

Les ciments endodontiques: le point en 2016

THESE POUR LE DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR
EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement par

Guillaume Camut

Né le 22/09/1991

Le 29/11/2016 devant le jury ci-dessous :

Président : M. le Professeur Fabienne Pérez

Assesseur : M. le Docteur Valérie Armengol

Assesseur : M. le Docteur Cécile Dupas

Directeur de thèse : M. le Docteur Dominique Marion

UNIVERSITÉ DE NANTES	
Président	Pr LABOUX Olivier
FACULTÉ DE CHIRURGIE DENTAIRE	
Doyen	Pr AMOURIQ Yves
Assesseurs	Pr SOUEIDAN Assem Pr WEISS Pierre
Professeurs des Universités Praticiens hospitaliers des C.S.E.R.D.	
Monsieur AMOURIQ Yves Monsieur GIUMELLI Bernard Monsieur LESCLOUS Philippe	Madame LICHT Brigitte Madame PEREZ Fabienne Monsieur SOUEIDAN Assem Monsieur WEISS Pierre
Professeurs des Universités	
Monsieur BOULER Jean-Michel	
Professeurs Emérites	
Monsieur BOHNE Wolf	Monsieur JEAN Alain
Praticiens Hospitaliers	
Madame DUPAS Cécile Madame LEROUXEL Emmanuelle	Madame HYON Isabelle Madame GOEMAERE GALIERE Hélène
Maîtres de Conférences Praticiens hospitaliers des C.S.E.R.D.	Assistants Hospitaliers Universitaires des C.S.E.R.D.
Monsieur AMADOR DEL VALLE Gilles Madame ARMENGOL Valérie Monsieur BADRAN Zahi Madame BLERY Pauline Monsieur BODIC François Madame DAJEAN-TRUTAUD Sylvie Madame ENKEL Bénédicte Monsieur GAUDIN Alexis Monsieur HOORNAERT Alain Madame HOUCHMAND-CUNY Madline Madame JORDANA Fabienne Monsieur KIMAKHE Saïd Monsieur LE BARS Pierre Monsieur LE GUEHENNEC Laurent Madame LOPEZ-CAZAUX Serena Monsieur MARION Dominique Monsieur NIVET Marc-Henri Madame RENARD Emmanuelle Monsieur RENAUDIN Stéphane Madame ROY Elisabeth Monsieur STRUILLOU Xavier Monsieur VERNER Christian	Monsieur AUBEUX Davy Madame BERNARD Cécile Madame BOEDEC Anne Madame BRAY Estelle Madame CLOITRE Alexandra Monsieur DAUZAT Antoine Madame MAIRE-FROMENT Claire-Hélène Monsieur DRUGEAU Kévin Madame GOUGEON Béatrice Monsieur LE BOURHIS Antoine Monsieur LE GUENNEC Benoît Madame MAÇON Claire Madame MERAMETDJIAN Laure Madame MERCUSOT Marie-Caroline Monsieur PILON Nicolas Monsieur PRUD'HOMME Tony Monsieur SARKISSIAN Louis-Emmanuel
Maître de Conférences	
Madame VINATIER Claire	
Enseignants Associés	A.T.E.R.
Monsieur KOUADIO Ayepa (Assistant Associé) Madame LOLAH Aoula (MC Associé) Madame RAKIC Mia (PU Associé)	Madame BON Nina

**Par délibération, en date du 6 décembre 1972, le Conseil de la
Faculté de Chirurgie Dentaire a arrêté que les opinions émises
dans les dissertations qui lui seront présentées doivent être
considérées comme propres à leurs auteurs et qu'il n'entend leur
donner aucune approbation, ni improbation.**

A Mme le Pr Fabienne Pérez,

Docteur en chirurgie dentaire
Professeur des Universités
Praticien Hospitalier des Centres de Soins, d'Enseignement et de Recherches
Dentaires
Docteur de l'Université de Toulouse 3
Habilité à diriger des recherches.
Chef de service d'Odontologie Conservatrice et Pédiatrique
Chef du département d'Odontologie Conservatrice-Endodontie

-NANTES-

Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury.

Pour votre gentillesse et votre efficacité.

*Veillez trouver ici l'expression de mes sincères remerciements
et le témoignage de mon profond respect.*

A Mr le Docteur Dominique Marion,

Maître de Conférence des Universités
Praticien Hospitalier des Centres de Soins d'Enseignement et de Recherches
Dentaires
Département d'Odontologie Conservatrice-Endodontie

-NANTES-

Pour m'avoir fait l'honneur de diriger cette thèse.

Pour le temps que vous avez consacré à cette thèse.

Pour votre disponibilité, votre gentillesse, votre patience et vos corrections apportées à ce travail.

Pour vos conseils théoriques et techniques, votre sens clinique que vous avez essayé de me transmettre lors des vacances d'Endodontie.

Veillez recevoir le témoignage de ma gratitude la plus sincère et ma profonde estime pour vous.

A Mme le Docteur Valérie Armengol

Maitre de Conférences des Universités
Praticien Hospitalier des Centres de Soins d'Enseignement et de Recherche Dentaires
Docteur de l'Université de Nantes
Département d'Odontologie Conservatrice - Endodontie

-NANTES-

Pour m'avoir fait l'honneur de participer à ce jury de thèse.

*Pour votre disponibilité, votre rapidité de correction et vos conseils pratiques tout au long de
mes études.*

Veillez trouver ici l'expression de ma sincère reconnaissance et de mon profond respect.

A Mme le Docteur Cécile Dupas,

Docteur en chirurgie dentaire

Ancien Assistant Hospitalier Universitaire des Centres de soins d'Enseignement et de Recherche Dentaires

Odontologiste des hôpitaux

Praticien Hospitalier des Centres de Soins d'Enseignement et de Recherches Dentaires- Service Odontologie Conservatrice et Pédiatrique

Praticien Hospitalier de l'Unité sanitaire du Centre Pénitentiaire et de l'Etablissement Pénitentiaire pour Mineurs- Service des Urgences

-NANTES-

Pour m'avoir fait l'honneur de participer à ce jury de thèse.

Pour votre investissement en clinique et vos précieux conseils lors des TP d'Endodontie.

Veillez trouver ici l'expression de ma sincère reconnaissance et de ma grande estime à votre égard.

I.Introduction	13
II.Rôles et caractéristiques d'un ciment endodontique	14
2-1-) Définition	14
2-1-1. Biomatériau.....	14
2-1-2. Biocompatibilité	14
2-1-3. Bioactivité	14
2-2-) Rôle du ciment endodontique	15
2-3-) Caractéristiques d'un ciment endodontique idéal	16
2-3-1.Les critères d'un ciment idéal selon Grossman	16
2-3-2. Les critères d'un ciment idéal selon Schmalz.....	17
2-4-) Préalable indispensable avant toute obturation canalaire : le rinçage final	18
2-5-) Les normes de l'American National Standards Institute/ American Dental Institute (ANSI/ADA)	19
2-5-1. Temps de prise.....	19
2-5-2. Test de fluidité	20
2-5-3. Test de radio-opacité	21
2-5-4. Variation dimensionnelle après la prise.....	22
2-5-5.Test de solubilité.....	23
III. Présentation des différents ciments endodontiques actuels	24
3-1-)Ciment base ZOE ou eugénates ou eugénolates	24
3-1-1. Présentation.....	24
3-1-1-1. Formule de Rickert.....	24
3-1-1-2. Formule de Grossman	25
3-1-1-3. Antiseptiques et anti-inflammatoires	25
3-1-2. Propriétés biologiques	26
3-1-2-1. Etanchéité.....	27
3-1-2-2. Effet anti-microbien.....	27
3-1-2-3. Biocompatibilité.....	28
3-1-2-4. Fluidité	28
3-1-3. Propriétés physiques.....	29

3-1-3-1. Temps de prise.....	29
3-1-3-2. Variations dimensionnelles.....	29
3-1-3-3. Coloration de la dent	29
3-1-3-4. Radio-opacité.....	29
3-1-3-5. Retraitement endodontique.....	30
3-1-3-6. Effet sur le collage.....	30
3-1-4. Conclusion.....	38
3-2-) Ciments à base d'hydroxyde de calcium	38
3-2-1. Présentation.....	38
3-2-2. Propriétés biologiques	39
3-2-2-1. Effet sur la cicatrisation apicale	39
3-2-2-2. Résorption à long terme	40
3-2-2-3. Effet anti-microbien.....	40
3-2-2-4. Biocompatibilité.....	41
3-2-3. Propriétés physiques.....	41
3-2-3-1. Fluidité	41
3-2-3-2. Temps de prise.....	41
3-2-3-3. Variations dimensionnelles.....	41
3-2-3-4. Radio-opacité.....	42
3-2-3-4. Coloration de la dent	42
3-2-4. Conclusion.....	42
3-3-) Ciments à base de résine	43
3-3-1. Les pâtes résineuses	43
3-3-1-1. Présentation.....	43
3-3-1-2. Propriétés biologiques et mécaniques	43
3-3-1-3. Utilisation clinique	44
3-3-2. Les ciments résineux.....	44
3-3-2-1. Présentation.....	44
3-3-2-2. Propriétés biologiques	45
3-3-2-2-1. Comportement à court et long termes	45
3-3-2-2-2. Effet anti-microbien.....	45
3-3-2-2-3. Biocompatibilité	45
3-3-2-3. Propriétés physiques	46
3-3-2-2-1. Fluidité	46
3-3-2-2-2. Variations dimensionnelles	46
3-3-2-2-3. Coloration de la dent.....	46
3-3-2-2-4. Etanchéité apicale à long terme	47
3-3-2-2-5. Temps de prise.....	48
3-3-2-2-6. Etanchéité coronaire	48

3-3-2-2-7. Possibilité de retraitement	48
3-3-2-4. Conclusion.....	48
3-3-3. Association Resilon+Epiphany	48
3-3-3-1. Résistance fracture	49
3-3-3-2. Effet cytotoxique.....	49
3-3-3-3. Retraitement canalaire	49
3-3-3-4. Fluidité	49
3-4-) Ciment à base de verre ionomère.....	49
3-4-1. Propriétés biologiques	50
3-4-1-1. Résorption à long terme	50
3-4-1-2. Effet anti-microbien.....	51
3-4-1-3. Biocompatibilité.....	51
3-4-1-4. Résistance à la fracture de la dent obturée.....	52
3-4-2. Propriétés physiques.....	52
3-4-2-1. Temps de prise.....	52
3-4-2-2. Variations dimensionnelles.....	53
3-4-2-3. Adhésion dentine et à la gutta.....	53
3-4-2-4. Radio-opacité.....	53
3-4-2-5. Retraitement endodontique.....	54
3-4-2-6. Résultats cliniques	54
3-4-3. Conclusion.....	54
3-5-) Ciment à base de silicone.....	55
3-5-1. Propriétés biologiques	55
3-5-1-1. Effet sur la cicatrisation apicale	55
3-5-1-2. Résorption à long terme	55
3-5-1-3. Effet anti-microbien.....	56
3-5-1-4. Biocompatibilité.....	57
3-5-1-5. Etanchéité	58
3-5-1-6. Fluidité	59
3-5-1-7. Toxicité.....	59
3-5-2. Propriétés physiques.....	60
3-5-2-1. Temps de prise.....	60
3-5-2-2. Variations dimensionnelles.....	60
3-5-2-3. Retraitement endodontique.....	60
3-5-2-4. Radio-opacité.....	61
3-5-2-5. Solubilité	61
3-5-3. Conclusion.....	61
3-6-) Ciments endodontiques biocéramiques	61

3-6-1. Présentation.....	61
3-6-2. Propriétés biologiques	63
3-6-2-1. Effets sur la cicatrisation apicale	63
3-6-2-2. Effet anti-microbien.....	64
3-6-2-3. Biocompatibilité.....	65
3-6-2-4. Fluidité	66
3-6-2-5. Adhésion dentine et gutta	66
3-6-2-5-1. A la dentine.....	67
3-6-2-5-2. A la gutta.....	67
3-6-2-6. Résistance à la fracture.....	69
3-6-3. Propriétés physiques.....	70
3-6-3-1. Radio-opacité.....	70
3-6-3-2. pH	70
3-6-3-3. Temps de prise.....	70
3-6-3-4. Variations dimensionnelles.....	70
3-6-3-5. Composition.....	70
3-6-3-6. Retraitement canalaire	71
3-6-4. Conclusion.....	71
IV Perspectives d'avenir	72
4-1. Revascularisation pulpaire via les cellules souches.....	72
4-1-1. Introduction	72
4-1-2. Objectifs	73
4-1-2-1. Objectifs tissulaires.....	73
4-1-2-2. Objectifs cliniques.....	73
4-1-3. Historique.....	73
4-1-4. Les différentes étapes.....	74
4-1-4-1. Anesthésie	74
4-1-4-2. Etape de désinfection	74
4-1-4-3. Les irrigants.....	75
4-1-4-4. Médication canalaire entre les deux rendez-vous.....	76
4-1-4-5. L'induction du saignement	77
4-1-4-6. Le scellement coronaire.....	77
4-1-4-7. 1 ou 2 séances de soin?	78
4-1-5. Protocole idéal pour la réalisation d'une revascularisation	78
4-1-6. Possibilité d'extension du protocole aux dents matures?	79

<i>4-2. Technique de revascularisation pulpaire via plasma riche en plaquettes (PRP)</i>	80
<i>4-3. Technique de revascularisation pulpaire via plasma riche en fibrine</i>	81
V. Conclusion	83

I. Introduction

En 2016, le traitement endodontique se veut de plus en plus rigoureux, que ce soit au niveau des techniques que des matériaux utilisés. Ces derniers sont la source d'une bataille de marché entre les différents industriels. On s'aperçoit bien de cela lorsqu'on cherche à commander un ciment endodontique. En effet, les industriels trouvent régulièrement de nouveaux matériaux toujours plus biocompatibles et plus performants que les précédents. Un point en 2016 s'impose logiquement afin de se rendre compte de ce qu'il en est réellement. La Haute autorité de santé (HAS), en septembre 2008, nous recommande une technique d'obturation alliant un matériau d'obturation compactable (gutta-percha) et un ciment de scellement permettant une adhérence aux parois canalaires.

Nous aborderons également la technique de revascularisation pulpaire, un sujet évoqué actuellement à tous les congrès de la profession. La régénération pulpaire par l'intermédiaire des cellules souches apportent un réel espoir dans le maintien de la vitalité pulpaire. Après tout, l'avenir de l'endodontie ne serait-il pas dans l'absence de traitement endodontique?

II. Rôles et caractéristiques d'un ciment endodontique

2-1-) Définition

Au niveau du foramen apical, les ciments endodontiques sont placés au contact de la circulation sanguine et des tissus vivants. Ils doivent donc être biocompatibles et un effet bioactif peut être recherché.

2-1-1. Biomatériau

Un biomatériau, selon Williams en 1987, est un matériau non vivant utilisé dans un dispositif médical, destiné à interagir avec les systèmes biologiques (165).

2-1-2. Biocompatibilité

Selon Exbrayat en 1998, la biocompatibilité d'un matériau est l'ensemble des inter-relations entre ce matériau et le milieu environnant, et leurs conséquences biologiques locales ou générales, immédiates ou différées, réversibles ou définitives (37).

Les ciments endodontiques peuvent être projetés dans l'espace péri-apical où ils peuvent provoquer une réaction inflammatoire et retarder la cicatrisation. C'est pour cela que la biocompatibilité du ciment de scellement est un point essentiel à la réussite du traitement endodontique (16).

2-1-3. Bioactivité

En site osseux, un matériau est dit bioactif s'il peut établir de véritables ponts tissulaires entre le produit et l'os existant ou entre le produit et l'os néoformé. Il existe une véritable interaction entre les tissus.

2-2-) Rôle du ciment endodontique

Il faut tout d'abord différencier ciment et pâte d'obturation canalaire. La différence se situe au niveau des propriétés physico-chimiques, de la fonction recherchée et de la texture. En effet, les pâtes d'obturation sont utilisées pour le remplissage endo-canaire alors que le ciment de scellement canalaire permet d'assurer un joint entre la gutta-percha et les parois dentinaires du canal. Les pâtes sont utilisées seules alors que les ciments sont utilisés en association.

Le ciment a pour but de combler les vides au sein de la masse de matériau de remplissage (gutta-percha le plus souvent). Il participe également à l'obturation tridimensionnelle d'un réseau canalaire souvent complexe (159).



- (A) Deuxième molaire mandibulaire avec trois canaux mésiaux.*
- (B) Prémolaires mandibulaires de type V dans la classification de Vertucci.*
- (C) Prémolaire mandibulaire avec trois canaux et des anastomoses intercanalaires.*
- (D) Deuxième molaire maxillaire avec deux canaux palatins.*
- (E) Première molaire maxillaire avec deux canaux qui se séparent en trois canaux dans la racine vestibulo-mésiale. Le canal vestibulo-mésial 2 rejoint l'entrée canalaire du canal palatin*

Figure 1: Exemples de variations anatomiques : (d'après Vertucci 2005, référence 159)

Cette planche illustre les variations anatomiques auxquelles nous sommes confrontés au quotidien. La coloration du réseau canalaire radiculaire est obtenue grâce à l'hématoxyline qui est un colorant tissulaire.

Le ciment endodontique idéal doit pouvoir adhérer aux parois dentinaires et à la gutta-percha.

Ces ciments répondent aux normes ISO 6876 et NF EN26876. La norme ISO 6876 de 2012 spécifie les exigences et les méthodes d'essai relatives aux matériaux de scellement (endodontiques) des canaux radiculaires, dont la prise se fait avec ou sans eau et qui sont utilisés pour l'obturation définitive des canaux radiculaires avec ou sans l'aide de cônes. Elle traite uniquement des matériaux de scellement conçus pour une utilisation orthograde, c'est-à-dire l'obturation radiculaire mise en place par voie coronaire.

2-3-) Caractéristiques d'un ciment endodontique idéal

2-3-1. Les critères d'un ciment idéal selon Grossman

Pour Grossman en 1940, le ciment endodontique idéal doit présenter les qualités suivantes (5; 103) :

- avoir une manipulation facile
- sceller le canal apicalement et latéralement
- être imperméable à l'humidité
- être stable physiquement
- être bactéricide ou au moins bactériostatique
- être radio-opaque
- être stérilisable
- être facile à désobturer

Cependant, il ne doit pas:

- présenter de rétraction de prise

- être altéré par l'humidité
- colorer la dent
- irriter les tissus
- altérer les structures dentaires

2-3-2. Les critères d'un ciment idéal selon Schmalz

En 2003, Schmalz met à jour ces critères permettant l'obtention du meilleur ciment. Pour lui, il doit présenter des propriétés techniques, biologiques, et de manipulation (131; 142).

Les propriétés techniques comprennent:

- l'absence de rétraction de prise
- la non solubilité dans les fluides apicaux
- la bonne adhésion à la dentine et aux autres matériaux (gutta)
- l'absence de porosité
- l'absence de coloration de la dent

Les propriétés biologiques regroupent:

- l'absence de réaction allergique pour le patient et les soignants
- la non cytotoxicité pour les tissus
- l'action bactéricide ou bactériostatique
- la stimulation de la cicatrisation osseuse

Les propriétés de manipulation sont:

- la radio-opacité selon la norme ISO 6876
- un temps de travail adéquat pour la mise en place et le contrôle radiographique
- la facilité à mettre en place et à enlever. Un ciment canalaire doit être capable d'être enlevé à la désobturation afin de retirer le tissu nécrotique intracanalair responsable d'une infection persistante (11).

2-4-) Préalable indispensable avant toute obturation canalaire : le rinçage final

Une fois la préparation canalaire terminée et les cônes de gutta ajustés, il peut être tentant de passer directement à l'obturation canalaire. Pourtant, le rinçage final est un point indispensable dans le protocole du traitement endodontique.

Les nouvelles techniques de préparation canalaire (rotation continue ou réciprocité) ont permis de diminuer le temps de préparation canalaire. Ce temps gagné doit être utilisé au profit du temps de désinfection canalaire. Avec les méthodes de préparation actuelles, 35% du canal restent non préparés (109). Il est donc indispensable d'ajouter à ces techniques de préparation une irrigation abondante de solution désinfectante à large spectre: l'hypochlorite de sodium 2,5% (meilleur compromis efficacité/ toxicité). Cette solution a un excellent pouvoir de dissolution des tissus nécrotiques et un fort pouvoir antiseptique (167).

La préparation canalaire entraîne la formation de boue dentinaire que l'hypochlorite de sodium est incapable d'éliminer. Cette boue dentinaire doit être retirée avant l'obturation canalaire pour différentes raisons :

- elle peut contenir des bactéries
- elle peut obstruer une partie du réseau canalaire (canaux accessoires) et empêcher la désinfection du canal.
- elle peut nuire à l'étanchéité de l'obturation du canal (160).

Cette boue dentinaire peut être éliminée grâce à l'EDTA (acide éthylène diamine tétra acétique) en solution concentrée entre 8% et 17% pendant 1 minute. L'exposition prolongée de la dentine à un chélateur fort tel que l'EDTA peut affaiblir la racine (167). Une fois les parois canalaires débarrassées de cette boue dentinaire, on effectue un dernier rinçage à l'hypochlorite de sodium avant le séchage et l'obturation de la dent.

2-5-) Les normes de l'American National Standards Institute/ American Dental Institute (ANSI/ADA)

En 1983, l'ANSI et l'ADA ont établi de nombreuses normes et tests (nommés "specification 57") pour évaluer et comparer les propriétés physico-chimiques des différents ciments endodontiques. Cela a pour objectif de créer des tests standardisés et permet donc aux chercheurs d'améliorer leurs recherches scientifiques. En l'an 2000, tous ces tests ont été révisés et incluent maintenant : épaisseur du film de ciment, temps de prise, fluidité, radio-opacité, solubilité, variation dimensionnelle après la prise (83).

2-5-1. Temps de prise

Le test du temps de prise est réalisé de la manière suivante :

- 5 moules en plâtre ayant un diamètre intérieur de 10 mm et une épaisseur de 2 mm sont préparés pour chaque groupe. Les bords des moules sont fixés avec de la cire sur une plaque de verre (75x25x1 mm).
- Les moules sont remplis de ciment endodontique et placés dans un incubateur à 37°C et 95% d'humidité.
- 150+/-10 s après le mélange, une aiguille de type Gylmore de 100+/-0,5 g et un embout de 2+/-0,1 mm sont abaissés soigneusement verticalement sur la surface horizontale de l'échantillon.
- La pointe de l'aiguille est nettoyée et l'opération est répétée jusqu'à ce que l'aiguille ne s'enfonce plus dans le ciment. Le temps compris entre le moment de mélange et le moment où l'aiguille ne s'enfonce plus est mesuré.

Les normes ANSI/ADA considèrent qu'un ciment de scellement doit avoir un temps de prise ne variant pas de 10% par rapport à celui indiqué par le fabricant (83).

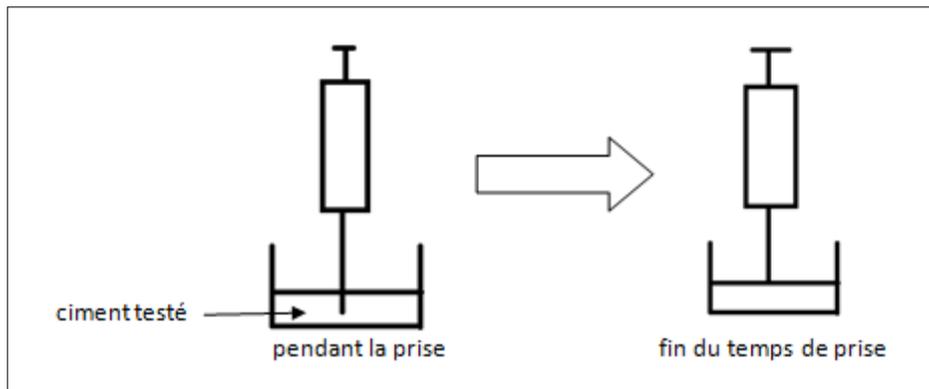


Figure 2: Schéma illustrant le test du temps de prise d'un ciment endodontique

2-5-2. Test de fluidité

Elle est évaluée par deux tests: le test ADA 57 et le test ISO 6876.

