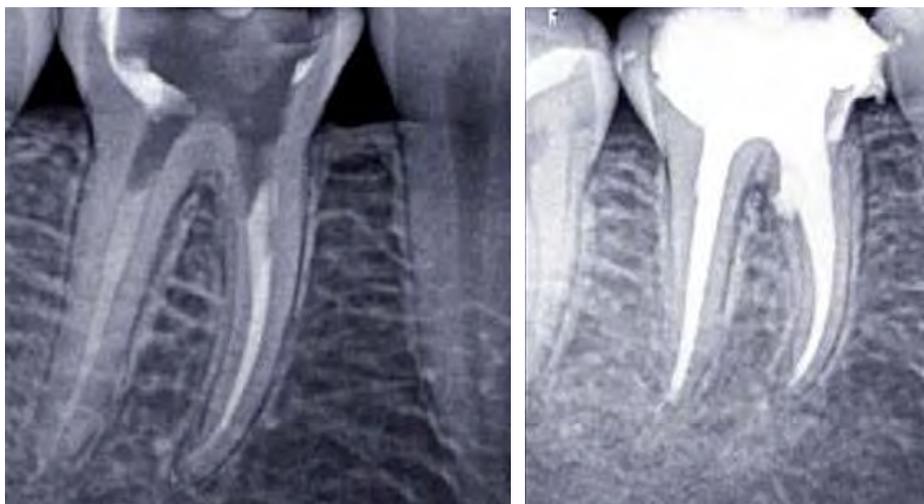
Après examen clinique et radiographique, la dent 35 a été diagnostiquée comme une dent immature avec une parodontite apicale symptomatique. Compte tenu de la formation incomplète des racines et de l'apex ouvert, un traitement endodontique régénératif a été proposé.

Le canal a été irrigué avec 20 ml d'hypochlorite de sodium à 3% pendant 3 minutes puis avec 10 ml de sérum physiologique pendant 3 minutes, sans instrumentation mécanique. Des débris de pulpe nécrotique ont été éliminés du canal. Le canal a ensuite été séché avec des pointes de papier stériles et un caillot de sang s'est formé. On a placé un « bouchon » d'iRoot BP® sur le caillot de sang. La cavité d'accès a été refermée avec du ciment verre ionomère (3M ESPE, Seefeld, Allemagne).

La visite de contrôle à 8 mois post-opératoire a révélé une réponse normale et non douloureuse aux tests de percussion et de palpation. L'examen parodontal a révélé une mobilité physiologique et une profondeur de sondage normale (<3 mm) autour de la dent. Le test de vitalité pulpaire (test au froid) s'est révélé positif sur la dent 35. Radiographiquement, la radioclarité périapicale de la dent 35 avait significativement diminué.

3.2. Restaurations coronaires/radiculaires en cas de perforation

E. Jeevani & al ont comparé la capacité de scellement de plusieurs ciments d'une perforation au niveau de la furcation de molaires. Ils ont observé que l'Endoséquence® présentait une meilleure capacité de scellement dans la réparation de la furcation en comparaison avec d'autres matériaux tels que le MTA Micro-Mega® et la Biodentine® (39).

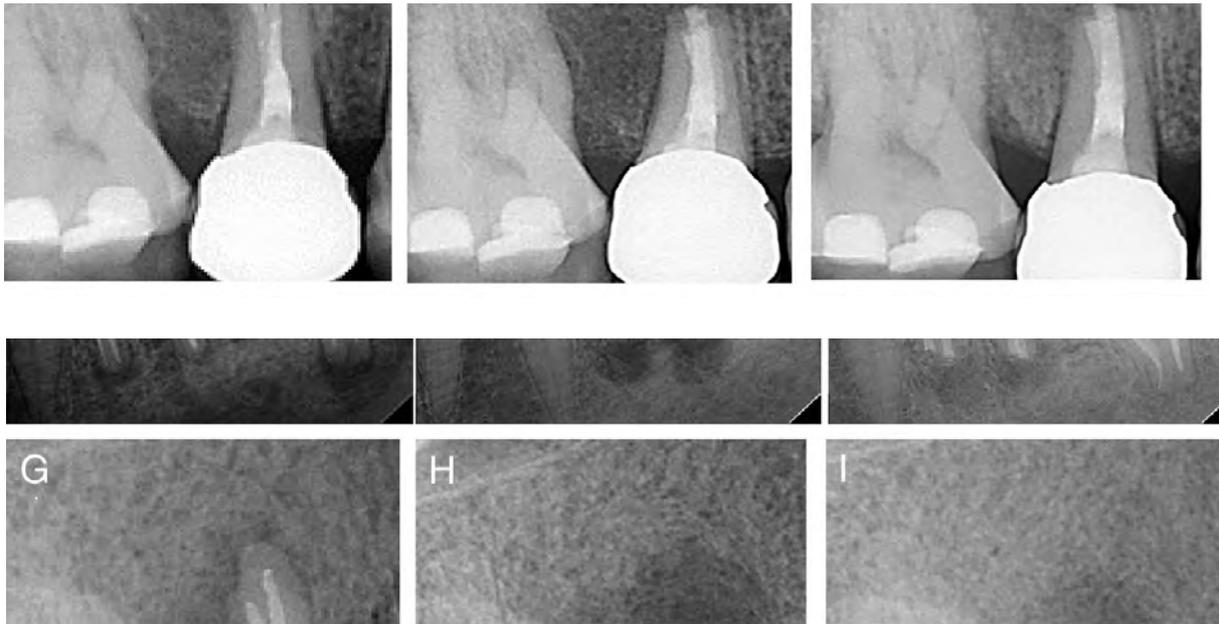


Dans ce cas clinique, la perforation du canal mésio-lingual a été obturée en même temps que le système canalaire, avec le même ciment biocéramique (40)

3.3. Obturation rétrograde en endodontie chirurgicale

Le MTA était le matériau de choix utilisé pour l'obturation rétrograde, du fait de son excellente capacité d'étanchéité et de sa biocompatibilité. Malheureusement, le MTA a de nombreux inconvénients : un temps de prise long, une faible résistance à l'érosion et une manipulation peu aisée (41). Le MTA peut aussi provoquer une décoloration des dents (42).

C'est ainsi que les matériaux biocéramiques ont tenté de pallier à ces limites.



Deux cas cliniques d'obturation rétrograde avec de l'Endosequence® montrant une cicatrisation du periapex (43).

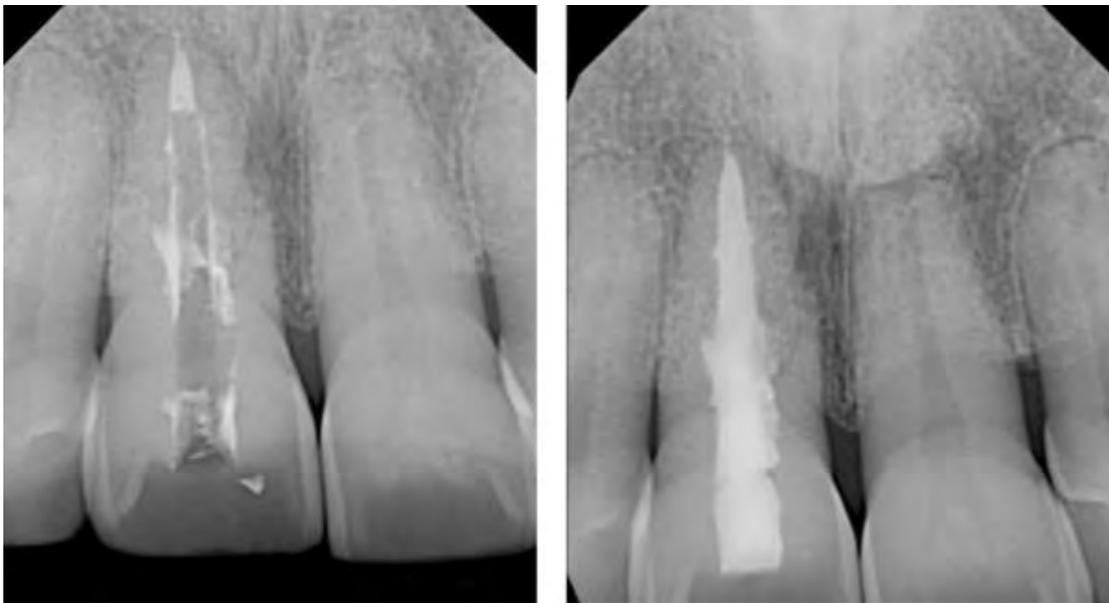
L'Endosequence® utilisé dans ces cas cliniques et, plus généralement, les ciments biocéramiques, ont la propriété de former de l'hydroxyapatite ce qui assure un joint hermétique avec la dentine, et empêche le passage de bactéries et de toxines dans les tissus péri apicaux (43).

3.4. Traitement des résorptions externes

Ce cas clinique a été réalisé chez une jeune femme de 26 ans qui avait subi un long traitement orthodontique dix ans auparavant. L'examen clinique de la 11 a révélé :

- Un sondage de 6mm en vestibulaire,
- La présence d'une fistule vestibulaire
- Une percussion douloureuse,
- Une réponse au froid algique et persistante.

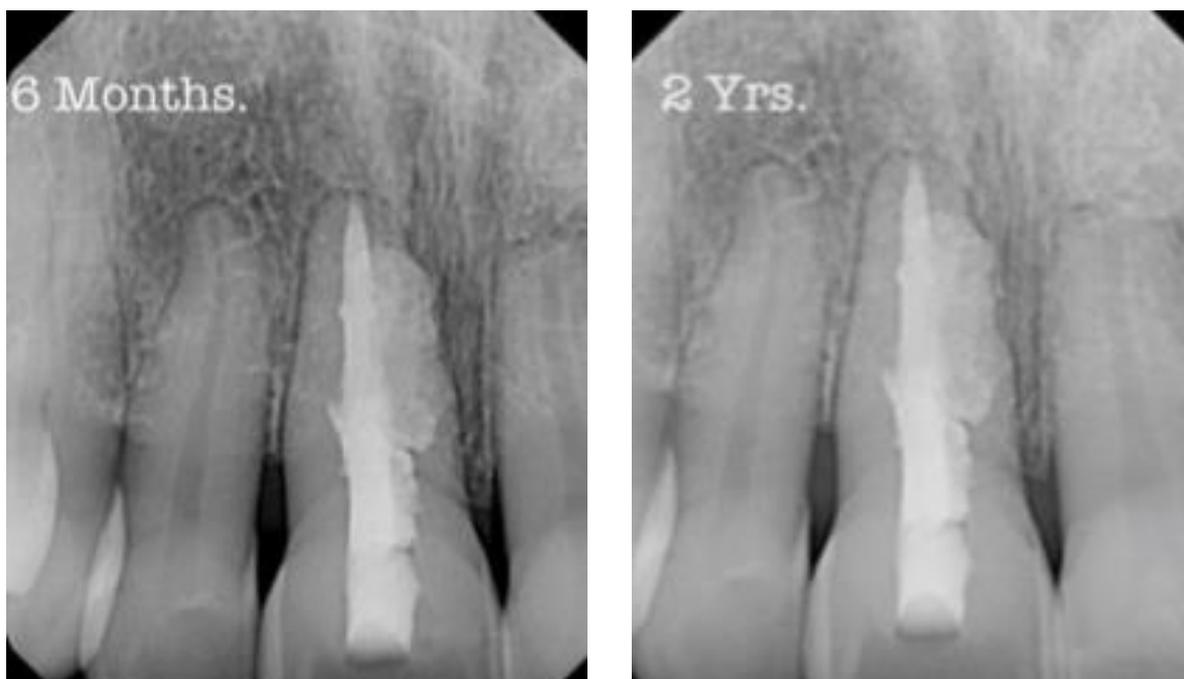
La patiente était très motivée et voulait tenter de sauver sa dent malgré le pronostic très réservé(44).



- Après préparation du canal, une barrière apicale d'EndoSequence RRM putty a été mise en place pour pouvoir remplir le canal avec de l'EndoSequence en seringue prémélangée, de texture plus fluide.*
- La cavité d'accès a été refermée avec du CVI FujiIX (GC).*



- c. *Le défaut externe a été nettoyé et préparé avec une fraise boule en carbure de tungstène montée sur contre-angle.*
- d. *Le défaut a ensuite été comblé avec de l'EndoSequence RRM Putty. Les excès ont été éliminés pour redonner à la racine sa forme d'origine.*



- e. *et f. Les visites de contrôle à six mois et deux ans montrent une bonne cicatrisation osseuse, l'absence de lésion apicale et l'absence de coloration dentaire.*

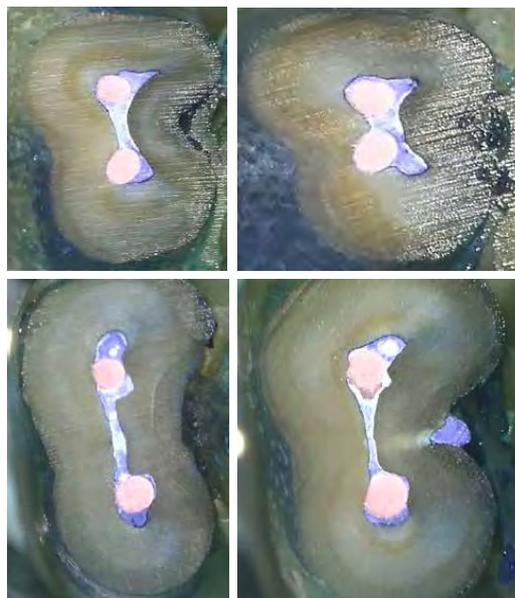
Lorsque le défaut radiculaire est facilement accessible de manière chirurgicale, le traitement des résorptions avec des matériaux biocéramiques modernes qui sont à la fois faciles à manipuler et biocompatibles, peut être une excellente alternative. Dans ce cas clinique, l'efficacité de formulations biocéramiques prémélangées nano-particulaires (EndoSequence BC Root Repair Matériau (RRM) et Putty) a été démontrée.

