

Année 2021

N° 3737

LES CIMENTS BIOCÉRAMIQUES EN ENDODONTIE

THÈSE POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE
DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement par

ALLIN-GUILLOU Mélody

Le 29/06/2021 devant le jury ci-dessous :

Président : Mme le Professeur Fabienne PÉREZ

Assesseur : Mme le Docteur Bénédicte ENKEL

Assesseur : Mme le Docteur Fabienne JORDANA

Assesseur : Mme le Docteur Cécile HEMMING

Directeur de thèse : Mme le Docteur Valérie ARMENGOL

UNIVERSITE DE NANTES	
<u>Président</u> Pr BERNAULT Carine	
 <small>UNIVERSITE DE NANTES</small>	
FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE	
<u>Doyen</u> Pr GIUMELLI Bernard	
 <small>FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE</small>	
<u>Assesseurs</u> Dr RENAUDIN Stéphane Pr SOUEIDAN Assem Pr WEISS Pierre	
PROFESSEURS DES UNIVERSITES PRATICIENS HOSPITALIERS DES C.S.E.R.D.	
Mme ALLIOT-LICHT Brigitte M. AMOURIQ Yves M. BADRAN Zahi M. GIUMELLI Bernard M. LABOUX Olivier M. LE GUEHENNEC Laurent	M. LESCLOUS Philippe Mme LOPEZ-CAZALUX Serena Mme PEREZ Fabienne M. SOUEIDAN Assem M. WEISS Pierre
PROFESSEURS DES UNIVERSITES	
M. BOLLER Jean-Michel	
MAITRE DE CONFERENCES DES UNIVERSITES	
Mme VINATIER Claire	
PROFESSEURS EMERITES	
M. JEAN Alain	
ENSEIGNANTS ASSOCIES	
M. GUIHARD Pierre (<i>Professeur Associé</i>)	Mme LOLAH Aoula (<i>Assistant Associé</i>)
MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES PRATICIENS HOSPITALIERS DES C.S.E.R.D.	ASSISTANTS HOSPITALIERS UNIVERSITAIRES DES C.S.E.R.D.
M. AMADOR DEL VALLE Gilles Mme ARMENGOL Valérie Mme BLERY Pauline M. BODIC François Mme CLOITRE Alexandra Mme DAJEAN-TRUTAUD Sylvie M. DENIS Frédéric Mme ENKEL Bénédicte M. GAUDIN Alexis M. HOORNAERT Alain Mme HOUCHMAND-CUNY Madline Mme JORDANA Fabienne M. LE BARS Pierre M. NIVET Marc-Henri M. PRUD'HOMME Tony Mme RENARD Emmanuelle M. RENAUDIN Stéphane Mme ROY Elisabeth M. STRUILLLOU Xavier M. VERNER Christian	M. ALLIOT Charles Mme ARRONDEAU Mathilde Mme CLOUET Roselyne M. EVRARD Lucas M. GUIAS Charles M. GUILLEMIN Maxime Mme HASCOET Emille Mme HEMMING Cécile M. HIBON Charles M. KERIBIN Pierre Mme OYALLON Mathilde Mme QUINSAT Victoire Eugenie M. REMAUD Matthieu M. RETHORE Gildas M. SERISIER Samuel Mme TISSERAND Lise
PRATICIENS HOSPITALIERS	
Mme DUPAS Cécile	Mme HYON Isabelle
ATTACHÉS HOSPITALIERS	
M. ELHAGE Louis-Marie M. GLOMET Jérémy Mme PAGBE NDOBO Pauline Mme PREVOT Diane	Mme RICHARD Catherine M. SARKISSIAN Louis-Emmanuel M. STRUBE Nicolas

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.

Remerciements

A Madame le Professeur Fabienne Pérez

Professeur des Universités - Praticien Hospitalier des Centres de Soins d'Enseignement et de Recherche Dentaires

Docteur de l'Université de Toulouse 3

Habilitée à Diriger les Recherches

Chef du département d'Odontologie Conservatrice - Endodontie

Chef du Service d'Odontologie Conservatrice et Pédiatrique

- NANTES -

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

Pour la rigueur et la passion que vous avez su insuffler à vos enseignements.

Veillez trouver ici l'expression de mon profond respect.

A Madame le Docteur Valérie Armengol

Maître 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 diriger cette thèse.

Pour vos conseils, votre réactivité et votre patience lors de la rédaction de cette thèse.

Pour votre pédagogie, votre gentillesse et votre soutien au cours des enseignements de
troisième année et des réunions avec les délégués.

Ce fut un plaisir de vous revoir avant mon départ de la faculté.

Veillez trouver ici l'expression de ma gratitude et de mes sentiments les plus respectueux.

A Madame le Docteur Bénédicte Enkel

Maître de Conférences des Universités - Praticien Hospitalier des Centres de Soins
d'Enseignement et de Recherche Dentaires
Docteur de l'Université de Nantes
Ancien Interne des Hôpitaux de Nantes
Département d'Odontologie Conservatrice – Endodontie

- NANTES -

Pour avoir accepté de siéger dans ce jury.
Pour m'avoir montré une autre façon d'aborder la pratique dentaire,
Veuillez trouver ici l'expression de mon profond respect.

A Madame le Docteur Cécile Hemming

Assistant Hospitalier Universitaire des Centres de Soins d'Enseignement et de Recherche
Dentaires
Département d'Odontologie Conservatrice et Pédiatrique

- NANTES -

Pour avoir accepté, de siéger dans ce jury.

Pour vos conseils et votre soutien en clinique,

Veillez trouver ici l'expression de ma gratitude et de mes sentiments les plus respectueux.

A Madame le Docteur Fabienne Jordana

Maître de Conférences des Universités - Praticien Hospitalier des Centres de Soins
d'Enseignement et de Recherche Dentaires
Docteur de l'Université de Bordeaux
Habilitation à Diriger les Recherches
Département de Sciences Anatomiques et Physiologiques, Occlusodontiques,
Biomatériaux, Biophysique, Radiologie.

- NANTES -

Pour avoir accepté de siéger dans ce jury.

Pour vos enseignements et votre bonne humeur constante, en particulier lors des séances
de monitorat d'anatomie.

Veillez trouver ici l'expression de mes sentiments les plus respectueux.

TABLE DES MATIERES

Introduction :	13
I. Rappels sur l'obturation canalair :	14
I.1. Objectifs de l'obturation canalair.....	14
I.2. Recommandations.....	14
I.3. Matériaux d'obturation	16
I.3.1. Gutta-Percha.....	16
I.3.2. Ciments de scellements	17
I.3.2.1. Caractéristiques du ciment idéal selon Grossman	18
I.3.2.2. Normes ISO et ANSI/ADA pour les ciments de scellement	19
I.3.2.3. Classification des ciments	19
I.3.2.4. Les différents ciments et leurs propriétés :.....	20
I.3.2.4.1. Les ciments Oxyde de Zinc (ZOE)	20
I.3.2.4.2. Ciments à base d'hydroxyde de calcium/ salicylates.....	21
I.3.2.4.3. Les ciments à base d'acide gras	21
I.3.2.4.4. Les ciments à base de verre ionomères.....	22
I.3.2.4.5. Les ciments à base de silicone.....	22
I.3.2.4.6. Les ciments à base de résine époxy	22
I.3.2.4.7. Les ciments à base de résine méthacrylate	23
I.3.2.4.8. Les ciments à base de silicates tricalciques/biocéramiques.....	23
I.4. Techniques d'obturation actuelles	23
I.4.1. Techniques à base de pâte seule	24
I.4.2. Techniques à base de Gutta Percha froide.....	24
I.4.2.1. Technique Monocône.....	24
I.4.2.2. Technique de condensation latérale à froid.....	24
I.4.2.3. Technique mixte	25
Dans cette technique, la zone apicale est obturée par condensation latérale à froid, tandis que le reste du canal est obturé par compactage thermomécanique. Cela permet un scellement efficace tout en limitant le risque d'extrusion du matériau. (19)	25
I.4.3. Techniques de gutta chaude.....	25
I.4.3.1. Technique de compactage vertical (technique de Schilder)	25
I.4.3.2. Technique thermomécanique	25
II. Les Ciments Biocéramiques - Présentation	26
II.1. Généralités :.....	26
II.1.1. Historique.....	26

II.1.2.	Classification :	26
II.1.2.1.	Les biomatériaux	26
II.1.2.2.	Les biocéramiques	27
II.2.	Composition	28
II.3.	Mécanisme de prise	30
II.4.	Avantages et inconvénients	31
II.5.	Indications des ciments biocéramiques	31
II.6.	Technique d'obturation recommandée	32
II.7.	Coût	35
III.	Propriétés des ciments biocéramiques par rapport aux ciments traditionnels	37
III.1.	Propriétés des ciments biocéramiques	37
III.1.1.	Physiques	37
III.1.1.1.	Fluidité	37
III.1.1.2.	Porosité	39
III.1.1.3.	Étanchéité	39
III.1.1.4.	Résistance mécanique des dents traitées	40
III.1.1.5.	Retraitabilité	41
III.1.2.	Chimiques	42
III.1.2.1.	Temps de prise	42
III.1.2.2.	Expansion de prise	43
III.1.2.3.	Solubilité	43
III.1.2.4.	Adhésion	44
III.1.2.2.	pH	45
III.1.2.3.	Coloration des structures dentaires	46
III.1.3.	Biologiques	46
III.1.3.1.	Biocompatibilité	46
III.1.3.2.	Antibactérienne	48
III.1.3.3.	Antifongique	49
III.1.3.4.	Bioactivité	50
III.2.	Tableaux récapitulatifs :	51
III.3.	Présentation de 2 ciments biocéramiques	52
III.3.1.	EndoSequence BC Sealer®	52
III.3.1.1.	Indications	53
III.3.1.2.	Temps de travail et de prise	53
III.3.1.3.	Méthode d'utilisation	53
III.3.1.4.	Retraitabilité	53

III.3.2. MTA Fillapex®.....	54
III.3.2.1. Indications	54
III.3.2.2. Temps de travail et de prise	54
III.3.2.3. Retraitabilité	55
III.3.2.4. Méthode d'utilisation.....	55
IV. Analyse de la littérature	56
V. Conclusion.....	64
Bibliographie.....	66

Introduction :

Afin de pérenniser un traitement endodontique, la qualité de l'obturation du système canalaire ne doit pas être négligée. Pour cela, le praticien doit s'appuyer sur divers matériaux. Le matériau d'obturation le plus répandu est la Gutta Percha. Son point faible est l'absence d'adhésion aux parois dentinaires. Pour compenser ce défaut, les industriels ont mis au point des ciments de scellement afin d'établir un joint entre la dent et la Gutta Percha. De composition et de propriétés variables, de nombreux types de ciments sont actuellement commercialisés.

Dans un souci d'efficacité, les praticiens sont aujourd'hui à la recherche de matériaux simples et rapides d'utilisation, permettant d'obtenir une obturation pérenne dans le temps. Les ciments à base de silicate de calcium, dits biocéramiques, sont nés de cette recherche.

Depuis leur apparition il y a une trentaine d'années, ils sont utilisés par les spécialistes en endodontie dans de nombreuses indications. De par leurs propriétés biologiques ils sont très intéressants lors d'obturation « *a retro* », d'obturation de perforation et bien d'autres encore. Les premières formulations étaient en revanche difficiles à manipuler, ce qui ne permettait pas de généraliser leur usage dans les cabinets. Il y a une dizaine d'années, des ciments de scellement canalaire à base de silicate de calcium ont commencé à être commercialisés.

Bien que prévus pour les obturations orthogrades réalisées en omnipratique, peu de praticiens les utilisent. Des interrogations persistent notamment sur leurs propriétés physiques, l'efficacité de l'obturation à long terme et la possibilité de retraitement. Associé au fait qu'ils soient plus onéreux, certains se demandent s'il est prudent de faire cet investissement et préfèrent s'en tenir aux matériaux connus de longue date.

Après une première partie de rappel sur les recommandations, les techniques et les matériaux d'obturation endodontique traditionnels, nous ferons le point sur les différentes propriétés des ciments de scellement biocéramiques ainsi que sur leurs indications en omnipratique. Nous terminerons par une analyse de la littérature de ces cinq dernières années, basée sur les articles mentionnés dans la bibliographie de cette thèse.

I. Rappels sur l'obturation canalaire :

I.1. *Objectifs de l'obturation canalaire*

Les pathologies de la pulpe et du péri-apex sont liées à l'inflammation du contenu canalaire puis à son infection par des bactéries qui s'organisent en biofilms résistants aux agents anti-microbiens. Le traitement de ces pathologies passe par le retrait mécanique et chimique de ce biofilm. Compte tenu de la complexité du système endodontique, on peut difficilement éliminer l'ensemble des micro-organismes présents. On estime qu'il en persiste dans 40-60% du système canalaire (isthmes, canaux accessoires,...) après la préparation chimio-mécanique du canal, bien qu'en quantité moindre. Cela peut avoir un impact sur le pronostic du traitement endodontique et expliquer la persistance de l'infection malgré un premier traitement. (1) (2)

L'obturation canalaire doit isoler les bactéries restantes entre elles et les empêcher d'accéder aux nutriments nécessaires à leur multiplication. Elle doit également empêcher l'infiltration de nouveaux micro-organismes afin d'éviter la recolonisation du système endodontique. Pour cela il est recommandé de sceller tout l'espace canalaire avec un matériau d'obturation pour créer un joint étanche aux bactéries et à leurs toxines. Ce scellement isole le système canalaire du péri-apex. (2)(3)

Cette étape joue un rôle majeur dans le pronostic du traitement endodontique. On estime que 58% des échecs de traitement sont dus à une obturation incomplète.(4)

I.2. *Recommandations*

Différents organismes reconnus tels que la HAS (en 2008) (5), l'ESE (en 2006) (6) et l'AAE (7) (8), ont établi des recommandations de bonnes pratiques pour l'obtention d'une obturation étanche et pérenne.

L'obturation du système endodontique vise à empêcher toute recontamination de l'endodonte par passage de bactéries ou de fluides. Pour cela, le praticien doit sceller l'intégralité de l'endodonte ce qui concerne : les différents foramina, le canal principal et les canaux accessoires, les isthmes et les tubuli dentinaires. Lors de l'obturation, le praticien doit faire en sorte d'éviter au patient des complications liées au traitement et favoriser sa guérison en sélectionnant la technique d'obturation et les matériaux selon les recommandations de bonne pratique et le cas clinique.

Rq : Cela consiste notamment à éviter les dépassements de matériaux. Ceux-ci peuvent compromettre le pronostic du traitement et traduisent généralement l'utilisation d'une technique défectueuse.

➤ Quand peut-on obturer le système canalaire ?

Des recommandations de grade C estiment que 4 conditions doivent être réunies :

- Une fois la **préparation** mécanique et la désinfection chimique du système canalaire **réalisée**
- En présence d'un **canal propre et sec**
- Une fois qu'il n'y a **plus de symptômes**

- Lorsque le praticien a **suffisamment de temps** pour travailler correctement

➤ Concernant la technique d'obturation et la longueur d'obturation

Pour la HAS, une radiographie avec maître-cône (de Gutta-Percha) en place à la longueur de travail est recommandée avant de commencer à obturer. Cela vaut quelle que soit la technique choisie. Pour l'ESE, cette radiographie n'est recommandée que dans certains cas (non précisés) et peut être faite avec un instrument de préparation. Elle permet de vérifier la position de celui-ci par rapport à l'extrémité apicale de la dent. En effet, si les études cliniques actuelles (niveau IV) ne suffissent pas pour conclure sur la supériorité de la condensation latérale à froid de la gutta percha par rapport à la condensation verticale à chaud, elles mettent en évidence la nécessité du respect de la zone apicale. La longueur de travail doit être respectée lors de la préparation et les dépassements de matériaux doivent être évités lors de l'obturation.