Dans le test ADA 57 :

- 0,5 ml de ciment a été mélangé et placé au centre d'une plaque de verre à l'aide d'une seringue graduée
- Après 3 min, une plaque de verre est posée sur le ciment et un poids de 120 g est posé sur cette deuxième plaque.
- 10 min après, le poids est enlevé et le plus grand et le plus petit diamètre de ciment est mesuré (un ciment ne s'étale pas uniformément sur la plaque de verre).

2 conditions sont nécessaires à la validation du test: la différence entre les deux diamètres ne doit pas excéder 1 mm et le disque de ciment comprimé doit avoir une forme régulière. Le diamètre du disque doit être d'au moins 25 mm pour répondre aux exigences de la norme (83).

Les différences entre les tests ADA57 et ISO 6876 sont qu'au départ, on prend 0,05 ml de ciment et qu'au final, on ne doit pas obtenir un cercle d'un diamètre inférieur à 20 mm (3).

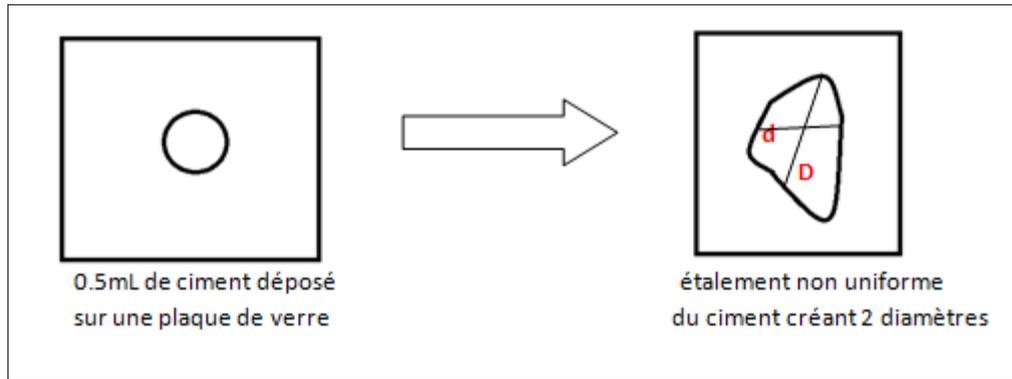


Figure 3: Schéma illustrant le test de fluidité d'un ciment endodontique

2-5-3. Test de radio-opacité

Le test de radio-opacité se réalise de la façon suivante :

- Cinq plaques d'acrylique (2,2 cm x 4,5 cm x 1 mm) contenant 4 puits d'1 mm de profondeur et de 5 mm de diamètre sont préparées et placées sous une plaque de verre recouverte de cellophane.
- Dans le groupe 1, le ciment fraîchement mélangé a été introduit dans les puits avec une seringue pour éviter les bulles d'air.
- Dans les groupes 2 et 3, des applicateurs de ciment ont été utilisés pour remplir les puits. Une autre plaque de verre recouverte de cellophane est apposée sur ces puits jusqu'à la prise complète du ciment.
- Chaque plaque est mise dans un incubateur à 37°C et 95% d'humidité pendant une période équivalente à 3 fois le temps de prise.
- Ensuite chaque plaque d'acrylique est positionnée sur une autre plaque d'acrylique (1,3 cm x 4,5 cm x 1 mm) contenant de l'aluminium. L'épaisseur d'aluminium varie de 1 à 10 mm, par pas uniforme de 1 mm. Cet ensemble de plaques d'acrylique est placé devant une plaque de phosphore et une radiographie est prise. La radiographie est prise à 70 kV et 8 mA. L'objectif est placé à 30 cm pendant une durée de 0,2 s.

L'ANSI/ADA considère que les ciments endodontiques doivent avoir une radio-opacité équivalente à 3 mm d'aluminium (83).

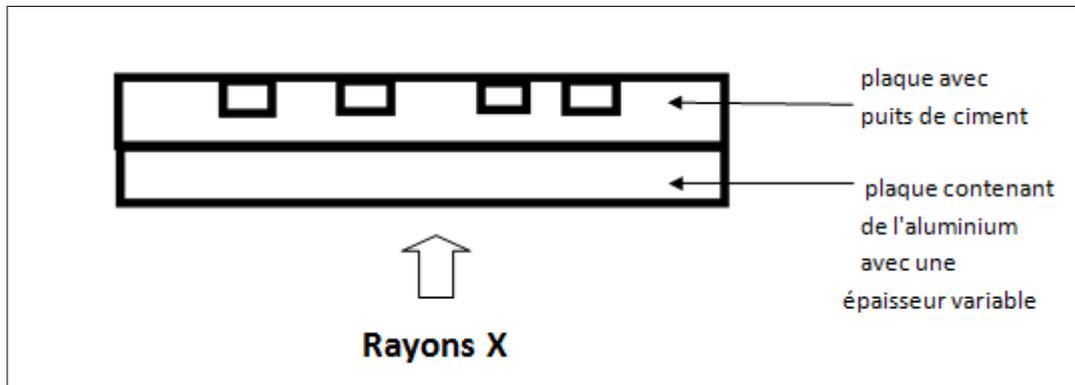


Figure 4: Schéma illustrant le test de radio-opacité d'un ciment endodontique

2-5-4. Variation dimensionnelle après la prise

La variation dimensionnelle d'un ciment de scellement est objectivée ainsi :

- 5 moules en téflon cylindrique d'une hauteur de 3,58 mm et 3 mm de diamètre sont placés sur une plaque de verre enveloppée d'une feuille de cellophane.
 - Les moules sont ensuite remplis en léger excès de ciment de scellement fraîchement mélangé, et une lame de microscope également recouverte de cellophane est posée sur le moule.
 - L'ensemble est alors mis dans un incubateur à 37°C et 95% d'humidité et laissé pendant une période de 3 fois le temps de prise.
 - Après cette période, les extrémités de moules sont broyées avec du papier de verre. Les échantillons sortis du moule sont alors mesurés grâce à un compas électronique. Puis ils sont placés dans un récipient de 50 ml contenant 2,24 ml d'eau distillée et remis dans un incubateur (37°C et 95% d'humidité) pendant 30 jours.
 - Les échantillons sont alors sortis du récipient et séchés avec du papier absorbant puis encore mesurés. La variation dimensionnelle est alors calculée comme ceci :
- $$[(L_{30} - L) / L] \times 100$$

L'ANSI/ADA considère que les ciments endodontiques doivent avoir moins d'1% de rétraction de prise et moins de 0,1% d'expansion de prise (83).

2-5-5. Test de solubilité

Le test de solubilité se réalise de la manière suivante :

- Un moule cylindrique de téflon d'1,5 mm d'épaisseur et de 7,75 mm de diamètre est rempli de ciment fraîchement mélangé. Ce moule est placé sur une plaque de verre recouverte de cellophane. Une autre plaque de verre recouverte de cellophane est positionnée sur le moule. L'ensemble est placé dans un incubateur à 37°C et 95% d'humidité et laissé au repos pendant une durée équivalente à 3 fois le temps de prise.
- Dès que les moules sont retirés de l'incubateur, ils sont pesés via une balance analytique et leur moyenne est enregistrée.
- Les échantillons sont alors suspendus par un fil de nylon deux à deux dans un récipient plastique d'ouverture large contenant 7,5mL d'eau distillée et déminéralisée. Les récipients sont alors scellés et mis dans un incubateur pendant 7 jours (37°C et 95% d'humidité).
- Ensuite, les échantillons sont rincés avec de l'eau distillée et déminéralisée, puis séchés avec du papier absorbant, puis placés dans un déshumidificateur pendant 24h. Ils sont de nouveau pesés. La perte de poids de chaque échantillon est considérée comme la solubilité de l'agent de scellement.

Un ciment endodontique ne doit pas perdre plus de 3% en masse lorsque la solubilité du matériau durci est testée (83).

III.Présentation des différents ciments endodontiques actuels

3-1-)Ciment base ZOE ou eugénates ou eugénolates

3-1-1.Présentation

Dans les matériaux à base d'oxyde de zinc eugénole, il existe les pâtes et les ciments. Les pâtes sont utilisées en matériaux de comblement canalaire alors que les ciments sont généralement utilisés en association avec de la gutta. Les ciments à base d'oxyde de zinc eugénole se basent généralement sur deux formules: la formule de Rickert et la formule de Grossman (142).



Figure 5: différents types de ciments à base de ZOE

3-1-1-1. Formule de Rickert

La formule de Rickert est formée d'un mélange poudre/ liquide.

La poudre est composée de :

- 40 à 45% d'oxyde de zinc,
- 25 à 30% d'argent (radio-opacifiant),
- 16% de résine, assurant la stabilité dimensionnelle et l'adhésion,
- 12% de di-iodothyamol, apportant consistance, fluidité et une action antiseptique.

Le liquide est composé à 80% d'eugéno1 et de baume du Canada.

Il peut être ajouté à ces ciments des ralentisseurs de prise ou des anti-inflammatoires non stéroïdiens tels que l'énoxolone.

Les ciments les plus connus respectant cette formule sont le Pulp canal sealer® de Sybron Endo et le Sealite Regular® de Pierre Rolland (142).

3-1-1-2. Formule de Grossman

La principale différence avec la formule de Rickert se situe dans l'absence d'argent.

La poudre est composée de :

- 42% d'oxyde de zinc,
- 27% de résine, assurant stabilité dimensionnelle et adhésion,
- 15% de carbonate de bismuth qui joue sur le temps de prise,
- 13% de sulfate de baryum qui assure la radio-opacité,
- 1% de borate de sodium qui retarde la prise du ciment.

Le liquide est composé d'eugéno1 (142).

3-1-1-3. Antiseptiques et anti-inflammatoires

Les adjuvants sont moins recommandés. Les antiseptiques irritants comme le trioxyméthylène sont contre-indiqués. Les antiseptiques comme le camphre ou le menthol peuvent être utilisés mais sont déconseillés par la HAS de septembre 2008. L'important est l'asepsie réalisée lors de la mise en forme canalaire.

La présence des anti-inflammatoires est déconseillée. Ils serviraient à diminuer les douleurs post-opératoires. L'inflammation doit être réduite par le parage canalaire. Les anti-inflammatoires stéroïdiens sont contre-indiqués car ils retardent la cicatrisation apicale (27).

Selon J-Y Cochet, la présence de corticoïdes dans les dépassements de pâtes d'obturation dans le sinus pourrait être responsable d'aspergillose. L'aspergillose est une mycose des voies aériennes supérieures par contamination à *Aspergillus fumigatus* souvent en relation avec une infection dentaire. A la radiographie, on remarque une opacité de la cavité antrale associée ou non à des microcalcifications. L'aspergillose se manifeste surtout chez les patients immuno-déprimés (139).



Figure 6 Radiographie panoramique objectivant un dépassement de pâte au niveau de la 16 (d'après Simon and J-Y Cochet 2015, référence 139)

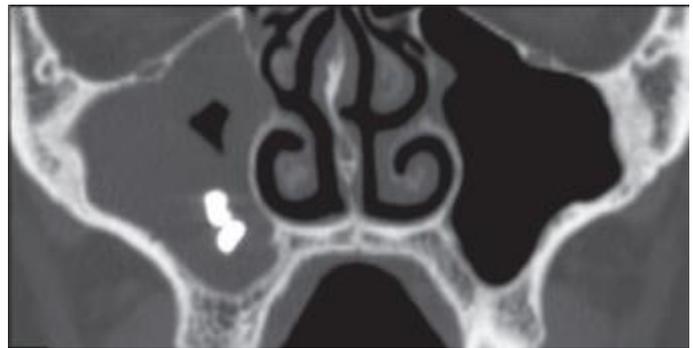


Figure 7 Coupe frontale de cone-beam objectivant une sinusite maxillaire droite (d'après Simon and J-Y Cochet 2015, référence 139)

3-1-2. Propriétés biologiques

Le ciment à base de ZOE voit ses propriétés augmenter en réduisant la porosité grâce à un mélange plus épais.

Un ciment au ZOE bien spatulé doit répondre à deux critères :

- être assez fluide et pouvoir s'étirer sur 2 cm au-dessus du bloc à spatuler

- ne pas gouter de la spatule, cela signifierait qu'il y a trop d'eugéno1 dans le ciment et donc cela créerait un effet cytotoxique au niveau péri-apical plus important (27).

3-1-2-1. Etanchéité

D'après E. G. Kontakiotis et coll (1997) (73), la perte d'étanchéité est plus importante à long terme lorsque l'épaisseur du film de ciment est plus grande. Ce qui nous permet de conclure que lors d'une obturation canalaire, on cherchera à avoir l'épaisseur de ciment la plus fine possible.

Le ciment à base de ZOE présente une très bonne étanchéité apicale malgré une adhésion faible à la dentine (112).

Le ciment à base de ZOE présente une légère contraction de prise avec des fissurations dans la masse de ciment, une solubilité non négligeable et une infiltration possible par les fluides apicaux. Tous ces inconvénients sont majorés par la présence en quantité importante d'eugéno1 libre (27).

3-1-2-2. Effet anti-microbien

Les ciments à base de ZOE ne présentent une activité anti-*E. faecalis* que durant les 5h suivant l'incubation. Cependant, ils présentent une forte action contre *Candida albicans* (à 40 jours) et *Streptococcus aureus* (à 20 jours). Ces qualités sont principalement dues au relargage d'eugéno1. En effet, l'eugéno1 est un composé phénolique qui induit une dénaturation des protéines des micro-organismes, qui deviennent alors non fonctionnelles. Ils ont également une action inhibante sur les micro-organismes mycosiques et végétatifs (64, 98).

3-1-2-3. Biocompatibilité

Les ciments à base de ZOE relarguent de l'eugénol qui se retrouve à l'état libre dans les tissus. Cet eugénol libre a des effets néfastes sur les cellules environnantes (ostéoblastiques et fibroblastiques) (57; 77). L'eugénol en faible quantité présente une action antiseptique, mais s'il est présent en excès, il devient irritant pour le péri-apex (164).

Des cas de paresthésie ou d'hypoesthésie sont signalés dans la littérature (102). Par exemple, une femme sans antécédent particulier présente une paresthésie mandibulaire gauche suite à l'obturation de sa 37 avec l'endométhasone de chez Septodont. A la radiographie rétro-alvéolaire, on constate un dépassement de ciment endodontique assez conséquent. Ce dernier semble selon les auteurs être la cause de cette hypoesthésie.

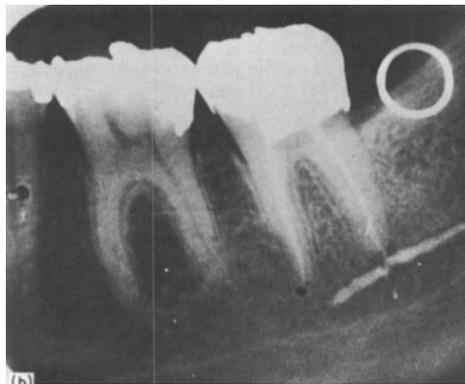


Figure 8: Radiographie rétro-alvéolaire de la 37 objectivant un dépassement de ciment au niveau du nerf alvéolaire inférieur (d'après D. Ørstavik, Brodin, and Aas 1983, référence 102)

3-1-2-4. Fluidité

La fluidité de ces ciments est identique aux autres (88). Cependant, pour ces ciments le ratio poudre-ciment est très important. En effet, une augmentation de ce ratio provoque une diminution de la fluidité et du relargage d'eugénol. Cette augmentation provoque aussi une augmentation de la radio-opacité. Cependant, toute modification du ratio n'entraîne aucune variation dimensionnelle et n'a aucune influence sur la fuite apicale de ciment. Ces variations

sont minimales et les endodontistes ont plutôt tendance à utiliser ce ciment avec un ratio poudre liquide supérieur à celui indiqué par le fabricant (20).

3-1-3. Propriétés physiques

3-1-3-1. Temps de prise

Le temps de prise est extrêmement variable: pour l'Endofill® il est de 71 min et pour l'endométhasone® de 644 min (83).

3-1-3-2. Variations dimensionnelles

Le ciment à base de ZOE présente une rétraction de prise comprise entre 0,3 et 1% sur une durée de 48 semaines. La menace de pénétration bactérienne est possible dès une rétraction de 1% (104).

Les eugénolates présentent une légère adhérence dentinaire, et une liaison apparaît avec l'oxyde de zinc de la gutta-percha. Les ciments eugénolates adhèrent grâce à des liaisons faibles Van der Waals (29).

3-1-3-3. Coloration de la dent

Ces ciments montrent une légère diminution de l'intensité lumineuse de la dent (34). L'argent a tendance à colorer la dent légèrement alors que le sulfate de baryum ne la colore pas.

3-1-3-4. Radio-opacité

La radio-opacité des ciments à l'oxyde de zinc est satisfaisante : entre 5,16 et 7,97 mm d'équivalent en aluminium (134).

3-1-3-5. Retraitement endodontique

Le retraitement canalaire est possible pour ces ciments via des solvants tels que l'eucalyptol, ou le chloroforme (130).

3-1-3-6. Effet sur le collage

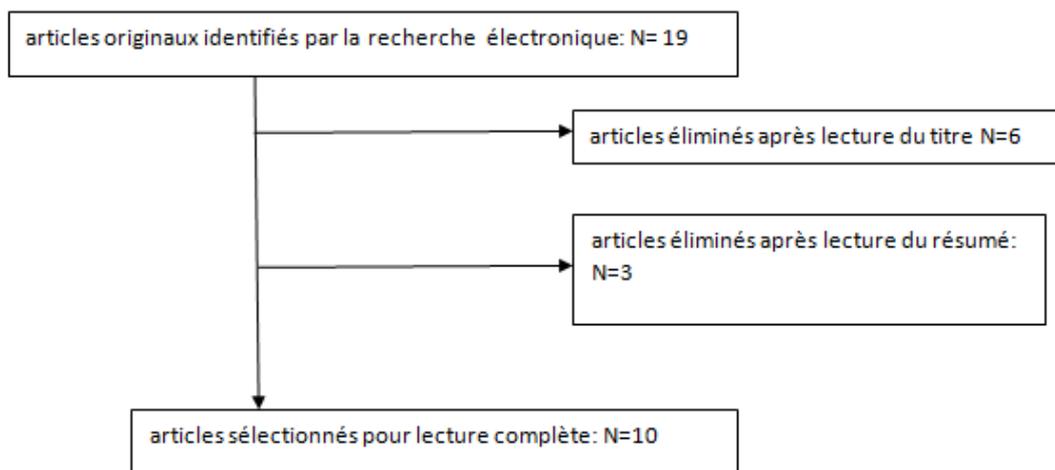
L'eugénol présent dans ces ciments peut avoir un effet néfaste dans les collages réalisés en vue de reconstruire la dent délabrée, en particulier lors de la réalisation de reconstitutions par matériaux insérés en phase plastique. Le composite est injecté directement dans le canal radiculaire en vue de réaliser un tenon anatomique. Les composites proposés par les industriels ne sont jamais totalement photopolymérisables. En effet, le composite situé dans la partie la plus apicale du logement de tenon ne durcirait pas (34).

Dans la littérature, les différents auteurs se contredisent sur le sujet. Certains trouvent une réduction des capacités de rétention suite à une obturation via un ciment à base d'eugénol. A l'inverse, d'autres auteurs pensent que l'obturation avec un ciment à base d'eugénol n'affecte en rien le collage de résine. Nous allons donc illustrer ces propos à l'aide d'une revue de la littérature.

Sélections des études inclus dans la revue de littérature:

Pour réaliser cette revue de la littérature, nous avons effectué une recherche sur Pubmed. Nous avons écrit dans le moteur de recherche : "bond strength eugenol endodontic". Les articles sélectionnés ont été rédigés entre 2006 et 2016. Les articles ne répondant pas à la question posée ont été supprimés ainsi que ceux portant sur l'adhésion des ciments à base d'eugénole à la dentine radiculaire.

L'organigramme ayant pour objectif d'identifier tous les documents traitant de l'influence de l'eugénole sur le collage de tenon radiculaire est présenté ci-dessous :



Extraction des données :

Les articles inclus (n=19) ont fait l'objet d'une analyse détaillée de la méthodologie utilisée. Pour chaque article inclus, les variables suivantes ont été relevées : le nom des auteurs et l'année de publication, l'échantillon considéré, les critères d'inclusion/exclusion dans l'étude, les matériels et méthodes, les résultats obtenus et enfin, effet néfaste de l'eugénole sur le collage démontré ou non.

Figure 9: Revue de la littérature démontrant une influence négative de l'eugénol sur le collage.

Auteurs	Hypothèse testée	Matériels	Méthodes	Résultats	Conclusion
(Forough Reyhani et al. 2016) (40)	Le but de cette étude est d'évaluer l'effet d'un ciment MTA®, d'un ciment à base de ZOE, et d'un à base de résine sur la force de liaison d'un tenon fibré avec un système auto-adhésif	N=72 incisives centrales maxillaires humaines *3 ciments: -base MTA (MTA fillapex®) - base résine (AH+®) -base ZOE (Dorifill®) *décontamination: mécanique+ eau distillée à la fin du logement de tenon *Test effectué: test d'extraction du tenon	4 groupes avec dents préparées et obturées avec différents ciments puis tenon fibré collé avec un système auto-adhésif.	Le groupe obturé avec un ciment à base d'eugénol montre une résistance à l'extraction du tenon significativement inférieure aux dents obturées avec un ciment sans eugénol	Le ciment canalaire utilisé lors des traitements endodontiques influence la résistance au retrait des tenons fibrés collés avec de la résine
(Zhu et al. 2015) (170)	Le but de cette étude est d'évaluer l'influence de ciments endodontiques contenant de l'eugénol et de la résine sur la force de liaison d'un tenon fibré avec un système auto-adhésif avec différentes stratégies d'irrigation	N= 48 prémolaires mandibulaires humaines *2ciments: - base d'eugénol: Endofill® (groupeA) - base de résine: AH+® (groupe B) *décontamination: -groupe1: clona -groupe2: EDTA+ CLONa+ NaCl -groupe3: EDTA+ CLONa+ NaCl+ US * test effectué: extraction de tenon	6 groupes avec dents préparées et obturées avec les deux ciments et différentes méthodes d'irrigation puis collage à une semaine d'un tenon fibré avec un système auto-adhésif: RelyX Unicem®	Les groupes A1 et A2 présentent une résistance à l'extraction du tenon significativement inférieure aux groupes B1 et B2. Aucune différence significative entre A3 et B3	L'eugénol peut impacter sur le collage des tenons fibrés si la solution d'irrigation n'est pas activée par des ultrasons.