3.5. Ciment d'obturation utilisé seul

La principale limite de cette technique est la difficulté de retraitement. En effet, les limes traditionnelles ont des difficultés à traverser les ciments biocéramiques une fois ceux-ci pris (45). En l'absence de maître cône, l'incapacité à retrouver la perméabilité du canal d'une part, et la longueur de travail d'autre part compromettent le retraitement en empêchant la mise en forme et le nettoyage complets de l'espace canalaire.

L'utilisation de systèmes rotatifs de retraitements combinés à des instruments manuels de grand diamètre apicaux peut permettre une amélioration du retraitement, mais ne permet pas une élimination complète du ciment (46)(47). Il est donc fortement recommandé d'associer un cône de gutta-percha lors de l'obturation, et de s'assurer que celui-ci atteigne la longueur de travail. De plus, le maître cône facilite l'étalement et la poussée du matériau au sein du canal.

3.6. Ciment de scellement associé à la gutta-percha



Observation en microscopie optique de coupes horizontales de racines mises en forme et obturées avec du TotalFill (FKG). Toutes les anfractuosités du réseau ont été obturées, ainsi qu'un canal accessoire non instrumenté.

Protocole utilisé :

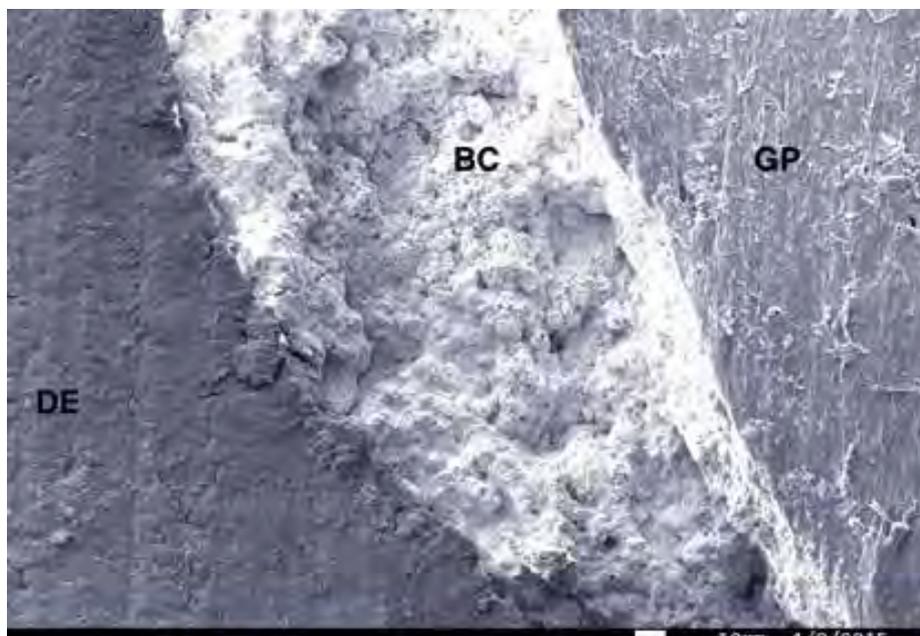
Une fois que le canal a été préparé et que l'excès d'humidité a été enlevé, le ciment est injecté dans le canal jusqu'à ce que des excès commencent à apparaître.

Pour les ciments se présentant sous la forme poudre/liquide, on utilise le maître cône pour enduire les parois canalaires de ciment. Le maître cône est ensuite recouvert de ciment et inséré lentement au sein du canal.

La partie de gutta qui dépasse de l'orifice canalaire est coupée et les excès de ciments peuvent être facilement éliminés grâce à un spray d'eau dans la cavité d'accès. Les fabricants recommandent d'utiliser ces ciments biocéramiques à l'aide d'un cône, sans compaction (48).

Des cônes de gutta-percha spécifiques à ces ciments ont été récemment commercialisés. Ils sont recouverts d'une fine couche de biocéramique à laquelle les ciments peuvent adhérer de façon plus efficace.

Ces ciments sont hydrophiles. Ils présentent une faible viscosité et un angle de contact très élevé. Ils ont donc une excellente mouillabilité, ce qui leur assure une bonne capacité d'étalement sur les parois canalaires, et donc une capacité élevée de pénétration dans les anfractuosités, même en l'absence de pression hydraulique. Ces ciments présentent aussi une légère expansion de prise (< 0,1 %), ce qui évite la formation de vide lors de leur prise.



Observation au MEB d'une coupe transversale d'un canal obturé à l'aide du système TotalFill (FKG). On peut observer une parfaite adaptation du ciment biocéramique (BC) avec la dentine (DE) et la gutta percha (GP).

3.7. Coiffages pulpaire et pulpotomies

Considérée initialement comme traitement d'urgence, la pulpotomie est aujourd'hui envisagée comme traitement d'usage, alternative viable à la biopulpectomie. En effet, en situation de pulpite aiguë, même irréversible, il est raisonnable de penser que la pulpe radiculaire soit saine, exempte d'inflammation, de contamination bactérienne et surtout douée d'un potentiel de guérison important (49).

La pulpotomie se présente donc comme une thérapeutique plus conservatrice et présente de nombreux avantages par rapport à la biopulpectomie : elle est moins chronophage et permet de prévenir les risques liés à l'obturation incomplète du système endocanaire (50).

La thérapeutique de pulpotomie cervicale comme alternative viable à la biopulpectomie a été rendue possible avec l'apparition de matériaux biocompatibles avec le tissu pulpaire permettant ainsi la mise en contact direct du matériau avec la pulpe (51).

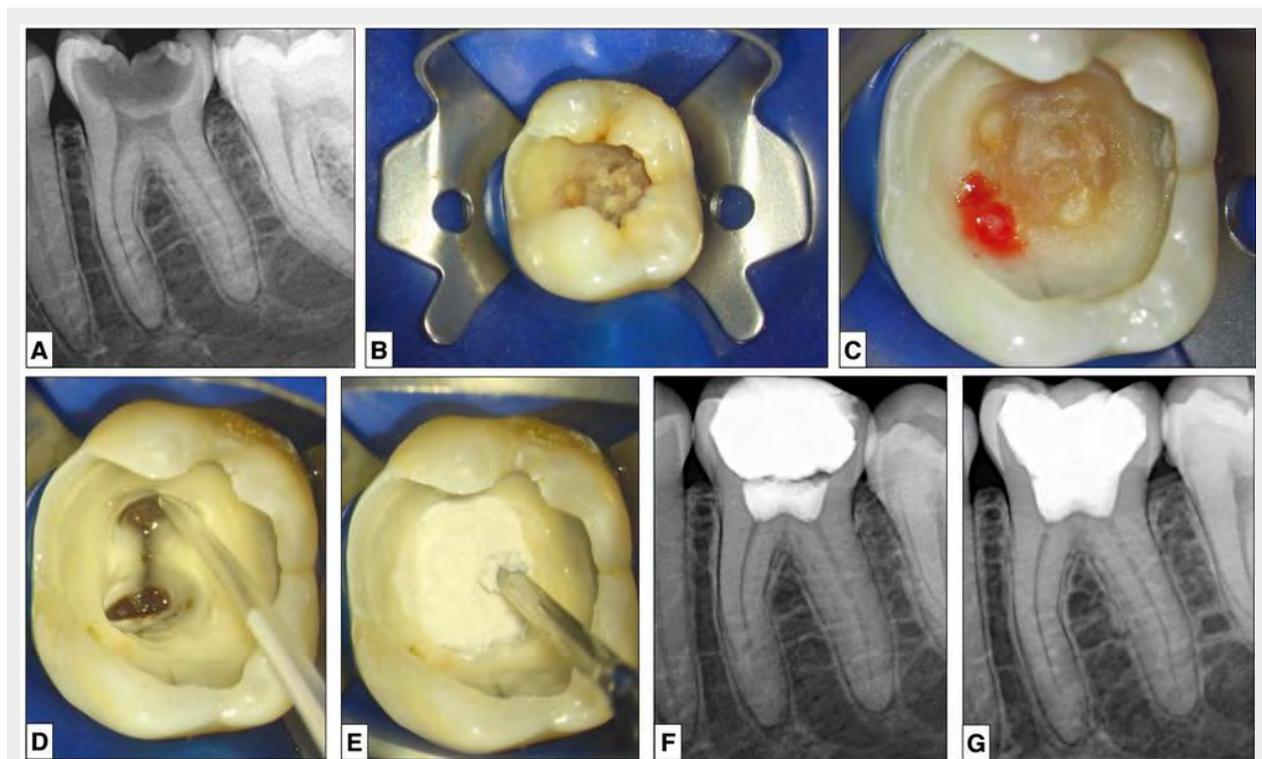


FIGURE 27. PULPOTOMIE TOTALE REALISEE A L'AIDE DE TOTAL FILL BC PASTE ET TOTAL FILL BC PUTTY DANS LE CADRE DU TRAITEMENT D'UNE PULPITE IRRÉVERSIBLE (CAS CLINIQUE DE JOUANNY.G).

IRRÉVERSIBLE (52).

Le coiffage de la pulpe, direct ou indirect, par un matériau bioactif présentent un apport certain pour le maintien de la vitalité pulpaire et a pour objectif de (53) :

- Protéger et sceller la pulpe sous-jacente de toute contamination bactérienne,
- Diminuer l'inflammation pulpaire,
- Permettre la guérison de la pulpe,
- Permettre la formation d'un pont dentinaire de tissu minéralisé,
- Permettre la restauration de la perte de substance coronaire (CVI, composite, amalgame, coiffes, couronnes...).

3.8. Extraction/réimplantation

En 1982, Grossman (54) a défini cette technique comme étant « l'acte qui consiste à extraire délibérément une dent, et après examen, diagnostic, manipulation endodontique et restauration, à réinsérer la dent dans son alvéole originale, afin de remédier à un échec endodontique clinique ou radiographique apparent ».

Dans le cas clinique suivant, l'obturation rétrograde a été réalisée avec un ciment biocéramique : le TotalFill Putty ® (FKG Dentaire).



1 : Situation initiale

2 : Extraction



3 : Contrôle radiographique à 1 an

Une réimplantation intentionnelle est spécifiquement indiquée :

- Lorsque tous les autres traitements endodontiques, chirurgicaux et non chirurgicaux, ont échoué ou sont jugés impossibles à réaliser,
- Lorsque l'incapacité du patient d'ouvrir grand la bouche, ne permet pas la réalisation d'un traitement endodontique non chirurgical ou d'une chirurgie endodontique périapicale,
- Dans le cas d'oblitération des canaux,
- En présence de défauts radiculaires dus à une perforation ou une restauration dans des zones inaccessibles par le biais de l'approche chirurgicale habituelle, sans perte excessive de la longueur radiculaire ou de l'os alvéolaire.

La réimplantation intentionnelle est indiquée quand un traitement endodontique antérieur a échoué et parce qu'un retraitement endodontique orthograde ou une chirurgie apicale est impraticable. Son taux de succès est de 98 % lorsque l'extraction est précédée d'une phase d'extrusion orthodontique de quelques semaines (55).

4. Limites des ciments biocéramiques

4.1. Le matériau idéal selon Grossman

Pour *Grossman (1970)*(56), le matériau d'obturation idéal doit :

- Etre facile à introduire dans le canal,
- Sceller le canal latéralement et apicalement,
- Etre bactéricide ou au moins bactériostatique,
- Etre radio-opaque,
- Etre stérile ou facilement stérilisable,
- Etre facile à enlever et à désobturer.

Il ne doit pas :

- Subir de rétraction pendant ou après la prise,
- Etre altéré par l'humidité,
- Entraîner la coloration de la dent,
- Irriter les tissus périapicaux,
- Altérer la structure dentaire.

4.2. Le matériau idéal selon *Schmalz*

Schmalz redéfinit en 2003 le cahier des charges du matériau d'obturation idéal (56) :

- Propriétés techniques :
 - o Absence de rétraction,
 - o Non soluble dans les fluides apicaux,
 - o Bonne adhésion/adaptation à la dentine et entre les différents matériaux,
 - o Absence de porosité,
 - o Absence de coloration dentaire.

- Propriétés biologiques :
 - o Non allergène pour le patient et le personnel soignant,
 - o Non irritant pour les tissus,
 - o Stérile,
 - o Bactéricide ou bactériostatique,
 - o Stimulant du processus de cicatrisation.

- Propriétés pratiques de manipulation :
 - o Etre radio-opaque selon la norme ISO 6876,
 - o Présenter un temps de travail adéquat pour la mise en place et le contrôle radiographique,
 - o Etre facile à mettre en place et à éliminer en utilisant un solvant, la chaleur ou une instrumentation mécanique.