Bien entendu l'ESE rappelle que l'apex et l'extrémité apicale de l'instrument/cône doivent être visibles sur cette radiographie.

➤ Concernant les matériaux d'obturation

Les matériaux d'obturation doivent être :

- **Biocompatibles** : les ciments de scellement à base d'aldéhydes et les matériaux injectables par bourres-pâtes ne sont pas recommandés car ces matériaux présentent une certaine toxicité et plus de risques d'extrusion.
- **Insolubles** dans les fluides biologiques
- **Radio-opaques**
- **Stables dimensionnellement et chimiquement**
- **Facilement désobturables**
- **Permettre le scellement** de l'endodonte,
- **Ne pas favoriser le développement bactérien.**

Lors de l'obturation il est conseillé d'associer :

- un **matériau compactable**, neutre et semi-solide (tel que la Gutta Percha)
- un **ciment de scellement canalaire**.

Ce dernier sert d'interface entre le matériau central, qui n'a pas de propriétés adhésives, et les parois dentinaires. L'AAE rajoute que les matériaux semi-solides (ex : cône de gutta percha) doivent être désinfectés avant leur utilisation dans une solution d'hypochlorite de sodium (NaOCl).

➤ Comment évaluer la qualité de l'obturation finale ?

La réalisation d'un cliché post-opératoire doit permettre d'objectiver un/ des canaux complètement obturés de façon homogène, suivant le trajet canalaire initial. Elle doit idéalement inclure 2 à 3 mm de la zone péri-apicale. Aucun vide n'est censé être visible entre le matériau d'obturation et les parois dentinaires. L'obturation doit aller jusqu'à l'apex de la racine, on ne doit pas voir de vide au-delà de la restauration dans la zone apicale. Cette obturation tri-dimensionnelle doit concerner l'ensemble du système canalaire et s'adapter aux irrégularités des parois dentinaires jusqu'à la

longueur de travail. Elle doit être étanche aux bactéries et aux fluides pour prévenir la recontamination de l'endodonte car celui-ci est alors inaccessible au système immunitaire du patient.

Rq : l'AAE considère que le scellement des canaux accessoires n'est pas un pré-requis du succès du traitement endodontique.

L'AAE conseille de réaliser la restauration coronaire définitive au plus vite après le traitement endodontique pour éviter la recontamination de celui-ci.

1.3. Matériaux d'obturation

Depuis l'introduction de la Gutta-Percha comme matériau pour l'endodontie en 1867 par Bowman et Hill, peu d'améliorations notables ont eu lieu dans le domaine des matériaux d'obturation canalaire. Les propriétés physico-chimiques des ciments de scellements ont en revanche beaucoup évolué. (9)

1.3.1. Gutta-Percha

La Gutta-Percha est actuellement le matériau d'obturation canalaire solide le plus couramment utilisé en endodontie. Sa formule chimique est $(C_5H_8)_n$ ou trans-polyisoprène 1-4, c'est un matériau thermoplastique de la famille du caoutchouc. Elle est produite à partir du latex du Palaquium, un arbre poussant en Malaisie.

On la trouve sous 3 formes :

- **La forme α** : présente à l'état naturel et fluide en dessous de 50°C, a une certaine adhérence lorsqu'elle est chauffée. En revanche, elle est peu rigide et demande l'utilisation de seringues, capsules ou tuteurs.
- **La forme β** : c'est de la Gutta-Percha raffinée par adjonction d'autres éléments. Elle est rigide et est donc le constituant principal des cônes de Gutta-Percha. Elle est fluide au-delà de 80 à 120°C. En revanche, elle est peu adhérente et doit être compactée.
- **La forme γ** : amorphe

Les cônes de Gutta-Percha sont constitués en moyenne de :

Gutta-Percha	20%
Oxyde de Zinc	35 – 75%
Sulfate de baryum (radio-opacité)	2 - 30%
Cires et résines (plastifiants)	1-4%
Colorants	
+/- agents antimicrobiens	

Tableau 1 : Composition moyenne des cônes de Gutta Percha (10)

Leur constitution et leurs propriétés dépendent de la norme ISO 6877. Il existe des formes standardisées, plus rigides, avec une conicité de 2%, et des formes non normalisées, plus molles, avec une conicité de 4 à 6%.

On trouve d'autres formes de Gutta-Percha (capsule-dose, bâtonnet + seringue, avec tuteur, en solution dans du chloroforme) mais elles sont moins couramment utilisées. Le praticien choisit entre ces différentes présentations en fonction de la technique d'obturation mise en œuvre.

Les propriétés de ce matériau sont (10) :

- **Chimiques :**
 - **Oxydation à l'air et à la lumière** : le cône devient alors cassant.
 - **Insolubilité** : dans l'eau (et donc dans les fluides biologiques), l'éther et l'alcool. **Soluble** dans le chloroforme, l'essence de térébenthine et l'eucalyptol.

- **Physiques :**
 - **Pas d'adhésion aux parois dentinaires** (d'où la nécessité d'utiliser un ciment de scellement)
 - **Peu de conductivité thermique** : la chaleur n'est transmise que 3-5mm au-delà de l'instrument endodontique.
 - **Importante dilatation thermique** : compaction nécessaire pour enrayer ce phénomène et surtout la rétraction au refroidissement qui s'ensuit.
 - **Stabilité volumétrique** : une fois compactée et refroidie le volume du matériau ne change pas.
 - **Compressibilité** : permet le compactage ce qui permet l'ajustement du cône aux parois canalaire.
 - **Faible élasticité** : plus le cône contient d'oxyde de zinc, plus il est cassant.
 - **Faible résistance à l'usure et à l'écrasement**
 - **Radio-opacité**
 - **Rigidité**
 - **Viscosité** (liée à la température)
 - **Non stérilisable à chaud**

- **Biologiques :**
 - **Biocompatibilité**
 - **Non résorbable**
 - **Action anti-microbienne** (liée à l'oxyde de zinc).

1.3.2. Ciments de scellements

Comme mentionné précédemment, la Gutta-Percha n'adhère pas aux parois dentinaires. Il faut donc l'associer à un ciment de scellement pour obtenir une obturation canalaire étanche. Celui-ci sert également de lubrifiant pour faciliter l'insertion du cône et permet de combler des irrégularités inaccessibles au matériau d'obturation principal. De nombreux ciments sont aujourd'hui disponibles, chacun avec des propriétés physiques et chimiques différentes qui jouent sur la qualité de l'obturation finale. (3) (11)

1.3.2.1. *Caractéristiques du ciment idéal selon Grossman*

Grossman a défini le ciment idéal en 11 caractéristiques (11) (12) (13) (14) (15). Il doit avoir :

- **Capacité de scellement** : Le ciment doit permettre l'obturation étanche du système canalaire. Cette caractéristique dépend du lien entre les parois dentinaires et le matériau d'obturation ainsi que de la solubilité dans les fluides biologiques du ciment concerné.
- **Adhésion** : Le ciment doit adhérer aux parois dentinaires et au matériau d'obturation (Gutta Percha) une fois que la réaction de prise est terminée. Tagger et al. suggèrent d'utiliser plutôt le terme de liaison car ce lien est de nature mécanique plus que chimique.
- **Insoluble dans les fluides biologiques** : La solubilité d'un ciment est la variation négative du volume d'un matériau après immersion dans l'eau un certain temps. Cette variation ne doit pas excéder 3% de la masse du matériau d'après l'ANSI/ADA, spécification 57. Plus un ciment est soluble, plus il est dégradé par les fluides biologiques. Un vide est alors susceptible de se former entre les parois canalaires et le matériau d'obturation, ce qui favorise le passage de fluides/bactéries entre le milieu oral et le péri-apex. (17)
- **Pas de rétraction de prise** : Pour la même raison le matériau doit être stable dans le temps une fois pris, que ce soit son volume ou sa composition chimique. Les changements entre la mise en place et la fin de la réaction de prise doivent être limités.
- **Fluidité** : Plus un ciment est fluide, plus il peut s'introduire dans les irrégularités des parois dentinaires pour les combler, diminuant ainsi les vides post traitement où des micro-organismes sont susceptibles de se développer. La vitesse d'écoulement ne doit pas être inférieure à 20mm d'après la norme ISO 6786/2001. La fluidité est liée à la taille des particules de ciment (plus elles sont fines, plus le ciment peut pénétrer les irrégularités de petite taille), à la température, au temps de travail et au taux de cisaillement.
- **Radio-opaque** : Les ciments de scellement doivent se distinguer des structures dentaires sur les radiographies afin de contrôler la qualité de l'obturation finale. La radio-opacité minimale autorisée est de 3.00mm d'aluminium (référence standard). Cette valeur est définie par la norme ISO 6876/2001.
- **Temps de travail suffisant** : La prise du ciment doit être suffisamment lente pour permettre la mise en œuvre de la technique d'obturation choisie.
- **Ne pas décolorer les structures dentaires**
- **Bactériostatique ou n'encourageant pas la prolifération bactérienne** : Il reste toujours des micro-organismes dans le système canalaire après un traitement endodontique. Si un ciment a des propriétés antimicrobiennes, il permet d'éliminer les bactéries résiduelles et d'empêcher la recolonisation. Un pH alcalin et le relargage d'ion calcium contribuent à cette action

antimicrobienne via la production de tissus minéralisés. Cependant, dans la plupart des cas pour qu'il y ait une élimination des produits toxiques, l'étanchéité du scellement est diminuée.

- **Désobturable** : En cas d'échec du traitement initial (15-22% des cas), les matériaux d'obturation et le ciment de scellement doivent pouvoir être retirés dans leur intégralité car ils sont potentiellement colonisés par les micro-organismes ou empêchent d'accéder à ceux-ci. S'ils ne peuvent pas être éliminés, l'accès aux foramina apicaux et la perméabilité canalaire ne peuvent être retrouvés, ce qui empêche la désinfection de l'endodonte et donc la cicatrisation du péri-apex.
- **Biocompatibilité** : Pour être biocompatible, un matériau doit induire une réponse positive des tissus avec lesquels il est en contact (soit un matériau qui n'induit ni de réponse toxique, allergique, inflammatoire, irritante, carcinogène).

1.3.2.2. Normes ISO et ANSI/ADA pour les ciments de scellement

TABLE 1: ISO 6876/2012 and ANSI/ADA specification number 57 standards.

	ISO standards	ANSI/ADA standards
Setting time	When ≤ 30 min, $\leq 10\%$ stated by the manufacture When > 30 min, < 72 hours, within the range (min)	Within 10% of setting time stated by the manufacturers
Flow	≥ 20 mm	≥ 25 mm
Solubility	$\leq 3\%$ for 24 hours	$\leq 3\%$ for 24 hours
Dimensional change	Shrinkage (contraction) $\leq 1\%$ for 30 days Expansion $\leq 0.1\%$ for 30 days	
Radiopacity	≥ 3 mm aluminum thickness	

Tableau 2 : Normes ISO 6876/2012 et ANSI/ADA numéro 57 (16)

1.3.2.3. Classification des ciments

On peut classer les différents ciments à partir de leur mécanisme de prise et de leurs constituants principaux (11) (12) (16). On distingue les ciments :

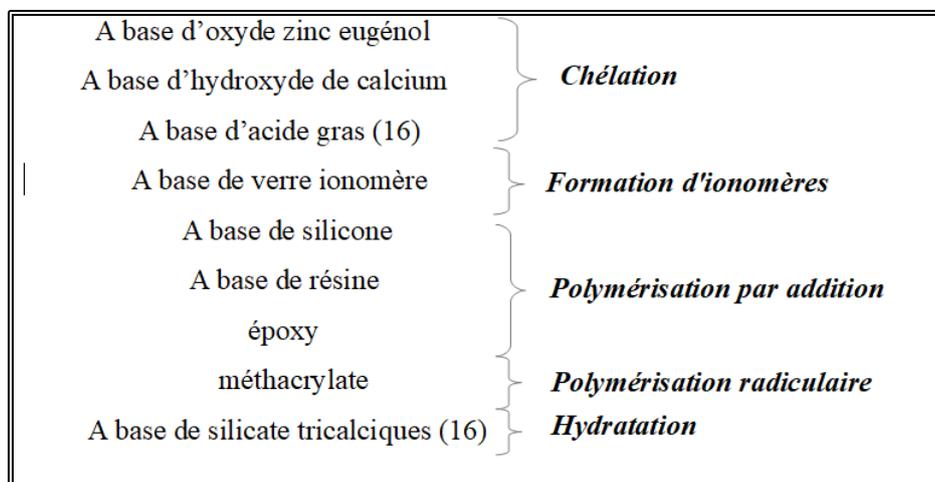


Figure 1 : Classification des ciments de scellement endodontiques (11) (12)

Le choix du ciment dans une situation donnée se fait grâce à la connaissance de ses propriétés. Les produits dentaires utilisés comme scellement canalair sont régis par les normes NF EN 26876 et la norme ISO 6876.

1.3.2.4. Les différents ciments et leurs propriétés :

1.3.2.4.1. Les ciments Oxyde de Zinc (ZOE)

Ces ciments (11) (16) ont été introduits en 1931 par Rickert et Dixon et en 1936 par Grossman sous différents noms commerciaux (ex : Kerr Sealer®, Proco-sol sealer®,...). Aujourd'hui encore ces ciments sont une référence en endodontie de par leur succès clinique, leur faible coût, leur facilité d'usage et le recul sur leur utilisation.

Leur composition est variable. Les premiers ZOE contenaient de l'argent, responsable d'une discoloration des dents au fil du temps. Ce composant a été retiré des ZOE développés ultérieurement. Classiquement, ces ciments se présentent sous la forme d'une poudre et d'un liquide à mélanger avant leur insertion dans le canal. Ils sont constitués de :

Poudre	Liquide
Oxyde de zinc eugéno (± 50%)	Eugéno
Adjuvants	Adjuvants
Opacifiants : Argent, sulfate de baryum, Pb34, TiO2, bismuth, iode,...	Accélérateur de prise : acide acétique.
Accélérateurs de prise : stéarate de zinc, acétate de zinc, chlorure de magnésium, propionate de zinc, succinate de zinc	
Retardateurs de prise : le borate de sodium, le glycol, la glycérine	
Plastifiants : colophane (résine), méthacrylate de méthyle, cellulose, silice.	Plastifiants et Correcteurs de goût : huile d'olive, de coton
Agents anti-microbiens (facultatifs et controversés) : paraformaldéhyde, trioxyméthylène, iodure de thymol	Adoucissants : baume du Canada, Baume du Pérou
Anti-inflammatoires (facultatifs et controversés) : trioxyméthylène, corticoïdes (δ - hydrocortisone).	

Tableau 3: Composition des ZOE (11)

La réaction de chélation est amorcée par le fluide dentinaire présent dans le canal. Celui-ci hydrolyse l'oxyde de zinc pour former de l'hydroxyde de zinc qui réagit avec l'eugéno pour former un chélate d'eugénolate de zinc formant ainsi un gel amorphe. Les grains d'oxyde de zinc n'ayant pas réagi forment une charge solide emprisonnée dans la matrice.