<p>(Mosharraf and Zare 2014) (91)</p>	<p>Le but de cette étude est d'évaluer l'effet du type de ciment de scellement utilisé sur la rétention de tenons fibrés</p>	<p>N=20 premières prémolaires mandibulaires humaines *2 ciments: -base de résine: AH26® - base d'eugénol: Endofill® * test effectué: extraction de tenon</p>	<p>2 groupes obturés avec différents ciments endodontiques puis collage avec Panavia F2.0® (colle dual avec système auto-mordançant)</p>	<p>Les 2 groupes présentent une différence significative sur le collage des tenons fibrés.</p>	<p>Les ciments à base d'eugénol diminuent significativement la rétention des tenons fibrés collés comparés aux ciments à base de résine.</p>
<p>(Al-Dwairi, Aleisa, and Lynch 2015) (1)</p>	<p>Le but de cette étude est de comparer l'effet de ciments à base d'eugénol et de ciments à base de résine sur la rétention de tenons fibrés avec différents systèmes de collage</p>	<p>N=30 dents monocanulaires humaines *3ciments: -2 à base d'eugénol: Endofill® et Tubliseal® - 1 à base de résine: AH26® *3 systèmes de collage: Variolink2® (dual), Paracore® (dual), RelyX Unicem® (autoadhésif) *test effectué: extraction de tenon</p>	<p>Dents obturées avec un des trois ciments puis collage avec un des trois systèmes de collage</p>	<p>-Différence significative entre les groupes obturés par un ciment à base d'eugénol et ceux obturés grâce à un ciment à base de résine.</p>	<p>*Les ciments à base d'eugénol réduisent significativement la rétention obtenue par collage des tenons fibrés. *RelyX présente une meilleure rétention dans les groupes obturés avec des ciments avec de l'eugénol</p>

<p>(Rosa et al. 2013) (118)</p>	<p>Le but de cette étude est d'évaluer l'influence du ciment endodontique et du temps, après obturation, de la pose du tenon fibré sur la rétention au collage de ce tenon</p>	<p>N=60 canaux de dents bovines *3 ciments:- base d'eugéno1 (Endofill®) - base de MTA (MTA-Fillapex®) -base de résine (AH+) *temps de pose du tenon: immédiatement ou à 15jours *test effectué: test d'extraction de tenon</p>	<p>Dents bovines obturées avec un des trois ciments puis pose de l'ancrage à J0 ou J15</p>	<p>-aucune différence entre les ciments lorsque le tenon est collé à J0 - A J15, les tenons collés dans des dents obturées avec des ciments à base de résine présentent une meilleure rétention.</p>	<p>Les ciments à base d'eugéno1 peuvent influencer l'adhésion des tenons fibrés.</p>
<p>(AlEisa et al. 2013) (2)</p>	<p>Le but de cette étude est d'évaluer l'effet de 3ciments endodontiques sur la rétention de tenons fibrés collés.</p>	<p>N= 54 prémolaires mandibulaires monocanala1res humaines *3ciments:- base d'eugéno1 (Endofill®, Tubliseal®) - base de résine: AH 26® *scellement tenons avec Multicore flow® (dual) *test effectué: extraction de tenon</p>	<p>Collage du tenon fibré avec colle dual après obturation de l'endodonte avec un ciment à base d'eugéno1 ou de résine.</p>	<p>Le groupe obturé avec un ciment à base de résine présente une rétention des tenons fibrés significativement plus grande que le groupe avec des dents obturées avec un ciment à base d'eugéno1.</p>	<p>La formule chimique des ciments endodontiques influence la rétention des tenons fibrés collés.</p>

<p>(Menezes et al. 2008) (89)</p>	<p>Le but de cette étude est de tester l'hypothèse selon laquelle la composition du ciment canalair et le temps écoulé entre l'obturation canalair et le collage d'un tenon fibré interfère avec l'adhésion à la dentine radiculaire</p>	<p>N= 60 incisives bovines *2 ciments: base de ZOE: EndoFill® Base de CaOH: sealer 26® *collage du tenon par colle sans potentiel adhésif + adhésif MR3 *test effectué: extraction de tenon+ analyse au microscope électronique du mode de fracture</p>	<p>5 groupes: 1 groupe témoin non obturé et 4groupes tests (2obturés par sealer 26® et 2 par Endofill® et pour chaque ciment, on a un groupe dont le tenon est scellé à J0 et dans l'autre groupe à J7</p>	<p>Le groupe obturé par ZOE et préparé immédiatement après pour la mise en place d'un tenon fibré montre des valeurs significativement réduite de collage</p>	<p>Les ciments canalaires à base de ZOE ont une influence néfaste sur le collage à la dentine radiculaires des tenons fibrés, et ce qu'elle que soit la région, si celui-ci est mis en place immédiatement après l'obturation canalair</p>
---------------------------------------	--	---	--	---	--

Figure 10: Revue de la littérature montrant l'absence d'influence néfaste de l'eugéno1 sur le collage d'ancrages radiculaires

Auteurs	Hypothèse testée	Matériels	Méthodes	Résultats	Conclusion
(G. Han, Xiong, and Chen 2011) (52)	Le but de cette étude est de comparer l'effet de deux ciments endodontiques sur le collage de tenons fibrés.	N=28 incisives centrales maxillaires humaines *2 types de tenons: Macrolock fibre® et Matchpost fiber post® *2 ciments: Cortisomol® (base d'eugéno1), Guttaflow®(silicone) *test utilisé: test d'extraction du tenon+ observation des interfaces de collage en microscopie électronique à balayage	Obturations endodontiques des dents traitées puis à une semaine collage du tenon fibré	Différence significative entre les deux types de tenons mais aucune différence significative entre les deux types de ciments endodontiques	La force d'adhérence n'a aucune relation avec le ciment endodontique utilisé
(Demiryürek et coll. 2010) (35)	Cette étude évalue les effets de trois ciments de scellement endodontiques différents sur la force de liaison d'un tenon fibré collé avec une résine adhésive	*N= 48 incisives centrales maxillaires humaines *3ciments: -base d'eugéno1: Endofill® -base d'hydroxyde de calcium: Sealapex® -base de résine: AHplus® *test utilisé: extraction du tenon+ analyse fracture en microscopie optique et électronique	4 groupes: 1 obturé avec de la gutta seule et 3groupes obturés avec différents ciments puis collage du tenon fibré	Les 3 groupes ont donné des valeurs de collage significativement inférieures au groupe test. Cependant, aucune différence significative n'a été détectée entre le groupe obturé avec de l'eugéno1 et un groupe scellé avec un ciment à base de résine.	Cette étude montre que les ciments de scellements en général influent négativement sur le collage du tenon mais pas le type de ciment endodontique

<p>(Souza-Junior et coll. 2010) (147)</p>	<p>Cette étude a pour but d'évaluer l'influence de l'eugéno1 contenu dans les ciments endodontiques et son action sur la résistance au collage des tenons fibres de verre.</p>	<p>N=64 incisives bovines *1ciment:-base eugéno1: Pulp canal sealer® *2 collages: -dual: RelyX arc® -autopolymérisable: C&B cements® *tests utilisés: extraction du tenon</p>	<p>1groupe obturé avec ciment à base d'eugéno1 et un groupe obturé avec de la gutta seule. 4 sous groupes avec différentes méthodes de collage.</p>	<p>L'eugéno1 contenu dans les ciments de scellement n'influence pas la capacité de rétention d'un collage.</p>	<p>L'eugéno1 n'influence pas les valeurs d'adhésion des résines de collage pour les tenons fibres de verre.</p>
---	--	---	--	--	---

La littérature est donc actuellement incapable de trancher sur l'effet néfaste de l'eugéno. De nombreux facteurs diffèrent dans les protocoles de ces expérimentations dans la préparation de la dent (rapport poudre/liquide, origine de la dent, système de collage).

3-1-4. Conclusion

<u>Avantages</u>	<u>Inconvénients</u>
Retraitement canalaire possible	Perte d'étanchéité à long terme
Temps de travail long	Action très courte sur <i>E.faecalis</i>
Liaison avec la dentine et la gutta-percha	Irritant pour le péri-apex si trop liquide
	Controverse pour le collage

Figure 11 : Tableau récapitulatif avantages/ inconvénients des ciments à base d'oxyde de zinc eugéno (52, 64, 73, 83, 91, 98, 130)

3-2-) Ciments à base d'hydroxyde de calcium

3-2-1. Présentation

Ces ciments sont disponibles en général sous forme de mélange pâte/pâte :

- le catalyseur contient une résine obtenue à partir de l'acide salicylique (polyméthylène méthyl salicate) et des adjuvants (dioxyde de silicène, trioxyde de bismuth).
- la base contient de l'oxyde de calcium et/ou de l'hydroxyde de calcium, de l'oxyde de zinc et des adjuvants (résine, dioxyde de silicène).

Les plus connus sont le Sealapex® de SybronEndo, l'Apexit® de Vivadent, le CRS® d'Hygenic.

Ces ciments reprennent les qualités de l'hydroxyde de calcium. La réaction de prise aboutit à un hydroxyde de calcium pris dans une matrice de résine. Le ciment libère ensuite des ions OH⁻ et Ca⁺⁺. Les ions OH⁻ auraient pour effet d'augmenter le pH des tissus péri-apicaux et

donc d'avoir une action anti-bactérienne. Les ions Ca^{++} , quant à eux, permettraient une cicatrisation apicale via la formation de néocément et une action antiseptique.

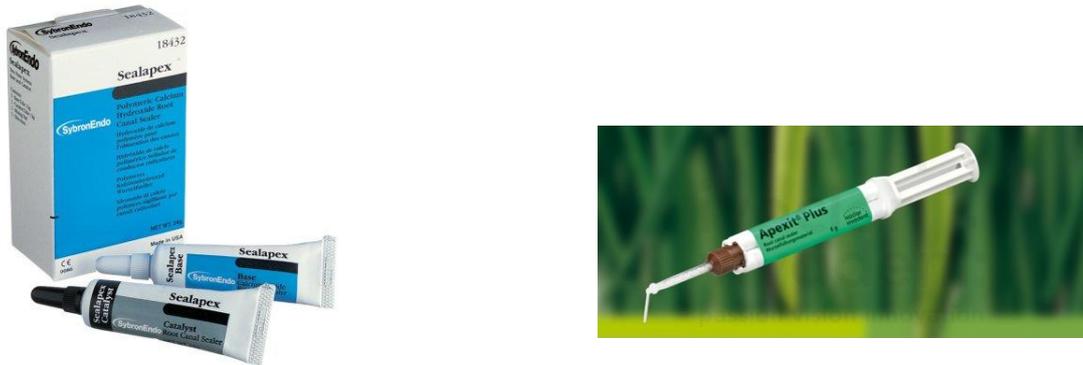


Figure 12: différents types de ciments à base d'hydroxyde de calcium: Sealapex® et Apexit plus®

3-2-2. Propriétés biologiques

3-2-2-1. Effet sur la cicatrisation apicale

L'hydroxyde de calcium, au contact de l'eau, se dissocie en ions OH^- et Ca^{++} . Les ions Ca^{++} ont un rôle dans la migration cellulaire, la différenciation et la minéralisation (132). En effet, l'action de l'hydroxyde de calcium débute par la migration de cellules inflammatoires et leur prolifération pour combattre l'infection. Ensuite, démarre le processus de réparation, avec la prolifération de cellules mésenchymateuses et la formation de collagène. La présence d'ions calcium autour de la zone nécrosée induit par la suite la minéralisation. Selon une étude (66) menée sur des dents mandibulaires de chiens, le ciment à base d'hydroxyde de calcium provoque des calcifications ectopiques et une ossification dans la zone de pénétration du produit.

3-2-2-2. Résorption à long terme

La libération d'éléments chimiques pose donc le problème de solubilité de ces ciments. De nombreuses études ont donc comparé la résorption de ces ciments avec des tests de pénétration de colorants et de bactéries. Notamment celle de Tagger et coll (1988) (148), qui met en avant la solubilité de ce ciment et donc l'inefficacité du scellement apical.

Il est également rapporté par Pommel et coll. (2003) (112) que le ciment Sealapex® présente de faibles capacités d'adhésion et une fuite apicale très importante en comparaison avec les autres ciments.

A l'inverse, d'autres études comme celle de Sleder et coll. (1991) (145), montrent que le ciment n'est pas plus soluble qu'un ciment à base d'oxyde de zinc-eugénol après avoir été plongé dans une solution saline à 2 et 32 semaines. Ils émettent alors l'hypothèse que cela serait dû à la faible interface entre le ciment et les fluides apicaux. Pour Siqueira et coll. (1995) (143), l'étanchéité de ces ciments ne serait pas affectée, pour les mêmes raisons de surface de contact faible. En plus, le relargage de calcium et d'hydroxyde permettrait une fermeture apicale néocémentaire et donc encore une diminution de cette surface de contact.

3-2-2-3. Effet anti-microbien

L'action anti-microbienne procurée par l'hydroxyde de calcium se base sur sa capacité à relarguer des ions OH⁻ et donc d'augmenter le pH au niveau péri-apical (143). Il a été démontré qu'un niveau élevé de pH favorisait la cicatrisation apicale (59). En effet, un pH basique active les phosphatases alcalines et ces dernières favorisent la formation de tissus durs (67). Son utilisation en tant que médication temporaire intra-canalair est très courante.

Cependant, selon l'étude de Tronstad et coll. (1981) (156), les ions OH⁻ libérés par les ciments à base d'hydroxyde de calcium ne modifient pas le pH au niveau du ciment. Le pH est alcalin simplement au niveau de la couche dentinaire la plus proche du canal.

L'hydroxyde de calcium ne peut également pas éliminer *Enterococcus faecalis* (18). Cette bactérie est une bactérie gram positif qui peut souvent résister dans un traitement endodontique. Cela induit alors une infection persistante dans le système canalaire. A l'inverse, une autre étude nous rapporte que les ciments endodontiques avec une activité anti-microbienne peuvent aider à éliminer les micro-organismes qui survivent au traitement endodontique (116).

3-2-2-4. Biocompatibilité

Les ciments à base d'hydroxyde de calcium se révèlent bien moins cytotoxiques que les ciments à base d'oxyde de zinc-eugénol ou de résine sur les cellules du ligament alvéolo-dentaire (58).

3-2-3. Propriétés physiques

3-2-3-1. Fluidité

Pour McMichen et coll. (2003) (88), ils possèdent la même fluidité que les ciments à base de résine et d'oxyde de zinc-eugénol.

3-2-3-2. Temps de prise

La prise de l'hydroxyde de calcium est très complexe. La surface peut être dure alors que la partie interne est encore liquide pendant une longue période (104). Le ciment Apexit® prend en 2h à 100% d'humidité et Sealapex® ne prend pas dans un environnement sec (19, 83, 88).

3-2-3-3. Variations dimensionnelles

Sealapex® présente une forte expansion volumétrique dans une atmosphère à 100% d'humidité. Elle est comprise entre 80% et 200% (19).

3-2-3-4. Radio-opacité

La radio-opacité demandée pour un ciment endodontique correspond à la radio-opacité d'une plaque d'aluminium de 3 mm d'épaisseur. Récemment, il a été montré que le Sealapex® présentait une radio-opacité équivalente à 6 mm d'aluminium donc nettement supérieure à celle d'un verre ionomère (Activ GP sealer®) qui est de 2 mm d'aluminium (150).

3-2-3-4. Coloration de la dent

Sealapex® ne provoquerait pas de coloration de la dentine (32).

Au niveau des résultats cliniques, selon une étude de Waltimo et coll (2001) (162), les ciments à base d'hydroxyde de calcium permettraient une guérison plus rapide des parodontites apicales mais après 3-4 semaines, les résultats sont identiques à ceux obtenus avec les ciments à base de ZOE.

Ces ciments pourraient donc présenter un réel intérêt mais le problème de la solubilité divise les chercheurs. Ils sont donc actuellement délaissés par les praticiens et ne rencontrent pas le succès espéré.

3-2-4 Conclusion

<u>Avantages</u>	<u>Inconvénients</u>
Action anti-infectieuse	Solubilité
Reminéralisation apicale	Pas d'action contre <i>E.faecalis</i>
pH important	
Biocompatibilité	

Figure 13: Tableau récapitulatif avantages/ inconvénients des ciments à base d'hydroxyde de calcium (18, 58, 67, 148)

3-3-)Ciments à base de résine

On distingue deux sortes de ciments à base de résine: les ciments et les pâtes d'obturation. Les pâtes d'obturation sont destinées à être utilisées en quantité importante dans un canal via un bourre-pâte. Nous n'en parlerons que brièvement dans ce travail.

3-3-1. Les pâtes résineuses

3-3-1-1. Présentation

Les pâtes résineuses se présentent sous la forme d'un mélange poudre-liquide. Elles sont généralement utilisées seules dans le canal (sans association de gutta-percha), ce qui est contraire aux recommandations de l'HAS de 2008.

La poudre contient du sulfate de baryum (radio-opacifiant) et de l'énoxolone (anti-inflammatoire non stéroïdien).

Le liquide est composé de 2 liquides à mélanger extemporanément :

- le liquide de traitement contient du paraformaldéhyde et des excipients
- le liquide durcissant contient de l'acide chlorhydrique, du résorcinol (142).

Les formes les plus connues sont: Obturation Spad® de Dentsply, Forfénan® d'Endoplast, Methode Z® de Septodont.

3-3-1-2. Propriétés biologiques et mécaniques

Les pâtes résineuses contiennent du paraformaldéhyde. Ce composé a été décrit par le centre international de recherche sur le cancer comme composé cancérigène certain en juin 2004. Des cas d'allergies allant jusqu'à l'œdème de Quincke ou au choc anaphylactique sont rapportés dans la littérature (17).

D'après Geurtsen and Leyhausen (1997) (48), ces pâtes contenant du formaldéhyde sont hautement cytotoxiques et ne doivent donc pas être utilisées en pratique étant donné que de nombreux autres ciments sont mieux tolérés par l'organisme.

Elles provoquent des colorations rouges des dents, ce qui leur valait le surnom de Russian-red (86).

D'après l'étude menée par Vranas en 2003 (161), les pâtes à base de résine présentent un effet de ramollissement notable après 2 min avec l'hypochlorite de sodium à 5,25% et le chlorure de sodium à 0,9%. Cependant, elles ne se présentent aucun effet avec le chloroforme et l'EndosolvR®.

3-3-1-3. Utilisation clinique

Aujourd'hui, les pâtes résineuses sont totalement contre-indiquées dans les traitements endodontiques.

3-3-2. Les ciments résineux

3-3-2-1. Présentation

Les ciments de scellement à base de résine se présentent sous la forme de mélange pâte/pâte. Ils sont généralement destinés à être utilisés avec des techniques de condensation de gutta (142).

Les formes commerciales les plus vendues sont les résines époxy (AH plus® de Dentsply et le Top Seal® de Dentsply Maillefer), et les résines à base de méthacrylate (EndoRez® d'Ultradent).



Figure 14: différents types de ciments à base de résine: AH plus® et EndoRez®

3-3-2-2. Propriétés biologiques

3-3-2-2-1. Comportement à court et long termes

La rétraction de prise d'un ciment endodontique peut affecter le scellement initial du canal et, par conséquent, créer une percolation bactérienne intra-canalair. Les obturations avec des ciments à base de résine (Real-seal®) présentent beaucoup plus de vides et d'espaces après la prise que les obturations avec des ciments à base d'oxyde de zinc eugéol (51). De plus, la mise en fonction des ciments (force de 100 N) a tendance à désorganiser significativement l'interface avec la dentine radiculaire (13). La manipulation d'un ciment partiellement polymérisé par condensation aura aussi tendance à interférer dans la prise du ciment et à créer des zones lacunaires (152).

3-3-2-2-2. Effet anti-microbien

Cette activité anti-microbienne est mesurée selon l'action contre *E. faecalis* (bactérie principale responsable des échecs endodontiques). Les différentes études sont en accord pour dire que ces ciments présentent une activité anti-bactérienne faible voire nulle (111, 146).

3-3-2-2-3. Biocompatibilité

Les ciments à base de résine augmentent significativement la résistance à la fracture des racines traitées endodontiquement comparée à celles traitées avec ciment à base de ZOE (51).

Les tests menés chez le rat par implantation sous cutanée et osseuse montrent une sécurité et une efficacité importantes pour ce ciment (171, 172). Cependant, toutes les études ne sont pas en accord. En effet, Scarparo, Grecca, and Fachin (2009) (128), montrent une réaction inflammatoire importante avec le ciment EndoRez® (résine méthacrylate) pendant

les deux mois de l'étude. Le ciment AH plus® (résine époxy) présente une réaction décroissante au fur et à mesure du déroulement de l'étude.

D'après une étude présentant un recul de 5 ans, les ciments à base résine semblent bien tolérés par les tissus péri-apicaux. Il n'y est recensé que 8 cas d'échecs sur 120 (dont 4 par absence de restauration coronaire) (173). Un traitement endodontique est considéré comme un échec si :

- une image apicale à la radiographie est persistante ou vient à apparaître
- la dent est inconfortable pour le patient.

3-3-2-3. Propriétés physiques

3-3-2-2-1. Fluidité

Le ciment résineux AH plus® répond aux normes ADA 57 (43 mm de diamètre) et ISO 6876 (22 mm de diamètre) (3).

3-3-2-2-2. Variations dimensionnelles

Les résines époxy présentent toutes une expansion de prise. Pour le AH plus®, elle est de 1% à 48 semaines et pour AH26® et AH26 SF®, elle est de 4,5% après 48 semaines. Cette forte variation dimensionnelle peut entraîner une fracture radiculaire. Ce risque de fracture est dû à la déformation associée. Si le degré d'expansion du ciment est supérieur à la résistance à la traction de la dentine, alors le risque de fracture devient important (104).

3-3-2-2-3. Coloration de la dent

Avec ce ciment, il y a une légère diminution de l'intensité lumineuse de la teinte de la partie coronaire de la dent (32).

3-3-2-2-4. Etanchéité apicale à long terme

Le retrait de la boue dentinaire grâce à l'EDTA lors du rinçage final est fortement recommandé par les fabricants de résine méthacrylate non auto-mordançante et surtout par l'HAS de 2008. Il a pour but d'augmenter le scellement apical.

Il a été montré dans une étude de 2009, (7), que les ciments auto-mordançants (MetaSeal® et Real Seal®) étaient incapables de mordancer au travers de la boue dentinaire créée par les instruments rotatifs (même si cette couche est très fine). De plus, quand l'EDTA est apposé dans le canal en rinçage final, la boue dentinaire est totalement éliminée du canal. Il se crée même une fine couche de dentine déminéralisée que le ciment soit auto-mordançant ou non.

En conclusion, on peut dire qu'à l'inverse des dires des fabricants, aucun ciment à base de résine n'est capable de se lier correctement aux parois dentinaires s'il n'y a pas eu, au préalable, une élimination de la boue dentinaire. L'hypochlorite de sodium ne peut donc pas être utilisé comme seul irrigant canalaire avec ces ciments.

Les ciments résineux présentent une profondeur de pénétration des tubulis dentinaires supérieure à celle d'un ciment type ZOE et donc un scellement plus fort (82). Une autre étude (76) montre une bonne adhérence des ciments résineux à la dentine et à la gutta-percha. L'étanchéité de ces ciments est meilleure que celle des ciments à base de ZOE. Ce résultat est à prendre avec précaution. En effet, comme vu précédemment avec Bishop, Griggs, and He (2008) (13), l'interface ciment/dentine devient lacunaire après la mise en fonction de la dent.

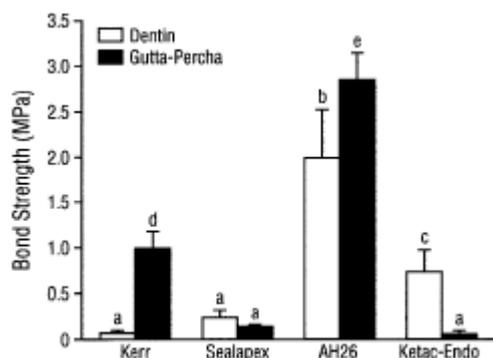


Figure 15: schéma illustrant la force d'adhésion de différents ciments endodontiques (d'après K.-W. Lee et coll. 2002, référence 76)

3-3-2-2-5. Temps de prise

Le temps de prise du ciment AH plus® est de 579 min (83).