4.3. Possibilité de reprise du traitement endodontique

Il apparaît alors que la principale limite des ciments biocéramiques est la difficulté de reprise du traitement endodontique en cas d'échec thérapeutique.

Lors d'un retraitement endodontique, plusieurs paramètres sont évalués :

- la capacité à retrouver la longueur de travail (LT),
- la perméabilité du canal,
- le temps de retraitement.

Pour *Hess et Al*, qui comparent le retraitement après avoir obturé avec du BC Sealer® et de l'AH Plus®, sur des échantillons où le maître cône (MC) est ajusté à la LT ou à LT-2mm, la longueur de travail n'est pas retrouvée dans 70% des échantillons du groupe BC Sealer®/ LT-2mm. Par contre pour les échantillons avec le MC à la LT, la longueur de travail est retrouvée dans 100% des échantillons (45).

Au contraire, une autre étude comparant AH Plus®, MTA Fillapex® et Endosequence BC Sealer®, avec des échantillons ayant un MC à LT-2mm, montre que la perméabilité apicale est retrouvée dans 100 % des cas (57).

Toutes les études mettent en évidence qu'il y a toujours une quantité de ciment résiduel après le retraitement, et ce, en quantité plus importante pour BC Sealer® comparé à AH Plus®, et qu'en moyenne le temps de retraitement est plus long pour les ciments biocéramiques (58) (47) (59).

PARTIE II

ANALYSE DE LA QUANTITE RESIDUELLE DE CIMENT APRES DESOBTURATION ENDODONTIQUE

ETUDE COMPARATIVE IN VITRO

1. Introduction

Grâce à toutes les propriétés précédemment citées, les ciments biocéramiques s'avèrent être des matériaux de choix pour réaliser l'obturation endodontique. Une des principales limites de ce type de ciment est la difficulté de reprise du traitement endodontique en cas d'échec du traitement initial.

Parmi les nombreuses biocéramiques disponibles sur le marché, nous voulons savoir si il existe des différences significatives concernant le retraitement endodontique.

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer la quantité résiduelle de ciment après désobturation. Ce critère sera évalué par une analyse en trois dimensions (CBCT).

Les objectifs secondaires sont :

- La capacité à retrouver la longueur de travail initiale (en millimètres),
- La perméabilité du canal (0 ou 1),
- Le temps nécessaire au retraitement (en minutes),

2. Matériels & Méthodes

Pour cette étude, nous avons choisi de comparer 3 ciments biocéramiques différents. Nous avons donc eu besoin de faire quatre groupes de dents : un groupe pour chaque ciment biocéramique, et un groupe « témoin » dans lequel les dents seront obturées avec un ciment de type Oxyde de Zinc/Eugénol.

2.1. Sélection des dents

Nous avons recueilli 62 dents monoradiculées auprès de praticiens. Ces dents ont été nettoyées avec des ultrasons et conservées dans du sérum physiologique.

Pour obtenir des résultats significatifs, chacun des quatre groupes est composé de 10 dents.

Un contrôle radiographique préalable nous permet d'exclure de l'étude les dents déjà dévitalisées, trop délabrées et/ou fracturées et les dents immatures avec un apex largement ouvert.



Groupe A



Groupe B



Groupe C



Groupe D

Répartition des dents en quatre groupes A, B, C et D

Par souci d'homogénéité, chaque groupe est composé de six incisives (dont une 11 ou une 21), deux canines et deux prémolaires.

2.2. Aménagement des voies d'accès

Pour éliminer un maximum de contraintes coronaires et faciliter la détermination de la longueur de travail grâce à un repère plan, nous avons sectionné les dents au niveau de la jonction amélo-cémentaire avec un disque diamanté monté sur pièce à main.



Section des dents au niveau de la jonction amélo-cémentaire

2.3. Détermination de la longueur de travail

La longueur de travail a été déterminée avec une lime K 10/100, insérée dans le canal jusqu'à l'affleurement visuel de l'apex. On a soustrait 0,5mm à cette longueur pour obtenir la longueur de travail (Lt).

	Groupe A	Groupe B	Groupe C	Groupe D
Dent 1	12.5	13.5	14.5	14.5
Dent 2	14	14.5	14.5	13.5
Dent 3	14.5	13.5	13.5	15.5
Dent 4	14.5	14.5	15.5	14
Dent 5	14	15	15	12.5
Dent 6	14	13.5	13.5	13.5
Dent 7	14	14	14	13.5
Dent 8	13.5	15.5	14	13.5
Dent 9	13.5	13	12.5	14.5
Dent 10	14	13.5	13	13.5

Valeur de la Lt pour chaque dent (en mm)



Vacuité foraminale vérifiée grâce à la lime K 10/100

2.4. Mise en forme

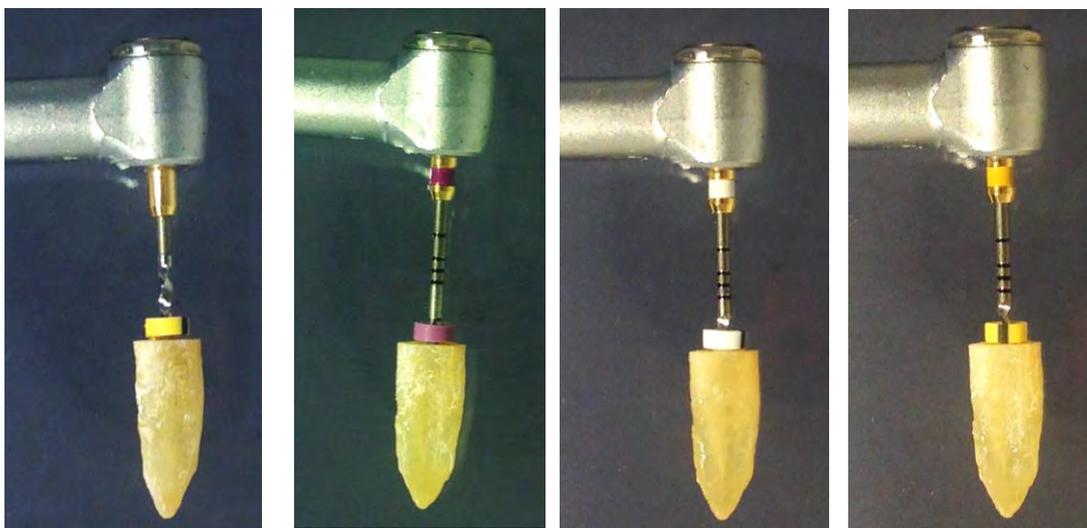
La mise en forme initiale a été réalisée avec le système de rotation continue Protaper Universal® (Dentsply-Maillefer, Baillagues, Suisse).



Nous avons passé successivement les instruments suivants, à une vitesse de 300 tr/min :

- Lime SX (ISO 19/100 et conicité de 4%) jusqu'aux 2/3 de la Lt,
- Lime S1 (ISO 18/100 et conicité de 2%) jusqu'à la Lt,
- Lime S2 (ISO 20/100 et conicité de 4%) jusqu'à la Lt,
- Lime F1 (ISO 20/100 et conicité de 7%) jusqu'à la Lt.

Un rinçage à l'eau a été réalisé entre chaque instrument pour éliminer les débris pulpaire et dentinaires.

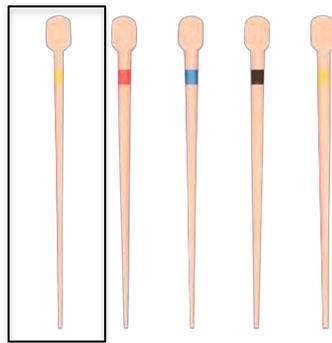


Séquence instrumentale Protaper Universal® : SX → S1 → S2 → F1

2.5. Obturation canalaire

Pour l'obturation, nous avons choisi la technique du monocône calibré, technique préconisée lors de l'utilisation de ciments biocéramiques.

Après une irrigation avec une solution d'EDTA et un rinçage final à l'hypochlorite de sodium à 2,5%, nous avons séché les canaux avec des pointes de papier calibrées et obturé avec des cônes de gutta-percha calibrés ; en l'occurrence les cônes F1 (ProTaper Universal) qui ont un diamètre de 20/100 et une conicité de 7%.



Quatre ciments ont été utilisés :

- Groupe A : Sealite Regular® (Pierre Roland, France), ciment à base d'Oxyde de Zinc et Eugénol,
- Groupe B : BioRoot RCS ® (Septodont, France),
- Groupe C : Bio-C Sealer (Angelus, Brésil),
- Groupe D : Endosequence BC Sealer (Brasseler, USA).

Le protocole d'obturation utilisé a été le suivant :

- Essayage du maître cône en milieu humide,
- Séchage du canal avec des pointes de papiers F1 ProTaper ®
 - o jusqu'à obtenir un assèchement total du canal pour le groupe A,
 - o et un assèchement partiel dans les groupes B, C et D.
- Introduction de ciment dans le canal
 - o grâce au maître-cône dans les groupes A et B ;
 - o grâce à la seringue dans les groupes C et D,
- Mise en place du maître cône dans le canal,
- Coupure du maître cône à l'entrée du canal et condensation verticale à l'aide d'un fouloir de Machtou®,

Les dents obturées ont été conservées dans un milieu saturé en humidité, à température ambiante, pendant 25 jours.



Groupe A : Sealite Regular ® : mélange poudre/liquide



Groupe B : BioRoot RCS ® : mélange poudre/liquide



Groupe C : Bio-C Sealer® : seringue prémélangée



Groupe D : EndoSequence BC Sealer : seringue prémélangée

2.6. Retraitement endodontique

Pour la désobturation canalaire, nous avons utilisé le système ProTaper Retreatment.



Ce système se compose de trois instruments :

- La lime D1 (ISO 30/100 et conicité de 9%) sert à désobturer le tiers coronaire,
- La lime D2 (ISO 25/100 et conicité de 8%) sert à désobturer le tiers médian,
- La lime D3 (ISO 20/100 et conicité de 7%) sert à désobturer le tiers apical.

Pour éliminer toute la gutta-percha, nous avons passé à la fin du retraitement la lime F2 ProTaper (ISO 25/100 et conicité de 8%).

2.6.1. Désobturation du groupe A

Lors de la désobturation, le cône de gutta est sorti entièrement et très facilement lors du passage de la lime D1 pour cinq dents sur dix et lors du passage de la lime D2 pour trois dents sur dix. Pour les deux dernières dents, la gutta a été éliminée progressivement grâce aux trois limes de retraitement.

2.6.2. Désobturation du groupe B

La gutta-percha a été éliminée plus difficilement que dans le groupe A. Le cône de gutta est sorti facilement pour deux dents sur dix. La pression apicale exercée a du être plus importante. La lime D3 utilisée s'est « dévillée » au bout de trois dents, elle a donc été changée. La deuxième lime D3 utilisée s'est « dévillée » au bout de cinq dents. Au final, trois limes D3 ont du être utilisées pour désobturer les 10 canaux.

2.6.3. Désobturation du groupe C

Pour cinq dents sur dix, le cône de gutta est sorti entièrement dès le passage de D1. Les limes ne se sont pas abimées. En revanche, une dent n'a pas pu être désobturée jusqu'à la Lt initiale. En effet, il s'est créé une butée à 2,5mm de la Lt.

2.6.4. Désobturation du groupe D

Pour trois dents sur dix, le cône de gutta est sorti entièrement dès le passage de D1. La désobturation des autres dents a été réalisée sans incident remarquable. Les limes n'ont pas été abimées.

3. Evaluation des différents critères

3.1. Capacité à retrouver la longueur de travail

	Groupe A		Groupe B		Groupe C		Groupe D	
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après
Dent 1	12.5	12.5	13.5	13.5	14.5	12	14.5	14.5
Dent 2	14	14	14.5	14.5	14.5	14.5	13.5	13.5
Dent 3	14.5	14.5	13.5	13.5	13.5	13.5	15.5	15.5
Dent 4	14.5	14.5	14.5	14.5	15.5	15.5	14	14
Dent 5	14	14	15	15	15	15	12.5	12.5
Dent 6	14	14	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5
Dent 7	14	14	14	14	14	14	13.5	13.5
Dent 8	13.5	13.5	15.5	15.5	14	14	13.5	13.5
Dent 9	13.5	13.5	13	12	12.5	12.5	14.5	14.5
Dent 10	14	14	13.5	13.5	13	13	13.5	13.5

Comparaison des longueurs de travail avant le traitement endodontique et après la désobturation canalaire.

3.2. Perméabilité du canal

	Groupe A	Groupe B	Groupe C	Groupe D
Dent 1	+	+	-	+
Dent 2	+	+	+	+
Dent 3	+	+	+	+
Dent 4	+	+	+	+
Dent 5	+	+	+	+
Dent 6	+	+	+	+
Dent 7	+	-	+	+
Dent 8	+	+	+	+
Dent 9	+	-	+	+
Dent 10	+	+	+	+

3.3. Temps de retraitement

Le temps de désobturation a peu varié au cours de l'expérience :

- Groupe A : 41 minutes
- Groupe B : 47 minutes
- Groupe C : 45 minutes
- Groupe D : 43 minutes

3.4. Quantité résiduelle de ciment : analyse CBCT

L'objectif de l'analyse en trois dimensions est de déterminer la quantité résiduelle de matériaux d'obturation. Il est très difficile de faire la distinction entre la gutta-percha et le ciment sur les images ; on considère donc l'ensemble de ces deux matériaux que l'on nommera «matériaux résiduels».