Propriétés	
<i>Biologiques</i>	<i>Physico-chimiques</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Analgésique • Anti-inflammatoire • Bactéricide • Anti-inflammatoire • Bonne biocompatibilité (moyen et long terme), avec une toxicité initiale modérée qui disparaît avec le temps 	<ul style="list-style-type: none"> • Peu adhésif • Peu soluble dans l'eau • Temps de travail et de prise lent bien que variable • Fluidité • Bonne étanchéité (liaison chimique entre l'oxyde de zinc de la gutta-percha et l'eugénol du ciment) • Peu de rétraction de prise • Radio-opaque

Tableau 4: Propriétés des ZOE (16)

1.3.2.4.2. Ciments à base d'hydroxyde de calcium/salicylates

Propriétés	
<i>Biologiques</i>	<i>Physico-chimiques</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Anti-microbien 	<ul style="list-style-type: none"> • pH alcalin/basique • Pas de prise • Légèrement soluble dans l'eau (doit être utilisé dans une matrice pour servir en tant que ciment de scellement)

Tableau 5 : Propriétés des ciments à base d'hydroxyde de calcium (16)

L'intérêt initial de ces ciments est qu'ils induisent une ostéogénèse et une cémentogénèse tout en contribuant à l'élimination des bactéries résiduelles dans le système canalaire. Cependant, pour avoir un effet biologique, les ions calcium contenus dans le ciment doivent être dissous. Cela implique une dégradation du ciment, incompatible avec un usage à long terme. S'ils sont utilisés dans une matrice ils peuvent servir de ciment de scellement, mais leurs propriétés biologiques seront moindres. (11)

1.3.2.4.3. Les ciments à base d'acide gras

Un des inconvénients des ZOE est que leur effet cytotoxique est variable car ils sont préparés extemporanément par le praticien. Cela peut impacter le pronostic du traitement, c'est pourquoi les fabricants ont créé d'autres types de ciment canalaires.

Dans ces ciments, des acides gras remplacent l'eugénol en tant qu'agent chélatant. Leurs complexes métalliques sont cependant moins marqués et réguliers qu'avec les eugénolates et les salicylates. (11)

1.3.2.4.4. Les ciments à base de verre ionomères

Ils sont composés d'une poudre fine d'alumino-silicates fluorés et d'une solution aqueuse de copolymère d'acide polyacrylique. Lorsqu'ils sont associés, des sous-unités de monomères organiques et d'ions inorganiques se forment. C'est ce qu'on appelle un ionomère. Ils peuvent être utilisés en dentisterie restauratrice ou comme ciments de scellement. (11) (16)

Propriétés	
Biologiques	Physico-chimiques
<ul style="list-style-type: none">• Biocompatibilité• Bactéricides (libération d'ions fluorures), mais diminue dans le temps	<ul style="list-style-type: none">• Réaction de prise sensible à l'humidité• Bonne adhérence• Bonne résistance• Insolubles• Non résorbables• Difficilement désobturables

Tableau 6 : Propriétés des ciments à base de verre ionomère (16)

1.3.2.4.5. Les ciments à base de silicone

Ces ciments ont été développés par Davis *et al.* en 1972. Le constituant principal de ces ciments est le polyméthylvinylsiloxane. A cela s'ajoutent des sels de platine (catalyseur) et du polyméthylhydrogensiloxane, du sulfate de baryum (radio-opacité). Ce ciment prend par polymérisation par addition et forme un réseau en 3-dimensions de polymères. C'est un ciment incompressible, adhérent, insoluble et stable chimiquement. (11) (16)

1.3.2.4.6. Les ciments à base de résine époxy

Les ciments à base de résine époxy sont apparus en Suisse en 1938 suite à l'invention de P. Castan, un chimiste. L'AH26®, développé dans les années 40 et introduit par Schroeder en 1957 présentait d'excellentes propriétés physiques et de scellement, mais également une certaine toxicité comme le montre l'étude de Feldmann and Nyborg en 1964. Ils ont démontré qu'après avoir été implanté depuis 1 jour dans des lapins, l'AH26® était plus irritant que de l'argent pur. En 1993, il a été observé par Spångberg *et al* que ce matériau libérait du formaldéhyde (toxique). L'AH Plus® a alors été créé sans formaldéhyde pour compenser ce défaut.

Ils sont composés de monomères de résine époxy de bas poids moléculaire qui réagissent avec des amines pour former un polymère solide. La réaction de prise est une polymérisation par addition. Les ciments époxy sont très utilisés et même considérés comme le ciment de scellement de référence par de nombreux auteurs.

Propriétés	
<i>Biologiques</i>	<i>Physico-chimiques</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Antibactérien • Agent mutagène • Cytotoxicité et réponse inflammatoire à court terme • Biocompatibles à moyen et long terme 	<ul style="list-style-type: none"> • Bonne adhésion aux parois canalaires mais diminuée si humidité trop importante • Très bonne étanchéité • Hydrophobes • Insolubles • Stabilité dimensionnelle • Résistance mécanique • Difficilement désobturables

Tableau 7 : Propriétés des ciments à base de résine époxy (9) (16) (17) (18)

Ces ciments étant très résistants et insolubles une fois pris, il est conseillé de les utiliser en tant que ciment de scellement associé à un cône de gutta-percha et non pas en pâte d'obturation seule afin de permettre le retraitement. (11) (16) (17)

1.3.2.4.7. Les ciments à base de résine méthacrylate

Les premiers ciments à base de résine méthacrylate sont apparus dans les années 70. Leur temps de travail insuffisant, la difficulté pour les éliminer en cas de retraitement, leur manque de radio-opacité et l'irritation qu'ils induisaient au niveau du péri-apex ont conduit au développement des générations suivantes. Celles-ci ont pour point commun la recherche d'une obturation « monobloc », c'est-à-dire avec un lien équivalent entre le ciment, la dent et le matériau d'obturation central par des liaisons covalentes. Ils sont associés à l'utilisation d'un primer auto-mordant (ex : Resilon®/Epiphany®). Ils ne sont plus commercialisés car leurs liens ester se dégradent. Une 4^e génération a ensuite été développée ainsi qu'une nouvelle technique d'obturation dite « de flottement du cône accessoire ». Cette technique introduite en 2010 consiste à utiliser un cône en résine méthacrylate flottant au milieu d'un ciment de même nature. (11)

1.3.2.4.8. Les ciments à base de silicates tricalciques/biocéramiques

Ces ciments seront abordés dans la seconde partie de cette thèse.

1.4. Techniques d'obturation actuelles

Il existe plusieurs techniques et matériaux utilisables pour l'obturation canalair. (8) (19)

- Pâte seule (ciment/pâte/résine)
- Techniques de gutta froide
 - Monocône (Cône Gutta Percha)
 - Technique de condensation latérale à froid
- Mixte
- Techniques de Gutta chaude

- Technique de compaction verticale à chaud
- Thermomécanique
- Technique d'obturation avec un tuteur (Thermafил)

Il n'a pas été mis en évidence de technique supérieure aux autres. Le praticien doit déterminer la technique à employer selon ses compétences, le cas clinique, la difficulté de mise en œuvre, le coût et l'efficacité recherchée.(7)

I.4.1. Techniques à base de pâte seule

Actuellement les techniques d'obturation à base de pâte seule présentent une rétraction de prise qui induit une perte d'adhérence à l'interface dent-pâte et engendre un espace entre la dent et le matériau d'obturation. Cela nuit à l'étanchéité de l'obturation. De plus avec ces techniques, le contrôle de la longueur d'obturation et de sa densité est un vrai problème. Les extrusions de matériau au-delà de l'apex sont plus fréquentes et peuvent engendrer des conséquences néfastes.(7) (8)

Cette technique n'est plus recommandée.

I.4.2. Techniques à base de Gutta Percha froide

I.4.2.1. Technique Monocône

Aujourd'hui, les praticiens cherchent l'efficacité au fauteuil via des matériaux et des techniques faciles à utiliser. La technique monocône est de plus en plus utilisée car elle est plus rapide et plus simple que la technique de condensation latérale à froid, d'autant plus avec l'apparition des instruments rotatifs en Nickel-Titane et les cônes de Gutta Percha calibrés. (20) (21) (22)

Le principe est d'introduire un cône de Gutta Percha enduit de ciment dans le canal. Celui-ci est choisi en fonction du dernier instrument rotatif utilisé (conicité et diamètre apical). Le ciment de scellement comble les vides entre le cône et les parois dentaires. Il en faut donc une plus grande quantité que dans les autres techniques. (23) (24)

Avec les ciments de scellement traditionnels, la technique ne permet pas une obturation tri-dimensionnelle efficace de l'endodonte. Ces ciments présentent une rétraction de prise non négligeable (AH Plus® : 1,76 % ; AH 26 ®: 1,46 % ; HERMETIC ®: 3,38 % ; Epiphany ®: 2,31 % ; Ketac Endo ®: 18,18 %) ou se dégradent dans le temps, ce qui crée des vides nuisibles à l'étanchéité et la pérennité de l'obturation. (12) Pour compenser ce défaut, des ciments hydrophiles, avec une adhésion aux parois canalaire et sans rétraction de prise ont été développés. Ils feront l'objet du deuxième chapitre de cette thèse. (22) (23)

I.4.2.2. Technique de condensation latérale à froid

C'est une technique où le praticien condense à froid avec un spreader un premier cône de Gutta Percha, ajusté préalablement au canal. Des cônes accessoires sont ensuite placés dans l'espace laissé libre par le spreader et sont condensés jusqu'à ce que l'espace soit comblé. Cette technique très répandue, a été considérée un certain temps comme la référence pour évaluer les autres procédés.

L'inconvénient est qu'elle est assez longue et n'est pas toujours possible lorsque les canaux sont fins et longs. De plus la compaction peut créer des microfissures au niveau de la racine à cause de la pression appliquée. (5) (20)

1.4.2.3. Technique mixte

Dans cette technique, la zone apicale est obturée par condensation latérale à froid, tandis que le reste du canal est obturé par compactage thermomécanique. Cela permet un scellement efficace tout en limitant le risque d'extrusion du matériau. (19)

1.4.3. Techniques de gutta chaude

Pour compenser la rétraction de prise rencontrée avec la technique monocône, des techniques nécessitant un volume moins important de ciment de scellement se sont développées : les techniques à base de Gutta Percha chaude (20) (23).

L'objectif est que la Gutta épouse au maximum les irrégularités des parois canalaire. Le ciment comble les anfractuosités restantes grâce à la pression hydraulique générée par le compactage de gutta. Comme il y a moins de ciment, les espaces liés à sa rétraction de prise ou à sa dégradation sont moins importants.

Cependant ces techniques présentent tout de même des inconvénients :

- Rétraction de la Gutta au refroidissement
- Les techniques nécessitant l'usage de fouloirs impliquent une préparation canalaire plus conique (et donc plus délabrante) pour amener ces derniers au tiers apical. Cela fragilise plus les racines.
- Ce sont des techniques plus longues à réaliser et leur succès est fortement lié à la dextérité de l'opérateur.

1.4.3.1. Technique de compactage vertical (technique de Schilder)

On crée un bouchon apical de gutta percha en ajustant un cône de gutta par plusieurs apports de chaleur via des fouloirs manuels ou électriques. Ce cône est ensuite foulé et l'espace restant comblé par un nouvel apport de gutta. Cette technique est chronophage et complexe à mettre en œuvre. A cause du diamètre des fouloirs, elle est inadaptée aux canaux courbes et fins.

1.4.3.2. Technique thermomécanique

Un instrument va réchauffer et compacter le matériau en une fois. Cela permet là aussi la création d'un bouchon apical de gutta.

1.4.3.3. Techniques avec un tuteur (plastique ou Gutta-Percha)

Le tuteur est chauffé et inséré jusqu'à la longueur de travail après avoir été enduit de ciment. La technique, relativement simple et rapide, est intéressante pour les canaux longs et courbes. (5) Le principal inconvénient de cette technique est la difficulté à retirer le matériau d'obturation en cas d'échec du traitement initial.

II. Les Ciments Biocéramiques - Présentation

II.1. Généralités :

II.1.1. Historique

L'évolution des ciments biocéramiques au cours des dernières décennies témoigne de l'intérêt croissant porté aux matériaux bioactifs permettant, au-delà de la simple réparation, une régénération des tissus pulpaire et péri-apicaux.

Les **ciments à base de silicate de calcium** sont apparus en 1878 avec le ciment de Portland. Celui-ci a été utilisé en tant que matériau pour l'obturation canalair jusqu'à l'apparition de son premier ciment dérivé dans les années 1990 : le Mineral Trioxide Aggregate (ProRoot MTA Gray®). (25)

Comme le ciment de Portland, il contient du silicate de calcium. En revanche c'est le premier **matériau endodontique à base de biocéramique**. Le MTA possédant une importante biocompatibilité et bioactivité, son utilisation s'est répandue. (26) Cependant, les premières formulations étaient difficiles à manipuler, prenaient trop lentement et induisaient des discolorations des dents traitées. Des produits alternatifs avec des formulations différentes ont alors été créés. C'est là qu'est apparu la Biodentine®. (25) Les premiers ciments biocéramiques tels que le MTA et la Biodentine étaient en réalité des matériaux de comblement des défauts dentinaires. Leur consistance ne permettait pas de les utiliser pour l'obturation endodontique classique. (26)

Ce n'est qu'en 2007 que le IRoot SP®, premier **ciment de scellement biocéramique** à base de silicate de calcium est apparu (27). Depuis, de nombreux autres ciments d'obturation canalaires biocéramiques ont été développés tels que le MTA Fillapex®, BioRoot, RCS®, Totalfill BC sealer®,... (9) Ces matériaux ont une composition et surtout une rhéologie adaptée à l'obturation canalair.(28)

II.1.2. Classification :

II.1.2.1. *Les biomatériaux*

Les biomatériaux, qu'ils soient synthétiques ou naturels, sont définis par leur capacité à remplacer ou « fonctionner » au sein/ à proximité des tissus vivants. Ils sont en contact étroit avec le corps humain sur le long terme et doivent donc être bien tolérés sur le plan biologique. Pour cela, ils sont censés être :

- Non-toxiques
- Non-carcinogènes
- Inertes chimiquement
- Stables
- Résistants sur le plan mécanique

Les biomatériaux proviennent principalement de 3 grandes catégories :

- les métaux
- les polymères
- les céramiques.

Ils sont utilisés comme dispositifs médicaux implantables seuls ou en association entre eux. (29)

II.1.2.2. Les biocéramiques

Les céramiques sont des matériaux ayant un corps vitrifié ou non, de structure cristalline ou partiellement cristalline, ou de verre, dont le corps est essentiellement formé de substances inorganiques et non métalliques.(28) Elles sont formées par la cuisson à haute température de constituants bruts et sont caractérisées par leur dureté, leur résistance à la corrosion et à l'usure, leur faible densité, leur rigidité et leur fragilité.

« *Céramique technique (matériau céramique inorganique, essentiellement non métallique, de haute technologie, à hautes performances, ayant des attributs fonctionnels spécifiques) employée dans un dispositif médical ou utilisée comme dispositif médical, qui est destinée à interagir avec des systèmes biologiques.* »

Définition de l'ASTM - 2014(30)

Les biocéramiques comprennent des matériaux céramiques biocompatibles et des oxydes métalliques ayant une capacité de scellement ainsi qu'une activité antibactérienne et anti-fongique améliorée.

Leurs domaines d'application sont nombreux : dentisterie, orthopédie, capteurs... pour restaurer fonctionnellement les tissus durs endommagés ou malades.