3-3-2-2-6. Etanchéité coronaire

Une étude débutée en 2007 et menée sur 5 ans montre 4 cas d'échec sur 4 en cas d'absence de restauration coronaire (174).

3-3-2-2-7. Possibilité de retraitement

Les ciments à base de résine peuvent être désobturés à l'aide de solvant de résine: EndosolvR®. Cependant, ce ciment présente un fort pourcentage de résidus sur les parois. Le retraitement est donc difficile mais envisageable (99). La difficulté du retraitement réside également dans la pénétration du ciment dans les tubuli entre 0,75 et 1,75mm (69).

3-3-2-4. Conclusion

<u>Avantages</u>	<u>Inconvénients</u>
Biocompatibilité	Interface avec la dentine mauvaise à long terme
Etanchéité apicale	Action antibactérienne faible
Bonne adhésion à la dentine et à la gutta percha <i>in vitro</i>	Retraitement endodontique difficile

Figure 16 : Tableau récapitulatif avantages/ inconvénients des ciments à base de résine (13, 76, 99, 111, 173)

3-3-3. Association Resilon+Epiphany

Il a été recherché la création d'un mono-bloc résine/gutta afin d'obtenir une étanchéité totale. Cependant, cela s'est avéré impossible par le manque d'union chimique entre le polyisoprène de la gutta-percha et les résines à base de méthacrylate. Il a donc été créé un équivalent des cônes de gutta: le Resilon® avec un adhésif: polybutadiène, isocyanate,

méthacrylate. Le Résilon® joue alors un rôle de remplissage et l'Epiphany® de ciment canalaire (142).

3-3-3-1. Résistance fracture

L'association Resilon® + Epiphany® augmente significativement la résistance à la fracture des racines traitées endodontiquement comparée à celles traitées avec un ciment à base de ZOE (51).

3-3-3-2. Effet cytotoxique

Le ciment Epiphany® a un effet cytotoxique modéré à sévère. Cela est sûrement dû à la présence d'un monomère comme l'HEMA qui diffuse dans les cultures cellulaires. Il prend en 30 min dans une atmosphère anaérobie, alors qu'à l'air il met 7 jours à durcir (97).

3-3-3-3. Retraitement canalaire

La résine Epiphany® reste insoluble dans les solvants couramment utilisés. Cela est donc un défi de tenter le retraitement avec un ciment comme celui-là (133).

3-3-3-4. Fluidité

En ce qui concerne la fluidité d'Epiphany®, elle répond aux normes ADA 57 (36 mm de diamètre) et ISO 6876 (28 mm de diamètre) (3).

3-4-)Ciment à base de verre ionomère

Il s'agit d'un ciment réalisé à partir d'un mélange poudre/liquide. La poudre contient un fluoro-alumino-silicate de calcium et un radio-opacifiant. Le liquide est un acide

polycarboxylique. Ces ciments présenteraient selon les fabricants trois avantages: sa liaison avec l'hydroxyapatite de la dentine radiculaire, sa facilité d'utilisation (la technique mono-cône suffirait), une augmentation de la résistance à la fracture des racines (75).

Le ciment à base de verre ionomère le plus commercialisé est le Ketac Endo® d'ESPE.

3-4-1. Propriétés biologiques

3-4-1-1. Résorption à long terme

Ketac-Endo® présente une désintégration et une solubilité bien plus importantes que celles préconisées par la norme ADA. Il présente une perte de poids de 9,89% en 1 semaine.

Pendant le temps de prise, la présence d'humidité perturbe la réaction de prise. En effet, la dissolution d'anions et de cations perturbe la matrice du ciment. Si cette matrice est hydratée, on obtient alors un ciment instable, faible et plus soluble (22). Cliniquement, il paraît difficile de protéger ce ciment de l'humidité au niveau des tissus péri-apicaux.

D'après l'étude de Timpawat et coll (2001) (154), on remarque que ces ciments présentent une perte d'étanchéité dès 30 jours et que cela augmente à 60 jours. La différence est cependant non significative en comparaison avec un ciment à base de résine. Toutefois, on notera dans cette étude que quelque soit le ciment utilisé la percolation bactérienne augmente avec le temps.

La fuite du ciment à base de verre ionomère est due : sa prise extrêmement rapide, à sa contraction de prise et à un échec d'adhésion pendant la prise (33).

3-4-1-2. Effet anti-microbien

Ces ciments à base de verre ionomère relarguent du fluor au niveau de la partie coronaire du canal radiculaire. Ce qui peut avoir une action inhibitrice de la carie au niveau de la dentine (127).

D'après une étude, l'activité anti-microbienne du Ketac-Endo® contre *E.faecalis* a été mesurée grâce à deux tests : test de diffusion dans l'agar, test de contact direct. Des échantillons ont été prélevés toutes les 30 min pendant 15 h, puis à 24 h puis à J7. Cette étude conclut à une activité anti-microbienne du ciment à base de verre ionomère uniquement pour une courte durée (dans les 15 premières heures après le mélange). Ensuite, ce ciment ne présente plus aucune activité anti-bactérienne. A l'inverse, le ciment à base d'oxyde de zinc eugénol présente une activité plus de 7 jours après la prise (135).

3-4-1-3. Biocompatibilité

Dans une étude réalisée sur le rat, les ciments Kétac-Endo® et Tubli-seal® ont été injectés en sous cutané à une profondeur de 15 mm et la réaction cellulaire a été mesurée à 5/15/60/120 jours.

A 5 jours, la réaction inflammatoire provoquée par le ciment est modérée. Le tissu conjonctif a été infiltré de cellules plasmatiques. Des lymphocytes et des macrophages ont été observés. En parallèle, pour le ciment à base de ZOE, la réaction inflammatoire est sévère avec la présence de zones de nécrose.

A 15 jours, la réaction inflammatoire diminue. Elle est caractérisée par la présence de cellules géantes avec du matériau dans leur cytoplasme, de macrophages et des fibroblastes. Les cellules plasmatiques sont rares. Pour le ZOE, la réaction reste sévère. Des zones de nécrose sont toujours présentes et les tissus sont infiltrés de neutrophiles et de lymphocytes.

A 60 jours, la réaction inflammatoire diminue encore et à 120 jours, le tissu est quasi normal avec quelques particules de matériaux intégrées dans les tissus.

A 60 jours, pour le ZOE, la réaction est fortement diminuée. Les cellules géantes ont intégré des particules de ciment. Et à 120 jours, la réaction est faible avec quelques macrophages ayant incorporés des particules de ciments dans leur cytoplasme.

Les conclusions de cette étude poussent à montrer que le ciment à base de verre ionomère est biocompatible et bien toléré par les tissus (72). L'excellente biocompatibilité du Kétac-Endo® est mentionnée dans d'autres articles. En effet, une étude a mis des ciments verre ionomère en contact direct avec de l'os de rat pendant une période de 8 semaines. Les résultats obtenus montrent une néoformation osseuse avec le temps (126). Une autre étude montre également la colonisation par des cellules vitales du ciment verre ionomère et exprimant les marqueurs biochimiques du phénotype ostéoblastique (100).

Cependant, ce n'est pas le cas d'autres ciments à base verre ionomère (Endion®) avec lesquels on observe une diminution du nombre de fibroblastes BHK21/C13 (10).

3-4-1-4. Résistance à la fracture de la dent obturée

Les dents obturées avec un ciment à base de CVI sont renforcées. En effet, la résistance à la fracture se voit augmentée alors que les dents obturées avec un ciment à base de ZOE sont légèrement plus résistantes qu'une dent simplement instrumentée (157).

3-4-2. Propriétés physiques

3-4-2-1. Temps de prise

Le temps de prise de ces ciments est de 2,5h (33).

3-4-2-2. Variations dimensionnelles

Le ciment Kétac-Endo® présente une rétraction de prise de 1,2%. Cette rétraction de prise se passe pendant les 8 premières semaines, ensuite le ciment ne change plus de dimension (104).

3-4-2-3. Adhésion dentine et à la gutta

Les résultats d'une étude réalisée grâce à la microscopie électronique à balayage montrent une absence de liaison entre la gutta et le ciment endodontique à base de verre ionomère. Cette étude met également en évidence une liaison forte entre un ciment à base d'oxyde de zinc et la gutta (75).

D'après une autre étude, (76), les auteurs confirment la mauvaise adhérence du Ketac-Endo® à la gutta (0,19 MPa contre 1,07 pour un ciment à base de ZOE) . Cependant, son adhésion à la dentine est nettement supérieure au ciment de référence à base de ZOE (0,8 MPa contre 0,13 MPa). Elle reste cependant inférieure à un ciment résineux.

Il a été prouvé que l'utilisation de l'EDTA avant une obturation canalair à l'aide d'un ciment à base de verre ionomère diminuait l'adhésion de ce dernier (113).

3-4-2-4. Radio-opacité

Les ciments à base de verre ionomère présentent une radio-opacité ne répondant pas aux normes ISO: en effet, dans une étude, Activ GP sealer® présente une radio-opacité équivalente à 1,95 mm d'aluminium (150).

3-4-2-5. Retraitement endodontique

Ces ciments ne présentent aucun solvant permettant leur désobturation. Cependant, la désobturation est possible via des instrumentations manuelle et ultrasonique. Le retraitement via les ultra-sons sera plus rapide que grâce à l'instrumentation manuelle. Le retraitement est plus long que pour une dent obturée avec un ciment résineux ou à base de ZOE (5 à 6min de plus) (42).

3-4-2-6. Résultats cliniques

Une étude multicentrique et prospective a été réalisée pour suivre le devenir de dents obturées par un ciment à base de verre ionomère. Il y a eu un suivi de 6 à 18 mois. Sur les 378 dents suivies, les auteurs ont obtenu: 78,3% de succès, 15,6% de guérison incomplète, 6,1% d'échec. Les différences dans les résultats entre les études étaient liées au nombre de canaux obturés, à un premier traitement ou à un retraitement, à une dent vivante ou non, à des complications per-opératoires, à la présence de restauration coronaire, aux symptômes pré-opératoires (41).

3-4-3. Conclusion

<u>Avantages</u>	<u>Inconvénients</u>
Excellente biocompatibilité	Soluble en milieu humide
Résistance à la fracture augmentée	Perte d'étanchéité rapide
Retraitement possible	Action anti-microbienne à court terme
	Absence liaison à la gutta-percha

Figure 17 : Tableau récapitulatif avantages/ inconvénients des ciments à base de verre ionomère (22, 42, 76, 126, 135, 157)

3-5-) Ciment à base de silicone

Il existe deux sortes de ciment à base de silicone :

- les ciments à base de polydiméthylsiloxane (RoekoSeal[®], Coltène/Whaledent[®]) à utiliser en condensation avec de la gutta
- le ciment mélangé à de la poudre de gutta utilisé en pâte d'obturation par technique mono-cône (Gutta flow[®], Coltène/Whaledent[®]) (142).

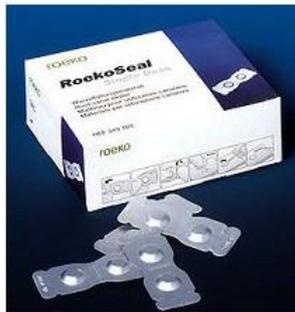


Figure 18: Ciment à base de silicone: Roekoseal[®]

3-5-1. Propriétés biologiques

3-5-1-1. Effet sur la cicatrisation apicale

L'aptitude à la guérison apicale du ciment RoekoSeal[®] est équivalente à celle obtenue avec un ciment à base d'oxyde de zinc eugenol après 1 an. Le taux de succès à 1 an est de 72% (60).

3-5-1-2. Résorption à long terme

L'élimination de la boue dentinaire avant la mise en place d'un ciment à base de silicone permet de limiter la fuite de ciment. En effet, dans une étude réalisée en 2004, on montre une différence significative entre les fuites de ciment pour un ciment mis en place avec ou

sans élimination de la boue dentinaire. Ceci est valable pour les fuites apicales et coronaires. Les fuites de ciment en apical sont plus importantes que celles en coronaire (28).

Dans une étude longitudinale menée sur 18 mois, on remarque que les dents obturées par RSA RoekoSeal® présentent une fuite nettement inférieure aux dents obturées via un ciment à base d'oxyde de zinc eugenol (ici Pulp canal sealer®). Cependant, il n'y avait aucune différence entre une dent obturée avec RSA+ une condensation latérale à froid qu'une dent obturée par RSA Roekoseal®+ condensation verticale (166).

Dans une étude réalisée sur 12 mois afin de quantifier les fuites à long terme du Guttaflow®, on remarque qu'il ne présente aucune différence significative avec une dent obturée par AH26 sealer® par condensation latérale à froid ou le System B® jusqu'à 6 mois. A 12 mois, les dents obturées par Guttaflow® présentent significativement moins de fuite que les autres dents (74).

D'après une étude réalisée avec un recul clinique de 1 an, les ciments Epiphany®, Pulp canal sealer®, AH plus® et Gutta flow® sont comparés. Tous ces ciments présentent des fuites.

Toutefois, elles sont plus importantes pour le AH plus®. De plus, ces fuites de ciment diminuent avec le temps quelque soit le ciment (14).

Tous ces articles s'accordent à dire que les ciments à base de silicone présentent peu de fuites apicale et coronaire. Leur résorption à long terme est même meilleure que les principaux ciments (base de résine et base d'oxyde de zinc).

3-5-1-3 .Effet anti-microbien

Dans une étude comparant de nombreux ciments, le ciment RoekoSeal® réduit le nombre de bactéries *Enterococcus faecalis* contrairement à un ciment à base de résine (AH plus) et un à base d'oxyde de zinc eugénol (Grossman sealer) qui, eux deux, l'éliminent complètement. Ce

qui est un inconvénient assez important sachant que cette bactérie est la principale responsable des échecs de traitements endodontiques (122).

3-5-1-4. Biocompatibilité

Dans une étude cherchant à observer la réponse du tissu sous cutané à l'injection de RSA RoekoSeal®, on remarque, après 24h de contact, un infiltrat inflammatoire dense et essentiellement composé de leucocytes polynucléaires et de quelques mastocytes. Un léger oedème et une hyperhémie sont également constatés.

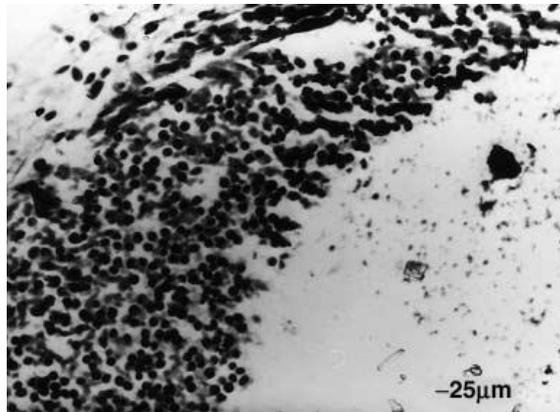


Figure 19: Coupe microscope montrant un infiltrat de polynucléaire autour du ciment implanté à 24h (d'après Gençoglu, Türkmen, and Ahiskali, 2003 référence 47).

Après 7 jours de contact, une réponse inflammatoire légère à modérée est présente avec quelques cellules géantes et du ciment englouti. Une capsule fibreuse commence à se former entre le ciment et le tissu environnant. Après 30 jours de contact, il y a une capsule fibreuse entourant tout le matériau. Une prolifération de fibroblastes et de capillaires semble poursuivre et un infiltrat lympho-plasmocytaire bénin a été observé dans la plupart des échantillons (47). Cette étude trouve que ce ciment à base de silicone semble avoir un bon potentiel et devrait faire progresser le développement de matériaux biocompatibles en endodontie.

Une autre étude, comparant un ciment à base d'hydroxyde de calcium, un à base de résine, et le RoekoSeal®, montre que le RoekoSeal® est le ciment le plus biocompatible quand il est implanté dans le tissu conjonctif. L'analyse spectrophotométrique de cette étude lui montre la plus faible quantité d'exsudat inflammatoire à 3/7 et 14 jours. L'analyse histopathologique est en accord avec l'analyse précédente:

- à 24h : présence d'un infiltrat de neutrophiles indiquant une inflammation aigüe modérée.

- à 3 jours : des lymphocytes et des fibroblastes ont été vus autour du ciment implanté puis autour de la capsule fibreuse formée à sept jours.

- à 14 jours, on observe un tissu cicatriciel fibreux avec une absence totale de cellules inflammatoires.

Cela suggère donc une excellente biocompatibilité tissulaire de ce ciment (137).

La présence de gutta percha et de nano particules d'argent donne une meilleure stabilité à la matrice de polymères grâce à la force d'attraction entre les particules d'argent et la gutta. Ceci peut expliquer la faible libération d'ions d'argent du Gutta flow (81).

3-5-1-5. Etanchéité

Dans une étude réalisée sur 10 dents obturées par Roekoseal®, la pénétration linéaire de colorant est de 2,19 mm +/-1,96 mm, (dont 2 ne présentant aucune pénétration de colorant). En parallèle, pour un ciment à base d'oxyde zinc eugénol, la pénétration moyenne de colorant sur 10 dents obturées est de 5,3 mm+/-3,02 mm (dont 1 seule ne présente aucune pénétration de colorant) (47).

Dans une étude menée par des tests de pénétration de glucose, on remarque que le Guttaflow® présente plus de pénétration de glucose à 1,2,3,4 semaines que le RoekoSeal® et le AH 26®. Ces deux derniers ne présentent aucune différence significative dans cette étude (106).

Sur une autre étude comparant des obturations au Guttaflow® seul, Guttaflow®+ gutta avec différentes techniques d'obturation et des obturations au AHplus®+ gutta, il n'y a aucune différence significative entre les groupes quant aux fuites de ciments. Cependant, une valeur est assez intéressante dans cette étude. Le groupe obturé via du Guttaflow® seul présente des résultats quasi similaires au gold standard de l'étude (AHplus®+ gutta) (15).

3-5-1-6. Fluidité

Le ciment Guttaflow® présente une fluidité de 20,5 mm, ce qui est juste supérieur à la limite fixée par la norme ISO (20 mm) (169).

Les ciments à base de silicone ont une capacité inférieure aux ciments à base d'oxyde de zinc pour sceller les canaux latéraux. Pour le ciment Grossman sealer, 47 des 60 canaux latéraux ont été complètement obturés alors que pour le RoekoSeal®, il n'y en a eu que 34 sur 60. Le ciment à base de résine en a obturé 26 totalement sur 60 (9).

3-5-1-7. Toxicité

Le ciment RoekoSeal® ne présente aucun effet cytotoxique quelque soit le temps de prise (1h, 24h, 48h, 1 semaine, 1 mois après la prise) et le type de cellules testé (cellules carcinomateuses humaines, fibroblastes de souris) (90). Ici, aux cellules testées, ont été ajouté du sérum fœtal de veau et des antibiotiques dans un milieu à 37°C et en atmosphère humide. Ensuite, les échantillons de ciment ont été recouverts du mélange cellulaire 1h, 24h, 48h, 7 jours et 1 mois après le mélange des ciments. Et le nombre de cellules a été compté via un compteur numérique et un microscope optique. Dans cette étude, le RSA RoekoSeal® montre une excellente biocompatibilité. Ces résultats ne sont pas en accord avec une autre étude, celle de Beltes et coll (1997) (10). En effet, il démontre via un test MTT que le ciment RoekoSeal® présente une légère cytotoxicité, au même titre que le ciment à base de résine (AH plus®). En effet, à 72 heures, 95% des fibroblastes sont encore vivants. Pour le ciment à base résine, il en reste 87%.

La différence entre les deux tests peut s'expliquer par une variation des conditions expérimentales.

Le test MTT est une méthode d'évaluation rapide de numération des cellules vivantes. Il s'agit d'un colorant qui précipite dans les mitochondries. La quantité de précipité est proportionnelle au nombre de cellules vivantes.

La légère cytotoxicité des ciments à base de silicone est également montrée dans d'autres études (36; 79). Ils font cependant partie des ciments les moins cytotoxiques.

3-5-2. Propriétés physiques

3-5-2-1. Temps de prise

Le temps de prise du RoekoSeal® est de 45 à 50 min (79). Il est entre 24 min (38) et 42 min (169) pour le Guttaflow®.

3-5-2-2. Variations dimensionnelles

Le ciment RoekoSeal® subit une expansion de prise de 0,2% pendant les 4 premières semaines. Ensuite, il devient stable (104). Ce qui est en désaccord avec une autre étude, qui montre une rétraction de prise de 1,33% (38). Le ciment Gutta-flow® présente une expansion de prise de 0,44% (38), et 0,037 % dans une autre étude (169).

3-5-2-3. Retraitement endodontique

Le ciment Roekoseal® ne présente aucune solubilité dans le chloroforme mais une petite solubilité dans l'eucalyptol (129).

3-5-2-4. Radio-opacité

Le ciment RoekoSeal® présente une radio-opacité équivalente à 5,7 mm d'aluminium. Il présente donc la radio-opacité recommandée par l'ANSI et l'ADA qui est de 3 mm d'aluminium (151). Le ciment Gutta-flow® présente une radio-opacité de 3,0+/-0,04 mm d'aluminium (38).

3-5-2-5. Solubilité

Elle est de 0,5% pour RoekoSeal® (38) et de 0,02% pour le Guttaflow® (169). Ils ont donc une faible solubilité et il y a donc un minimum d'ions relâchés. La faible solubilité des ciments à base de silicone est valable quelque soit l'acidité du milieu. (129)

3-5-3. Conclusion

<u>Avantages</u>	<u>Inconvénients</u>
Faible résorption à long terme	Effet anti-microbien incomplet face à <i>E.faecalis</i>
Excellente biocompatibilité	Retraitement difficile
Bonne étanchéité	Faible obturation des canaux latéraux
Faible cytotoxicité	

Figure 20 : Tableau récapitulatif avantages/ inconvénients des ciments à base de silicone (47, 90, 122, 129, 137, 166)

3-6-)Ciments endodontiques biocéramiques

3-6-1. Présentation

Les biocéramiques sont des céramiques biocompatibles, inertes dans le corps humain et elles possèdent une multitude de champs d'applications dans le domaine médical. Ces matériaux sont des oxydes de céramique avec une biocompatibilité nécessaire au tissu

humain ou avec la capacité à se résorber pour régénérer un tissu naturel. Ce type de matériau présente de nombreuses applications dans le domaine de l'endodontie: réalisation d'un bouchon apical d'une obturation à rétro lors des résections apicales, obturation d'une perforation, ciment d'obturation canalaire lors d'une obturation de l'endodonte. Ce sera sur ce dernier rôle que les ciments biocéramiques seront étudiés dans ce travail.

Sur le marché, on trouve actuellement plusieurs ciments biocéramiques :

- Pro Root endo Sealer® (Dentsply Tulsa dental, Tulsa, OK)
- I Root SP® (Verio dental, Canada)
- Endosequence BC sealer® (Brasseler USA, Savannah, GA)
- Total Fill BC Sealer® (FKG, Suisse)



Figure 21: Différents ciments à base de biocéramiques: EndoSequence, iRoot et Proroot

Le ciment Proroot EndoSealer® est un ciment à base de silicate tri-calcium conçu pour avoir des propriétés de scellement tout en conservant les propriétés du MTA®. Il posséderait une étanchéité supérieure aux ciments époxy et produirait un dépôt d'apatite bioactif. Le temps de prise serait amélioré par rapport au MTA® et il n'y aurait pas de variation dimensionnelle au même titre que le MTA®.