3.4.1. Acquisition

Les dents, préalablement numérotées, ont été disposées sur un support en plexiglass circulaire de huit centimètres de diamètre, correspondant à la dimension de l'appareil utilisé pour l'acquisition. Les dents ont été posées, l'apex vers le haut, et maintenues sur le support grâce à un point de colle.



Positionnement des dents sur le support en plexiglass

Trois acquisitions ont été réalisées avec les réglages suivants :

- Dose « intermédiaire » = 535 mGy/cm²
 - Voxel = 150 μm
 - Tension = 90 kV
 - Intensité = 2,50 mA
 - Signal = 15,0
- Dose « enfant » = 396 mGy/cm²
 - Voxel = 150 μm
 - Tension = 87 kV
 - Intensité = 2,00 mA
 - Signal = 15,0
- Dose « adulte » = 685 mGy/cm²
 - Voxel = 150 μm
 - Tension = 90 kV
 - Intensité = 3,20 mA
 - Signal = 15,0



Acquisition avec le CBCT Carestream CS 8100 3D

Enfin, c'est l'acquisition avec la dose « intermédiaire » qui a donné la meilleure définition pour l'analyse des coupes.

3.4.2. Analyse avec le logiciel CTan®

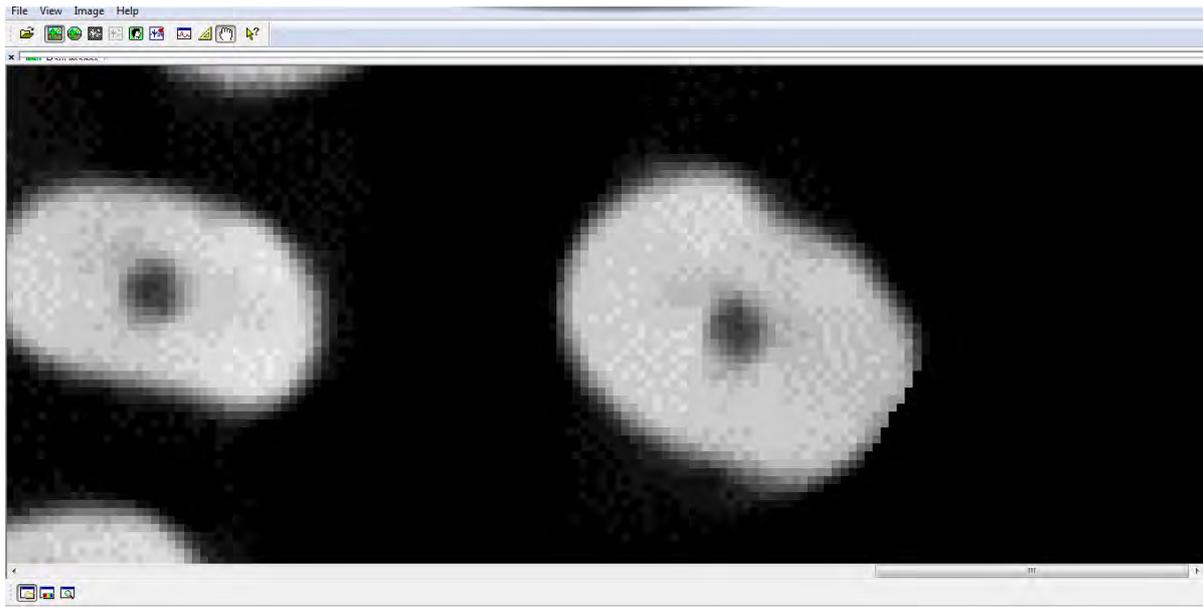
Ce logiciel nous permet de visualiser et de calculer le volume canalaire et le volume de matériaux résiduels, en progressant coupe par coupe, de l'apex jusqu'à la jonction amélo-cémentaire.

Pour observer les coupes de cone beam avec le logiciel CTan ® (société Bruker®, Anvers – Belgique), il faut convertir les fichiers DCM en fichiers TIFF. Pour cela, nous avons utilisé le logiciel DICOM Converter®.

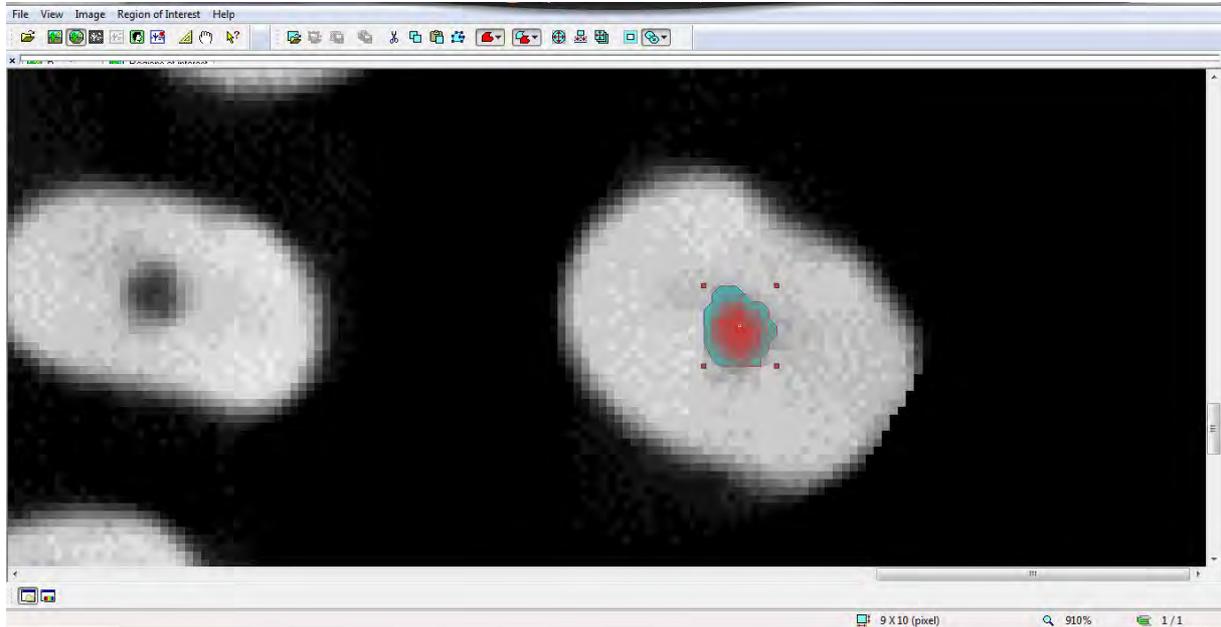
Pour des raisons de reproductibilité, nous avons choisi de ne pas retenir les coupes se trouvant entre l'apex radiologique et 1.50 mm au-delà de ce dôme radiologique.

Chaque coupe étant espacée de 150 microns, la première coupe étudiée sera donc la coupe n°10. Nous analyserons ensuite toutes les cinq coupes (0,150 mm). Nous analyserons quinze coupes par dent.

Lors de l'ouverture d'une coupe dans le logiciel, il faut déterminer la « region of interest » (ROI), comportant le volume canalaire avec le matériau d'obturation résiduel s'il existe.



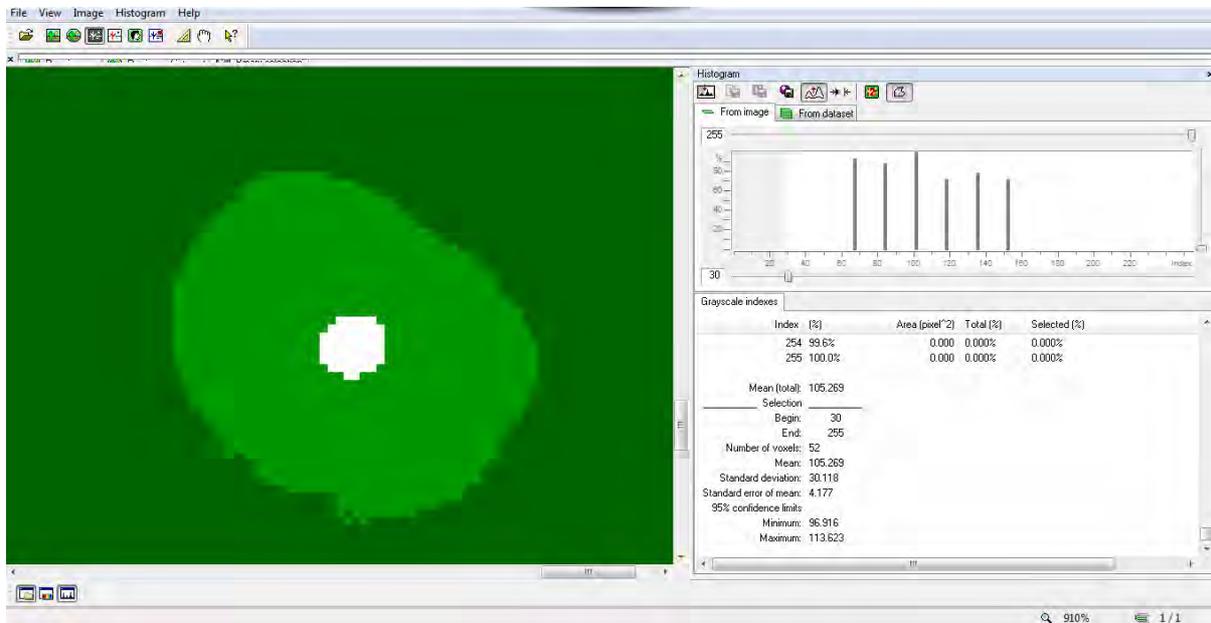
Ouverture d'une coupe de cone beam au format TIFF dans le logiciel CTan®.



Détermination de la ROI correspondant au volume canalaire en l'absence de matériaux résiduels.

L'évaluation du volume canalaire nécessite une binarisation des pixels, le volume canalaire apparaîtra donc en blanc et la dentine en vert. Pour cela un filtre déterminé à 30 au niveau de l'index du diagramme est établi.

Le nombre de pixels de la coupe est relevé et répertorié sur un tableur Excel® (Microsoft® - Redmond - USA).

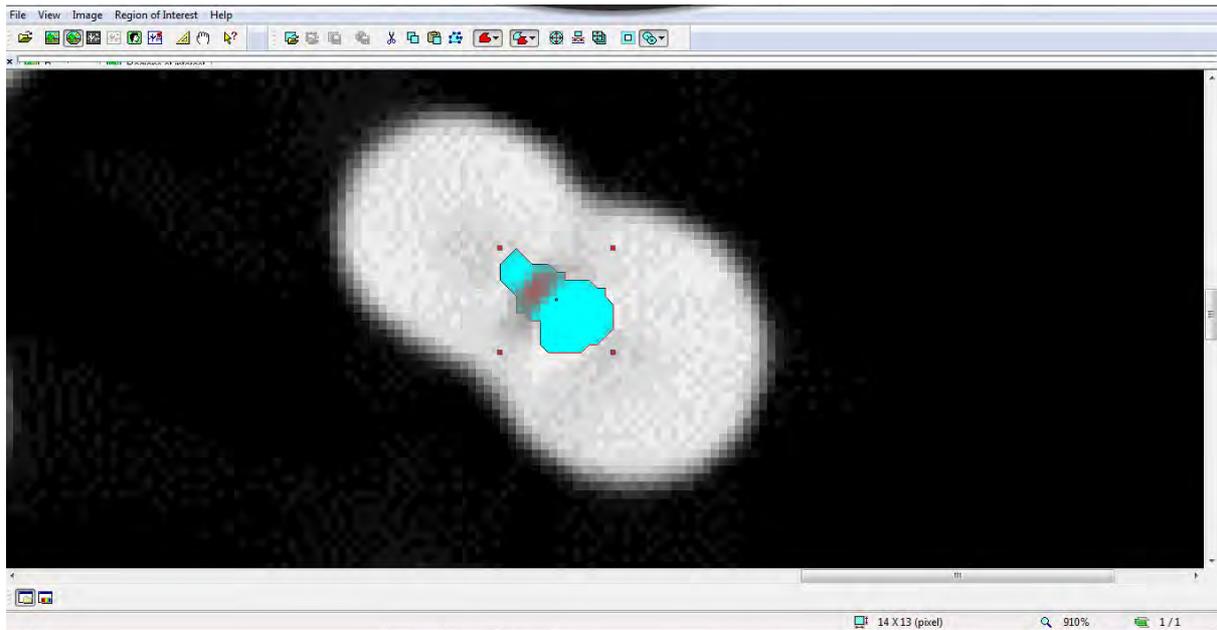


Binarisation des pixels : la ROI est colorée en blanc et le reste de la dent en vert.