Les biocéramiques ont été introduites en endodontie comme ciment de restauration des défauts dentinaires puis comme ciment de scellement canalaire. L'idée était d'obtenir un matériau d'obturation fortement lié aux parois canalaires, avec une bonne capacité de scellement, biocompatible et désobturable. Un autre avantage de ces matériaux est que leurs propriétés sont conservées même en présence des fluides biologiques. (11) (29)

❖ Classification selon l'interaction avec les tissus environnants

Il existe plusieurs classifications des matériaux biocéramiques. Une des plus simples consiste à les classer selon leurs interactions avec les tissus environnants. On distingue :

- **Les matériaux bioactifs** : ces matériaux stimulent les tissus environnants pour créer un nouveau tissu plus résistant.
 - Dégradables : remplacés ou incorporés dans les tissus (les phosphates de calcium)
 - Non dégradables (les céramiques vitreuses, les verres bioactifs, les phosphates de calcium, l'hydroxyapatite, les silicates de calcium)
- **Les matériaux bio-inertes** : ils n'interagissent pas avec les tissus environnants et n'ont donc pas d'effets biologiques ou physiques. Ex : la zircone et l'alumine (12)

Les biocéramiques utilisées dans le cadre de l'endodontie présentent des propriétés intéressantes telles que : la biocompatibilité, la bioactivité, une stabilité dimensionnelle, et une ostéo-conductivité. Elles peuvent induire une régénération des tissus humains, ce qui nous intéresse dans le cadre des traitements mis en œuvre au cabinet dentaire. (31)

❖ Classification selon le composant principal

Les ciments biocéramiques utilisés en endodontie peuvent également être classés selon leur composant principal. On distingue 2 grandes catégories (31) :

- **A base de Phosphate de Calcium/ Phosphate tricalcique/Hydroxyapatite**
Leurs indications se limitent actuellement aux coiffages pulpaire et aux techniques de comblement osseux. Il existe quelques ciments de scellement à base de phosphate de calcium mais ils sont peu représentés dans les études de ces 5 dernières années.
- **A base de Silicate de Calcium**
Ce sont les ciments biocéramiques majoritairement utilisés en endodontie et donc les plus représentés dans les études récentes. Dans cette thèse, les ciments à base de silicate de calcium désigneront par extension les ciments biocéramiques.

Selon les auteurs, on retrouve dans la littérature une 3^e catégorie : les ciments à base de MTA (12) (28). Cette 3^e catégorie peut se discuter étant donné que le MTA, comme nous l'avons dit plus haut, est un dérivé du ciment de Portland, lui-même basé sur des silicates de calcium.

II.2. Composition

La composition des ciments biocéramiques est variable selon le fabricant comme on peut le constater dans le tableau 7. Les ciments à base de silicates de calcium comportent des phases hydrophiles de silicates di/tri/tetra calciques. Les constituants les plus fréquemment retrouvés sont :

- Silicate de calcium (étanchéité, bioactivité)
- Hydroxyde de calcium
- Radio-opacifiants : Oxyde de zirconium, oxyde de bismuth, oxyde de tantale, zirconate de baryum (11)
- Agents épaississants
- Charges

Au cas par cas on peut également trouver :

- Phosphates de calcium monobasiques (IRoot SP®)
- Résine (MTAFillapex®)
- Povidone (adhésion à la gutta-percha)
- Chlorures de calcium (réduction du temps de prise)
- Eau (agent de prise)

Ces ciments ne contiennent pas d'eugénol. Une restauration coronaire composite est donc envisageable dans la même séance que l'obturation canalaire afin de sceller hermétiquement la dent au plus vite. Le collage de tenon fibré dans les canaux traités par ciment biocéramique est également possible et la force d'adhésion de ceux-ci n'est pas impactée. (12)

Ils sont disponibles sous plusieurs viscosités selon leur utilisation (ciment de scellement, ou matériaux de comblement des défauts dentinaires). Leur conditionnement est variable selon le fabricant, on trouve actuellement des mélanges :

- **Poudre/liquide** (ex : BioRoot RCS®)
- **Pâte/Pâte** (ex : MTA Fillapex®)
- **Seringues auto-mélangeuses** (ex : EndoSequence BC Sealer®)

Bien que plus coûteuses, ces dernières gagnent en popularité car elles sont plus ergonomiques. Elles permettent d'éviter l'hétérogénéité, la porosité ou la différence de volume qu'on peut avoir avec les mélanges poudre/liquide et sont directement injectables dans le canal.

Certaines marques proposent également des cônes de gutta percha incluant des particules de biocéramique afin d'optimiser la liaison entre le ciment et le matériau d'obturation. D'autres tel le BioRoot RCS® contiennent de la povidone dans le ciment afin de pouvoir être utilisé avec tout type de cône de Gutta Percha. Ce paramètre doit être pris en compte lors du choix du système utilisé au cabinet. (32) (33) (23)

A l'heure actuelle les ciments les plus étudiés selon l'étude de Lim M. and al. sont le IRoot SP®, le MTA Fillapex®, l'EndoSequence BC®, le BioRoot RCS®, l'EndoSeal MTA®. Le TotalFill BC® est également fréquemment retrouvé dans les études récentes mais comme le tableau 7 le montre sa composition est la même que celle de l'EndoSequence BC®.

Rq : EndoSequence BC®, Total Fill BC® correspondent au même ciment. Seul le nom commercial change. (11)

Produits	Composition
<i>I Root SP</i>	Oxyde de zirconium, silicate de calcium, phosphate de calcium monobasique, hydroxyde de calcium, agents épaississants, charges
<i>MTA Fillapex</i>	Pâte A : résine salicylate, trioxyde de bismuth, silice fumée Pâte B : silice fumée, dioxyde de titane, MTA (40% silicate tricalcique, silicate dicalcique, oxyde de calcium, aluminate tricalcique), base résine (pentarythitol, rosinat, p-toluenesulfonamide)
<i>EndoSequence BC Sealer</i>	Oxyde de zircone 35-45%, silicate dicalcique 7-15%, silicate tricalcique 20-35%, hydroxyde de calcium 1-4%, charges
<i>TotaFill BC Sealer</i>	Oxyde de zircone 35-45%, silicate dicalcique 7-15%, silicate tricalcique 20-35%, hydroxyde de calcium 1-4%, charges
<i>BioRoot RCS</i>	Poudre : silicate tricalcique, oxyde de zirconium, exipients Solution aqueuse : chlorure de calcium et exipients
<i>Endoseal MTA</i>	

	Silicate de calcium, aluminat de calcium, aluminoferrite de calcium, sulfates de calcium, radioopacifiants, agents épaississants
--	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tableau 8 : Principaux ciments biocéramiques et leur composition chimique (9)

II.3. Mécanisme de prise

Les ciments biocéramiques sont composés de nanoparticules hydrophiles de silicates de calcium (di/tri/tétra). Celles-ci pénètrent dans les tubuli dentinaires où la réaction de prise, **une hydratation**, est initiée et accélérée grâce à l'humidité présente dans ces tubuli.

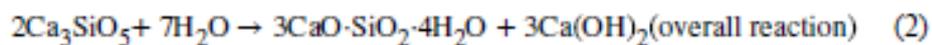
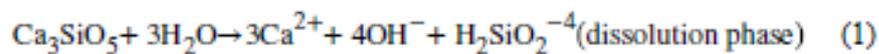


Figure 2 : Schéma de la réaction d'hydratation des ciments biocéramiques au contact de l'humidité dentinaire (34)

Au contact de la composante hydrique dentinaire, les silicates de calcium réagissent pour former une matrice hydratée de silicate de calcium et libérer de l'hydroxyde de calcium. Cela augmente le pH et fait précipiter en hydroxyapatite le phosphate présent dans les fluides biologiques. On obtient alors une **adhésion chimique** aux parois canalaire et le scellement étanche des canaux dentaires. Selon les études, les ions hydroxyde de calcium continuent d'être relargués un mois après la réaction de prise, ce qui stimule la régénération des tissus environnants.

On obtient également une **adhésion micromécanique** grâce à l'imbrication du ciment dans les parois canalaire par création d'une couche hybride appelée « **zone d'infiltration minérale** ». Cette dernière se forme suite à la pénétration du ciment dans les tubuli dentinaires et à la dénaturation des fibres de collagène de la dentine grâce au pH très alcalin des ciments biocéramiques. (3) (11) (12) (27)

II.4. Avantages et inconvénients

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">• Biocompatibilité• Bioactivité• pH alcalin persistant (antibactérien)• Radio-opacité• Etanchéité qui s'améliore dans le temps• Bonne mouillabilité et fluidité• Adhésion chimique à la dentine• Expansion de prise• Sans Eugénol• Matériau de remplissage et de scellement à lui seul	<ul style="list-style-type: none">• Manque de recul clinique• Difficile à désobturer• Temps de prise long (pas de logement de tenon dans la séance)• Humidité suffisante nécessaire• Coût

Tableau 9 : Tableau récapitulatif des avantages et des inconvénients des ciments biocéramiques (9) (12) (23) (31) (35) (36) (29) (28)

Les propriétés des ciments biocéramiques par rapport aux ciments traditionnels seront développées plus en détail au prochain chapitre.

II.5. Indications des ciments biocéramiques

Les biocéramiques au sens large sont utilisées comme matériaux de comblement des défauts osseux. Elles absorbent les substances ostéoinductrices lorsqu'un processus de guérison osseuse se déroulent à proximité. Elles se résorbent ensuite. (31)

❖ Indications des biocéramiques en endodontie (MTA, Biodentine,...)

Les indications des **ciments biocéramiques** sont variées. Elles concernent principalement des actes de spécialiste en endodontie. Leur grand intérêt étant leur bioactivité, elles sont utilisées pour le :

- traitement des perforations, stripping, zipping
- obturation rétrograde
- apexification et apexogénèse
- obturation des résorptions
- coiffage pulpaire direct
- pulpotomie

❖ Indications des biocéramiques en omnipratique (BioRoot RCS, ...)

Ces dernières années, des **ciments de scellement biocéramiques**, adaptés à l'**obturation orthograde**, se sont développés. Ils sont intéressants notamment :

- Quand l'anatomie canalaire est simple (le retraitement étant jugé plus difficile avec ces ciments, de plus la technique monocône bien qu'intéressante n'est pas la plus indiquée en cas d'anatomie complexe) (20)
- Quand une LIPOE (lésion inflammatoire périradiculaire d'origine endodontique) est présente
- Quand une fragilité radiculaire est constatée (car l'utilisation de la technique monocône est moins délabrante). (27)

Rq: *En cas de dentine sclérosée, la prise de ces ciments peut-être fortement allongée. Ils ne paraissent donc pas indiqués chez les personnes âgées, aux canaux minéralisés ou en cas de retraitement.*

Les fabricants ne recommandent pas d'utiliser ces ciment de scellement pour le traitement de perforations, le coiffage pulpaire,... pour lesquels d'autres produits sont disponibles.

II.6. Technique d'obturation recommandée

Face aux limites des ciments traditionnels, les industriels ont cherché des matériaux d'obturation ayant : une stabilité dimensionnelle, si possible adhérent aux parois dentinaires, avec une fluidité adaptée à la mise en place dans le canal et biocompatibles. (23) (28)

Les ciments biocéramiques correspondent à ces critères et présentent également :

- Légère **expansion de prise** : évite la formation de vide pendant la prise
- Excellente **mouillabilité** et donc une bonne capacité de pénétration dans les anfractuosités canalaires et ce sans pression hydraulique complémentaire.
- **Biocompatibilité**
- **Hydrophilie** (vue soit comme un avantage, soit comme un inconvénient par les auteurs car se pose la question du contrôle de l'humidité présente dans le canal) (37)

Les industriels recommandent donc l'utilisation des ciments biocéramiques avec une **technique monocône**. Cette technique présente de nombreux avantages :

- **Augmentation de l'efficacité clinique** lors de l'obturation, ce qui pourrait améliorer le pronostic global des traitements endodontiques.
- **Plus simple** à mettre en œuvre et donc plus reproductible tout en étant moins chronophage.
- Par ailleurs, elle ne nécessite **pas d'achat de matériel** spécifique.

- **Préparation plus conservatrice des parois canalaires.** (36) Cette dernière ainsi que l'absence de pression longitudinale ou latérale lors de l'obturation permet de diminuer le risque de fracture radiculaire suite au traitement. On évite également un traumatisme du parodonte suite à l'élévation de la température générée par les instruments.

Plusieurs études s'accordent pour dire qu'avec les ciments biocéramiques, cette technique est fiable et que les taux de succès sont comparables avec ceux de l'obturation verticale à chaud avec un ciment à base de résine époxy. Dans leur étude, Jeong et al. ont démontré que la qualité de l'obturation finale avec les ciments à base de silicate de calcium était indépendante de la technique d'obturation utilisée. (9) (38) (39) Dans certains cas, les fabricants déconseillent même les techniques à chaud qui modifieraient les propriétés physiques du ciment.

La technique monocône a toutefois des limites. En cas de canaux ovalaires ou larges, il est conseillé d'utiliser des aides à l'injection du ciment en complément de la technique monocône, comme une seringue avec un embout intra-canalair ou un lentulo. Cela vise à limiter la création de bulles au sein de l'obturation. (20)

En cas d'anatomie complexe, la technique monocône ne permettra pas d'obturer tri-dimensionnellement le système endodontique. Le praticien devra alors se tourner vers des ciments plus conventionnels en association avec des techniques d'obturation à chaud. Une autre option est d'utiliser l'EndoSequence Hi-Flow®, un ciment biocéramique développé récemment pour l'obturation à chaud.

Exemples :

❖ **EndoSequence BC Sealer**

Dans une étude rétrospective *in vivo* incluant 307 dents avec un suivi moyen de 30.1 mois publiée en 2018, **Elizabeth A. Chybowski et al.**, ont obtenu un taux de succès de 90.9% des traitements endodontiques après obturation par technique monocône à l'aide de l'EndoSequence BC Sealer. Ce chiffre inclut le résultat des traitements endodontiques initiaux et des retraitements car les auteurs n'ont pas trouvé de différence significative entre leurs taux de réussite. En revanche le pronostic était meilleur pour les lésions péri-radicales < 5mm que pour celles > 5mm.

Ces résultats sont cohérents par rapport à ceux de l'étude de Toronto publiés en 2008 (40). Le taux de succès des traitements initiaux était alors de 86% après 4 à 6 années post-opératoires. Lors d'une autre étude, publiée en 2011 et incluant 702 dents (41), le taux de succès trouvé était de 89.1% pour les traitements initiaux et de 85.6% pour les retraitements.