Le IRoot SP® est un ciment de scellement à base de silicate de calcium pré-mélangé. La réaction de prise est permise grâce à l'humidité des tubulis dentinaires. Il présente la même force de liaison que le AHplus® de Dentsply.

L'Endosequence BC sealer® est un ciment de scellement à base de silicate de calcium possédant un pH très élevé (supérieur à 12). Sa réaction de prise est initiée par l'humidité des tubuli dentinaires. Ce ciment se montre nettement moins cytotoxique qu'un ciment à base d'oxyde de zinc eugénol ou que le AH plus® (56).

3-6-2. Propriétés biologiques

3-6-2-1. Effets sur la cicatrisation apicale

Selon une étude cherchant à évaluer la bioactivité de ces ciments, on s'aperçoit que les ciments à base de biocéramique (ici BC sealer®) relarguent moins de calcium et de silicate que les produits tels le MTA® ou la Biodentine®. Dans cette étude *in vitro*, les trois produits testés permettent une incorporation de calcium et de silicate dans les parois dentinaires de la dent. A 90 jours, le ciment biocéramique présente une profondeur d'incorporation de calcium de 70 microns alors que cette valeur pour la Biodentine® et le MTA® est de 166 microns et 133 microns respectivement (53).

Le relargage de calcium entre un ciment biocéramique (BC sealer®) et un ciment à base de résine (AH plus®) est en faveur du ciment biocéramique. En effet, dans une étude réalisée *in vitro*, on remarque qu'il relargue jusqu'à 7 fois plus de calcium (21).

TABLE 3. Calcium Ion Release (mg/L) Observed at the Different Periods

	3 Hours	24 Hours	72 Hours	168 Hours	240 Hours	Total
BC Sealer	.329 ^a	.204 ^a	.427 ^a	1.108 ^a	.517 ^a	2.585 ^a
AH Plus	.072 ^b	.182 ^b	.060 ^b	.635 ^b	.152 ^b	.797 ^b
Control	.000	.000	.000	.000	.000	.000

Values followed by different superscript letters indicate statistically significant differences according to ANOVA ($P < .05$) in comparison between materials in same experimental time.

Figure 22: Relargage de calcium à différentes périodes de 3 ciments endodontiques (d'après Candeiro et coll. 2012, référence 21)

3-6-2-2. Effet anti-microbien

Une étude compare l'action anti-microbienne de différents ciments canaux endodontiques: Pulp canal sealer (base oxyde zinc eugénol), EndoSequence BC sealer® (biocéramique) et AH plus® (ciment résineux). Ces 3 ciments présentent une action notable contre *E.faecalis*. Néanmoins, cette action est plus importante pour BC sealer® et AHplus® en comparaison avec le ciment à base d'oxyde de zinc. Les deux premiers ne présentent pas de différence significative. De plus, cette action anti-bactérienne continue après la prise des matériaux (163). Le ciment iRoot® présente aussi un pH compris entre 10 et 12, ce qui lui confère un fort pouvoir anti-bactérien (168). L'activité anti-bactérienne du iRootSP® se voit augmenter grâce un angle de contact très faible. Le ciment se répand très facilement dans tous les espaces canaux (168).

TABLE 1. Proportion of Dead Cell Volume of 3-Week *E. faecalis*-infected Dentin Treated by Different Endodontic Sealers for 30 Days

Groups	Time		
	1 day	7 days	30 days
Sterile water	0.05 ± 0.02 ^a	0.06 ± 0.02 ^a	0.07 ± 0.03 ^a
Gutta-percha	0.06 ± 0.02 ^a	0.05 ± 0.02 ^a	0.07 ± 0.02 ^a
BC Sealer	0.18 ± 0.09 ^{bc}	0.35 ± 0.11 ^d	0.45 ± 0.13 ^f
AH Plus	0.21 ± 0.10 ^{ce}	0.33 ± 0.12 ^d	0.46 ± 0.14 ^f
PCEWT	0.13 ± 0.05 ^b	0.23 ± 0.11 ^{bce}	0.28 ± 0.11 ^{de}

Different superscript letters indicate statistically significant differences between groups ($P < .05$).

Figure 23: Proportion de bactéries *E.faecalis* détruites après 30 jours pour différents ciments endodontiques. (d'après Wang et coll 2014, référence 163)

Sealer	Fresh	1 Day	3 Days	7 Days
iRootSP	25	<5	<5	<5
Epiphany non-light-cured	50	40	35	35
EndoRez non-light-cured	50	40	37	37
AH Plus	66	80	83	83
Apexit Plus	75	80	80	83
Tubli Seal	45	80	80	83
Sealapex	80	90	88	75

Figure 24: Angle de contact de différents ciments (d'après Zhang et coll, 2009, référence 168)

3-6-2-3. Biocompatibilité

Dans une étude évaluant la cytotoxicité et la capacité d'induction de biominéralisation du MTA® et du iRootSP®, on remarque que les deux ne présentent pas de cytotoxicité. Cependant, le MTA stimule significativement plus les cellules souches que l'iRootSP®. Ces deux produits augmentent le niveau d'ARNm de COL 1A et d'ARNm DSP. Cette étude montre une différenciation de cellules odontoblastiques pour les deux produits. Cependant, le MTA® présente une induction plus forte comparée à l'iRootSP® (50).

La biocompatibilité a également été évaluée dans une autre étude sur les MCR-5 des fibroblastes humains qui sont une lignée cellulaire permanente. Ils ont été signalés comme fournissant des résultats plus reproductibles et plus sensibles que les lignées de cellules primaires. Il ressort de cette étude une biocompatibilité acceptable et la cytotoxicité du matériau dépend de la concentration de ce dernier (92).

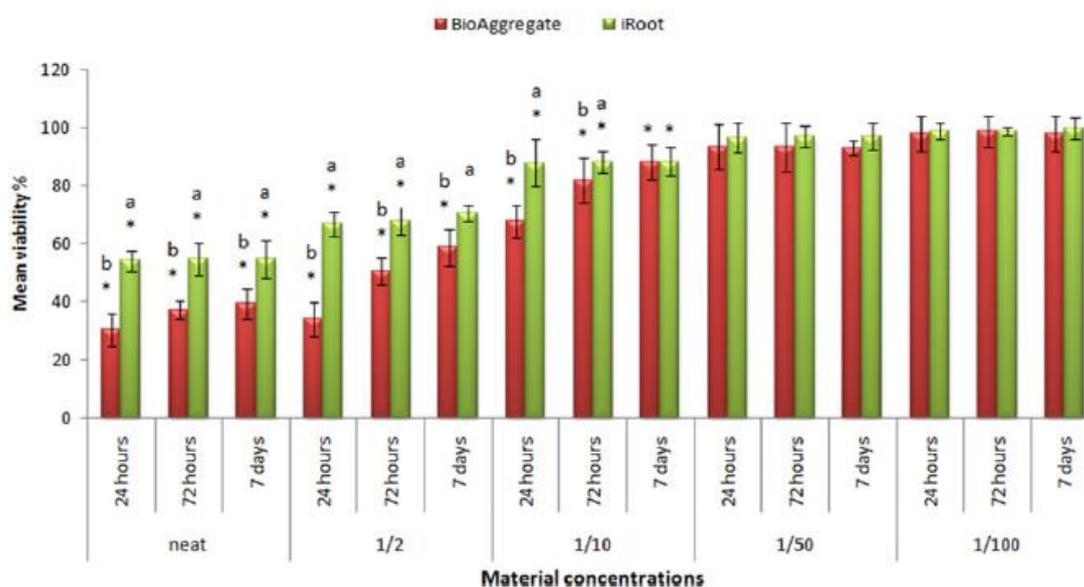


Figure 25: Effets cytotoxiques du Bioaggregate® et du iRootSP® sur les cellules humaines de fibroblastes par MTT assay et exprimé en pourcentage de cellules viables (d'après Mukhtar-Fayyad 2011, référence 92)

Loushine et coll ont également évalué la cytotoxicité de BCsealer® en comparaison avec le AH plus sealer®. Ils se sont basés sur l'activité de la succinate déshydrogénase (rôle dans le cycle de Krebs et la respiration cellulaire). Il a conclu que la cytotoxicité du AH plus® diminue avec le temps et devient non cytotoxique après 6 semaines tandis que le BCsealer® a une

activité moyennement cytotoxique après 6 semaines mais qui décroît avec le temps. Il a donc été jugé non toxique et biocompatible (80).

Ces ciments, du fait de leur composition proche du MTA, peuvent servir à obturer une perforation radiculaire dans le même temps opératoire que l'obturation canalair.

3-6-2-4. Fluidité

Le ciment BC sealer® présente une fluidité en accord avec la norme ISO. En effet, elle est de 26 mm (20 mm requis par la norme ISO). Cette fluidité est supérieure au AH plus® (21 mm) (21). Un ciment plus fluide n'est pas forcément une bonne chose car il y a plus de risque de dépassement apical. Dans le cas des ciments biocéramiques, cela n'est pas dérangeant étant donné que ces ciments sont décrits dans la littérature comme non cytotoxiques (163).

3-6-2-5. Adhésion dentine et gutta

L'adhésion du iRootSP® est supérieure à celles des autres ciments quelque soit l'humidité du canal (93).

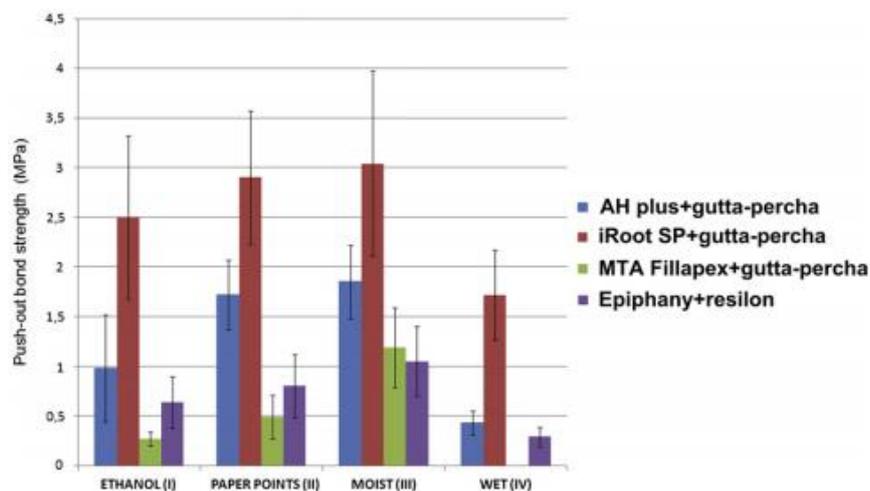


Figure 26: Adhésion de différents ciments canalaires dans différentes conditions d'humidités (d'après Nagas et coll, 2012, référence 93).

3-6-2-5-1. A la dentine

Les ciments biocéramiques initient leur réaction de prise grâce à l'humidité présente dans les tubuli dentinaires. La présence de boue dentinaire peut affecter l'humidité des canaux et donc la réaction de prise du produit. La boue dentinaire empêche aussi la pénétration du produit dans les tubuli dentinaires (108).

Dans une étude comparant l'adhésion à la gutta et à la dentine d'un ciment biocéramique (Endosequence BC sealer®) et de l'AH plus®, on remarque qu'ils possèdent tous les deux une adhésion équivalente. L'adhésion à la dentine est identique pour les deux ciments. Cependant, on remarque que les deux ciments adhèrent moins bien à la dentine en présence de boue dentinaire (136). Un rinçage hypochlorite de sodium-EDTA- hypochlorite de sodium est donc nécessaire avant l'obturation.

Un autre fait intéressant rapporté dans une autre étude est que la libération du calcium contenu dans le ciment pourrait former une couche d'apatite quand il entre en contact avec des éléments contenant du phosphate pendant 2 mois. Il se forme alors une liaison chimique entre le ciment canalaire biocéramique et la paroi dentinaire (125). Cela confère donc aux ciments biocéramiques une capacité d'ostéo-conduction.

Cette adhésion à la dentine favoriserait le renforcement mécanique de la dent ainsi que la cohésion de l'obturation sur le long terme (121).

3-6-2-5-2. A la gutta

Nous avons vu précédemment que la liaison entre la dentine et les ciments biocéramiques est extrêmement forte. En effet, une liaison chimique s'établit entre la dentine et le ciment (125). Les chercheurs ont donc tenté de mettre au point des cônes de gutta-percha spéciaux permettant d'établir une liaison forte entre le matériau de remplissage et le ciment. L'objectif est alors d'obtenir une obturation canalaire tri-dimensionnelle parfaitement

hermétique. Le point faible des obturations canalaires réside dans les interfaces entre les cônes de gutta/le ciment de scellement/ la dentine.

Les ciments biocéramiques représentent un grand espoir dans l'endodontie actuelle. Ils présentent les principales qualités recherchées pour un ciment canalaire. Nous avons également vu auparavant que ces ciments ne doivent pas être utilisés seuls, ils seraient alors impossible à désobturer. Il faut par conséquent utiliser un matériau de remplissage tel que la gutta-percha. Les chercheurs ont donc pensé à rajouter des nano-particules de biocéramiques à la surface des cônes de gutta.

Endosequence® a donc créé ses propres cônes de gutta-percha. Leur but est de créer un cône correspondant exactement au diamètre de préparation et à la conicité de la préparation comme tout cône de gutta, mais en plus, permettant de créer un joint étanche entre la gutta et le ciment. Les cônes biocéramiques sont également plus rigides et plus faciles à travailler (70).

La mise en oeuvre d'une obturation via la technique de l'Endosequence est relativement simple et rapide. En effet, on insère dans le canal l'embout de la seringue au niveau du 1/3 coronaire du canal et on injecte une petite quantité de ciment. Ensuite, on enduit le maître-cône et on l'insère jusqu'à la longueur de travail finale avec un léger mouvement de rotation afin d'obturer les canaux accessoires. La préparation conique constante et le calibrage précis des cônes permettent de ne mettre qu'une petite quantité de ciment de scellement.

Une étude réalisée en 2011 par Ghoneim et coll (49) cherche à montrer une augmentation de la résistance à la fracture de la dent grâce à l'utilisation de cônes de gutta avec des particules de céramique à leur surface: ActivGP cones®. Dans cette étude, les chercheurs ont préparé 50 dents et les ont divisées en 5 groupes:

- IRoot SP® sealer+ ActivGP cônes®
- IRoot SP® sealer+ GP cônes® classiques
- Activ GP® sealer+ ActivGP cônes®
- Activ GP® sealer+ GP cônes® classiques
- groupe témoin négatif simplement préparé.

Après obturation, chaque dent a été soumise à une pression croissante de 0,5 mm/min jusqu'à fracture de la dent.

Cette étude donne les résultats suivants :

Groups	Mean force (n)	SD
Group 1: iRoot SP sealer + ActiV GP cones	372.0 ^a	62.9
Group 2: iRoot SP sealer + GP cones	305.2 ^c	47.2
Group 3: ActiV GP sealer + ActiV GP cones	346.0 ^b	95.7
Group 4: ActiV GP sealer + GP cones	288.3 ^d	30.5
Negative control	381.4 ^a	53.2

Figure 27 : Principales résistance à la fracture pour différents groupes expérimentaux (d'après Ghoneim et coll. 2011, référence 49)

On remarque donc que ces cônes recouverts de céramique renforcent la dent. Egalement, on s'aperçoit que les dents obturées avec un ciment biocéramique présentent une résistance à la rupture supérieure à celles obturées avec un ciment à base de verre ionomère (49). Ces résultats sont confirmés dans l'étude de Karapinar Kazandag et coll. (65).

3-6-2-6. Résistance à la fracture

Une étude menée *in vitro* montre une résistance à la fracture plus élevée mais non significative par rapport au AH plus®. Celle-ci est presque identique à la résistance à la fracture d'une dent non préparée. (155)

Groups	N	Mean forces ± standard deviation (newtons)
1. Negative control	15	470.68 ± 110.89 ^a
2. Positive control	15	320.19 ± 49.45 ^b
3. Endosequence BC sealer	15	457.61 ± 111.61 ^a
4. Tech Biosealer Endo	15	358.85 ± 67.12 ^b
5. AH Plus Jet	15	452.97 ± 95.65 ^a

The same superscript letters indicate no significant differences ($P > .05$).

Figure 28: Principales résistances à la fracture pour différents groupes expérimentaux (d'après Topçuoğlu et coll. 2013, référence 155)

3-6-3. Propriétés physiques

3-6-3-1. Radio-opacité

Le ciment BC sealer® présente une radio-opacité équivalente à 3,8 mm d'aluminium. Il respecte donc les normes ISO (21).

3-6-3-2. pH

Le ciment BC Sealer® présente un pH allant de 10 à 11 (respectivement à 3 heures et 240 heures). Son pouvoir alcalin est donc supérieur à un ciment tel que AH plus® (environ 7) (21). Ces ciments possèdent donc une activité anti-bactérienne comparable à l'hydroxyde de calcium.

3-6-3-3. Temps de prise

Le temps de prise de BC sealer® est de 2,7h. En comparaison, un ciment à base d'oxyde de zinc eugénol présente un temps de prise de 26h (Pulp canal sealer®) (169).

Ce temps de prise peut être rallongé pour les ciments biocéramiques dans des canaux trop secs (158).

3-6-3-4. Variations dimensionnelles

Le BC sealer® présente une légère expansion de prise: +0,087% (169).

3-6-3-5. Composition

Ces ciments ne contiennent pas d'eugénol. Les traitements restaurateurs adhésifs ne seront pas perturbés. Les collages seront donc réalisés dans de bonnes conditions (4).

3-6-3-6. Retraitement canalaire

Une étude s'intéressant au retraitement canalaire suite à une obturation au BC Sealer® montre des difficultés de pénétration canalaire lorsque l'obturation initiale a été réalisée à LT -2 mm. En effet, 70% des échantillons se sont montrés non perméables et un retraitement allant jusqu'à la longueur de travail est donc impossible. Cependant, lorsque qu'un traitement initial a été mené jusqu'à la longueur de travail, 100% des échantillons retraités permettent de retrouver la longueur de travail. Toutefois, 20% des canaux restent impénétrables à cause de ciments restant dans le foramen apical (le cône de gutta n'y allant pas). Dans cette étude, les canaux ont été obturés à l'aide du ciment biocéramique et d'un cône de gutta-percha. Les résultats de cette étude *in vitro* suggèrent que les techniques de retraitement classique ne sont pas complètement en mesure d'éliminer BC sealer® (55).

On retiendra la phrase suivante: la clé est d'utiliser ce ciment en temps que ciment de scellement et non en temps que pâte d'obturation (70). Chaque obturation avec un ciment biocéramique doit donc impérativement se faire avec un cône de gutta à la longueur de travail de la dent.

3-6-4. Conclusion

Ces ciments se présentent donc comme l'avenir des ciments endodontiques avec un cahier des charges quasi rempli. Cependant, nous avons un manque de recul clinique avec ces ciments. La plupart des études est réalisée *in vitro*. Les ciments biocéramiques possèdent une composition chimique proche des ciments de réparation tels le MTA® ou la Biodentine®. Leurs utilisations dans des cas plus complexes (obturation de perforation, revascularisation) montrent une forte efficacité. On peut donc se montrer optimiste avec l'utilisation de ces ciments.

<u>Avantages</u>	<u>Inconvénients</u>
Bioactif	Retraitement endodontique impossible
Biocompatible	Coût important: 200 euros la seringue de 2g (30 canaux)
Action antibactérienne contre <i>E.faecalis</i>	
Adhésion forte à la dentine	
Résistance à la fracture	
pH important	
Faible expansion de prise (<1%)	
Possibilité d'obturer en 1 temps opératoire un canal et une éventuelle perforation	
Possibilité de réaliser en 1 temps opératoire la dévitalisation et la RMIPP	

Figure 29: Tableau récapitulatif avantages/ inconvénients des ciments à base de biocéramique (4, 21, 50, 53, 55, 136, 155, 163, 169)

IV Perspectives d'avenir

4-1. Revascularisation pulpaire via les cellules souches

4-1-1. Introduction

Bien que les traitements endodontiques réalisés avec de la gutta-percha et du ciment de scellement aient fait leurs preuves, les techniques de régénération pulpaire semblent présenter de nombreux avantages par rapport à un traitement endodontique classique (141).

Les techniques de revascularisation sont à ce jour possibles techniquement et peu coûteuses. Elles sont actuellement réalisables chez les patients jeunes sur des dents immatures (apex ouvert) présentant une nécrose pulpaire et/ou une lésion péri-radulaire.

Les principales indications sont donc: les traumatismes, les caries, les infections pulpaires dues à des aberrations de développement (43).

La revascularisation pulpaire correspond à la régénération du complexe dentino-pulpaire des dents permanentes immatures nécrosées en restaurant ses propriétés fonctionnelles afin de permettre la fin de leur édification radiculaire, en prévenant ou en guérissant la parodontite apicale existante (120).

4-1-2. Objectifs

4-1-2-1. Objectifs tissulaires

Les objectifs tissulaires de cette technique de revascularisation sont donc :

- l'obtention d'un tissu revascularisé
- la différenciation de nouveaux odontoblastes
- la formation de néodentine par les nouveaux odontoblastes

4-1-2-2. Objectifs cliniques

Cliniquement, les objectifs sont la poursuite de l'édification radiculaire, l'augmentation de l'épaisseur des parois et la fermeture apicale de la dent (117).

La technique de revascularisation par colonisation du canal par des cellules souches de la papille apicale est l'hypothèse thérapeutique la plus avancée mais reste finalement à démontrer (141).

4-1-3. Historique

Les premières tentatives de revascularisation pulpaire remontent aux années 1960. Les auteurs avaient pour objectif de remplir le canal par un caillot sanguin venant du péri-apex. Les résultats étaient concluants mais la création d'un tissu proche du tissu parodontal leur fait abandonner l'idée de régénération pulpaire (105). Cela laisse donc la place aux techniques conventionnelles actuelles vues précédemment: l'obturation du système

endocanalaire avec de la gutta percha et un ciment de scellement. Ce n'est que récemment, dans les 20 dernières années, que cette idée de régénération pulpaire a été repensée.

A ce jour, de nombreux rapports de cas et séries de cas sont publiés. Cependant, les chercheurs s'accordent à dire que les essais cliniques contrôlés randomisés sont manquants. Les cliniciens doivent donc se contenter pour le moment d'un niveau de preuve assez faible. L'association américaine des endodontistes (AAE) a cependant reconnu la régénération pulpaire comme une technique endodontique à part entière (43).

4-1-4. Les différentes étapes

Comme pour tout traitement endodontique, on commence par une radiographie pré-opératoire de la dent concernée. Ensuite, on réalise une anesthésie adaptée à la dent à traiter. Puis, on réalise la cavité d'accès sous champ opératoire. La technique de revascularisation pulpaire peut alors commencer.

Généralement, ce soin se réalise en deux étapes. Lors de la première, on réalise la désinfection canalaire. Lors de la deuxième étape, on réalise la revascularisation proprement dite.

4-1-4-1. Anesthésie

Généralement, à la première séance, il est utilisé de la lidocaïne 2% associée à de l'Epinéphrine dosée à 1/800 000 (39).

Lors de la séance de réalisation du caillot sanguin, il est utilisé de la mépivacaïne à 3% sans vasoconstricteur (39; 140). Les vasoconstricteurs sont évités afin d'augmenter la possibilité de création d'un caillot de sang (23).