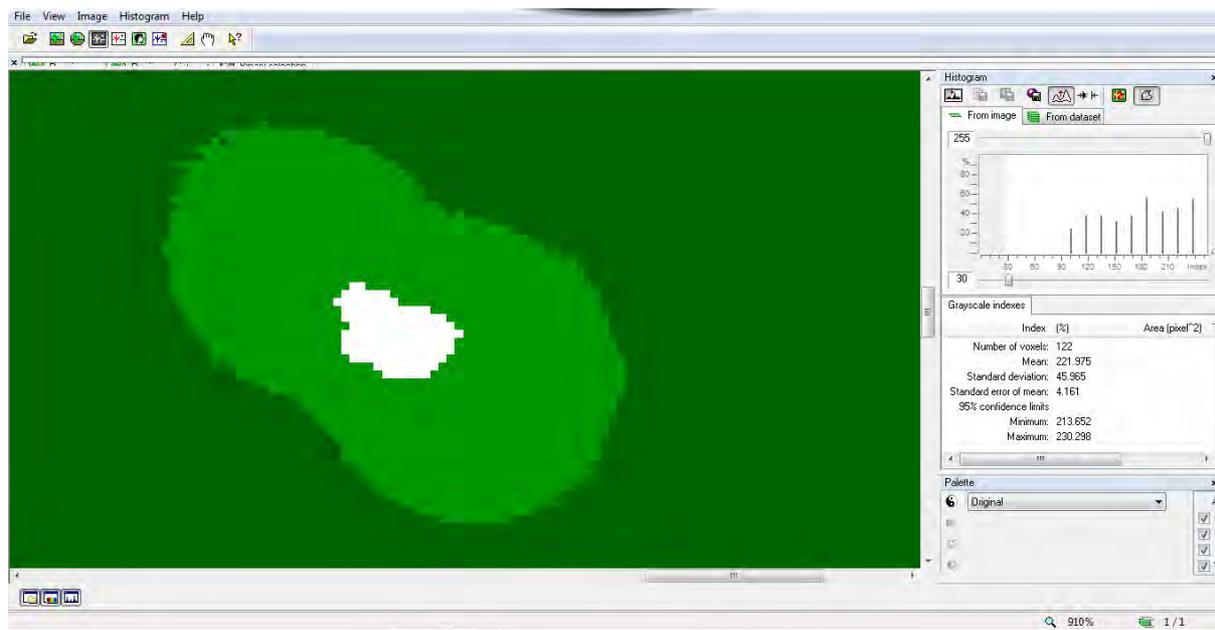
Dans le cas où des matériaux résiduels sont présents, le seuil est déterminé à 210 afin de séparer le matériau d'obturation et le volume canalaire vide en binarisant l'image. Ce seuil a été établi par CTan® de manière à maximiser la variance inter classe et à minimiser la variance intra-classe.



Coupe de cone beam montrant des matériaux résiduels à l'intérieur du canal.



Détermination de la ROI.



Binarisation des pixels avec une seuil fixé à 30 : l'intégralité du volume canalaire est coloré en blanc.



Binarisation des pixels avec un seuil fixé à 210 : le volume de matériaux résiduels est coloré en blanc et le volume pulpaire désobturé apparaît en noir.

4. Résultats

4.1. Capacité à retrouver la longueur de travail

La longueur de travail est retrouvée dans :

- 100% des cas pour les groupes A et D,
- 90% des cas pour les groupes B et C.

4.2. Perméabilité du canal

La perméabilité du canal est retrouvée dans :

- 100% des cas pour les groupes A et D,
- 90% des cas pour le groupe C,
- 80% des cas pour le groupe B.

4.3. Temps de retraitement

Le temps de retraitement a peu varié au cours de l'expérience.

La différence s'explique par le changement d'instruments à deux reprises dans le groupe B et la création d'une butée dans le groupe C qui a nécessité l'emploi d'une lime manuelle pour essayer de la dépasser.

4.4. Quantité de matériaux résiduels

Les test statistiques ont été réalisés avec un test ONE-WAY ANOVA suivi d'un TURKEY TEST.

4.4.1. Résultats concernant le volume canalaire total

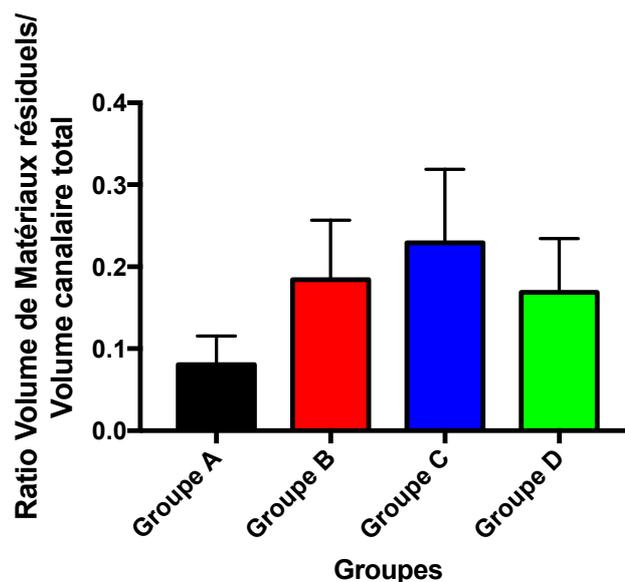
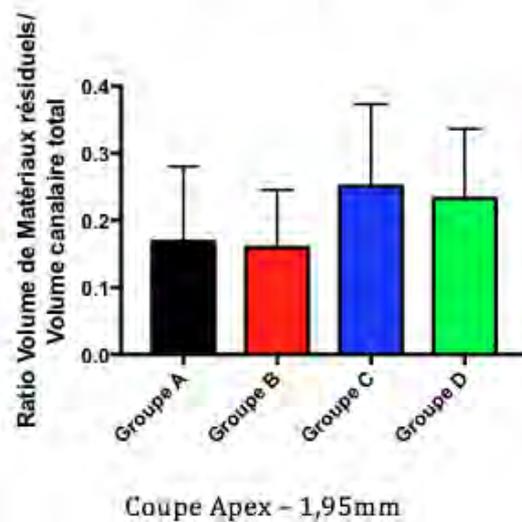
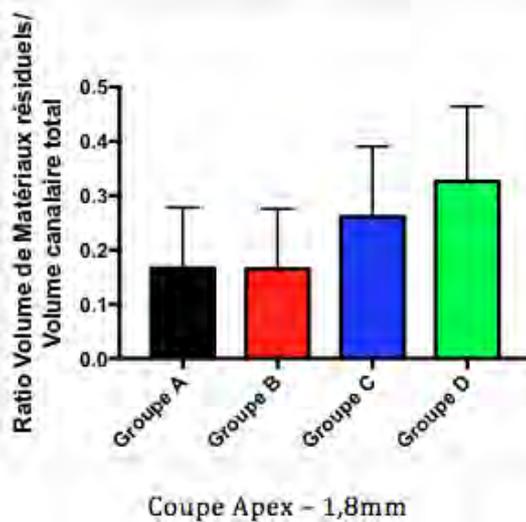
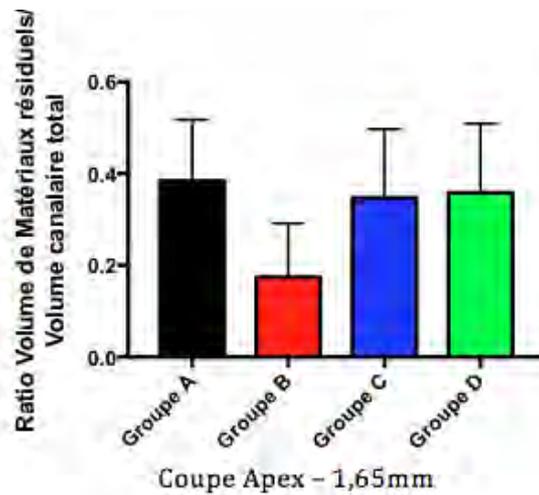
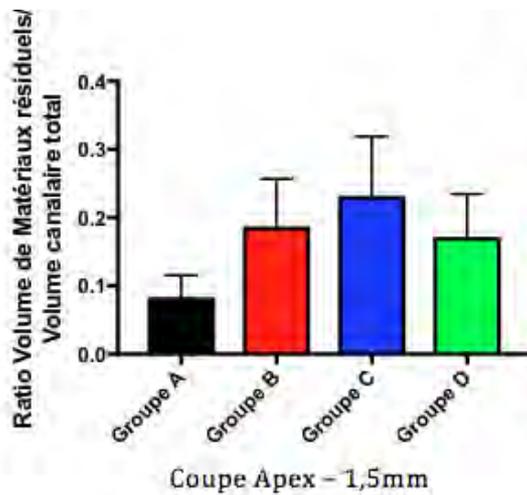


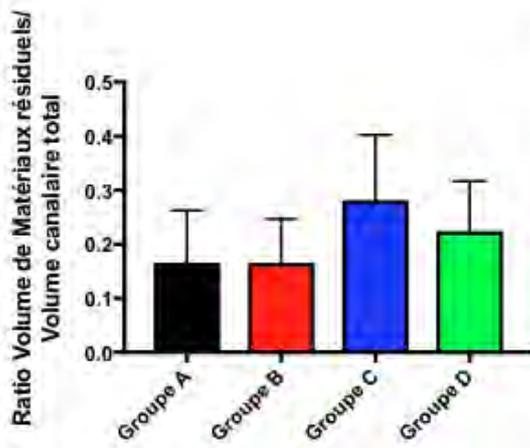
Diagramme représentant le ratio « volume de matériaux résiduels/ volume canalaire total » pour les quatre groupes A, B, C et D.

Nous n'observons aucune différence significative entre les quatre ciments d'obturation. Nous remarquons tout de même qu'il persiste plus de matériaux résiduels avec les ciments des groupes B, C et D (respectivement, BioRoot®, Bio-C Sealer® et EndoSequence®) qu'avec le ciment du groupe A (Sealite Regular®).

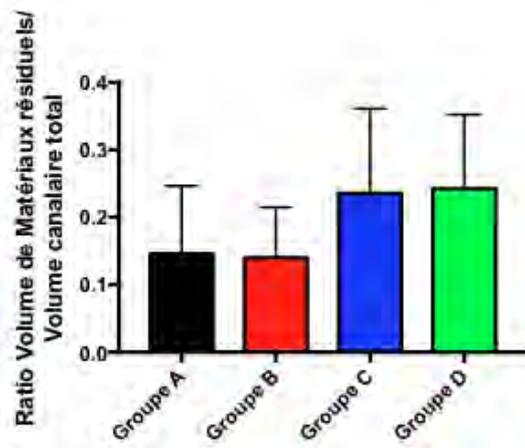
4.1.2. Résultats coupe par coupe

Nous avons cherché à savoir si l'on obtenait des résultats significatifs en analysant le ratio « volume de matériaux résiduels/volume canalaire total » selon la distance à laquelle on se trouvait par rapport à l'apex.