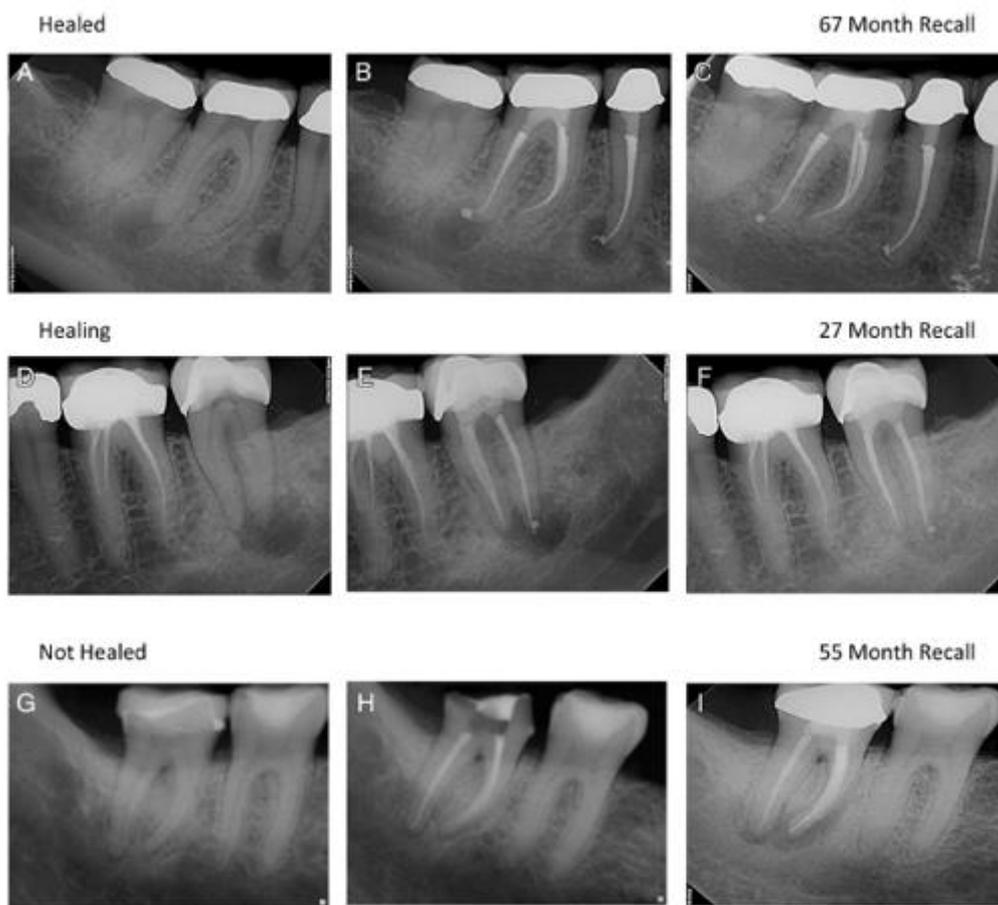


Figure 3 : Suivi radiographique de 3 dents traitées par EndoSequence BC Sealer (de gauche à droite, radio pré, per et post-opératoire) (36)

Sur les dents traitées, 47.4% présentaient une extrusion de ciment visible sur les radiographies post-opératoires sur 1 ou plusieurs racines. Cette extrusion est fréquemment observée dans les traitements par EndoSequence BC Sealer à cause de sa grande fluidité, notamment en cas de radioclarité péri-apicale pré-opératoire (66.2% d'extrusions contre 30.9% sans radioclarité). Pour autant, les résultats n'ont pas révélé une incidence de ce facteur sur le pronostic du traitement. Et pour cause, bien que le devenir du ciment extrusé dans les tissus péri-apicaux pose toujours question entre :

- **Présence persistante** car les silicates de calcium sont peu solubles.
- **Résorption du ciment** par interaction avec les tissus environnants pour former de l'hydroxyapatite qui va stimuler la régénération de ces derniers. Celle-ci serait à terme remplacée par de l'os natif.

Dans cette étude la moitié des cas d'extrusion présentait des signes de résorption partielle ou totale du ciment extrusé. (36)

❖ **BioRoot RCS**

Dans le cas du BioRoot RCS, on recommande de l'utiliser avec au choix la technique monocône ou la technique de condensation latérale à froid. (27) En effet, les techniques de compaction à chaud accélèrent le temps de prise et l'épaisseur du ciment par élévation thermique. Les propriétés chimiques du ciment restent cependant les mêmes (42).

L'étude de Zavattini et al. publiée en 2020 a évalué le taux de succès entre une obturation verticale à chaud en association avec un ciment à base de résine époxy (l'AH Plus) et une obturation monocône avec un ciment biocéramique (BioRoot™ RCS). Les taux de succès, respectivement de 80 et 84%, ne mettaient pas en évidence une différence significative. On peut donc conclure d'après les résultats de cette étude que les deux techniques sont équivalentes du point de vue du résultat obtenu. (24)

La compaction latérale à froid est également utilisable, mais moins intéressante avec ces ciments car plus chronophage pour une même qualité d'obturation. (43)

La stabilité dimensionnelle et l'insolubilité des ciments biocéramiques dans les fluides biologiques permet même de les **utiliser seuls comme matériaux d'obturation**. Cependant leur désobturation est alors problématique, c'est pourquoi les différentes études recommandent d'utiliser un maître cône et de s'assurer qu'il aille jusqu'à la longueur de travail. Celui-ci va contribuer à l'enduction des parois canalaires et guider les instruments lors du retraitement s'il est indiqué. (37)

Le nouvel axe de développement concerne la création d'un monobloc tertiaire entre le matériau d'obturation, le ciment biocéramique et les parois canalaires. Pour cela, certaines sociétés commercialisent des cônes enduits d'une couche de biocéramique pour permettre une meilleure adhésion du ciment au cône. (23)

II.7. Coût

L'un des obstacles à l'utilisation des ciments biocéramiques en omnipratique est leur coût, généralement plus élevé que celui des ciments traditionnels. Ce coût est néanmoins très variable selon le ciment en question, son conditionnement, le vendeur et la quantité commandée.

Le conditionnement en seringue auto-mélangeuse est le plus coûteux. Il semble plus intéressant économiquement d'utiliser les formes à spatuler ou à vibrer. Cependant l'utilisation d'une seringue peut permettre d'avoir moins de gâchis de matériaux. Il faut aussi prendre en compte la compatibilité ou non du ciment avec les cônes de gutta classiques.

	Poudre/Liquide	Pâte/Pâte	Seringues auto-mélangeuses
Oxyde de zinc eugénol	Sealite Regular (25g+10ml) : 123.80€ Pulp Canal Sealer (10.5g+ 4ml) : 131.56€	Tubli Seal (14g) : 57.86€	Tubli Seal Xpress (2 x 10.7g) : 92.40€
Hydroxyde de calcium		Sealapex (12+2g) : 44.80€	Apexit Plus (2 x 6g) : 87.60€
Résine		AH Plus (4+4ml) : 155.52€	AH Plus Jet (5g) : 146.83€

Biocéramiques	BioRoot RCS (15g + 35 doses liq) : 159€	MTA Fillapex (18+12g) : 80.78€	MTA Fillapex (4g) : 33.76€ Totalfill BC Sealer (2g) : 191.04€ EndoSequence BC Sealer (2g) : 138.98€
----------------------	------------------------------------------------------	------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

*Tableau 10 : Tableau comparatif du prix de différents ciments selon leur composition et leur présentation
(44) (45) (46) (47) (48) (49) (50) (51) (52) (53) (54) (55)*

Rq: les tarifs mentionnés dans ce tableau ne le sont qu'à titre comparatif et peuvent fortement varier selon le site de vente. Ils ne tiennent pas compte des offres promotionnelles en cours.

III. Propriétés des ciments biocéramiques par rapport aux ciments traditionnels

III.1. *Propriétés des ciments biocéramiques*

III.1.1. Physiques

III.1.1.1. *Fluidité*

Des micro-organismes pathogènes peuvent persister dans les canaux latéraux et les aspérités des parois canalaires, inaccessibles aux instruments et aux irrigants. Différents facteurs peuvent entraver leur obturation tels que : persistance de tissu pulpaire, présence de boue dentinaire, absence de perméabilité du canal principal, diamètre des canaux à obturer, localisation (tiers apical, médian, ...).

Si des micro-organismes se développent, ils peuvent compromettre la pérennité du traitement endodontique, il est donc important de sceller l'ensemble du système canalaire. Pour cela, les ciments de scellement doivent avoir une certaine fluidité afin de pénétrer au maximum dans les irrégularités des parois dentinaires.

Selon la norme **ISO 6786/2001**, le degré de fluidité d'un ciment de scellement canalaire ne doit **pas être inférieur à 20mm**.

Exemples :

- Pour l'**EndoSequence BC Sealer®** le degré de fluidité mis en évidence varie de 23.1mm à 26.96mm.
- Pour le **MTA Fillapex®**, le degré de fluidité rapporté est de 22 mm/ 24.9 mm/29.04mm selon les études. (12)
- Pour le **BioRoot RCS®**, le degré de fluidité rapporté est de 26.99 mm.(56)

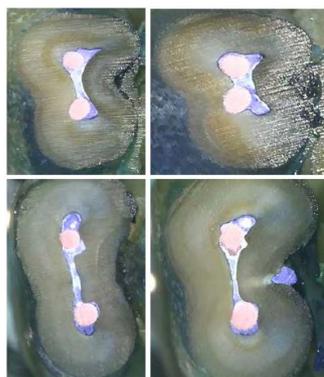


Figure 4 : Coupes horizontales de racines obturées avec le TotalFill BC® (microscopie optique) (23)

Les ciments biocéramiques sont **hydrophiles**. Leur **fluidité** associée à un **angle de contact élevé** font qu'ils ont une excellente mouillabilité. Concrètement, cela se traduit par une bonne capacité d'étalement sur la dentine et de pénétration dans les irrégularités canalaires même en l'absence de pression hydraulique (cf figure 3). (23) L'étude de Jung-Hong et al, a montré que les ciments hydrophiles tels que l'EndoSequence BC Sealer® ont une meilleure capacité d'adhésion que les ciments hydrophobes tels que MTA Fillapex® et AH Plus®. (35)

Mais bien que les ciments biocéramiques soient conformes à la norme ISO 6786/2001, l'étude de Aikatla et al. de 2018 a mis en évidence une fluidité et une pénétration dentinaire supérieure pour l'AH Plus® par rapport au MTA Plus® et au BioRoot RCS®. Ces derniers présentaient également une adaptation inférieure aux parois canalaires. (4) Ces résultats confirment ceux de l'étude de Zhou et al en 2013 qui ont mis en évidence une viscosité plus importante des ciments biocéramiques par rapport aux ciments époxy. En revanche, ils sont plus fluides que les ciments oxyde de zinc eugéno.(57)

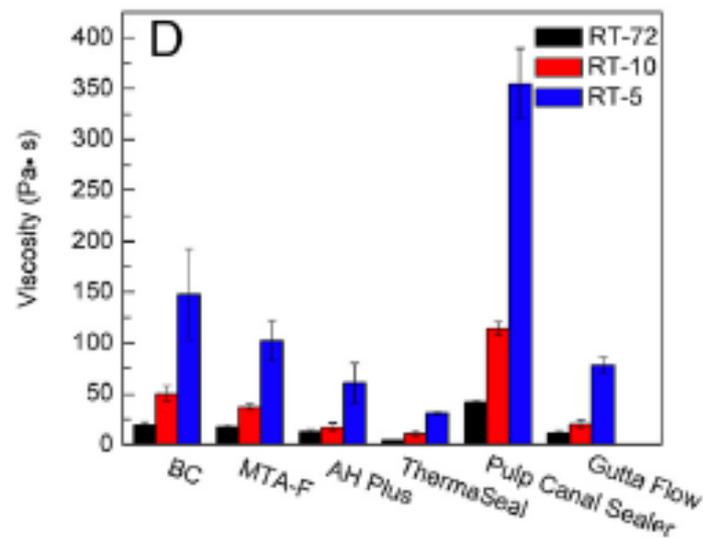


Figure 5 : Graphique illustrant la viscosité de 6 ciments différents en fonction de 3 vitesses d'injection (de gauche à droite : 72mm/min, 10mm/min, 5mm/min) (57)

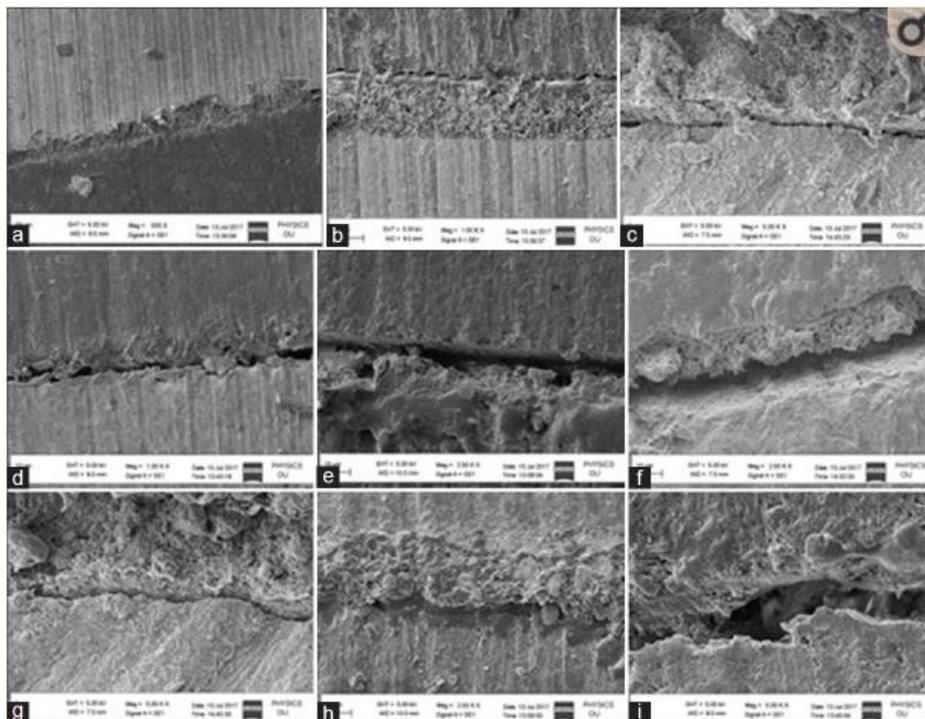


Figure 6 : Images aux MEB : AH Plus® (a,b,c), BioRoot RCS® (d,e,f) et MTA Plus® (g,h,i) au tiers coronaire, médian et apical du canal (4)

Il y a actuellement peu d'informations concernant la pénétration des ciments biocéramiques dans les canaux latéraux. Une étude comparant l'AH Plus® et l'EndoSequence BC Sealer® a conclu que leur capacité à obturer les canaux latéraux était similaire quel que soit leur localisation. En revanche, le diamètre des canaux pouvait jouer sur la pénétration du ciment dans le cas de l'EndoSequence BC Sealer®. Cette étude se basait sur des canaux artificiels, ses résultats nécessitent d'être confirmés par d'autres recherches.(58)(59)

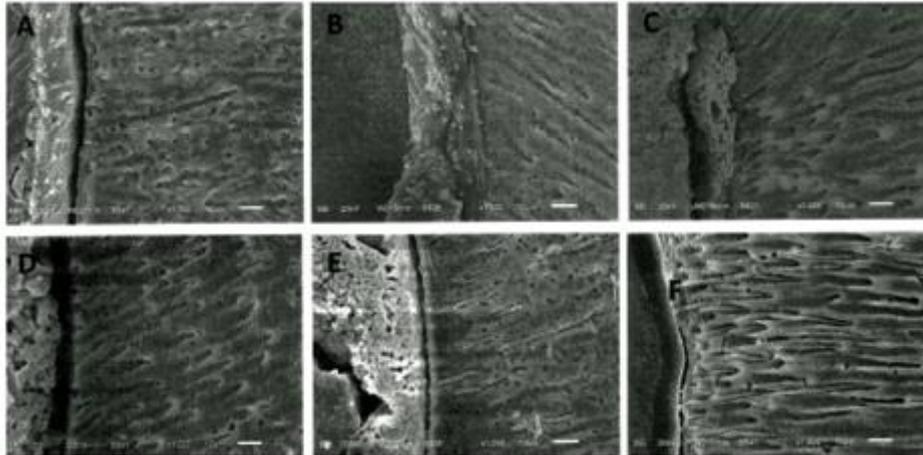


Figure 7 : Image au MEB de section apicale de racines obturées par GP/AH Plus® (en haut) et GP/EndoSequence BC Sealer® (en bas) à 24h, 7j et 4 semaines (59)