4-1-4-2. Etape de désinfection

L'élimination des tissus nécrosés et une désinfection suffisante sont essentielles pour l'endodontie régénératrice (43). La préparation mécanique des parois est déconseillée car

elle fragiliserait les parois déjà minces de la dent immature (30). Cependant, il est présenté un cas d'échec dans la littérature d'une technique de revascularisation due à une désinfection insuffisante. Un débridement mécanique de la dent est donc proposé (78).

4-1-4-3. Les irrigants

L'irrigant le plus couramment utilisé est l'hypochlorite de sodium (NaOCl) à des concentrations allant de 0,5% à 6%. Dans une étude de Siqueira, il n'y a aucune différence significative dans l'efficacité de l'hypochlorite de sodium pour des concentrations de 1%, 2,5% et 5,25%. Il est également recommandé dans cet article de renouveler fréquemment le NaOCl et de l'utiliser en quantité abondante (144).

Dans un article étudiant l'effet du NaOCl sur les cellules souches de la papille apicale (SCAP), on remarque que lorsqu'on utilise du NaOCl à des concentrations entre 0,5 et 3%, il y a 40% de SCAP qui survivent. A l'inverse, lorsque le NaOCl est utilisé à une concentration de 6%, le taux de survie des SCAP est inférieur à 10%. Cet article nous montre aussi que l'utilisation d'EDTA 17% en plus du NaOCl, fait augmenter le taux de survie des SCAP (84).

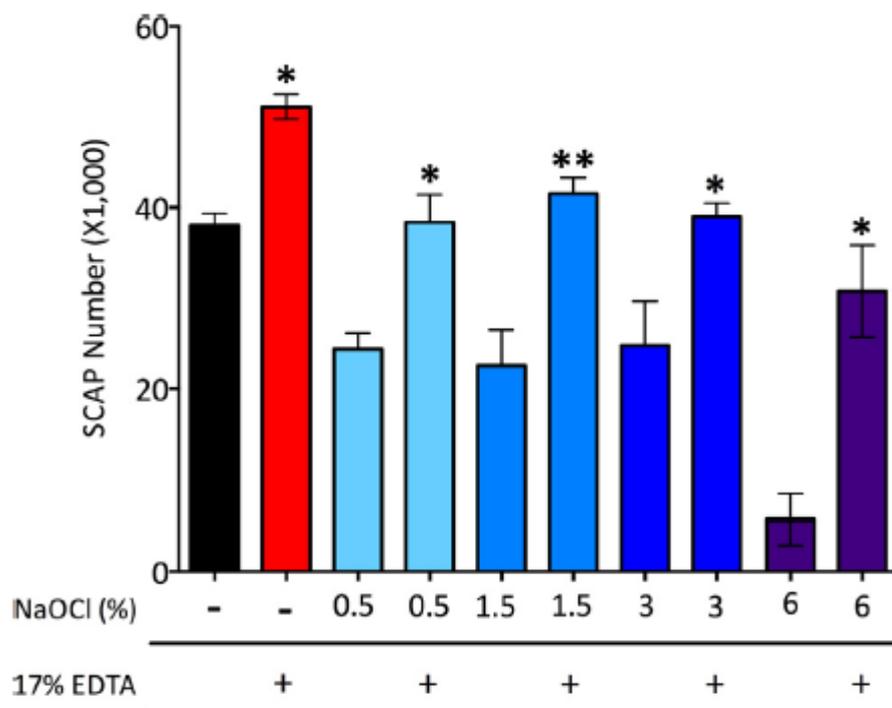


Figure 30: Influence du NaOCl et de l'EDTA sur la survie des SCAP (d'après Martin et coll. 2014, référence 84)

Une étude récente montre également l'intérêt de l'EDTA dans les techniques de revascularisation. Il permettrait d'augmenter l'adhésion, la migration et la différenciation des cellules souches de la pulpe vers la dentine. Un traitement à l'EDTA est donc susceptible d'agir favorablement sur la revascularisation pulpaire (44). L'EDTA permet de déminéraliser la dentine radiculaire superficielle libérant ainsi les facteurs de croissance contenus dans la matrice minérale (138).

4-1-4-4. Médication canalaire entre les deux rendez-vous

La plupart des publications retrouvées dans la littérature utilise des pâtes tri-antibiotiques comme médication intra-canaire. Ces pâtes antibiotiques sont composées de: ciprofloxacine, métronidazole et de minocycline. Ces trois antibiotiques éliminent les bactéries principalement retrouvées dans les systèmes endocanalaire (149). Il existe de nombreux cas de succès de revascularisation dans la littérature avec des protocoles de pâtes antibiotiques (46, 94, 114).

Malgré ces succès, les pâtes tri-antibiotiques ont été mises de côté au profit de l'hydroxyde de calcium. En effet, on obtenait des colorations bleuâtres de la couronne de la dent (31), un effet cytotoxique de la pâte tri-antibiotique (119), une difficulté à être éliminée complètement à cause de sa pénétration importante dans la dentine (12). Il y a également un risque de résistance bactérienne et de sensibilisation plus important (43).

A l'inverse, l'hydroxyde de calcium ne présente pas ces inconvénients majeurs. Entre 90 et 100% d'hydroxyde de calcium est éliminé grâce à une pression positive ou grâce à l'activation de la solution d'irrigation via les ultra-sons (12). Il est également moins cytotoxique que la pâte tri-antibiotique dans des tests effectués sur les cellules souches de la pulpe dentaire (119). L'hydroxyde de calcium présente également de très bons résultats cliniques. De nombreuses études montrent son succès (24, 25, 29). L'hydroxyde de calcium présenterait l'inconvénient de réduire la résistance à la fracture des racines dentaires. En effet, à partir de 2mois d'obturation temporaire à l'hydroxyde de calcium, il existe une différence significative de résistance à la fracture par rapport à un groupe témoin non traité. A 14jours, la résistance à la fracture de la dentine n'est pas altérée (6).

Une autre étude s'est intéressée à l'influence des désinfectants canaux sur les facteurs de croissance relâchés par la dentine. Il a été démontré une augmentation du taux de survie des cellules souches de la papille apicale avec l'utilisation de l'EDTA et de l'hydroxyde de calcium. En revanche, l'utilisation de l'hypochlorite de sodium à des concentrations fortes et des pâtes tri-antibiotiques diminuent la survie de ces cellules (45).

En conclusion, concernant la médication intracanal, l'hydroxyde de calcium est à préférer par rapport aux pâtes tri-antibiotiques. En revanche, cet hydroxyde de calcium ne doit pas être présent trop longtemps dans le canal. (moins de deux mois).

4-1-4-5. L'induction du saignement

Cette étape se réalise grâce à une anesthésie sans vasoconstricteurs afin de faciliter le saignement (110).

L'induction du saignement intra-canal est provoquée par une lime manuelle (8, 115). Le saignement est contrôlé pendant 15 min à 3 mm de la jonction émail-cément. C'est à ce niveau qu'on souhaitera établir un caillot sanguin (8, 63). Ce caillot sanguin a un rôle de matrice pour les cellules souches de la papille apicale (SCAP) (153).

4-1-4-6. Le scellement coronaire

Le matériau de scellement coronaire doit idéalement être placé à 3 mm sous la jonction émail-cément. Ce matériau doit être biocompatible et être capable de provoquer une induction minérale (8). Les ciments à base de silicate de calcium sont donc le matériau idéal. Afin de faciliter la mise en place du MTA® sur le caillot sanguin, certains auteurs placent une membrane de collagène sur le caillot (62). Dans ce cas, les auteurs utilisent la membrane Collaplug® de Zimmer Dental.

Un joint d'étanchéité coronaire pour éviter la réinfection du canal doit être utilisé (restauration composite) (43).

4-1-4-7. 1 ou 2 séances de soin?

Dans la majorité des cas cliniques retrouvés dans la littérature, la technique de revascularisation s'effectue en 2 étapes (29, 115, 123). Dans ces articles, le deuxième rendez-vous est réalisé 30 jours après le rendez-vous de désinfection canalaire.

Un cas clinique de revascularisation en 1 séance est présenté dans la littérature. Un enfant de 7 ans se présente pour des douleurs suite à un traumatisme au niveau d'une incisive maxillaire. La dent est diagnostiquée comme nécrosée. La dent est ouverte sous digue. Le canal est irrigué au NaOCl 5% et la solution est activée grâce aux ultrasons. Une solution d'EDTA 17% est utilisée en rinçage final. Le saignement apical est provoqué à la lime K. Une barrière de MTA® est apposée en contact avec le caillot de sang et une couche de GC Fuji IX® est posée sur le MTA® afin de restaurer coronairement la dent. La dent est réévaluée régulièrement et on observe un épaissement des parois radiculaires, un allongement de la racine et une fermeture apicale (87).

La présence de très peu de cas cliniques dans la littérature réalisant la revascularisation en 1 seule étape semble être en faveur de la réalisation de cette technique en plusieurs étapes.

4-1-5. Protocole idéal pour la réalisation d'une revascularisation

Grâce à la littérature, nous allons donc pouvoir établir un protocole idéal pour la technique de régénération pulpaire par l'intermédiaire des SCAP.

A la première séance, le patient présente une dent nécrosée permanente immature. Nous réaliserons donc une séance de désinfection canalaire. Pour cela, nous réaliserons une anesthésie appropriée à la dent à soigner avec une cartouche de lidocaïne 2% associée à de l'épinéphrine dosée à 1/800 000. Ensuite, nous poserons un champ opératoire au niveau de la dent à soigner. Nous réaliserons la cavité d'accès. Le tissu pulpaire nécrosé est éliminé à l'aide de l'hypochlorite de Sodium dosé entre 0,5 et 3%. Les parois canalaires ne sont pas préparées. Ensuite, un rinçage à l'EDTA 17% sera effectué afin de permettre la libération de facteurs de croissance en déminéralisant la dentine. En fin de séance, il sera préférable de

mettre de l'hydroxyde calcium en suspension aqueuse avec un ciment verre ionomère en obturation coronaire provisoire. L'interséance sera d'un mois.

A la deuxième séance, nous réaliserons l'étape de revascularisation. Pour cela, nous commencerons par une anesthésie sans vasoconstricteur. La digue est posée. Ensuite, on élimine l'hydroxyde de calcium avec l'hypochlorite de sodium dosé entre 0,5 et 3%. La solution d'irrigation sera activée grâce aux instruments à ultrasons. Puis une irrigation à l'EDTA 17% sera effectuée. Nous rechercherons un saignement canalaire avec une lime K. On obtient alors un caillot de sang au tiers coronaire de la racine. Un bouchon de MTA® de 3 mm d'épaisseur est mis en place sous la jonction émail-cément. Puis une reconstitution au composite ou au CVI est réalisée.

Un suivi de l'évolution clinique est réalisé à 6 mois puis 1 an.

4-1-6. Possibilité d'extension du protocole aux dents matures?

Une étude récente rapporte une série de cas de protocole de revascularisation sur dents permanentes matures.

Cette étude porte sur 6 patients âgés entre 8 et 21 ans. Il y a 4 dents antérieures et 3 molaires présentant une catégorie 4 de Baume. Radiographiquement, les dents présentent des apex fermés sauf 2 molaires où ils sont presque fermés. Le traitement de revascularisation se réalise en 4 étapes. Lors de la première séance, une anesthésie avec vasoconstricteur 1/100 000 est réalisée. Puis la dent est ouverte sous digue et préparée mécaniquement au système Protaper®. La dent est irriguée à l'hypochlorite de sodium 2,5%. De l'hydroxyde de calcium est placé dans le canal en interséance avec une obturation coronaire à l'IRM®.

A la deuxième séance, la dent est à nouveau préparée et irriguée à l'hypochlorite de sodium. Après le débridement chimio-mécanique, une lime K de 15/100 est insérée dans les tissus péri-apicaux afin de s'assurer de la perméabilité du canal. La dent est refermée à l'hydroxyde de calcium et à l'IRM pendant 2 semaines.

A la troisième séance, sous anesthésie sans vasoconstricteurs, l'hydroxyde de calcium est éliminé avec l'hypochlorite de sodium. Le canal est rincé avec une solution saline stérile puis séché. Le canal est ensuite irrigué à l'EDTA 17% et séché. Une lime K de 25/100 ou 20/100 est introduite 3 mm après l'apex. Après 15 min, le caillot de sang commence à coaguler. On met alors 3 mm de MTA® sous la jonction émail-cément, que l'on recouvre d'IRM® pendant 3 jours.

A la quatrième séance, on vérifie que le MTA® a durci et on pose un composite ou un amalgame sur la cavité d'accès.

Les suivis sont datés entre 8 et 26 mois selon les cas. Toutes les dents ne présentent aucun symptôme clinique ni d'image radiographique. Les dents sont donc guéries si on prend en compte les critères établis par Orstavik (101). Les dents ne répondent cependant pas au test de vitalité et au test électrique (124).

En conclusion de cette étude, on peut dire que la revascularisation peut être tentée sur dents matures permanentes nécrosées. Cependant des études prospectives, randomisées doivent être réalisées afin de mieux appréhender les succès ou les échecs de cette technique. Un suivi de nombreux cas sur le long terme doit également être mis en place.

4-2. Technique de revascularisation pulpaire via plasma riche en plaquettes (PRP)

Le plasma riche en plaquettes (PRP) est utilisé dans de nombreux domaines médicaux afin d'améliorer la cicatrisation et la revascularisation: chirurgie maxillo-faciale, ORL, parodontie, chirurgie cardio-vasculaire (61).

Pour obtenir ce PRP, 8 ml de sang sont prélevés au niveau du pli du coude dans un tube avec un anti-coagulant (acide citrate dextrose). Ce tube est ensuite centrifugé à 2400 tours par min pendant 10 minutes afin de séparer le PRP du plasma pauvre en plaquettes (PPP). Avant

la formation d'un caillot de sang, le PRP est mis sur une éponge de collagène puis introduit dans le canal à l'aide d'un plugger (61).

La concentration de plaquettes augmente de 338% dans le PRP par rapport à un échantillon sanguin classique (85). Une augmentation du nombre de plaquettes augmente le nombre de facteurs de croissance sécrétés par ces plaquettes. Ce qui aide à la prolifération des cellules souches et permet alors la cicatrisation et une revascularisation. Le PRP joue le rôle de matrice autologue facilitant l'angiogenèse (61).

Jadhav réalise une étude comparative entre la revascularisation avec la méthode précédente et une revascularisation grâce au PRP. Il en ressort une différence significative quant à la guérison péri-apicale, la fermeture apicale et l'épaississement des parois dentinaires (61). Cette étude est donc en faveur de la revascularisation grâce au PRP mais les coûts importants de cette technique rendent ce protocole impossible dans un cabinet dentaire conventionnel.

4-3. Technique de revascularisation pulpaire via plasma riche en fibrine

Le plasma riche en fibrine est un concentré de plaquettes de deuxième génération. Il a tout d'abord été décrit par Choukroun et coll en 2001 (26). Le PRF est un maillage de fibrine non coagulé qui sert de réservoir pour une libération lente et progressive des facteurs de croissance (entre 7 et 14 jours). Le PRP, en revanche, présente une libération quasi immédiate des facteurs de croissance (entre 7 et 14h). Ensuite, leur libération est fortement diminuée (54).

Pour obtenir du PRF, un échantillon de 5 ml de sang veineux (au pli du coude) est prélevé chez le patient puis mis dans un tube ne contenant pas d'anticoagulant. Ce tube est alors passé dans une centrifugeuse à 3000 tours par minute pendant 10 min. Il se forme alors 3 couches: en haut le plasma pauvre en plaquette, puis le plasma riche en fibrine puis les globules rouges au fond. Après centrifugation, le caillot de PRF est prélevé et on obtient alors une membrane de fibrine autologue. On l'insèrera ensuite dans le canal avec des

pluggers et on le recouvrira de 3 mm de MTA®. (68). Le PRF a pour caractéristique de polymériser naturellement et doucement pendant la centrifugation. Le caillot de fibrine sert de matrice biologique permettant une migration cellulaire et la libération de cytokines (96). Les leucocytes présents dans le PRF servent d'agents anti-inflammatoires et anti-infectieux. Ils fournissent également des facteurs de croissance endothéliaux permettant ainsi l'angiogenèse (96).

Une étude récente, portant sur un cas de revascularisation endodontique avec la technique du PRF, montre des résultats très concluants. En effet, le suivi du patient à 3-6-9-12 mois montre une réponse normale de la dent. Les tests de percussion axiale et transversale sont non douloureux et le test de sensibilité pulpaire est positif. L'examen radiographique montre un épaissement des parois dentinaires, un rétrécissement de l'espace radiculaire, un allongement de la racine et la fermeture de l'apex (95).

V. Conclusion

Aucun ciment endodontique actuel ne remplit entièrement le cahier des charges d'un ciment idéal. Les ciments biocéramiques montrent des propriétés quasi idéales et se placent donc comme le ciment endodontique du futur. Leur excellente biocompatibilité et leur action anti-bactérienne apportent d'excellents résultats cliniques. Le praticien ne doit pas oublier que l'étape la plus importante dans un traitement endodontique reste la désinfection canalaire et qu'un ciment endodontique ne peut pas rattraper les erreurs d'asepsie. Nous n'avons, à ce jour, qu'un faible recul clinique et des études sur de plus longs termes doivent être envisagées. De plus, la difficulté à retirer tout le ciment biocéramique en cas d'échecs endodontiques ou de nécessité de refaire le traitement doit également être pris en compte.

L'ingénierie tissulaire et les cellules souches trouvent tout leur sens dans l'endodontie moderne. En effet, nous avons pu constater dans ce travail le succès de nombreuses études de cas portant sur la revascularisation pulpaire des dents nécrosées immatures. Nous nous apercevons que cette technique paraît très prometteuse à l'avenir pour les dents immatures. Une extension aux dents matures semble même envisageable et des études doivent être menées dans ce sens.

Ces techniques, si elles devaient supplanter les traitements endodontiques classiques, marqueraient la fin du traitement endodontique.

Références bibliographiques

1. Al-Dwairi, Ziad Nawaf, Khalil Aleisa, and Edward Lynch. 2015. "Effect of Endodontic Sealers on Push-out Bond Strength of Cemented Fiber Posts." *Quintessence International (Berlin, Germany: 1985)* 46 (4): 299–307.
2. AlEisa, K, Zn Al-Dwairi, E Lynch, and Cd Lynch. 2013. "In Vitro Evaluation of the Effect of Different Endodontic Sealers on Retentive Strength of Fiber Posts." *Operative Dentistry* 38 (5): 539–44.
3. Almeida, J. F. A., B. P. F. A. Gomes, C. C. R. Ferraz, F. J. Souza-Filho, and A. A. Zaia. 2007. "Filling of Artificial Lateral Canals and Microleakage and Flow of Five Endodontic Sealers." *International Endodontic Journal* 40 (9): 692–99.
4. Altmann, Aline Segatto Pires, Vicente Castelo Branco Leitune, and Fabrício Mezzomo Collares. 2015. "Influence of Eugenol-Based Sealers on Push-out Bond Strength of Fiber Post Luted with Resin Cement: Systematic Review and Meta-Analysis." *Journal of Endodontics* 41 (9): 1418–23.
5. American association of endodontists. 2009. "Obturation of Root Canal Systems." colleagues for excellence newsletter, Fall 2009.
http://www.aae.org/uploadedfiles/publications_and_research/endodontics_colleagues_for_excellence_newsletter/fall09ecfe.pdf.
6. Andreasen, Jens Ove, Ban Farik, and Erik Christian Munksgaard. 2002. "Long-Term Calcium Hydroxide as a Root Canal Dressing May Increase Risk of Root Fracture." *Dental Traumatology* 18 (3): 134–37.
7. Babb, Brian R., Robert J. Loushine, Thomas E. Bryan, Jason M. Ames, Mark S. Causey, Jongryul Kim, Young Kyung Kim, R. Norman Weller, David H. Pashley, and Franklin R. Tay. 2009. "Bonding of Self-Adhesive (Self-Etching) Root Canal Sealers to Radicular Dentin." *Journal of Endodontics* 35 (4): 578–82.
8. Banchs, Francisco, and Martin Trope. 2004. "Revascularization of Immature Permanent Teeth with Apical Periodontitis: New Treatment Protocol?" *Journal of Endodontics* 30 (4): 196–200.
9. Barbizam, João Vicente Baroni, Matheus Souza, Douglas Cecchin, and Jakob Dabbel. 2007. "Effectiveness of a Silicon-Based Root Canal Sealer for Filling of Simulated Lateral Canals." *Brazilian Dental Journal* 18 (1): 20–23.
10. Beltes, Panagiotis, Elisabeth Koulaouzidou, Ioannis Kolokuris, and Alexander H. Kortsaris. 1997. "In Vitro Evaluation of the Cytotoxicity of Two Glass-Ionomer Root Canal Sealers." *Journal of Endodontics* 23 (9): 572–74.
11. Bergenholtz, Gunnar, Ulf Lekholm, Ralph Milthon, Gunnar Heden, Björn Ödesjö, and Bure Engström. 1979. "Retreatment of Endodontic Fillings." *European Journal of Oral Sciences* 87 (3): 217–24.

- 12 Berkhoff, Julie A., Paul B. Chen, Fabricio B. Teixeira, and Anibal Diogenes. 2014. "Evaluation of Triple Antibiotic Paste Removal by Different Irrigation Procedures." *Journal of Endodontics* 40 (8): 1172–77.
- 13 Bishop, Dan, Jason Griggs, and Jianing He. 2008. "Effect of Dynamic Loading on the Integrity of the Interface between Root Canal and Obturation Materials." *Journal of Endodontics* 34 (4): 470–73.
- 14 Bouillaguet, S., L. Shaw, J. Barthelemy, I. Krejci, and J. C. Wataha. 2008. "Long-Term Sealing Ability of Pulp Canal Sealer, AH-Plus, GuttaFlow and Epiphany." *International Endodontic Journal* 41 (3): 219–26.
- 15 Brackett, Martha G., Rebecca Martin, Jeremy Sword, Cindy Oxford, Frederick A. Rueggeberg, Franklin R. Tay, and David H. Pashley. 2006. "Comparison of Seal After Obturation Techniques Using a Polydimethylsiloxane-Based Root Canal Sealer." *Journal of Endodontics* 32 (12): 1188–90.
- 16 Bratel, Jontell, Dahlgren, and Bergenholtz. 1998. "Effects of Root Canal Sealers on Immunocompetent Cells in Vitro and in Vivo." *International Endodontic Journal* 31 (3): 178–88.
- 17 Braun, J. J., H. Zana, J. C. Bessot, F. De Blay, and G. Pauli. 1998. "Choc Anaphylactique Par Allergie Au Formol D'une Pâte Canalaire Lors D'un Traitement Endodontique." *Revue Française d'Allergologie et d'Immunologie Clinique* 38 (8): 705–8.
- 18 Byström, Anders, Rolf Claesson, and Göran Sundqvist. 1985. "The Antibacterial Effect of Camphorated Paramonochlorophenol, Camphorated Phenol and Calcium Hydroxide in the Treatment of Infected Root Canals." *Dental Traumatology* 1 (5): 170–75.
- 19 Caicedo, R., and J. A. von Fraunhofer. 1988. "The Properties of Endodontic Sealer Cements." *Journal of Endodontics* 14 (11): 527–34.
- 20 Camps, J., L. Pommel, F. Bukiet, and I. About. 2004. "Influence of the Powder/Liquid Ratio on the Properties of Zinc Oxide-Eugenol-Based Root Canal Sealers." *Dental Materials: Official Publication of the Academy of Dental Materials* 20 (10): 915–23.
- 21 Candeiro, George Tácio de Miranda, Fabrícia Campelo Correia, Marco Antônio Húngaro Duarte, Danieli Colaço Ribeiro-Siqueira, and Giulio Gavini. 2012. "Evaluation of Radiopacity, pH, Release of Calcium Ions, and Flow of a Bioceramic Root Canal Sealer." *Journal of Endodontics* 38 (6): 842–45.
- 22 Carvalho-Júnior, Jacy Ribeiro, Luiz Fernando L. Guimarães, Lourenço Correr-Sobrinho, Jesus D. Pécora, and Manoel D. Sousa-Neto. 2003. "Evaluation of Solubility, Disintegration, and Dimensional Alterations of a Glass Ionomer Root Canal Sealer." *Brazilian Dental Journal* 14 (2): 114–18.
- 23 Cehreli, Z. C., S. Sara, and B. Aksoy. 2013. "Revascularization of Immature Permanent Incisors after Severe Extrusive Luxation Injury." *The Journal of the Michigan Dental Association* 95 (3): 58–62.