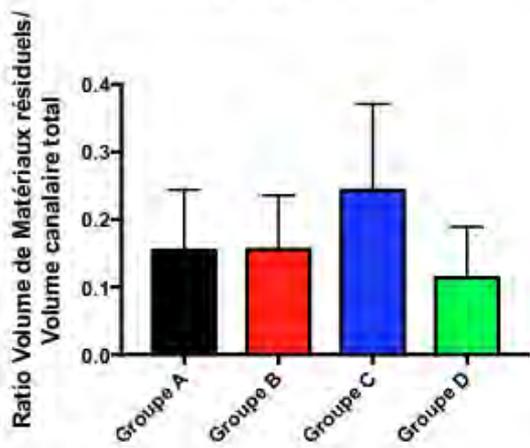




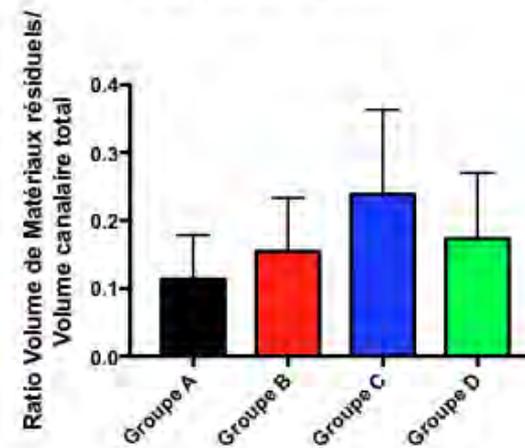
Coupe Apex - 2,1mm



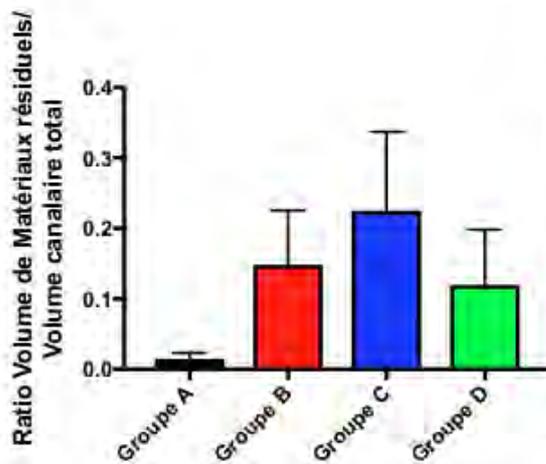
Coupe Apex - 2,25mm



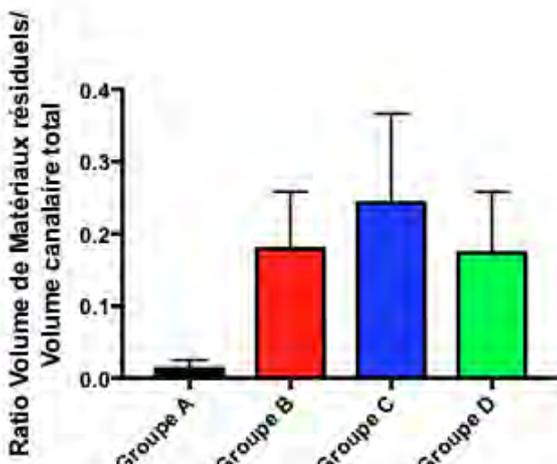
Coupe Apex - 2,4mm



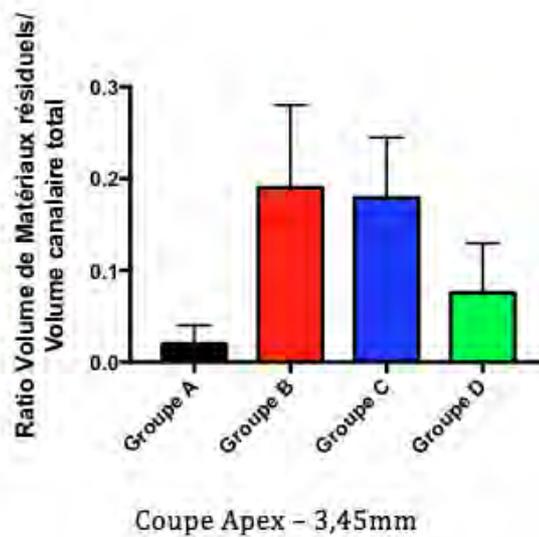
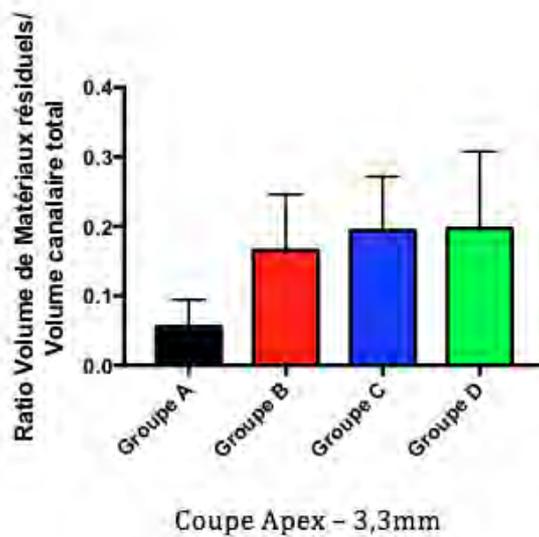
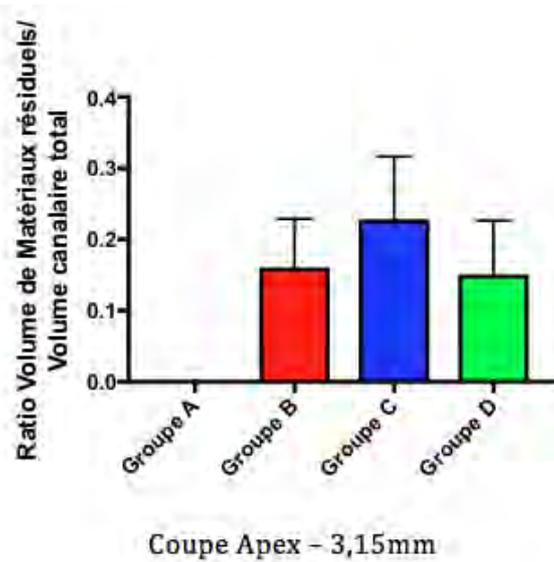
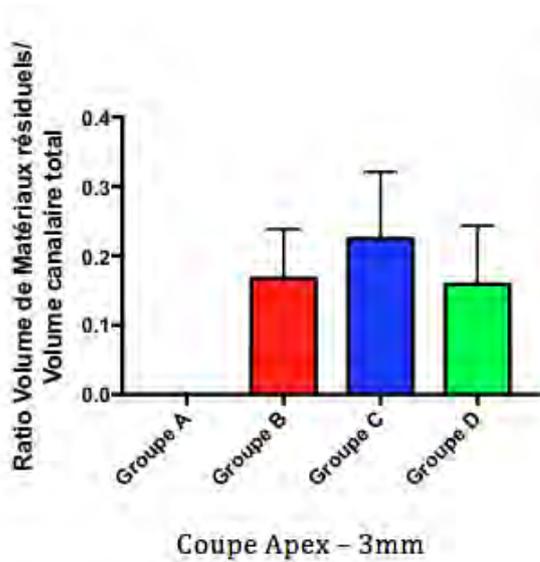
Coupe Apex - 2,55mm



Coupe Apex - 2,7mm



Coupe Apex - 2,85mm



Les résultats coupe par coupe ne sont pas significatifs. Cependant, nous observons que le ciment du groupe A (Sealite Regular ®) s'élimine mieux que les ciments des groupes B, C et D (respectivement, BioRoot®, Bio-C Sealer® et EndoSequence®) et ce d'autant plus que l'on s'éloigne de la région apicale.

5. Discussion

L'objectif de cette étude est de comparer la possibilité d'élimination de trois ciments biocéramiques avec un ciment à base d'oxyde de zinc et d'eugénol.

5.1. Choix des matériels et méthodes

5.1.1. Sélection des échantillons

Afin de minimiser la variabilité entre les dents, seules les dents monoradiculées, sans courbures et avec un apex fermé ont été sélectionnées pour l'étude. Les dents ont été sectionnées au niveau de la jonction amélo-cémentaire pour éliminer les contraintes coronaires et standardiser les longueurs.

L'étude aurait pu être faite sur des simulateurs en résine, cela aurait présenté l'avantage d'avoir des canaux parfaitement semblables en termes de forme et de longueur. Cependant, la résine ne peut pas représenter les conditions cliniques réelles en raison des différences de texture, de dureté et de composition par rapport à la dentine.

Un des principaux inconvénients des simulateurs est la génération de chaleur causée par la friction des instruments de préparation qui peut entraîner un ramollissement de la résine. Celle-ci peut se fixer aux lames des instruments et provoquer leur déformation ou leur fracture.

??

La mise en forme initiale a été réalisée avec le système de rotation continue Protaper Universal ® (Dentsply-Maillefer, Baillagues, Suisse), jusqu'à la lime F1. Le diamètre apical de préparation est donc de 20/10. La préparation apicale est, volontairement, de faible diamètre pour être en corrélation avec la nécessité de retraiter une dent. En effet une sous préparation apicale est souvent retrouvée dans les dents nécessitant une reprise de traitement (60).

D'autres systèmes de rotation continue auraient pu être utilisés.

Chaque instrument a été utilisé dix fois (une séquence instrumentale pour chaque groupe), afin de limiter le risque de fracture instrumentale. Certains instruments ont été changé avant à cause d'une modification instrumentale (dés spiralisation ou sur-spiralisation).

5.1.3. Obturation endodontique

L'obturation des dents est réalisée par une technique « monocône ». Cette technique n'est pas la plus efficace afin d'obturer l'ensemble du réseau canalaire radulaire, mais elle est indiquée avec l'utilisation d'un ciment biocéramique. De plus, elle est largement répandue en pratique libérale.

Cette technique justifie également la nécessité de retraiter la dent, en effet une obturation incomplète du réseau canalaire est souvent retrouvée lors de retraitements endodontiques.

Une technique d'obturation par condensation latérale à froid aurait pu être une alternative à la technique monocône.

5.1.4. Désobturation endodontique

Le système rotatif Pro Taper Retreatment a été utilisé (instruments D1, D2 et D3). Pour augmenter le diamètre de préparation à l'apex et pour retirer un maximum de gutta percha et de ciment, nous avons terminé le retraitement par le passage de la lime F2 (diamètre 25/100).

Un set d'instrument neuf a été utilisé pour chaque groupe de dents et aucune fracture ou modification instrumentale n'est survenue.

5.1.5. Utilisation de solvants

Aucun solvant n'a été utilisé pour la désobturation endodontique. Son application n'est pas indiquée en présence d'une obturation non dense (60). De plus son utilisation provoque une accumulation de gutta sur les parois canalaire qui est difficile à retirer.

5.1.6. Méthode de mesure

La méthode de mesure est faite à partir d'une acquisition CBCT. Seules les coupes transversales sont analysées. Les coupes situées entre le dôme radiologique et 1.5mm en-deçà ne sont pas analysées pour éviter les particularités anatomiques apicales (dédoublément, deltas...) inaccessibles à l'instrumentation rotative. Pour chaque dent, quinze coupes ont été analysées tous les 0,75 mm. Chaque dent a donc été analysée sur 11,25 mm.

Les mesures auraient pu être faites à partir d'une analyse au microscope de coupes transversales de dents mais cette méthode est plus difficile à mettre en œuvre.

Pour chaque coupe de CBCT, le logiciel CTan® (Bruker® - Anvers - Belgique), nous permet de calculer le surface canalaire en pixel, puis la quantité de matériaux résiduels. Cependant la détermination de la « region of interest » (ROI) se réalise manuellement (absence de contour actif), il existe donc un risque de subjectivité lié à cette détermination de la région canalaire.

5.2. Discussion des résultats

Les résultats sont non significatifs. Pour augmenter la puissance de l'étude, il aurait fallu utiliser un plus grand nombre d'échantillon.

6. Conclusion

Le domaine de l'endodontie est aujourd'hui en perpétuelle évolution.

Depuis une vingtaine d'années, de nouveaux matériaux biocéramiques ont été mis au point. Leurs indications sont nombreuses. Ils peuvent être utilisés, notamment, dans le traitement des perforations et des résorptions, les coiffages pulpaire, l'apexification, ou encore l'obturation rétrograde en chirurgie endodontique.

Plus récemment, de nouvelles formes galéniques ont été proposées ; plus fluide et destinées à l'obturation canalaire. Grâce à leurs propriétés, ces ciments à base de biocéramique apportent une simplification et une standardisation des techniques d'obturation, ainsi que des propriétés biologiques et mécaniques meilleures que celles que nous connaissions jusqu'à présent.

Le principal inconvénient de ces nouveaux ciments apparaissait alors dans la difficulté de désobturer les canaux, en cas d'échec de traitement.

En effet, le retraitement endodontique est un acte réalisé de manière quotidienne par le chirurgien-dentiste. Le facteur de succès d'un tel retraitement est une élimination complète des matériaux d'obturation dans l'ensemble du réseau canalaire. L'incapacité à retrouver la longueur de travail peut également compromettre le retraitement endodontique en empêchant une bonne mise en forme et un bon nettoyage de l'espace apical.

Les résultats de cette étude in vitro, montrent qu'il n'existe pas de différence significative dans l'élimination des trois ciments biocéramiques (BioRoot®, Bio-C Sealer® et EndoSequence®), en comparaison avec le ciment à base d'oxyde de zinc et d'eugénol (Sealite Regular®).

Une étude avec un plus grand nombre d'échantillon pourrait être entreprise afin d'obtenir une plus grande puissance significative pour confirmer les tendances de nos résultats.

Cependant, bien que manquant de recul clinique, les ciments biocéramiques, semblent apporter un espoir réel. Ils pourraient bien changer le futur de la discipline et optimiser le pronostic de nos traitements endodontiques.

Le directeur de thèse,
Docteur Vincent BLASCO-BAQUE,

Le président du jury,
Professeur Franck DIEMER,

Annexes

GROUPE A												
VOLUME DE MATERIAUX	COUPES	DENT A1	DENT A2	DENT A3	DENT A4	DENT A5	DENT A6	DENT A7	DENT A8	DENT A9	DENT A10	MOYENNE TOTALE
	Coupe 1 = apex + 10	25	7	0	32	0	0	0	12	11	0	
	Coupe 2 = apex + 15	34	0	0	42	0	0	0	0	0	0	
	Coupe 3 = apex + 20	50	0	0	55	0	0	0	0	0	0	
	Coupe 4 = apex + 25	31	0	0	59	0	0	0	0	4	0	
	Coupe 5 = apex + 30	25	0	0	75	0	0	0	0	0	0	
	Coupe 6 = apex + 35	13	0	0	86	0	0	0	0	15	0	
	Coupe 7 = apex + 40	10	0	0	52	0	0	0	0	15	0	
	Coupe 8 = apex + 45	0	0	0	12	0	10	0	0	0	0	
	Coupe 9 = apex + 50	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	
	Coupe 10 = apex + 55	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	
	Coupe 11 = apex + 60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Coupe 12 = apex + 65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Coupe 13 = apex + 70	0	0	0	0	0	0	0	0	24	11	
	Coupe 14 = apex + 75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	
	Coupe 15 = apex + 80	0	0	0	6	0	0	0	0	0	27	
MOYENNE DU VOLUME DE MATERIAUX		12,5333333	0,46666667	0	31,7692308	0,4	1,6	0	0,8	4,6	3,53333333	5,57025641
VOLUME CANALAIRE	COUPES	DENT A1	DENT A2	DENT A3	DENT A4	DENT A5	DENT A6	DENT A7	DENT A8	DENT A9	DENT A10	MOYENNE TOTALE
	Coupe 1 = apex + 10	31	13	14	37	8	11	23	19	11	9	
	Coupe 2 = apex + 15	44	14	17	47	20	15	26	16	25	18	
	Coupe 3 = apex + 20	59	26	18	66	33	25	37	17	24	21	
	Coupe 4 = apex + 25	52	30	26	66	30	30	31	40	30	22	
	Coupe 5 = apex + 30	45	26	35	83	32	40	46	41	29	33	
	Coupe 6 = apex + 35	39	42	30	101	40	45	48	48	42	34	
	Coupe 7 = apex + 40	47	36	37	87	40	55	50	33	46	32	
	Coupe 8 = apex + 45	57	44	32	72	39	54	46	41	39	43	
	Coupe 9 = apex + 50	56	46	36	104	47	60	61	50	41	44	
	Coupe 10 = apex + 55	47	56	42	123	53	56	66	54	49	38	
	Coupe 11 = apex + 60	66	58	58	136	67	62	70	56	56	42	
	Coupe 12 = apex + 65	76	57	61	164	75	73	71	58	69	44	
	Coupe 13 = apex + 70	78	56	57	167	69	62	68	54	67	56	
	Coupe 14 = apex + 75	79	70	66	111	88	72	72	63	83	83	
	Coupe 15 = apex + 80	85	70	73	111	86	75	63	82	92	92	
MOYENNE DU VOLUME CANALAIRE		57,4	42,9333333	40,1333333	56,3846154	50,1333333	49,7333333	52,6666667	43,3333333	46,2	40,7333333	51,36125356
RATIO VOL MATERIAUX/VOL CANALAIRE		0,21835075	0,01086957	0	0,32960894	0,00797872	0,03217158	0	0,01846154	0,0995671	0,08674304	0,108452501