Une autre étude comparant l'Root SP® par rapport à l'AH Plus® a mis en évidence une qualité d'obturation similaire entre les deux ciments avec une meilleure pénétration des tubuli dentinaires du ciment biocéramique. C'est probablement dû à son importante fluidité et aux particules plus fines qui le composent.(18)

III.1.1.2. Porosité

Il semblerait que les ciments biocéramiques soient moins poreux que les ciments à base de résine époxy selon l'étude de Guerrero et al. En effet, lors de l'analyse microscopique, les chercheurs ont trouvé que le MTA Fillapex® et le BioRoot RCS® avaient une porosité inférieure à l'AH Plus®. Le volume des pores au millimètre cube était également inférieur pour les ciments biocéramiques, avec une nette supériorité du MTA Fillapex®. (60)

III.1.1.3. Etanchéité

Aucun des matériaux d'obturation actuels n'est complètement imperméable aux bactéries, a fortiori en l'absence d'une restauration coronaire étanche. (61)

Dans la plupart des études, les ciments traditionnels à base de résine ont démontré qu'ils s'infiltraient moins que les ciments à base de silicates de calcium. Cependant, d'autres études utilisant une technique de pénétration des colorants ont mis en évidence un résultat inverse. Cela peut s'expliquer par la variabilité dans le temps de la résistance à l'infiltration des ciments (traditionnels/à base de silicate de calcium). (9)

Exemple :

Dans l'étude d'Asawworarit et al. à toutes les périodes de test, c'est l'EndoSequence BC Sealer® qui s'infiltré le moins par rapport à l'AH Plus®. On constate également que son étanchéité est meilleure à 4 semaines après prise qu'à 24h. D'après ces auteurs, le ciment à base de silicates de calcium a une meilleure capacité de scellement au long terme que l'AH Plus®. (59)

Test periods	Apical microleakage values (nl/s at 200mmHg)	
	EndoSequence BC Sealer®	AH Plus®
24h	0.651 ± 0.097 ^{A,a}	4.013 ± 1.302 ^{C,b}
7 days	0.325 ± 0.136 ^{B,c}	0.941 ± 0.045 ^{D,d}
4 weeks	0.288 ± 0.092 ^{B,e}	0.880 ± 0.188 ^{D,f}

Tableau 11 : Tableau comparatif des micro-infiltrations apicales après prise de 2 ciments à 3 durées différentes (59)

Les ciments à base de silicate de calcium forment une « zone d'infiltration minérale » avec une structure semblable aux tags des colles composites par un processus de biominéralisation. On estime que cela peut influencer positivement l'étanchéité de l'obturation.

❖ **Important à prendre en compte**

Les solutions d'irrigation canalaire peuvent également influencer l'étanchéité de l'obturation. Pour les ciments à base de silicate de calcium, le rinçage final à l'EDTA (acide éthylènediaminetétraacétique) peut perturber la réaction de prise. On perd alors en biocompatibilité et en résistance. En revanche l'hypochlorite de sodium (NaOCl) créerait un environnement alcalin favorable à la réaction de prise, ce qui améliore l'étanchéité de l'obturation. (9) (62) Cette affirmation ne fait pas l'unanimité, une autre étude conseille un rinçage au sérum physiologique avant l'obturation, le NaOCl pouvant altérer la réaction de prise.(27)

Ces deux irrigants faisant partie des solutions recommandées et couramment utilisées dans les traitements endodontiques, il serait intéressant d'avoir plus de recherches sur le sujet afin de statuer sur leur impact.

Une solution envisageable serait de désinfecter les canaux à l'aide de lasers Nd : YAG. Ces derniers sont déjà utilisés en endodontie pour leur effet antibactérien et il semblerait que leur utilisation n'impacte pas la profondeur de pénétration dans les tubuli des ciments biocéramiques. Peu d'études sont cependant parues sur le sujet pour statuer sur leurs interactions avec ces ciments.(63)

III.1.1.4. Résistance mécanique des dents traitées

On considère que les dents traitées endodontiquement sont plus fragiles et sujettes aux fractures radiculaires que les dents vitales. Les ciments biocéramiques ont une adhésion chimique à la dentine et induisent une minéralisation et une

précipitation d'hydroxyapatite. On peut alors se demander s'ils renforcent les dents qu'ils obturent.

Contrairement à cette hypothèse, les résultats de l'étude de Almohaimede et al., publiés en 2020, tendent à montrer que les ciments biocéramiques (ici TotaFill Sealer®) tout comme les ciments époxy n'augmentent pas la résistance mécanique des dents.(64) (65) En revanche, la résistance mécanique des dents traitées par ces ciments est meilleure que celle des dents traitées à l'aide des ciments à base d'hydroxyde de calcium comme le montre l'étude de Topçuoğlu et al. (66)

Le développement de cônes de Gutta chargés en biocéramique constitue une piste de recherche dans ce domaine. L'association cône + ciment + dentine formerait alors un monobloc tertiaire se rapprochant de la résistance d'une dent non traitée endodontiquement. Cela améliorerait également la pérennité de l'obturation en limitant la création de vides. Ces hypothèses restent à étudier. (23) (27) (67)

III.1.1.5. Retraitabilité

Les différentes études s'accordent à dire que les ciments biocéramiques sont désobturables lorsque l'anatomie canalaire ne présente pas de difficulté. Cependant, les techniques actuelles ne permettent pas de les retirer intégralement. De plus, si le retraitement est possible, l'acte technique reste plus chronophage, même lorsque le cône de Gutta Percha va jusqu'à la longueur de travail ce qui est loin d'être toujours le cas. (15)

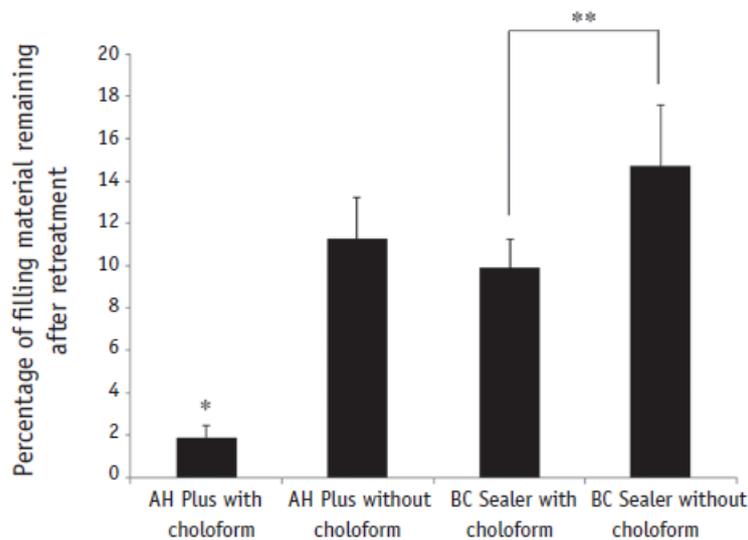


Figure 8 : Pourcentage de matériau résiduel après désobturation avec ou sans chloroforme (14)

La désobturation, de l'EndoSequence BC Sealer® notamment, est plus compliquée que celle des ciments traditionnels. La chaleur, le chloroforme, les instruments rotatifs ou manuels permettent difficilement son retrait. (12)

Solvants efficaces sur le MTA Fillapex®(68) :

- Chloroforme
- Endosolv E®
- Eucalyptol

Bien que ces solvants permettent d'obtenir une perméabilité canalaire et d'atteindre la longueur de travail désirée, leur effet notamment dans le cas du Chloroforme reste inférieur par rapport à l'AH Plus® comme le montre la figure 5. Il reste en effet beaucoup plus d'EndoSequence BC Sealer® sur les parois canalaire que d'AH Plus®. Il serait intéressant de poursuivre les recherches pour trouver un solvant plus efficace sur ce type de ciment. (14)

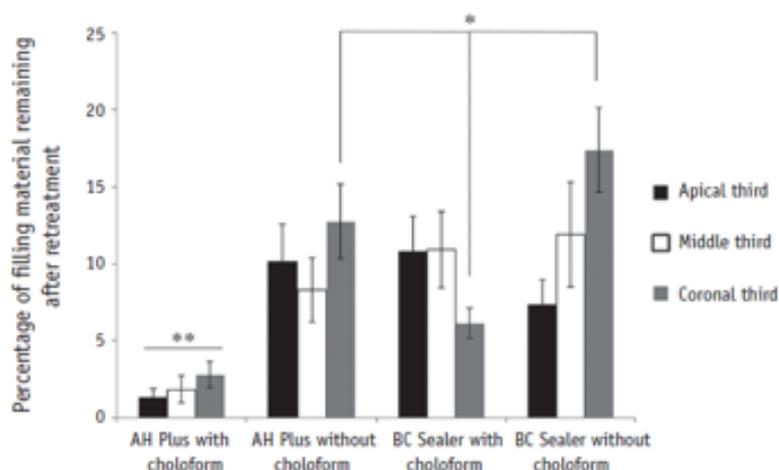


Figure 9 : Pourcentage de matériau d'obturation résiduel après retraitement avec ou sans chloroforme au tiers apical, médian et coronaire pour l'APH Plus® et EndoSequence BC Sealer®. (14)

III.1.2. Chimiques

III.1.2.1. Temps de prise

Dans le cas d'un ciment de scellement, le temps de prise idéal comprend un temps de travail correct. En revanche, s'il est trop long cela induirait une irritation des tissus environnants, la plupart des ciments ayant une certaine toxicité avant leur prise complète. Dans le cas des ciments biocéramiques cette réaction est catalysée par l'humidité résiduelle des canaux. Le temps de prise est donc très variable selon les conditions.

❖ L'exemple de l'EndoSequence BC Sealer® :

Le temps de prise normal est de 4h à 10h selon le fabricant. Chez les patients avec une sclérose dentinaire importante, après séchage aux cônes papiers ou présence de boue dentinaire, la prise complète peut demander au moins 168h d'après l'étude de Loushine et al.. A l'inverse Zhou et al. ont constaté un temps de prise de 2.7 heures. (12)

Sealer	Setting Times
TotalFill BC	4-10 h
BioRoot RCS	4 h
AH Plus	24 h
Tubli-seal	2 h

Figure 10 : Temps de prise de différents ciments selon le fabricant (12)

III.1.2.2. Expansion de prise

L'expansion de prise des ciments biocéramiques évite la formation de vide lors de la réaction de prise. Celle-ci est relativement minimale et inférieure à 0.1%. (23) (36) Dans le cas de l'EndoSequence BC Sealer® : l'expansion de prise est de 0.20 (59)

Ratio (%)	6 hours	24 hours	72 hours	7 days	14 days	30 days
Radic-Sealer	0.42 ± 0.33 ^{AB}	0.62 ± 0.35 ^{BC}	0.98 ± 0.28 ^{CC}	1.73 ± 0.39 ^{DD}	2.22 ± 0.28 ^{DE}	2.69 ± 0.32 ^{EE}
AD Seal	0.21 ± 0.27 ^A	0.55 ± 0.32 ^{AB}	1.20 ± 0.39 ^{BB}	2.07 ± 0.56 ^{CC}	2.88 ± 0.54 ^{DD}	3.41 ± 0.76 ^{DD}
AH-Plus	0.10 ± 0.64	0.13 ± 0.65 ^b	0.23 ± 0.55 ^b	0.24 ± 0.64 ^b	0.25 ± 0.54 ^c	0.35 ± 0.51 ^c
EndoSeal MTA	0.36 ± 0.32	0.33 ± 0.28 ^{ab}	0.25 ± 0.34 ^b	0.14 ± 0.33 ^b	0.23 ± 0.29 ^c	0.21 ± 0.31 ^c

^{ABC} Different letters in each column indicate significant difference between groups at the same period ($P < 0.05$).

^{A,B,C,D,E} Different capital letters indicate significant difference during the time periods in the same material ($P < 0.05$).

Figure 11 : Stabilité dimensionnelle de 4 ciments de scellement à 6 temps donnés sur 30j après la prise (17)

III.1.2.3. Solubilité

La solubilité et l'absorption hydrique d'un ciment sont directement liées à sa stabilité dimensionnelle. Celle-ci jouant sur l'étanchéité du joint dent-ciment et sur la pérennité de l'obturation canalaire. La norme ISO 6876/2012, en conformité avec l'ANSI/ADA, précise que la solubilité des ciments d'obturation canalaire ne doit pas dépasser 3% de leur masse après immersion dans l'eau.

❖ Exemples :

L'EndoSequence BC Sealer répond aux critères de la norme ISO d'après l'étude de Zhou et al. Celle-ci était de 2.9%, donc dans la norme mais bien supérieure à celle des cinq autres ciments testés. (57)

Concernant le MTA-Fillapex®, les résultats des différentes études sont contradictoires. L'étude de AL-Haddad et al. a mis en évidence son importante solubilité (14.89%) en accord avec l'étude de Viapiana et al. Cette dernière serait due à la présence dans le ciment de nanoparticules hydrophiles qui augmenteraient sa surface de contact avec les fluides biologiques. L'étude de Vitti et al. et celle de Zhou et al. constatent en revanche une solubilité <3%. Selon AL-Haddad et al., cette variabilité des résultats viendrait d'une différence de protocole lors du séchage des échantillons après les tests de solubilité. (12)

En ce qui concerne le BioRoot RCS® et le IRoot SP®, plusieurs études ont mis en évidence une perte de plus de 3% de leur masse après leur immersion dans

l'eau. En effet le BioRoot RCS® aurait une absorption hydrique initiale importante. Celle-ci diminue dans les 7 jours suivant la prise. (9)

De manière générale, les ciments biocéramiques sont plus solubles que les ciments à base de résine époxy. (69) Ce n'est cependant pas complètement négatif car les propriétés des ciments à base de silicates de calcium sont liées à la solubilité du ciment. Cette absorption hydrique permet une légère expansion de prise favorable à l'étanchéité du joint.

III.1.2.4. Adhésion

L'estimation de la résistance de l'interface entre le ciment et la dentine radiculaire se fait grâce à la mesure de la force nécessaire pour séparer ces mêmes éléments.

Les ciments à base de silicates de calcium ont une excellente adhésion à la dentine grâce à une adhésion micro-mécanique et chimique. Certaines études la juge comparable à celle des ciments à base de résine (adhésion chimique), mais généralement leur force de liaison est inférieure. (9) Elle reste cependant satisfaisante et nettement supérieure aux ciments Oxyde de Zinc Eugéno. (70)

La force d'adhésion des ciments à base de silicate de calcium varie selon la technique d'obturation employée. Les fabricants recommandent l'utilisation de la technique monocône, les propriétés du ciment étant modifiées par la chaleur générée par la compaction à chaud. :

- Accélération de la réaction d'hydratation et de la formation d'hydroxyapatite ou au contraire insuffisance de la réaction d'hydratation par évaporation de l'humidité dentinaire (71)
- Accélération de la prise
- Fluidité diminuée

Tout cela fait qu'au final la force de liaison entre le ciment et la dentine sera diminuée.(9)

D'autres études telles que celle de HAL-Haddad et al. ont conclu que les ciments biocéramiques (IRootSP®, EndoSequence BC Sealer®) ont une adhésion équivalente à celle de l'AH Plus et supérieure aux ciments à base d'hydroxyde de calcium. Celle-ci serait également supérieure au MTA Fillapex®. (12) En revanche, la force d'adhésion à la dentine ne serait pas modifiée par la présence ou l'absence de boue dentinaire lors de l'obturation d'après une étude de 2013 (72).