- 24** Cehreli, Zafer C., Beste Isbitiren, Sezgi Sara, and Gizem Erbas. 2011. "Regenerative Endodontic Treatment (Revascularization) of Immature Necrotic Molars Medicated with Calcium Hydroxide: A Case Series." *Journal of Endodontics* 37 (9): 1327–30.
- 25** Chen, M. Y.-H., K.-L. Chen, C.-A. Chen, F. Tayebaty, P. A. Rosenberg, and L. M. Lin. 2012. "Responses of Immature Permanent Teeth with Infected Necrotic Pulp Tissue and Apical Periodontitis/abscess to Revascularization Procedures." *International Endodontic Journal* 45 (3): 294–305.
- 26** Choukroun, J., F. Adda, C. Schoeffler, and A. Vervelle. 2001. "Une Opportunité En Paro-Implantologie: Le PRF" implantodontie (January): 42:55-62.
- 27** Claisse, Anne. 2014. *Commission Des Dispositifs Médicaux de L'association Dentaire Française: Obturation Canalaire*. Dossier ADF.
- 28** Çobankara, Funda Kont, Necdet Adanır, and Sema Belli. 2004. "Evaluation of the Influence of Smear Layer on the Apical and Coronal Sealing Ability of Two Sealers." *Journal of Endodontics* 30 (6): 406–9.
- 29** Cotti, Elisabetta, Manuela Mereu, and Daniela Lusso. 2008. "Regenerative Treatment of an Immature, Traumatized Tooth With Apical Periodontitis: Report of a Case." *Journal of Endodontics* 34 (5): 611–16.
- 30** Cvek, M. 1992. "Prognosis of Luxated Non-Vital Maxillary Incisors Treated with Calcium Hydroxide and Filled with Gutta-Percha. A Retrospective Clinical Study." *Endodontics and Dental Traumatology* 8 (2): 45–55.
- 31** Dabbagh, Basma, Emanuel Alvaro, Duy-Dat Vu, Jean Rizkallah, and Stephane Schwartz. 2012. "Clinical Complications in the Revascularization of Immature Necrotic Permanent Teeth." *Pediatric Dentistry* 34 (5): 414–17.
- 32** Davis, Matthew C., Richard E. Walton, and Eric M. Rivera. 2002. "Sealer Distribution in Coronal Dentin." *Journal of Endodontics* 28 (6): 464–66.
- 33** De Gee, A. J., M. K. Wu, and P. R. Wesselink. 1994. "Sealing Properties of Ketac-Endo Glass Ionomer Cement and AH26 Root Canal Sealers." *International Endodontic Journal* 27 (5): 239–44.
- 34** DEJOU, J. 2006. "Comprendre Les Composites de Scellement et de Reconstitution" 27 (5): 23–26.
- 35** Demiryürek, Ebru Özsezer, Şafak Külünk, Gözde Yüksel, Duygu Saraç, and Bilinç Bulucu. 2010. "Effects of Three Canal Sealers on Bond Strength of a Fiber Post." *Journal of Endodontics* 36 (3): 497–501.
- 36** Eldeniz, A. U., K. Mustafa, D. Ørstavik, and J. E. Dahl. 2007. "Cytotoxicity of New Resin-, Calcium Hydroxide- and Silicone-Based Root Canal Sealers on Fibroblasts Derived from Human Gingiva and L929 Cell Lines." *International Endodontic Journal* 40 (5): 329–37.
- 37** Exbrayat, P. 1998. "La Biocompatibilité Des Matériaux Dentaires." *Journal de Biomateriaux Dentaires* 13: 177–202.

- 38** Flores, D. S. H., F. J. A. Rached-Júnior, M. A. Versiani, D. F. C. Guedes, M. D. Sousa-Neto, and J. D. Pécora. 2011. "Evaluation of Physicochemical Properties of Four Root Canal Sealers." *International Endodontic Journal* 44 (2): 126–35.
- 39** Forghani, Maryam, Iman Parisay, and Amir Maghsoudlou. 2013. "Apexogenesis and Revascularization Treatment Procedures for Two Traumatized Immature Permanent Maxillary Incisors: A Case Report." *Restorative Dentistry and Endodontics* 38 (3): 178–181.
- 40** Forough Reyhani, Mohammad, Negin Ghasemi, Saeed Rahimi, Amin Salem Milani, and Elnaz Omrani. 2016. "Effect of Different Endodontic Sealers on the Push-out Bond Strength of Fiber Posts." *Iranian Endodontic Journal* 11 (2): 119–23.
- 41** Friedman, Shimon, Claus Löst, Malaek Zarrabian, and Martin Trope. 1995. "Evaluation of Success and Failure after Endodontic Therapy Using a Glass Ionomer Cement Sealer." *Journal of Endodontics* 21 (7): 384–90.
- 42** Friedman, Shimon, Joshua Moshonov, and Martin Trope. 1992. "Efficacy of Removing Glass Ionomer Cement, Zinc Oxide Eugenol, and Epoxy Resin Sealers from Retreated Root Canals." *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology* 73 (5): 609–12.
- 43** Galler, K. M. 2016. "Clinical Procedures for Revitalization: Current Knowledge and Considerations." *International Endodontic Journal*, Feb [Epub ahead of print]
- 44** Galler, K. M., M. Widbiller, W. Buchalla, A. Eidt, K. -A. Hiller, P. C. Hoffer, and G. Schmalz. 2016. "EDTA Conditioning of Dentine Promotes Adhesion, Migration and Differentiation of Dental Pulp Stem Cells." *International Endodontic Journal* 49 (6): 581–90.
- 45** Galler, Kerstin M., Wolfgang Buchalla, Karl-Anton Hiller, Marianne Federlin, Andreas Eidt, Mona Schiefersteiner, and Gottfried Schmalz. 2015. "Influence of Root Canal Disinfectants on Growth Factor Release from Dentin." *Journal of Endodontics* 41 (3): 363–68.
- 46** Gelman, Richard, and Helen Park. 2012. "Pulp Revascularization in an Immature Necrotic Tooth: A Case Report." *Pediatric Dentistry* 34 (7): 496–99.
- 47** Gençoglu, N., C. Türkmen, and R. Ahiskali. 2003. "A New Silicon-Based Root Canal Sealer (Roekoseal®-Automix)." *Journal of Oral Rehabilitation* 30 (7): 753–57.
- 48** Geurtsen, W., and G. Leyhausen. 1997. "Biological Aspects of Root Canal Filling Materials – Histocompatibility, Cytotoxicity, and Mutagenicity." *Clinical Oral Investigations* 1 (1): 5–11.
- 49** Ghoneim, Angie G., Reem A. Lutfy, Nihal E. Sabet, and Dalia M. Fayyad. 2011. "Resistance to Fracture of Roots Obturated with Novel Canal-Filling Systems." *Journal of Endodontics* 37 (11): 1590–92.
- 50** Güven, E. P., P. N. Taşlı, M. E. Yalvac, N. Sofiev, M. B. Kayahan, and F. Sahin. 2013. "In Vitro Comparison of Induction Capacity and Biomineralization Ability of Mineral Trioxide Aggregate and a Bioceramic Root Canal Sealer." *International Endodontic Journal* 46 (12): 1173–82.

- 51 Hammad, Mohammad, Alison Qualtrough, and Nick Silikas. 2007. "Effect of New Obturating Materials on Vertical Root Fracture Resistance of Endodontically Treated Teeth." *Journal of Endodontics* 33 (6): 732–36.
- 52 Han, Guangzheng, Zhenghui Xiong, and Yaming Chen. 2011. "[Effects of two endodontic sealers on the bond strength of two fiber posts]." *West China Journal of Stomatology* 29 (5): 497–500.
- 53 Han, L., and T. Okiji. 2013. "Bioactivity Evaluation of Three Calcium Silicate-Based Endodontic Materials." *International Endodontic Journal* 46 (9): 808–14.
- 54 He, Ling, Ye Lin, Xiulian Hu, Yu Zhang, and Hui Wu. 2009. "A Comparative Study of Platelet-Rich Fibrin (PRF) and Platelet-Rich Plasma (PRP) on the Effect of Proliferation and Differentiation of Rat Osteoblasts in Vitro." *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontics* 108 (5): 707–13.
- 55 Hess, Darren, Eric Solomon, Robert Spears, and Jianing He. 2011. "Retreatability of a Bioceramic Root Canal Sealing Material." *Journal of Endodontics* 37 (11): 1547–49.
- 56 Hilley, Lieutenant Commander Jeffrey, and Colonel Kathleen McNally. 2013. "Bioceramics in Endodontics." *Clin Update* 35.
http://www.wrnmmc.capmed.mil/ResearchEducation/NPDS/Shared%20Documents/Clinical_Updates/2013/2013_004_Bioceramics%20in%20Endodontics.pdf.
- 57 Ho, Y.-C., F.-M. Huang, and Y.-C. Chang. 2006. "Mechanisms of Cytotoxicity of Eugenol in Human Osteoblastic Cells in Vitro." *International Endodontic Journal* 39 (5): 389–93.
- 58 Huang, F.-M., K.-W. Tai, M.-Y. Chou, and Y.-C. Chang. 2002. "Cytotoxicity of Resin-, Zinc Oxide–eugenol-, and Calcium Hydroxide-Based Root Canal Sealers on Human Periodontal Ligament Cells and Permanent V79 Cells." *International Endodontic Journal* 35 (2): 153–58.
- 59 Huang, Tsui-Hsien, and Chia-Tze Kao. 1998. "pH Measurement of Root Canal Sealers." *Journal of Endodontics* 24 (4): 236–38.
- 60 Huuonen, S., M. Lenander-Lumikari, A. Sigurdsson, and D. Ørstavik. 2003. "Healing of Apical Periodontitis after Endodontic Treatment: A Comparison between a Silicone-Based and a Zinc Oxide–eugenol-Based Sealer." *International Endodontic Journal* 36 (4): 296–301.
- 61 Jadhav, Ganesh, Naseem Shah, and Ajay Logani. 2012. "Revascularization with and without Platelet-Rich Plasma in Nonvital, Immature, Anterior Teeth: A Pilot Clinical Study." *Journal of Endodontics* 38 (12): 1581–87.
- 62 Jeeruphan, Thanawan, Jeeraphat Jantararat, Kallaya Yanpiset, Lalida Suwannapan, Phannarai Khewsawai, and Kenneth M. Hargreaves. 2012. "Mahidol Study 1: Comparison of Radiographic and Survival Outcomes of Immature Teeth Treated with Either Regenerative Endodontic or Apexification Methods: A Retrospective Study." *Journal of Endodontics* 38 (10): 1330–36.
- 63 Jung, Il-Young, Seung-Jong Lee, and Kenneth M. Hargreaves. 2008. "Biologically Based Treatment of Immature Permanent Teeth with Pulpal Necrosis: A Case Series." *Journal of Endodontics* 34 (7): 876–87.

- 64 Kaplan, A. E., M. Picca, M. I. Gonzalez, R. L. Macchi, and S. L. Molgatini. 1999. "Antimicrobial Effect of Six Endodontic Sealers: An in Vitro Evaluation." *Dental Traumatology* 15 (1): 42–45.
- 65 Karapinar Kazandag, M., H. Sunay, J. Tanalp, and G. Bayirli. 2009. "Fracture Resistance of Roots Using Different Canal Filling Systems." *International Endodontic Journal* 42 (8): 705–10.
- 66 Kawakami, T., C. Nakamura, and S. Eda. 1991. "Effects of the Penetration of a Root Canal Filling Material into the Mandibular Canal. 1. Tissue Reaction to the Material." *Endodontics and Dental Traumatology* 7 (1): 36–41.
- 67 Kay, H. D., Leslie J. Harris, and Robert Robison. 1932. "Phosphatase and hypervitaminosis." *The Lancet*, (1), (5678), 1383–84.
- 68 Keswani, D., and R. K. Pandey. 2013. "Revascularization of an Immature Tooth with a Necrotic Pulp Using Platelet-Rich Fibrin: A Case Report." *International Endodontic Journal* 46 (11): 1096–1104.
- 69 Kim, Hyunsuk, Euseong Kim, Seung-Jong Lee, and Su-Jung Shin. 2015. "Comparisons of the Retreatment Efficacy of Calcium Silicate and Epoxy Resin-Based Sealers and Residual Sealer in Dentinal Tubules." *Journal of Endodontics* 41 (12): 2025–30.
- 70 Koch KA, Brave DG. "Bioceramic Technology – the Game Changer in Endodontics | Real World Endo." 2016. Accessed April 11. <https://realworldendo.com/articles/bioceramic-technology-the-game-changer-in-endodontics>.
- 71 Koch KA, Brave DG. "Bioceramics, Part 1: The Clinician's Viewpoint | Dentistry Today." 2016. Accessed May 11. <http://www.dentistrytoday.com/endodontics/6713-bioceramics-part-1-the-clinicians-viewpoint>.
- 72 Kolokuris, Ioannis, Panagiotis Beltes, Nikolaos Economides, and Ioannis Vlemmas. 1996. "Experimental Study of the Biocompatibility of a New Glass-Ionomer Root Canal Sealer (Ketac-Endo)." *Journal of Endodontics* 22 (8): 395–98.
- 73 Kontakiotis, E. G., M. K. Wu, and P. R. Wesselink. 1997. "Effect of Sealer Thickness on Long-Term Sealing Ability: A 2-Year Follow-up Study." *International Endodontic Journal* 30 (5): 307–12.
- 74 Kontakiotis, Evangelos G., Giorgos N. Tzanetakakis, and Alexios L. Loizides. 2007. "A 12-Month Longitudinal in Vitro Leakage Study on a New Silicon-Based Root Canal Filling Material (Gutta-Flow)." *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology* 103 (6): 854–59.
- 75 Lee, Charles Q., Lyda Harandi, and Charles M. Cobb. 1997. "Evaluation of Glass Ionomer as an Endodontic Sealant: An in Vitro Study." *Journal of Endodontics* 23 (4): 209–12.
- 76 Lee, Kwang-Won, Michael C. Williams, Jean J. Camps, and David H. Pashley. 2002. "Adhesion of Endodontic Sealers to Dentin and Gutta-Percha." *Journal of Endodontics* 28 (10): 684–88.
- 77 Lee, Ya-Yun, Shue-Fen Yang, Weng-Hang Ho, Yuan-Ho Lee, and Shan-Ling Hung. 2007. "Eugenol Modulates Cyclooxygenase-2 Expression Through the Activation of Nuclear Factor Kappa B in Human Osteoblasts." *Journal of Endodontics* 33 (10): 1177–82.

- 78** Lin, Louis M., Emi Shimizu, Jennifer L. Gibbs, Simona Loghin, and Domenico Ricucci. 2014. "Histologic and Histobacteriologic Observations of Failed Revascularization/Revitalization Therapy: A Case Report." *Journal of Endodontics* 40 (2): 291–95.
- 79** Lodienė, G., E. Morisbak, E. Bruzell, and D. Ørstavik. 2008. "Toxicity Evaluation of Root Canal Sealers in Vitro." *International Endodontic Journal* 41 (1): 72–77.
- 80** Loushine, Bethany A., Thomas E. Bryan, Stephen W. Looney, Brian M. Gillen, Robert J. Loushine, R. Norman Weller, David H. Pashley, and Franklin R. Tay. 2011. "Setting Properties and Cytotoxicity Evaluation of a Premixed Bioceramic Root Canal Sealer." *Journal of Endodontics* 37 (5): 673–77.
- 81** Malynych, Serhiy, Holly Robuck, and George Chumanov. 2001. "Fabrication of Two-Dimensional Assemblies of Ag Nanoparticles and Nanocavities in Poly(dimethylsiloxane) Resin." *Nano Letters* 1 (11): 647–49.
- 82** Mamootil, K., and H. H. Messer. 2007. "Penetration of Dentinal Tubules by Endodontic Sealer Cements in Extracted Teeth and in Vivo." *International Endodontic Journal* 40 (11): 873–81.
- 83** Marín-Bauza, Gabriela Alexandra, Yara Teresinha Correa Silva-Sousa, Suely Aparecida da Cunha, Fuad Jacob Abi Rached-Junior, Idomeo Bonetti-Filho, Manoel Damiano Sousa-Neto, and Carlos Eduardo Saraiva Miranda. 2012. "Physicochemical Properties of Endodontic Sealers of Different Bases." *Journal of Applied Oral Science* 20 (4): 455–61.
- 84** Martin, David E., Jose Flavio A. De Almeida, Michael A. Henry, Zin Z. Khaing, Christine E. Schmidt, Fabricio B. Teixeira, and Anibal Diogenes. 2014. "Concentration-Dependent Effect of Sodium Hypochlorite on Stem Cells of Apical Papilla Survival and Differentiation." *Journal of Endodontics* 40 (1): 51–55.
- 85** Marx, Robert E, Eric R Carlson, Ralph M Eichstaedt, Steven R Schimmele, James E Strauss, and Karen R Georgeff. 1998. "Platelet-Rich Plasma." *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology* 85 (6): 638–46.
- 86** Matthews, J. 2000. "Pink Teeth Resulting from Russian Endodontic Therapy." *J Am Dent Assoc.* 131 (11): 1598–99
- 87** McCabe, P. 2015. "Revascularization of an Immature Tooth with Apical Periodontitis Using a Single Visit Protocol: A Case Report." *International Endodontic Journal* 48 (5): 484–97.
- 88** McMichen, F. R. S., G. Pearson, S. Rahbaran, and K. Gulabivala. 2003. "A Comparative Study of Selected Physical Properties of Five Root-Canal Sealers." *International Endodontic Journal* 36 (9): 629–35.
- 89** Menezes, M. S., E. C. Queiroz, R. E. Campos, L. R. M. Martins, and C. J. Soares. 2008. "Influence of Endodontic Sealer Cement on Fibreglass Post Bond Strength to Root Dentine." *International Endodontic Journal* 41 (6): 476–84.
- 90** Miletić, Ivana, Nevena Devčić, Ivica Anić, Josipa Borčić, Zoran Karlović, and Maja Osmak. 2005. "The Cytotoxicity of RoekoSeal and AH Plus Compared during Different Setting Periods." *Journal of Endodontics* 31 (4): 307–9.

- 91 Mosharraf, Ramin, and Sepideh Zare. 2014. "Effect of the Type of Endodontic Sealer on the Bond Strength between Fiber Post and Root Wall Dentin." *Journal of Dentistry (Tehran, Iran)* 11 (4): 455–63.
- 92 Mukhtar-Fayyad, Dalia. 2011. "Cytocompatibility of New Bioceramic-Based Materials on Human Fibroblast Cells (MRC-5)." *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology* 112 (6): e137–42.
- 93 Nagas, Emre, M. Ozgur Uyanik, Ayhan Eymirli, Zafer C. Cehreli, Pekka K. Vallittu, Lippo V. J. Lassila, and Veli Durmaz. 2012. "Dentin Moisture Conditions Affect the Adhesion of Root Canal Sealers." *Journal of Endodontics* 38 (2): 240–44.
- 94 Nagata, Juliana Yuri, Brenda Paula Figueiredo de Almeida Gomes, Thiago Farias Rocha Lima, Lia Saori Murakami, Danielle Elaine de Faria, Gabriel Rocha Campos, Francisco José de Souza-Filho, and Adriana de Jesus Soares. 2014. "Traumatized Immature Teeth Treated with 2 Protocols of Pulp Revascularization." *Journal of Endodontics* 40 (5): 606–12.
- 95 Nagaveni, N.B., P. Poornima, Jooie S. Joshi, Sidhant Pathak, and D.B. Nandini. 2015. "Revascularization of Immature, Nonvital Permanent Tooth Using Platelet-Rich Fibrin in Children." *Pediatric Dentistry* 37 (1): 1E–6E.
- 96 Narang, Isha, Neelam Mittal, and Navin Mishra. 2013. "Platelet-Rich Fibrin-Mediated Revitalization of Immature Necrotic Tooth." *Contemporary Clinical Dentistry* 4 (3): 412.
- 97 Nielsen, Benjamin A., William J. Beeler, Christina Vy, and J. Craig Baumgartner. 2006. "Setting Times of Resilon and Other Sealers in Aerobic and Anaerobic Environments." *Journal of Endodontics* 32 (2): 130–32.
- 98 Nirupama, Duddi Narendra, Mohan Thomas Nainan, Rajendran Ramaswamy, Sethumadhavan Muralidharan, Hulimangala Hosakote Lingareddy Usha, Roshni Sharma, and Soham Gupta. 2014. "In Vitro Evaluation of the Antimicrobial Efficacy of Four Endodontic Biomaterials against *Enterococcus Faecalis*, *Candida Albicans*, and *Staphylococcus Aureus*." *International Journal of Biomaterials* 2014: 383756.
- 99 Obeid, M. F., and M. M. Nagy. 2015. "Retreatability of Different Endodontic Sealers Using Chemical Solvents." *Tanta Dental Journal* 12 (4): 286–91.
- 100 Oliva, A., F. Della Ragione, A. Salerno, V. Riccio, G. Tartaro, A. Cozzolino, S. D'Amato, G. Pontoni, and V. Zappia. 1996. "Biocompatibility Studies on Glass Ionomer Cements by Primary Cultures of Human Osteoblasts." *Biomaterials* 17 (13): 1351–56.
- 101 Ørstavik, D. 1996. "Time-Course and Risk Analyses of the Development and Healing of Chronic Apical Periodontitis in Man." *International Endodontic Journal* 29 (3): 150–55.
- 102 Ørstavik, D., P. Brodin, and E. Aas. 1983. "Paraesthesia Following Endodontic Treatment: Survey of the Literature and Report of a case¹." *International Endodontic Journal* 16 (4): 167–72.
- 103 Ørstavik, Dag. 2005. "Materials Used for Root Canal Obturation: Technical, Biological and Clinical Testing." *Endodontic Topics* 12 (1): 25–38.