Tableau de mesures du groupe A

GROUPE B												
VOLUME DE MATERIAUX	COUPES	DENT B1	DENT B2	DENT B3	DENT B4	DENT B5	DENT B6	DENT B7	DENT B8	DENT B9	DENT B10	MOYENNE TOTALE
	Coupe apex	233	245	233	245	245	233	236	236	224	244	
	Coupe 1 = apex + 10	0	27	0	0	0	0	23	0	0	0	
	Coupe 2 = apex + 15	0	29	0	0	0	0	29	0	0	0	
	Coupe 3 = apex + 20	0	36	7	0	0	0	32	0	0	0	
	Coupe 4 = apex + 25	0	44	15	0	0	0	48	0	0	0	
	Coupe 5 = apex + 30	0	59	15	0	0	0	38	0	0	0	
	Coupe 6 = apex + 35	20	73	0	0	0	0	45	0	0	0	
	Coupe 7 = apex + 40	26	66	0	0	0	0	51	0	0	0	
	Coupe 8 = apex + 45	37	71	0	0	0	0	52	0	0	0	
	Coupe 9 = apex + 50	18	75	0	0	0	0	51	0	0	0	
	Coupe 10 = apex + 55	26	81	0	0	0	0	48	0	14	0	
	Coupe 11 = apex + 60	20	81	0	0	0	0	39	0	23	0	
	Coupe 12 = apex + 65	38	92	0	0	0	0	11	0	38	0	
	Coupe 13 = apex + 70	42	98	0	8	0	0	0	0	85	0	
	Coupe 14 = apex + 75	121	100	0	12	0	0	0	0	86	0	
	Coupe 15 = apex + 80	99	107	0	7	0	0	0	0	71	0	
MOYENNE DU VOLUME DE MATERIAUX		29,8	69,2666667	2,46666667	1,8	0	0	0	31,1333333	0	21,1333333	15,56
VOLUME CANALAIRE	COUPES	DENT B1	DENT B2	DENT B3	DENT B4	DENT B5	DENT B6	DENT B7	DENT B8	DENT B9	DENT B10	MOYENNE TOTALE
	Coupe 1 = apex + 10	11	27	14	27	11	20	22	31	14	12	
	Coupe 2 = apex + 15	25	32	22	26	17	24	27	39	19	11	
	Coupe 3 = apex + 20	29	59	22	43	22	22	30	48	17	21	
	Coupe 4 = apex + 25	33	74	40	50	44	24	44	74	22	29	
	Coupe 5 = apex + 30	36	94	49	56	37	31	40	82	31	30	
	Coupe 6 = apex + 35	41	118	48	42	40	40	43	100	35	38	
	Coupe 7 = apex + 40	51	118	49	60	47	41	44	107	39	42	
	Coupe 8 = apex + 45	46	117	52	64	58	44	59	105	41	46	
	Coupe 9 = apex + 50	73	122	64	67	60	47	67	86	47	51	
	Coupe 10 = apex + 55	77	128	67	69	62	54	70	88	51	51	
	Coupe 11 = apex + 60	70	156	57	69	65	67	61	81	59	59	
	Coupe 12 = apex + 65	96	168	63	70	68	60	56	71	53	80	
	Coupe 13 = apex + 70	100	192	63	98	73	71	84	84	63	132	
	Coupe 14 = apex + 75	186	186	80	113	88	75	91	103	77	142	
	Coupe 15 = apex + 80	173	163	85	108	79	76	91	104	79	144	
MOYENNE DU VOLUME CANALAIRE		69,8	116,933333	51,6666667	64,1333333	51,4	46,4	55,2666667	80,2	43,1333333	59,2	63,81333333
RATIO VOL MATERIAUX/VOL CANALAIRE		0,4269341	0,59236032	0,04774194	0,02806653	0	0	0	0,38819618	0	0,35698198	0,243836188

Tableau de mesures du groupe B

GROUPE C												
VOLUME DE MATERIAUX	COUPES	DENT C1	DENT C2	DENT C3	DENT C4	DENT C5	DENT C6	DENT C7	DENT C8	DENT C9	DENT C10	MOYENNE TOTALE
	Coupe 1 = apex + 10	10	0	9	36	0	15	0	0	0	0	
	Coupe 2 = apex + 15	33	0	3	71	0	0	0	12	0	0	
	Coupe 3 = apex + 20	48	0	6	74	0	6	0	0	0	0	
	Coupe 4 = apex + 25	55	0	13	66	0	18	0	0	0	0	
	Coupe 5 = apex + 30	59	0	0	68	0	17	0	0	0	0	
	Coupe 6 = apex + 35	107	0	0	61	0	32	0	0	0	0	
	Coupe 7 = apex + 40	120	0	0	45	0	42	0	0	0	0	
	Coupe 8 = apex + 45	110	0	0	75	0	0	0	7	0	0	
	Coupe 9 = apex + 50	117	0	0	85	18	0	0	14	0	0	
	Coupe 10 = apex + 55	109	0	0	77	70	0	0	0	0	0	
	Coupe 11 = apex + 60	81	0	22	75	43	0	0	0	0	0	
	Coupe 12 = apex + 65	82	0	20	75	40	10	0	0	0	0	
	Coupe 13 = apex + 70	65	22	0	73	33	17	0	0	0	0	
	Coupe 14 = apex + 75	33	20	0	67	58	13	0	0	15	0	
	Coupe 15 = apex + 80	28	40	0	84	42	34	0	0	23	0	
MOYENNE DU VOLUME DE MATERIAUX		70,4666667	5,4666667	4,8666667	68,8	20,2666667	13,6	0	2,2	2,5333333	0	18,82
VOLUME CANALAIRE	COUPES	DENT C1	DENT C2	DENT C3	DENT C4	DENT C5	DENT C6	DENT C7	DENT C8	DENT C9	DENT C10	MOYENNE TOTALE
	Coupe 1 = apex + 10	10	13	19	36	18	15	14	8	23	4	
	Coupe 2 = apex + 15	33	22	21	75	24	13	27	23	16	13	
	Coupe 3 = apex + 20	48	25	24	84	30	16	28	36	22	16	
	Coupe 4 = apex + 25	55	30	37	78	29	31	37	38	27	18	
	Coupe 5 = apex + 30	59	34	39	81	36	33	38	36	37	24	
	Coupe 6 = apex + 35	107	40	41	71	45	56	43	36	40	30	
	Coupe 7 = apex + 40	120	37	49	60	53	66	41	50	43	33	
	Coupe 8 = apex + 45	120	50	47	87	65	60	61	47	46	42	
	Coupe 9 = apex + 50	125	52	46	101	75	63	72	69	51	50	
	Coupe 10 = apex + 55	125	56	48	98	91	68	63	46	53	53	
	Coupe 11 = apex + 60	126	53	63	102	83	82	61	79	50	60	
	Coupe 12 = apex + 65	127	49	60	106	88	87	62	81	54	64	
	Coupe 13 = apex + 70	133	66	63	108	110	117	58	84	55	68	
	Coupe 14 = apex + 75	149	85	72	114	124	118	82	100	90	73	
	Coupe 15 = apex + 80	178	104	81	138	121	156	83	98	105	77	
MOYENNE DU VOLUME CANALAIRE		101	47,7333333	47,3333333	89,2666667	66,1333333	65,4	51,3333333	55,4	47,4666667	41,6666667	61,2733333
RATIO VOL MATERIAUX/VOL CANALAIRE		0,69768977	0,11452514	0,1028169	0,77072442	0,30645161	0,20795107	0	0,03971119	0,05337079	0	0,307148297

Tableau de mesures du groupe C

GROUPE D												
VOLUME DE MATERIAUX	COUPES	DENT D1	DENT D2	DENT D3	DENT D4	DENT D5	DENT D6	DENT D7	DENT D8	DENT D9	DENT D10	MOYENNE TOTALE
	Coupe 1 = apex + 10	18	16	0	0	0	12	0	0	8	0	
	Coupe 2 = apex + 15	27	39	0	0	0	15	0	0	8	0	
	Coupe 3 = apex + 20	34	28	0	0	0	18	7	0	0	0	
	Coupe 4 = apex + 25	32	32	0	0	0	29	14	0	0	0	
	Coupe 5 = apex + 30	38	40	0	0	0	23	15	0	0	0	
	Coupe 6 = apex + 35	58	6	0	0	0	18	0	0	0	0	
	Coupe 7 = apex + 40	74	0	62	0	0	20	0	0	0	0	
	Coupe 8 = apex + 45	90	0	56	0	0	0	0	0	0	0	
	Coupe 9 = apex + 50	87	0	56	0	0	0	0	0	0	0	
	Coupe 10 = apex + 55	63	0	90	0	0	16	10	0	0	0	
	Coupe 11 = apex + 60	53	0	99	22	0	0	0	0	0	0	
	Coupe 12 = apex + 65	39	0	83	0	0	34	0	0	0	0	
	Coupe 13 = apex + 70	0	0	69	0	0	27	54	0	0	0	
	Coupe 14 = apex + 75	23	0	72	0	0	0	0	0	0	0	
	Coupe 15 = apex + 80	0	0	105	0	0	0	0	0	0	0	
MOYENNE DU VOLUME DE MATERIAUX		42,4	10,7333333	46,1333333	1,4666667	0	14,1333333	6,6666667	0	0,9333333	0	12,2466667
VOLUME CANALAIRE	COUPES	DENT D1	DENT D2	DENT D3	DENT D4	DENT D5	DENT D6	DENT D7	DENT D8	DENT D9	DENT D10	MOYENNE TOTALE
	Coupe 1 = apex + 10	31	16	11	15	13	12	10	7	6	19	
	Coupe 2 = apex + 15	41	39	27	37	20	25	19	22	8	26	
	Coupe 3 = apex + 20	47	40	31	25	24	27	30	14	30	29	
	Coupe 4 = apex + 25	50	45	24	36	26	51	49	26	34	36	
	Coupe 5 = apex + 30	49	45	35	40	25	59	41	40	36	38	
	Coupe 6 = apex + 35	77	34	37	49	33	87	42	38	42	45	
	Coupe 7 = apex + 40	89	40	101	40	30	70	36	51	48	45	
	Coupe 8 = apex + 45	90	42	101	45	47	56	50	54	55	55	
	Coupe 9 = apex + 50	117	43	132	52	45	79	45	53	57	67	
	Coupe 10 = apex + 55	121	46	120	61	44	56	56	72	69	66	
	Coupe 11 = apex + 60	106	63	138	60	51	58	58	71	77	70	
	Coupe 12 = apex + 65	103	68	125	71	64	78	65	57	80	83	
	Coupe 13 = apex + 70	113	66	118	63	92	70	54	63	85	80	
	Coupe 14 = apex + 75	94	83	141	72	102	69	68	79	99	77	
	Coupe 15 = apex + 80	100	99	161	91	83	78	78	92	120	120	
MOYENNE DU VOLUME CANALAIRE		81,8666667	51,2666667	86,8	50,4666667	44	58,6666667	46,7333333	48,3333333	54,5333333	57,0666667	57,9733333
RATIO VOL MATERIAUX/VOL CANALAIRE		0,51791531	0,20936281	0,53149002	0,02906209	0	0,24090909	0,14265335	0	0,01711491	0	0,21124655

Tableau de mesures du groupe D

Bibliographie

1. Rollin-Martinet S. *Développement de nouvelles biocéramiques par consolidation à basse température d'apatites nanocristallines biomimétiques* [PhD Thesis]. Université de Limoges; 2011.
2. Williams DF. *Definitions in Biomaterials*. Progress in biomedical engineering. Vol. 4. Elsevier; 1987. 72 p.
3. Osborn J.F., Newesely H. *Dynamic aspect of the implant bone interface*. 1980.
4. Ratner BD, Hoffman AS, Schoen FJ, Lemons JE. *Biomaterials Science : An Introduction to Materials in Medicine*. Elsevier; 2004. 879 p.
5. Debelian G, Trope M. *The use of premixed bioceramic materials in endodontics*. G Ital Endodonzia. 1 nov 2016;30(2):70-80.
6. Raghavendra SS, Jadhav GR, Gathani KM, Kotadia P. *Bioceramics in endodontics – a review*. J Istanb Univ Fac Dent. 2 déc 2017;51(3 Suppl 1):S128-37.
7. Lai YL, Yang ML, Lee SY. *Microhardness and color changes of human dentin with repeated intracoronal bleaching*. Oper Dent. 2003;28(6):786-92.
8. Porter ML, Berto A. *Physical and chemical properties of a new root-end filling material*. Journal of Endodontics. Mars 2010;36:524-8.
9. Moshaverinia A, Brantley WA, Chee WWL. *Measure of microhardness, fracture toughness and flexural strength of N-vinylcaprolactam (NVC)-containing glass-ionomer dental cements*. Dental Materials. Déc 2010;26:1137-43.
10. Sagsen B, Ustün Y, Demirbuga S. *Push-out bond strength of two new calcium silicate-based endodontic sealers to root canal dentine*. International Endodontic Journal. Déc 2011;44:1088-91.
11. Zhou H, Shen Y, Zheng W, Li L, Zheng Y, Haapasalo M. *Physical Properties of 5 Root Canal Sealers*. J Endod. 1 oct 2013;39(10):1281-6.
12. Güven EP, Taşlı PN, Yalvac ME, Sofiev N, Kayahan MB, Sahin F. *In vitro comparison of induction capacity and biomineralization ability of mineral trioxide aggregate and a bioceramic root canal sealer*. Int Endod J. 1 déc 2013;46(12):1173-82.
13. Han L, Okiji T. *Bioactivity evaluation of three calcium silicate-based endodontic materials*. Int Endod J. 1 sept 2013;46(9):808-14.
14. Camps J, Jeanneau C, Ayachi IE, Laurent P, About I. *Bioactivity of a Calcium Silicate-based Endodontic Cement (BioRoot RCS) : Interactions with Human Periodontal Ligament Cells In Vitro*. J Endod. 1 sept 2015;41(9):1469-73.