L'irrigation du canal avec de l'EDTA à 17% suivi ou non de NaOCl à 5.25% ou de Chlorexidine à 2% ne modifie pas a priori l'adhérence du ciment.(73) Il est en revanche préférable pour une meilleure adhésion de sécher le canal à l'aide d'alcool isopropylique à 70% plutôt qu'avec des cônes de papier. (74)

III.1.2.1. Radiopacité

Comme mentionné plus haut, les ciments de scellement doivent être visibles sur les radiographies tout en se distinguant de l'organe dentaire.

La norme ISO 6876/2001 définit une radio-opacité minimale 3.00mm d'aluminium. (12)

❖ **Exemples :**

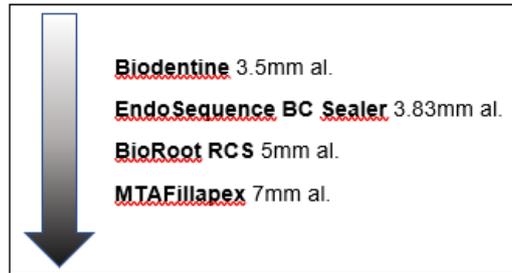


Figure 12 : Radio-opacité de différents ciments biocéramiques parmi les plus étudiés par ordre croissant (12) (27) (75)

Rq : bien que la radio-opacité de la Biodentine reste dans la norme ISO, elle est en pratique difficilement distinguable des tissus adjacents ce qui peut poser problème lors de l'interprétation radiologique. (27)

III.1.2.2. pH

Les ciments biocéramiques ont un pH très élevé (12.9) au moment de leur prise. Celui-ci décroît plus ou moins rapidement après la fin de la réaction selon le ciment. Ce pH alcalin persistant participe à leur activité antibactérienne qui est comparable à celle de l'hydroxyde de calcium. (23) Les ciments biocéramiques et les ciments époxy ont tous les deux un pH alcalin au moment de leur prise. La différence est que les ciments biocéramiques conservent cette propriété beaucoup plus longtemps. (57)

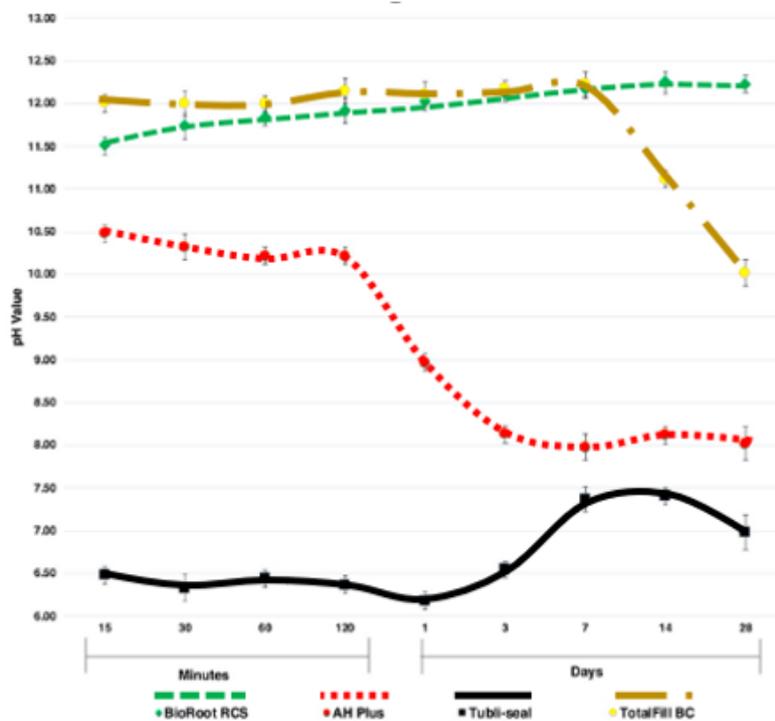


Figure 13 : Evolution du pH de 4 ciments de scellement de 15 min à 28j après leur prise (1)

III.1.2.3. Coloration des structures dentaires

Il semblerait que les biocéramiques, à l'instar de tous les autres types de ciments, induisent une coloration des tissus dentaires. Les premières générations pouvaient teinter les dents en brun/gris/noir dans certains cas, c'est pourquoi l'oxyde de bismuth a été remplacé par d'autres radio-opacifiants dans la majorité des ciments biocéramiques.

Les colorations causées par les nouvelles versions sont a priori relativement discrètes et moins visibles que celles induites par les ciments à base de résine. Selon une étude, ce sont cependant les ciments oxyde zinc eugénol qui induiraient le moins de discolorations. (76)

III.1.3. Biologiques

III.1.3.1. *Biocompatibilité*

La plupart des ciments biocéramiques sont biocompatibles grâce à la présence de phosphate de calcium dans leur composition. Ce dernier est le principal composant inorganique des tissus durs de l'organisme (dents et os). Cette biocompatibilité est variable et dépend des agents épaississants et liants présents dans leur composition. Aucun ciment biocéramique n'a été clairement défini comme plus biocompatible que les autres. En revanche le MTA Fillapex® est celui qui semble être le moins biocompatible. (12)

Les ciments sont insérés dans les canaux avant la fin de la réaction de prise. A ce moment des composés toxiques peuvent être relargués. Les ciments à base de silicates tri-calciques sont généralement moins cytotoxiques que l'AHPlus®. **EndoSequence BC® et iRoot SP®** sont modérément toxiques au moment de leur prise, mais cette toxicité diminue avec le temps jusqu'à la fin de la réaction de prise.

Des substances toxiques peuvent également être relarguées après la fin de la réaction de prise comme dans le cas du **MTA Fillapex®**. Celui-ci est fortement cytotoxique pour les fibroblastes avant la prise. Bien que cela diminue dans le temps, il reste modérément toxique même 5 semaines après la prise. (12)

Les études ont montré une différence nette entre le MTA Fillapex et les autres ciments biocéramiques. Cela est dû à la présence de résine salicylate dans sa composition. L'objectif était d'obtenir un matériau non seulement biocompatible mais aussi résistant (77). L'inconvénient est que la résine augmente le temps de prise et est cytotoxique.

Ces résultats sont désormais à nuancer car l'étude de Kebudi et al. en 2018 a montré une amélioration de la multiplication et de l'attachement cellulaire avec le MTA Fillapex. Cette différence peut être due à un changement des composants dans la nouvelle version du produit. (9)

Même si la majorité des études considèrent que les ciments à base de silicates de calcium sont biocompatibles et non-cytotoxiques, d'autres affirment l'inverse. D'autres études seront donc nécessaires pour confirmer cette biocompatibilité.(9)

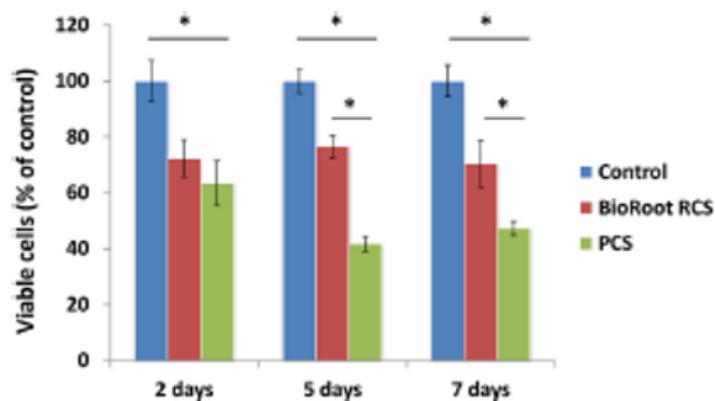


Figure 14 : Survie des cellules du ligament parodontal au contact de 2 ciments différents : BioRoot RCS® et PulpCanalSealer® (ZOE) à 2, 5 et 7j (78)

Une extrusion du ciment dans le périapex peut se produire lors de l'obturation des canaux. Bien que l'organisme puisse généralement résorber le matériau avec le temps, cela induit une réaction inflammatoire locale. Il est donc nécessaire d'utiliser des matériaux aussi biocompatibles que possible afin de limiter cette réaction et d'accélérer la cicatrisation. Si les douleurs post-opératoires lors d'extrusion sont les mêmes entre les ciments biocéramiques et les ciments à base de résine (79), ces derniers (ex : AH Plus®, MTA Fillapex®,...) présentent une certaine cytotoxicité et peuvent retarder la guérison.

La norme ISO 10993-514 considère que pour être cytocompatible, la survie cellulaire au contact d'un ciment de scellement doit être au minimum de 70%.

Selon l'étude de Mestieri et al. (2019) EndoSequence BC Sealer aurait un taux de survie cellulaire supérieur à celui de l'AH Plus® et du MTA Fillapex®.

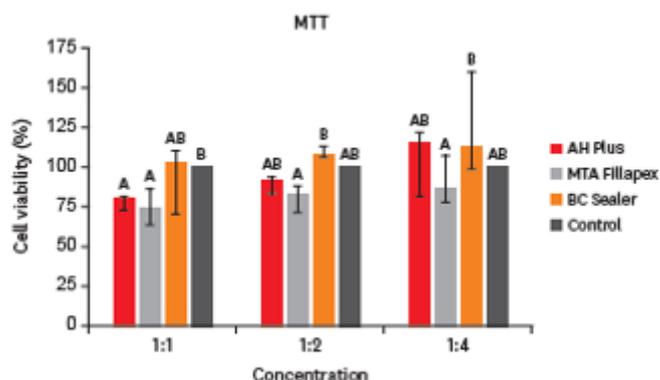


Figure 15 : Taux de survie cellulaire après contact direct pendant 24h avec 3 ciments de scellement (77)

Selon une autre étude, le TotalFill BC Sealer® et le Bio-C Sealer® sont plus cytocompatibles que l'AH Plus. La survie, la migration, la morphologie cellulaire et leur réaction de minéralisation étaient bien meilleures pour ces 2 ciments par rapport à l'AH Plus®. (78) Les cellules ligamentaires au contact du Bio-C Sealer® et du TotalFill BC Sealer® étaient bien réparties et adhéraient au matériau tandis que celles au contact de l'AH Plus® présentaient un aspect pycnotique, traduisant la mort cellulaire, et s'étaient peu étalées à la surface du ciment.

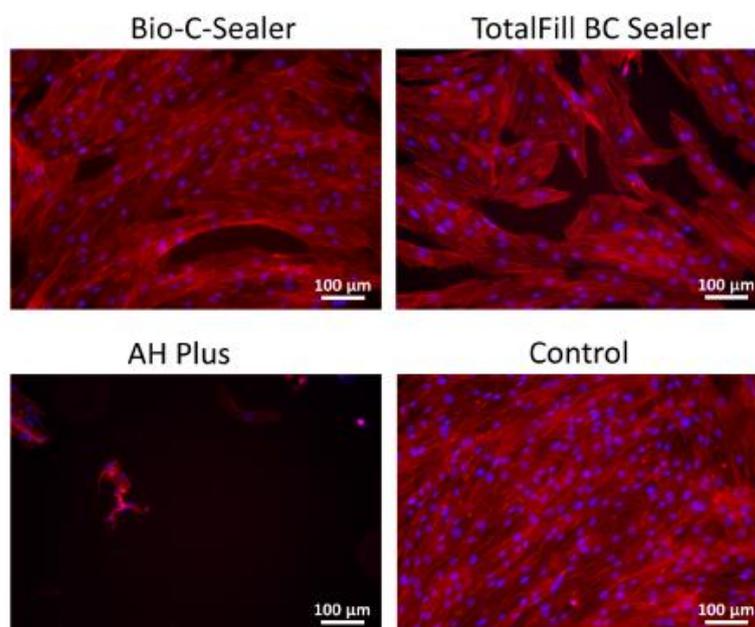


Figure 16 : Aspect morphologique des cellules du ligament parodontal humain au contact de différents ciments de scellement (80)

III.1.3.2. Antibactérienne

De nombreuses études se sont penchées sur la question de l'activité antimicrobienne des ciments biocéramiques. Si elles s'accordent pour dire que ces ciments inhibent plus efficacement le biofilm bactérien que les ciment Oxyde de Zinc eugénol ou que les ciments à base de résine Epoxy (1), elles ne permettent pas d'en recommander un plus qu'un autre, leur méthodologie étant trop différente. Des études complémentaires dans ce domaine seront nécessaires. (2)

Enterococcus faecalis est un des microorganismes le plus souvent retrouvé dans les canaux infectés, notamment en cas de récurrence. Il est donc fréquemment utilisé pour étudier l'efficacité antibactérienne des nouveaux produits endodontiques.

Cette dernière est liée au pH très alcalin des ciments à base de silicate de calcium avant leur prise, ainsi qu'à leur hydrophilie (meilleure pénétration dans les tubuli) et à la diffusion d'hydroxyde de calcium (aide à libérer des ions hydroxydes dans le système canalaire). (9) Ils perturbent la membrane bactérienne et l'activité enzymatique des microorganismes. Dans le cas du MTA Fillapex®, l'activité antibactérienne peut également être attribuée à la présence de résine dans le ciment.

Selon les études, l'efficacité des ciments biocéramiques contre **Enterococcus faecalis** serait similaire voire supérieure à celle des ciments résines et oxyde de zinc eugénol. Ces études concernaient leur efficacité à court terme (24h). (81) (82)

Une étude a démontré que I Root BP® a une activité antibactérienne envers des bactéries Cocci à Gram + aérobies facultatives telle que **S. aureus, S. mutans, E. faecalis and E. faecium** et envers des bactéries anaérobies Gram + et Gram - (**P. anaerobius**). En revanche, il n'a pas d'effet sur *A. israelii* et *P. gingivalis*.(83)

L'activité antibactérienne des ciments biocéramiques ne dure que le temps de leur prise. Après 7 jours, elle diminue fortement (12), cependant, l'action du BioRoot RCS semble supérieure à celle des autres ciments biocéramiques. C'est dû au fait que son pH reste élevé plus longtemps (cf figure 10). (1)

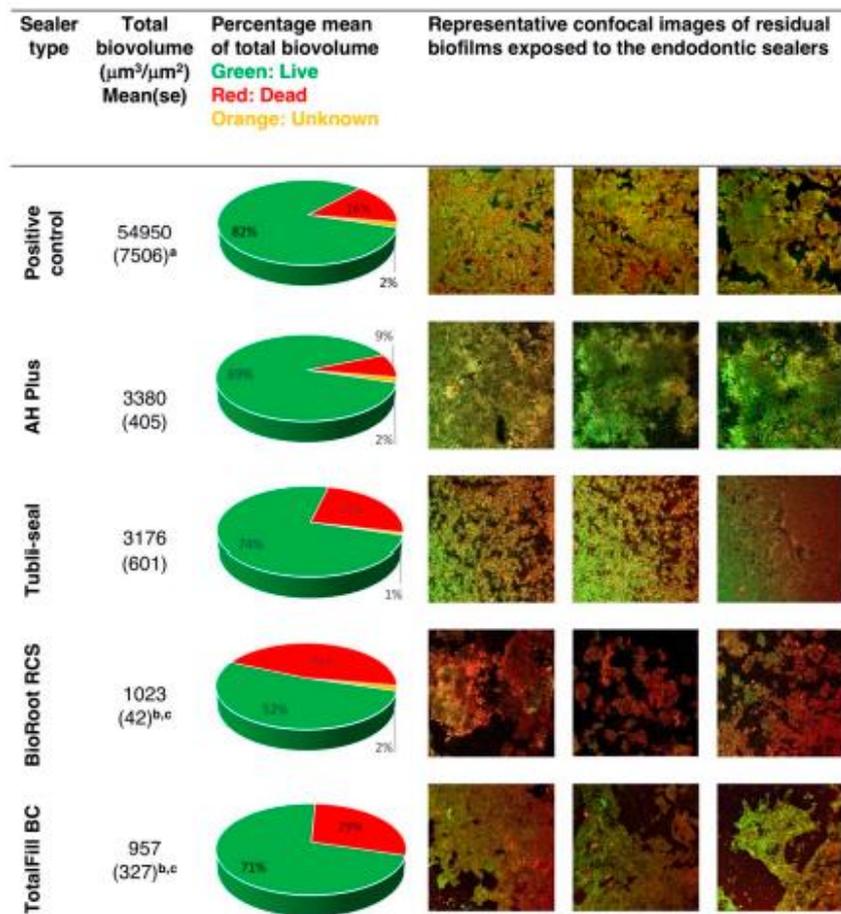


Figure 17 : Inhibition du biofilm par 4 ciments de scellement différents (1)

III.1.3.3. Antifongique

Si les propriétés antimicrobiennes des ciments biocéramiques sont avérées et ont fait l'objet de nombreuses études, ce n'est pas le cas de leurs propriétés antifongiques. L'étude de Singh et al. en 2020 a montré que l'activité antifongique du **MTA®** et **MTA Fillapex®** pour le *Candida Albicans* était faible et nettement inférieure à celle des ciments oxyde de zinc eugénole. (13) (83)

Les propriétés antifongiques de l'**EndoSequence BC Sealer®** envers *Candida Albicans* ont été étudiées dans une autre étude qui a démontré qu'elles étaient inférieures à celles de l'**AH Plus®** (84).