- 104** Ørstavik, Dag, Inger Nordahl, and John E Tibballs. 2001. "Dimensional Change Following Setting of Root Canal Sealer Materials." *Dental Materials* 17 (6): 512–19.
- 105** Ostby, B. N. 1961. "The Role of the Blood Clot in Endodontic Therapy. An Experimental Histologic Study." *Acta Odontologica Scandinavica* 19 (6): 324–53.
- 106** Özok, Ahmet R., Lucas W. M. van der Sluis, Min-Kai Wu, and Paul R. Wesselink. 2008. "Sealing Ability of a New Polydimethylsiloxane-Based Root Canal Filling Material." *Journal of Endodontics* 34 (2): 204–7.
- 107** Öztan, M. Dartar, Ş. Yilmaz, A. Kalayci, and L. Zaimoğlu. 2003. "A Comparison of the in Vitro Cytotoxicity of Two Root Canal Sealers." *Journal of Oral Rehabilitation* 30 (4): 426–29.
- 108** Paqué, F., H. U. Luder, B. Sener, and M. Zehnder. 2006. "Tubular Sclerosis rather than the Smear Layer Impedes Dye Penetration into the Dentine of Endodontically Instrumented Root Canals." *International Endodontic Journal* 39 (1): 18–25.
- 109** Peters, O. A., K. Schönenberger, and A. Laib. 2001. "Effects of Four Ni-Ti Preparation Techniques on Root Canal Geometry Assessed by Micro Computed Tomography." *International Endodontic Journal* 34 (3): 221–30.
- 110** Petrino, Joseph A., Kendra K. Boda, Sandra Shambarger, Walter R. Bowles, and Scott B. McClanahan. 2010. "Challenges in Regenerative Endodontics: A Case Series." *Journal of Endodontics* 36 (3): 536–41.
- 111** Pizzo, Giuseppe, Giovanni M. Giammanco, Enzo Cumbo, Giuseppe Nicolosi, and Giuseppe Gallina. 2006. "In Vitro Antibacterial Activity of Endodontic Sealers." *Journal of Dentistry* 34 (1): 35–40.
- 112** Pommel, Ludovic, Imad About, David Pashley, and Jean Camps. 2003. "Apical Leakage of Four Endodontic Sealers." *Journal of Endodontics* 29 (3): 208–10.
- 113** Powis, D.R. 1982. "Improved Adhesion of a Glass Ionomer Cement to Dentine and Enamel." *Journal of Dental Research* 61(12):1416-22,
- 114** Raju, S. Murali Krishna, Sarjeev Singh Yadav, and Sita Rama Kumar M. 2014. "Revascularization of Immature Mandibular Premolar with Pulpal Necrosis - A Case Report." *Journal of Clinical and Diagnostic Research* : 8 (9): ZD29-ZD31.
- 115** Reynolds, K., J. D. Johnson, and N. Cohenca. 2009. "Pulp Revascularization of Necrotic Bilateral Bicuspid Using a Modified Novel Technique to Eliminate Potential Coronal Discolouration: A Case Report." *International Endodontic Journal* 42 (1): 84–92.
- 116** Rezende, Gabriely Cristinni, Loiane Massunari, India Olinta de Azevedo Queiroz, Gomes Filho, João Eduardo, Rogério Castilho Jacinto, Carolina Simonetti Lodi, et al. 2016. "Antimicrobial Action of Calcium Hydroxide-Based Endodontic Sealers after Setting, against E. Faecalis Biofilm." *Brazilian Oral Research* 30 (1).
- 117** Rodríguez-Benítez, Soledad, Carlos Stambolsky, José L. Gutiérrez-Pérez, Daniel Torres-Lagares, and Juan José Segura-Egea. 2015. "Pulp Revascularization of Immature Dog Teeth with Apical Periodontitis Using Triantibiotic Paste and Platelet-Rich Plasma: A Radiographic Study." *Journal of Endodontics* 41 (8): 1299–1304.

- 118** Rosa, Ricardo Abreu da, Mirela Sangoi Barreto, Rafael do Amaral Moraes, Juliana Broch, Carlos Alexandre Souza Bier, Marcus Vinícius Reis Só, Osvaldo Bazzan Kaizer, and Luiz Felipe Valandro. 2013. "Influence of Endodontic Sealer Composition and Time of Fiber Post Cementation on Sealer Adhesiveness to Bovine Root Dentin." *Brazilian Dental Journal* 24 (3): 241–46.
- 119** Ruparel, Nikita B., Fabricio B. Teixeira, Caio C. R. Ferraz, and Anibal Diogenes. 2012. "Direct Effect of Intracanal Medicaments on Survival of Stem Cells of the Apical Papilla." *Journal of Endodontics* 38 (10): 1372–75.
- 120** Saber, Shehab El-Din M. 2009. "Tissue Engineering in Endodontics." *Journal of Oral Science* 51 (4): 495–507.
- 121** Sağsen, Burak, Yakup Ustün, Kanşad Pala, and Sezer Demirbuğa. 2012. "Resistance to Fracture of Roots Filled with Different Sealers." *Dental Materials Journal* 31 (4): 528–32.
- 122** Saleh, I. M., I. E. Ruyter, M. Haapasalo, and D. Ørstavik. 2004. "Survival of Enterococcus Faecalis in Infected Dentinal Tubules after Root Canal Filling with Different Root Canal Sealers in Vitro." *International Endodontic Journal* 37 (3): 193–98.
- 123** Santiago, Cristina N., Shirley S. Pinto, Luciana M. Sassone, Raphael Hirata Jr., and Sandra R. Fidel. 2015. "Revascularization Technique for the Treatment of External Inflammatory Root Resorption: A Report of 3 Cases." *Journal of Endodontics* 41 (9): 1560–64.
- 124** Saoud, Tarek Mohamed, Gabriela Martin, Yea-Huey M. Chen, Kuang-Liang Chen, Chao-An Chen, Kamolthip Songtrakul, Matthew Malek, Asgeir Sigurdsson, and Louis M. Lin. 2016. "Treatment of Mature Permanent Teeth with Necrotic Pulps and Apical Periodontitis Using Regenerative Endodontic Procedures: A Case Series." *Journal of Endodontics* 42 (1): 57–65.
- 125** Sarkar, N. K., R. Caicedo, P. Ritwik, R. Moiseyeva, and I. Kawashima. 2005. "Physicochemical Basis of the Biologic Properties of Mineral Trioxide Aggregate." *Journal of Endodontics* 31 (2): 97–100.
- 126** Sasanaluckit, P., K. R. Albustany, P. J. Doherty, and D. F. Williams. 1993. "Biocompatibility of Glass Ionomer Cements." *Biomaterials* 14 (12): 906–16.
- 127** Saunders, W. P., E. M. Saunders, D. Herd, and E. Stephens. 1992. "The Use of Glass Ionomer as a Root Canal Sealer—a Pilot Study." *International Endodontic Journal* 25 (5): 238–44.
- 128** Scarparo, Roberta Kochenborger, Fabiana Soares Grecca, and Elaine Vianna Freitas Fachin. 2009. "Analysis of Tissue Reactions to Methacrylate Resin-Based, Epoxy Resin-Based, and Zinc Oxide–Eugenol Endodontic Sealers." *Journal of Endodontics* 35 (2): 229–32.
- 129** Schäfer, E., and T. Zandbiglari. 2003. "Solubility of Root-Canal Sealers in Water and Artificial Saliva." *International Endodontic Journal* 36 (10): 660–69.
- 130** Schäfer, Edgar, and Tannaz Zandbiglari. 2002. "A Comparison of the Effectiveness of Chloroform and Eucalyptus Oil in Dissolving Root Canal Sealers." *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology* 93 (5): 611–16.

- 131** Schmalz, Gottfried. 2009. "Root Canal Filling Materials." In *Biocompatibility of Dental Materials*, 187–220. Springer Berlin http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-77782-3_7.
- 132** Schröder, U. 1985. "Effects of Calcium Hydroxide-Containing Pulp-Capping Agents on Pulp Cell Migration, Proliferation, and Differentiation." *Journal of Dental Research* 64 (Spec No): 541–48.
- 133** Schwartz, Richard S. 2006. "Adhesive Dentistry and Endodontics. Part 2: Bonding in the Root Canal System—The Promise and the Problems: A Review." *Journal of Endodontics* 32 (12): 1125–34.
- 134** Shah, Pritesh M. M., Bun San Chong, Sharanbir K. Sidhu, and Thomas R. Pitt Ford. 1996. "Radiopacity of Potential Root-End Filling Materials." *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology* 81 (4): 476–79.
- 135** Shalhav, Malka, Zvi Fuss, and Ervin I. Weiss. 1997. "In Vitro Antibacterial Activity of a Glass Ionomer Endodontic Sealer." *Journal of Endodontics* 23 (10): 616–19.
- 136** Shokouhinejad, Noushin, Hedayat Gorjestani, Allen Ali Nasseh, Atefeh Hoseini, Maryam Mohammadi, and Ahmad Reza Shamshiri. 2013. "Push-out Bond Strength of Gutta-Percha with a New Bioceramic Sealer in the Presence or Absence of Smear Layer." *Australian Endodontic Journal* 39 (3): 102–6.
- 137** Silva-Herzog, D., T. Ramírez, J. Mora, A. J. Pozos, L. a. B. Silva, R. a. B. Silva, and P. Nelson-Filho. 2011. "Preliminary Study of the Inflammatory Response to Subcutaneous Implantation of Three Root Canal Sealers." *International Endodontic Journal* 44 (5): 440–46.
- 138** Simon, Stéphane. 2010. "L'endodontie Régénératrice Où En Sommes-Nous?" *l'information dentaire* 95(18/19) 44-48
- 139** Simon, Stéphane, and J-Y Cochet. 2015. "Sinusites D'origine Dentaire, Traitement Endodontique et Chirurgical." In , 412–22. Editions CdP, Rueil Malmaison
- 140** Simon, Stéphane. "La Revascularisation Canalaire : Les Premiers Pas de L'ingénierie Tissulaire En Endodontie." 2016. Accessed June 21. <http://docplayer.fr/14398330-La-revascularisation-canalair.html>.
- 141** Simon, Stéphane, Pierre Machtou, and Dominique Martin. 2013. "Régénération En Endodontie: Régénération Ou Réparation?" *l'Information dentaire* 95(43): 17–19.
- 142** Simon, Stéphane, and Pierre Machtou Pertot Willy. 2015. *Endodontie - Editions CdP*. Initiatives Sante, Rueil Malmaison
- 143** Siqueira, J. F., R. C. Fraga, and P. F. Garcia. 1995. "Evaluation of Sealing Ability, pH and Flow Rate of Three Calcium Hydroxide-Based Sealers." *Dental Traumatology* 11 (5): 225–28.
- 144** Siqueira, J. F., I. N. Rôças, A. Favieri, and K. C. Lima. 2000. "Chemomechanical Reduction of the Bacterial Population in the Root Canal after Instrumentation and Irrigation with 1%, 2.5%, and 5.25% Sodium Hypochlorite." *Journal of Endodontics* 26 (6): 331–34.

- 145** Sleder, Frank Scott, Marvin O. Ludlow, and Joseph Robert Bohacek. 1991. "Long-Term Sealing Ability of a Calcium Hydroxide Sealer." *Journal of Endodontics* 17 (11): 541–43.
- 146** Slutzky-Goldberg, Iris, Hagay Slutzky, Michael Solomonov, Joshua Moshonov, Ervin I. Weiss, and Shlomo Matalon. 2008. "Antibacterial Properties of Four Endodontic Sealers." *Journal of Endodontics* 34 (6): 735–38.
- 147** Souza-Junior, Eduardo J., Vanessa C. P. S. Bueno, Carlos T. S. Dias, and Luís A. M. S. Paulillo. 2010. "Effect of Endodontic Sealer and Resin Luting Strategies on Pull-out Bond Strength of Glass Fiber Posts to Dentin." *Acta Odontológica Latinoamericana*: 23 (3): 216–21.
- 148** Tagger, Michael, Ety Tagger, and Anda Kfir. 1988. "Release of Calcium and Hydroxyl Ions from Set Endodontic Sealers Containing Calcium Hydroxide." *Journal of Endodontics* 14 (12): 588–91.
- 149** Takushige, T., E. V. Cruz, A. Asgor Moral, and E. Hoshino. 2004. "Endodontic Treatment of Primary Teeth Using a Combination of Antibacterial Drugs." *International Endodontic Journal* 37 (2): 132–38.
- 150** Tanomaru-Filho, M., E.g Jorge, J.m.g. Tanomaru, and M. Gonçalves. 2008. "Evaluation of the Radiopacity of Calcium Hydroxide- and Glass-Ionomer-Based Root Canal Sealers." *International Endodontic Journal* 41 (1): 50–53.
- 151** Tanomaru-Filho, Mário, Érica Gouveia Jorge, Juliane Maria Guerreiro Tanomaru, and Marcelo Gonçalves. 2007. "Radiopacity Evaluation of New Root Canal Filling Materials by Digitalization of Images." *Journal of Endodontics* 33 (3): 249–51.
- 152** Tay, Franklin R., Robert J. Loushine, R. Norman Weller, W. Frank Kimbrough, David H. Pashley, Yiu-Fai Mak, Ching-Ngor Shirley Lai, Rakesh Raina, and M. Chad Williams. 2005. "Ultrastructural Evaluation of the Apical Seal in Roots Filled with a Polycaprolactone-Based Root Canal Filling Material." *Journal of Endodontics* 31 (7): 514–19.
- 153** Thibodeau, Blayne, Fabricio Teixeira, Mitsuo Yamauchi, Daniel J. Caplan, and Martin Trope. 2007. "Pulp Revascularization of Immature Dog Teeth With Apical Periodontitis." *Journal of Endodontics* 33 (6): 680–89.
- 154** Timpawat, Siriporn, Cholticha Amornchat, and Wirong-rong Trisuwan. 2001. "Bacterial Coronal Leakage after Obturation with Three Root Canal Sealers." *Journal of Endodontics* 27 (1): 36–39.
- 155** Topçuoğlu, Hüseyin Sinan, Öznur Tuncay, Ertuğrul Karataş, Hakan Arslan, and Kübra Yeter. 2013. "In Vitro Fracture Resistance of Roots Obturated with Epoxy Resin-based, Mineral Trioxide Aggregate-based, and Bioceramic Root Canal Sealers." *Journal of Endodontics* 39 (12): 1630–33.
- 156** Tronstad, L., J. O. Andreasen, G. Hasselgren, L. Kristerson, and I. Riis. 1981. "pH Changes in Dental Tissues after Root Canal Filling with Calcium Hydroxide." *Journal of Endodontics* 7 (1): 17–21.
- 157** Trope, Martin, and Herbert L. Ray. 1992. "Resistance to Fracture of Endodontically Treated Roots." *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology* 73 (1): 99–102.

- 158** Tyagi, Sanjeev, Parimala Tyagi, and Priyesh Mishra. 2013. "Evolution of Root Canal Sealers: An Insight Story." *European Journal of General Dentistry* 2 (3): 199.
- 159** Vertucci, Frank J. 2005. "Root Canal Morphology and Its Relationship to Endodontic Procedures." *Endodontic Topics* 10 (1): 3–29.
- 160** Violich, D. R., and N. P. Chandler. 2010. "The Smear Layer in Endodontics – a Review." *International Endodontic Journal* 43 (1): 2–15.
- 161** Vranas, Ronald N., Gary R. Hartwell, and Peter C. Moon. 2003. "The Effect of Endodontic Solutions on Resorcinol-Formalin Paste." *Journal of Endodontics* 29 (1): 69–72.
- 162** Waltimo, Tuomas M. T., Jan Boiesen, Harald M. Eriksen, and Dag Ørstavik. 2001. "Clinical Performance of 3 Endodontic Sealers." *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology* 92 (1): 89–92.
- 163** Wang, Zhejun, Ya Shen, and Markus Haapasalo. 2014. "Dentin Extends the Antibacterial Effect of Endodontic Sealers against *Enterococcus Faecalis* Biofilms." *Journal of Endodontics* 40 (4): 505–8.
- 164** Willershausen, Ines, Angelika Callaway, Benjamin Briseño, and Brita Willershausen. 2011. "In Vitro Analysis of the Cytotoxicity and the Antimicrobial Effect of Four Endodontic Sealers." *Head Face Med* 7 (15). <http://www.biomedcentral.com/content/pdf/1746-160X-7-15.pdf>.
- 165** Williams, David Franklyn. 1987. *Definitions in Biomaterials: Proceedings of a Consensus Conference of the European Society for Biomaterials, Chester, England, March 3-5, 1986*. Elsevier.
- 166** Wu, Min-Kai, Emiliós Tigos, and Paul R. Wesselink. 2002. "An 18-Month Longitudinal Study on a New Silicon-Based Sealer, RSA RoekoSeal: A Leakage Study in Vitro." *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology* 94 (4): 499–502.
- 167** Zehnder, Matthias. 2006. "Root Canal Irrigants." *Journal of Endodontics* 32 (5): 389–98.
- 168** Zhang, Hui, Ya Shen, N. Dorin Ruse, and Markus Haapasalo. 2009. "Antibacterial Activity of Endodontic Sealers by Modified Direct Contact Test Against *Enterococcus Faecalis*." *Journal of Endodontics* 35 (7): 1051–55.
- 169** Zhou, Hui-min, Ya Shen, Wei Zheng, Li Li, Yu-feng Zheng, and Markus Haapasalo. 2013. "Physical Properties of 5 Root Canal Sealers." *Journal of Endodontics* 39 (10): 1281–86.
- 170** Zhu, Shujin, Cuiling Liu, Zheng Zheng, Liyuan Yang, and Xu Gao. 2015. "[Analysis of different endodontic sealers and strategies of root canal irrigation on the bond strength of fiber posts]. *West China Journal of Stomatology* 33 (3): 311–14.
- 171** Zmener, Osvaldo. 2004. "Tissue Response to a New Methacrylate-Based Root Canal Sealer: Preliminary Observations in the Subcutaneous Connective Tissue of Rats." *Journal of Endodontics* 30 (5): 348–51.
- 172** Zmener, Osvaldo, Gladys Banegas, and Cornelis H. Pameijer. 2005. "Bone Tissue Response to a Methacrylate-Based Endodontic Sealer: A Histological and Histometric Study." *Journal of Endodontics* 31 (6): 457–59.

- 173** Zmener, Osvaldo, and Cornelis H. Pameijer. 2007. "Clinical and Radiographical Evaluation of a Resin-Based Root Canal Sealer: A 5-Year Follow-Up." *Journal of Endodontics* 33 (6): 676–79.
- 174** Zmener, Osvaldo, Cornelis H. Pameijer 2012. "Clinical and Radiographic Evaluation of a Resin-Based Root Canal Sealer: 10-Year Recall Data, *International Journal of Dentistry* 2012, e763248.

Table des illustrations:

Figure 1: Exemples de variations anatomiques : (d'après Vertucci 2005, référence 159).....	15
Figure 2: Schéma illustrant le test du temps de prise d'un ciment endodontique	20
Figure 3: Schéma illustrant le test de fluidité d'un ciment endodontique.....	21
Figure 4: Schéma illustrant le test de radio-opacité d'un ciment endodontique	22
Figure 5: différents types de ciments à base de ZOE	24
Figure 6 Radiographie panoramique objectivant un dépassement de pâte au niveau de la 16 (d'après Simon and J-Y Cochet 2015, référence 139)	26
Figure 7 Coupe frontale de cone-beam objectivant une sinusite maxillaire droite (d'après Simon and J-Y Cochet 2015, référence 139)	26
Figure 8: Radiographie rétro-alvéolaire de la 37 objectivant un dépassement de ciment au niveau du nerf alvéolaire inférieur (d'après D. Ørstavik, Brodin, and Aas 1983, référence 102).....	28
Figure 9: Revue de la littérature démontrant une influence négative de l'eugénol sur le collage.....	32
Figure 10: Revue de la littérature montrant l'absence d'influence néfaste de l'eugénol sur le collage d'ancrages radiculaires.....	36
Figure 11 : Tableau récapitulatif avantages/ inconvénients des ciments à base d'oxyde de zinc eugénol (52, 64, 73, 83, 91, 98, 130).....	38
Figure 12: différents types de ciments à base d'hydroxyde de calcium: Sealapex® et Apexit plus®	39
Figure 13: Tableau récapitulatif avantages/ inconvénients des ciments à base d'hydroxyde de calcium (18, 58, 67, 148).....	42
Figure 14: différents types de ciments à base de résine: AH plus® et EndoRez®	44
Figure 15: schéma illustrant la force d'adhésion de différents ciments endodontiques (d'après K.-W. Lee et coll. 2002, référence 76).....	47
Figure 16 : Tableau récapitulatif avantages/ inconvénients des ciments à base de résine (13, 76, 99, 111, 173).....	48
Figure 17 : Tableau récapitulatif avantages/ inconvénients des ciments à base de verre ionomère (22, 42, 76, 126, 135, 157).....	54

Figure 18: Ciment à base de silicone: Roekoseal®	55
Figure 19: Coupe microscope montrant un infiltrat de polynucléaire autour du ciment implanté à 24h (d'après Gençoglu, Türkmen, and Ahiskali, 2003 référence 47).	57
Figure 20 : Tableau récapitulatif avantages/ inconvénients des ciments à base de silicone (47, 90, 122, 129, 137, 166).....	61
Figure 21: Différents ciments à base de biocéramiques: EndoSequence, iRoot et Proroot	62
Figure 22: Relargage de calcium à différentes périodes de 3 ciments endodontiques (d'après Candeiro et coll. 2012, référence 21).....	63
Figure 23: Proportion de bactéries <i>E.faecalis</i> détruites après 30 jours pour différents ciments endodontiques. (d'après Wang et coll 2014, référence 163)	64
Figure 24: Angle de contact de différents ciments (d'après Zhang et coll, 2009, référence 168)	64
Figure 25: Effets cytotoxiques du Bioaggregate® et du iRootSP® sur les cellules humaines de fibroblastes par MTT assay et exprimé en pourcentage de cellules viables (d'après Mukhtar-Fayyad 2011, référence 92)	65
Figure 26: Adhésion de différents ciments canalaires dans différentes conditions d'humidités (d'après Nagas et coll, 2012, référence 93).....	66
Figure 27 : Principales résistance à la fracture pour différents groupes expérimentaux (d'après Ghoneim et coll. 2011, référence 49)	69
Figure 28: Principales résistances à la fracture pour différents groupes expérimentaux (d'après Topçuoğlu et coll. 2013, référence 155)	69
Figure 29: Tableau récapitulatif avantages/ inconvénients des ciments à base de biocéramique (4, 21, 50, 53, 55, 136, 155, 163, 169).....	72
Figure 30: Influence du NaOCl et de l'EDTA sur la survie des SCAP (d'après Martin et coll. 2014, référence 84).....	75

CAMUT (Guillaume). –Les ciments endodontiques: le point en 2016. –100 f. ; 174 ref. ; 30 cm
(Thèse : Chir. Dent. ; Nantes ; 2016)

RESUME

Le chirurgien-dentiste est confronté au choix de son ciment endodontique car l'industrie vante les mérites de toutes les familles de ciments endocanalaire. L'arrivée des ciments biocéramiques sur le marché, depuis peu, marque un espoir dans ce domaine. Ces ciments remplissent presque tout le cahier des charges d'un ciment endodontique idéal. Leur biocompatibilité et leur action antimicrobienne leur confèrent un avantage indéniable sur ceux existants. Les étapes de préparation et de désinfection canalaire restent primordiales.

L'avenir de l'Endodontie semble également se diriger vers les thérapeutiques de revascularisation pulpaire. Cette technique met en jeu le potentiel des cellules souches. Si ces techniques s'avèrent fiables dans le temps, le traitement endodontique se verrait alors radicalement modifié, les ciments endodontiques n'auraient alors probablement plus lieu d'être.

RUBRIQUE DE CLASSEMENT : Odontologie-Endodontie.

MOTS CLES MESH

Endodontie/ Endodontics

Traitement du canal radiculaire / Root canal therapy

Matériaux d'obturation endocanalaire/ Root canal filling material

Ingénierie tissulaire/ Tissue Engineering

JURY

Président : Professeur PEREZ F.

Assesseur : Docteur ARMENGOL V.

Assesseur : Docteur DUPAS C.

Directeur : Docteur MARION D.

ADRESSE DE L'AUTEUR

12, rue Marie Anne du Boccage – 44000 NANTES

g.camut49@gmail.com