15. Taccio de Miranda Candeiro G, Campelo Correira F. *Evaluation of Radiopacity, pH, Release of Calcium Ions, and Flow of a Bioceramic Root Canal Sealer*. Journal of Endodontics. Juin 2012;38:842-5.
16. Silva EJNL da, Rosa TP, Herrera DR. *Evaluation of Cytotoxicity and Physicochemical Properties of Calcium Silicate-based Endodontic Sealer MTA Fillapex*. Journal of Endodontics. Févr 2013;39:274-7.
17. Khalil I, Naaman A, Camilleri J. *Properties of Tricalcium Silicate Sealers*. Journal of Endodontics. Oct 2016;42:1529-35.
18. Fridland M, Rosado R. *Mineral Trioxide Aggregate (MTA) Solubility and Porosity with Different Water-to-Powder Ratios*. Journal of Endodontics. Déc 2003;29:814-7.
19. Prüllage R-K, Urban K, Schäfer E, Dammaschke T. *Material Properties of a Tricalcium Silicate-containing, a Mineral Trioxide Aggregate-containing, and an Epoxy Resin-based Root Canal Sealer*. J Endod. 1 déc 2016;42(12):1784-8.
20. Sun ZL, Wataha JC, Hanks CT. *Effects of metal ions on osteoblast-like cell metabolism and differentiation*. J Biomed Mater Res. Janv 1997;34(1):29-37.
21. Zoufan K, Jiang J, Komabayashi T, Wang Y-H, Safavi KE, Zhu Q. *Cytotoxicity evaluation of Gutta Flow and Endo Sequence BC sealers*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 1 nov 2011;112(5):657-61.
22. Zhang W, Li Z, Peng B. *Ex vivo cytotoxicity of a new calcium silicate-based canal filling material*. Int Endod J. 1 sept 2010;43(9):769-74.
23. Silva EJNL da, Santos CC, Zaia AA. *Long-term cytotoxic effects of contemporary root canal sealers*. J Appl Oral Sci Rev FOB. Févr 2013;21(1):43-7.
24. Zhou H, Du T-F, Shen Y, Wang Z. *In Vitro Cytotoxicity of Calcium Silicate-containing Endodontic Sealers*. Journal of Endodontics. Janv 2015;41:56-61.
25. Rodríguez-Lozano FJ, García-Bernal D, Oñate-Sánchez RE, Ortolani-Seltenerich PS, Forner L, Moraleda JM. *Evaluation of cytocompatibility of calcium silicate-based endodontic sealers and their effects on the biological responses of mesenchymal dental stem cells*. Int Endod J. 1 janv 2017;50(1):67-76.
26. Zanini M, Sautier JM, Berdal A, Simon S. *Biodentine Induces Immortalized Murine Pulp Cell Differentiation into Odontoblast-like Cells and Stimulates Biomineralization*. J Endod. 1 sept 2012;38(9):1220-6.
27. Reyes-Carmona J, Felipe M, Felipe W. *Biomineralization Ability and Interaction of Mineral Trioxide Aggregate and White Portland Cement With Dentin in a Phosphate-containing Fluid*. Journal of Endodontics. Mai 2009;35:731-6.

28. Schröder U. *Effects of Calcium Hydroxide-containing Pulp-capping Agents on Pulp Cell Migration, Proliferation, and Differentiation.* J Dent Res. 1 avr 1985;64(4):541-8.
29. Siqueira JF, Gonçalves RB. *Antibacterial activities of root canal sealers against selected anaerobic bacteria.* J Endod. 1 févr 1996;22(2):79-80.
30. McHugh CP, Zhang P, Michalek S, Eleazer PD. *pH Required to Kill Enterococcus faecalis in Vitro.* Journal of Endodontics. Avr 2004;30:218-9.
31. Wang Z, Shen Y, Haapasalo M. *Dentin Extends the Antibacterial Effect of Endodontic Sealers against Enterococcus faecalis Biofilms.* Journal of Endodontics. Avr 2014;40:505-8.
32. Candeiro GTM, Moura-Netto C, D'Almeida-Couto RS, Azambuja-Júnior N, Marques MM, Cai S, et al. *Cytotoxicity, genotoxicity and antibacterial effectiveness of a bioceramic endodontic sealer.* Int Endod J. 1 sept 2016;49(9):858-64.
33. Singh G, Elshamy FM, Homeida HE, Boreak N, Gupta I. *An in vitro Comparison of Antimicrobial Activity of Three Endodontic Sealers with Different Composition.* J Contemp Dent Pract. Juill 2016;17(7):553-6.
34. Utneja S, Nawal RR, Talwar S, Verma M. *Current perspectives of bio-ceramic technology in endodontics : calcium enriched mixture cement - review of its composition, properties and applications.* Restor Dent Endod. 1 févr 2015;40(1):1-13.
35. Shabahang S. *Treatment Options : Apexogenesis and Apexification.* J Endod. 1 mars 2013;39(3):S26-9.
36. El Meligy, Omar A.S *Comparison of Apexification With Mineral Trioxide Aggregate and Calcium Hydroxide.* Pediatric Dentistry. 2006;248-253
37. Camilleri J, Montesin FE, Brady K, Sweeney R, Curtis RV, Ford TRP. *The constitution of mineral trioxide aggregate.* Dent Mater Off Publ Acad Dent Mater. Avr 2005;21(4):297-303.
38. Jiang S, Wu H, Zhang CF. *Partial Pulpotomy of Immature Teeth with Apical Periodontitis using Bioceramics and Mineral Trioxide Aggregate : A Report of Three Cases.* Chin J Dent Res. 4 juill 2016;(2):115-120.
39. 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 JCD. 2014;17(4):340-3.
40. Atlan A, Dantan Q, Jouanny G. *La technique monocône est-elle une technique d'avenir ?* ID n°32. Vol 97. 23 sept 2015.

41. Torabinejad M, Parirokh M. *Mineral trioxide aggregate : a comprehensive literature review-part I I: leakage and biocompatibility investigations.* J Endod. févr 2010;36(2):190-202.
42. Keskin C, Demiryurek EO, Ozyurek T. *Color Stabilities of Calcium Silicate-based Materials in Contact with Different Irrigation Solutions.* J Endod. 1 mars 2015;41(3):409-11.
43. 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. 1 mai 2015;41(5):607-12.
44. Nasseh A. *A combined surgical and non-surgical approach to repair an external root resorption utilizing a nano-particulate bioceramic root repair material.* Endod Pract. 17 nov 2014;
45. Hess D, Solomon E, Spears R, He J. *Retreatability of a Bioceramic Root Canal Sealing Material.* Journal of Endodontics. nov 2011;37:1547-9.
46. Ma J, Al-Ashaw AJ, Shen Y, Gao Y, Yang Y, Zhang C, et al. *Efficacy of ProTaper Universal Rotary Retreatment System for Gutta-percha Removal from Oval Root Canals : A Micro-Computed Tomography Study.* J Endod. nov 2012;38(11):1516-20.
47. Ersev H. *The efficacy of ProTaper Universal rotary retreatment instrumentation to remove single gutta-percha cones cemented with several endodontic sealers.* International Endodontic Journal. 2012.
48. Taha NA, Ahmad MB, Ghanim A. *Assessment of Mineral Trioxide Aggregate pulpotomy in mature permanent teeth with carious exposures.* Int Endod J. févr 2017;50(2):117-25.
49. Eghbal MJ, Asgary S, Baglue RA, Parirokh M, Ghoddusi J. *MTA pulpotomy of human permanent molars with irreversible pulpitis.* Aust Endod J J Aust Soc Endodontology Inc. avr 2009;35(1):4-8.
50. Asgary S, Eghbal MJ. *Treatment outcomes of pulpotomy in permanent molars with irreversible pulpitis using biomaterials : A multi-center randomized controlled trial.* Acta Odontol Scand. 1 janv 2013;71(1):130-6.
51. Bellhari K. *Apport des nouvelles biocéramiques dans les procédures de maintien de la vitalité pulpaire: revue de la littérature et étude in vitro évaluant la biocompatibilité du Total Fill BC Paste® sur les cellules pulpaires* [Thèse d'exercice]. Lyon, France. Université Claude Bernard; 2016.
52. Borkar SA, Ataide I. *Biodentine pulpotomy several days after pulp exposure : four case reports.* J Conserv Dent. 1 janv 2015;18(1):73.
53. Grossman LI. *Intentional replantation of teeth.* J Am Dent Assoc 1939. Mai 1966;72(5):1111-8.

54. Choi YH, Bae JH, Kim YK, Kim HY, Kim SK, Cho BH. *Clinical outcome of intentional replantation with preoperative orthodontic extrusion : a retrospective study*. Int Endod J. déc 2014;47(12):1168-76.
55. Simon S, Pertot PM Willy. *Endodontie* - Editions CdP. Initiatives Sante; 2015. 1347 p.
56. Agrafioti A, Koursoumis AD, Kontakiotis EG. *Re-establishing apical patency after obturation with Gutta-percha and two novel calcium silicate-based sealers*. Eur J Dent. 2015;9(4):457-61.
57. de Siqueira Zuolo A, Luis Zuolo M, da Silveira Bueno CE. *Evaluation of the Efficacy of TRUShape and Reciproc File Systems in the Removal of Root Filling Material : An Ex Vivo Micro-Computed Tomographic Study*. Journal of Endodontics. Févr 2016;42:315-9.
58. Kim H, Kim E, Lee S, Shin S. *Comparisons of the Retreatment Efficacy of Calcium Silicate and Epoxy Resin-based Sealers and Residual Sealer in Dentinal Tubules*. Déc 2015;41:2025-30.
59. Gergi R, Sabbagh C. *Effectiveness of two nickel-titanium rotary instruments and a hand file for removing gutta-percha in severely curved root canals during retreatment: an ex vivo study*. Int Endod J. 1 juill 2007;40(7):532-7.

ETUDE COMPARATIVE EN TOMOGRAPHIE VOLUMIQUE DES RESIDUS DE CIMENTS D'OBTURATION CANALAIRE APRES DESOBTURATION ENDODONTIQUE

RESUME EN FRANÇAIS :

Le traitement endodontique comporte deux phases : une phase de contrôle microbien (instrumentation et irrigation) suivie d'une phase d'obturation qui empêche la contamination microbienne du système canalair. Avec leurs propriétés antimicrobienne et d'étanchéité, les ciments biocéramiques sont l'un des rares matériaux disponibles contribuant avec succès aux deux phases du traitement endodontique. Cependant la difficulté de pénétration de ces ciments en cas de retraitement entraîne une certaine réticence des chirurgiens-dentistes à les utiliser. Notre étude clinique n'a pas mis en évidence de différence significative dans l'élimination des trois ciments biocéramiques (BioRoot®, Bio-C Sealer® et EndoSequence®), en comparaison avec le ciment à base d'oxyde de zinc et d'eugénol (Sealite Regular®). Ces résultats laissent donc penser que les ciments biocéramiques seront à l'avenir le matériau d'obturation de prédilection.

TITRE EN ANGLAIS : CBCT ASSESSMENT OF ROOT CANAL FILLING'S REMNANTS AFTER ENDODONTIC DESOBTURATION

DISCIPLINE ADMINISTRATIVE : Odontologie conservatrice, endodontie (58.01)

MOTS-CLES : retraitement endodontique, desobturation, ciment biocéramique, BioRoot®, EndoSequence®, BioC-Sealer®, CBCT, CTan®

INTITULE ET ADRESSE DE L'UFR :

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

DIRECTEUR DE THESE : Dr Vincent BLASCO-BAQUE

CO-DIRECTEUR DE THESE : Dr Franck DIEMER