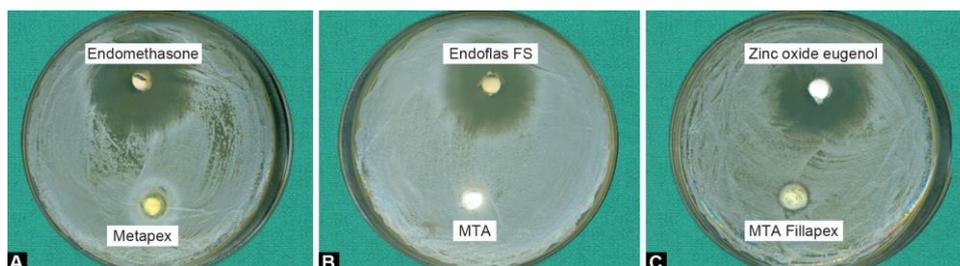


Figure 18 : Zone d'inhibition du *Candida Albicans* pour plusieurs ciments (13)

III.1.3.4. Bioactivité

Les ciments à base de silicate de calcium sont dits bioactifs car ils stimulent la formation de tissus durs au niveau du ligament parodontal et de l'os. On évalue leur bioactivité via la différenciation ostéogène et leur potentiel de minéralisation.

Pour évaluer ces paramètres on se base sur :

- Activité de la phosphatase alcaline
- Coloration au rouge alizarine
- Expression des gènes liés à la minéralisation

Les ciments à base de silicates de calcium ont plus d'effets sur les ostéoblastes, le ligament parodontal et les cellules souches que les autres ciments. Ils stimulent l'expression des marqueurs génétiques ostéogènes et induisent plus de minéralisation. (9) En effet, les ciments biocéramiques de par leur pH élevé neutralisent les acides lactiques produits par les ostéoclastes, évitant ainsi la dissolution des tissus durs. Ils activent également la phosphatase alcaline. (57)

Cette bioactivité est cruciale dans la réparation et la régénération des tissus péri apicaux et est supérieure à celle des ciments à base d'hydroxyde de calcium (85). La réaction de prise du ciment forme de l'hydroxyde de calcium qui va se dissoudre. Ainsi des ions calcium (Ca^{2+}) sont relargués, ce qui augmente le pH et favorise la précipitation de cristaux similaires aux apatites composant les tissus durs humains et active l'adénosine calcium dépendante. Les précipités se forment au contact des fluides biologiques grâce au phosphate qu'ils contiennent. (86) Ils induisent également une différenciation et une migration cellulaire. (78)

L'étude de Camps et al. a mis en évidence une sécrétion de facteurs de croissance (VEGF, FGF2 et BMP-2) supérieure au contact d'un ciment biocéramique (BioRoot RCS®) par rapport au ciment oxyde de zinc eugénol (Pulp Canal Sealer®).

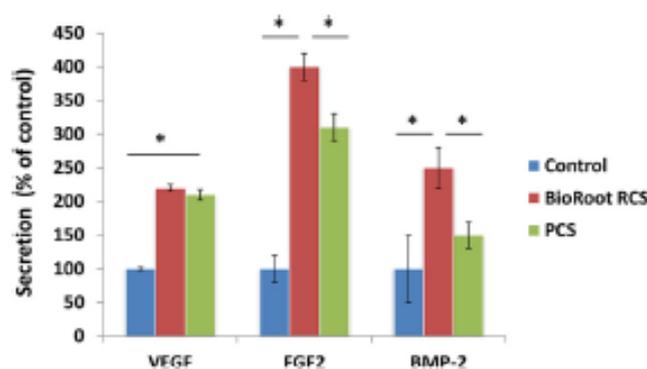


Figure 19 : Effet de 2 ciments de scellement sur la sécrétion de 3 facteurs de croissance (78)

III.2. Tableaux récapitulatifs :

	Ciments Biocéramiques	Ciments Résine Epoxy	Ciments Oxyde de Zinc Eugénol	Ciments à base d'Hydroxyde de Calcium
Stabilité dimensionnelle	++	+++	+	+
Capacité de scellement	+++	++		+
Possibilité de réintervention	+	++	+++	+++
Adhésion	+++	+++	+	+
Biocompatibilité	+++	++	+	+
Effet antibactérien	+++	+++	+	+
Effet antifongique	+		+++	+
Bioactivité	+++	0	0	++
Coloration des structures dentaires	++	+++	+	++

Tableau 12 : Tableau récapitulatif des propriétés de 4 types de ciments de scellement

	BC sealer	MTA Fillapex	AH Plus	ThermaSeal	PCS	GuttaFlow
Flow (mm)	23.1 ± 0.69	24.9 ± 0.54	21.2 ± 0.27	21.3 ± 0.47	23.1 ± 1.21	20.5 ± 0.32
Film thickness (µm)	22 ± 4.58	23.92 ± 7.05	16.07 ± 4.5	16.6 ± 5.26	13.35 ± 2.8	15.67 ± 1.4
Working time (min)	>1440	45 ± 15	240 ± 40	300 ± 40	453 ± 31	15 ± 5
Setting time (h)	2.7 ± 0.3	2.5 ± 0.3	11.5 ± 1.5	23.0 ± 1.5	26.3 ± 2.5	0.7 ± 0.1
Solubility* (%)	2.9 ± 0.5	1.10 ± 0.15	0.06 ± 0.04	0.0015 ± 0.07	0.07 ± 0.03	0.02 ± 0.001
Dimensional change [†] (%)	0.087 ± 0.04	-0.67 ± 0.01	-0.034 ± 0.01	0.04 ± 0.02	-0.86 ± 0.03	0.037 ± 0.02

Tableau 13 : Tableau récapitulatifs des propriétés physiques de 6 ciments selon l'étude de Zhou et al. (57)

III.3. Présentation de 2 ciments biocéramiques

III.3.1. EndoSequence BC Sealer®



Figure 20 : Produits de la gamme EndoSequence pour les techniques d'obturation à froid (32)

(32) (87)

L'EndoSequence BC Sealer® est un matériau d'obturation à base de silicate de calcium qui se présente sous forme injectable dans une seringue auto-mélangeuse avec des embouts jetables. Le produit est conservable 2 ans avant ouverture si ses conditions de stockage sont respectées. Le produit doit être stocké à température ambiante, être refermé après chaque utilisation, remis dans un sachet hermétique et les embouts doivent être secs.

Pour sa composition se référer au tableau 8. D'après son fabricant (BRASELER, USA) il est : radio-opaque, insoluble, sans aluminium, sans rétraction de prise et avec de bonnes propriétés physiques. Son adhésion à la dentine, ses propriétés antibactériennes et sa biocompatibilité sont supérieures aux autres ciments d'après la notice du fabricant. Selon une étude *in vitro*, il stimulerait l'expression des gènes de la phosphatase alcaline et de la sialoprotéine dentaire, d'où un potentiel de différenciation odontoblastique plus important. (25)

Le fabricant le juge adapté aux techniques monocône et de condensation latérale à froid. La marque commercialise également des cônes imprégnés et recouverts de nanoparticules de biocéramique permettant un scellement et une résistance à la fracture supérieure par rapport à l'obturation avec des cônes standards. Pour les praticiens préférant la condensation verticale à chaud, la marque recommande d'utiliser d'autres cônes biocéramiques (BC Points™ 150) ainsi que des batonnets de gutta percha (BC Pellets™) à une température de 150°C.



Figure 21 : Produits de la gamme EndoSequence pour l'obturation verticale à chaud (32)

III.3.1.1. Indications

- Obturation canalaire définitive suite à une pulpectomie ou un parage sur dent infectée et/ ou nécrosée

III.3.1.2. Temps de travail et de prise

Aucune spatulation n'est nécessaire, l'opérateur peut injecter le ciment directement dans le canal préparé. Le **temps de travail** peut être supérieur à 4 heures à température ambiante.

Le **temps de prise** est de 4h d'après des mesures faites selon les recommandations ISO 6876:2001. En cas de dentine sclérosée ou de canal très sec, ce temps peut atteindre 10h selon le fabricant.

Le temps de prise est dépendant du fluide dentinaire présent dans les tubuli car la réaction de prise est catalysée par l'humidité. Il n'est cependant pas nécessaire de mouiller le canal avant d'obturer d'après le fabricant.

III.3.1.3. Méthode d'utilisation

Après avoir correctement préparé et irrigué le/les canaux à obturer, fixer un embout intracanalair sur la seringue d'EndoSequence BC Sealer® en tournant dans le sens des aiguilles d'une montre.

Rq.: ces embouts peuvent être pliés pour faciliter l'accès au canal.

Placer l'embout dans le canal, celui-ci ne doit pas être inséré au-delà du tiers coronaire. Ensuite injecter doucement et régulièrement une petite quantité de ciment (1 à 2 graduations) et la répartir sur les parois canalaire à l'aide d'une lime 15 (ou équivalent). Enduire le maître cône d'une fine couche de ciment avant de l'insérer très lentement jusqu'à la longueur de travail afin d'éviter les dépassements de matériau. L'opérateur peut ajouter des cônes accessoires s'il juge l'utilisation de la technique de condensation latérale nécessaire.

Pour finir couper le/les cônes de Gutta Percha à l'entrée du canal à l'aide d'un instrument chauffant et compacter verticalement le matériau d'obturation. Les excès de matériau peuvent être retirés à l'aide d'un coton humide.

III.3.1.4. Retraitabilité

D'après la notice du fabricant, il est possible de désobturer l'EndoSequence BC Sealer® en utilisant les techniques classiques s'il est utilisé en association avec des cônes de Gutta Percha. On peut également utiliser une pièce à main ultrasonique avec spray d'eau.

III.3.2. MTA Fillapex®



Figure 22 : Conditionnements du MTA Fillapex (17) (88)

(33) (88) (89)

Le MTA Fillapex est un ciment biocéramique d'obturation de canaux radiculaires à base de MTA. C'est un produit commercialisé depuis 2010. Selon le fabricant, c'est un ciment : biocompatible, antibactérien, insoluble (0.1%) au contact des fluides biologiques, fluidité adaptée au scellement canalaire (27.66mm), une épaisseur de film de 39.6µm (épaisseur maximale autorisée par la norme ISO 6876 :2001 de 50µm), radio-opaque, avec peu d'expansion de prise et même une expansion de prise de 0.088% grâce au MTA. Il ne colore pas les dents traitées et ne contient pas d'eugénol. Pour sa composition se référer au tableau 8.

Pour une bonne conservation le produit doit être conservé au sec loin de source de chaleur ou d'humidité et les contenants fermés.

Il est commercialisé sous une forme de pâtes à mélanger (base plus catalyseur) ou de seringue auto-mélangeuse avec des embouts jetables.

Il est utilisable avec les techniques d'obturation à froid ainsi qu'avec les techniques de condensation à chaud, le point d'ébullition du MTA Fillapex® étant à 150°C.

III.3.2.1. Indications

Le fabricant le recommande comme matériau d'obturation définitive pour les dents permanentes en association avec des cônes de gutta-percha.

Il est en revanche contre indiqué par la marque pour l'obturation des résorptions, perforations et comme bouchon apical. Un autre produit est commercialisé pour ces indications.

III.3.2.2. Temps de travail et de prise

D'après la notice, le **temps de travail** du MTA Fillapex est de 23 minutes (et de 35min selon le profil scientifique du produit publié par le fabricant) tandis que son **temps de prise** est de 130 minutes.

III.3.2.3. Retraitabilité

Selon les dires du fabricant, le MTA Fillapex est aisément désobturable à l'aide des techniques traditionnellement utilisées. L'opérateur peut s'aider de chloroforme et d'huiles essentielles d'agrumes.

III.3.2.4. Méthode d'utilisation

Avant l'application du produit, le canal à obturer doit être préparé, rincé et séché. Il est nécessaire d'avoir isolé la dent avant d'obturer. Le fluide dentinaire est suffisant pour amorcer la prise du matériau, il n'est pas nécessaire d'humidifier le canal.

- Seringue double : ce conditionnement permet de respecter la proportion 1 :1 pour le mélange. L'embout est appliqué sur une plaque de verre, un bloc de mélange ou directement dans le canal.
- Tubes: Appliquer une dose équivalente (1:1) des 2 pâtes sur une plaque en verre et spatuler le mélange pendant 30 secondes pour homogénéiser le matériau.

Le MTA peut être utilisé en association avec des cônes de Gutta Percha qui seront alors enduits d'une fine couche de ciment avant d'être insérés dans le canal et condensés selon la technique choisie. Le MTA Fillapex® peut également être amené dans le canal avec des limes endodontiques.

IV. Analyse de la littérature

Afin de traiter ce sujet, j'ai sélectionné des articles récents datant de moins de 5 ans dans leur grande majorité ainsi que quelques-uns plus anciens datant d'une dizaine d'année ou plus.

Cette prospection s'est faite principalement via le portail de recherche « PubMed » à partir des termes « bioceramic sealer(s) » et « calcium-silicate sealers ». D'autres articles ont ensuite été ajoutés suite à la lecture des différentes bibliographies.

La majorité de ces articles est constitué d'études *in vitro*, soit sur des dents humaines extraites récemment et plus ou moins modifiées, soit sur des canaux artificiels. Il a donc parut intéressant d'analyser et de classer ces différentes études.

	OUI	NON ou NC
Objectifs clairement définis	(35) (83) (1) (21) (61) (86) (78) (3) (80) (13) (59) (77) (26) (90) (70) (37) (64) (18) (4) (20) (58) (15) (68) (14) (22) (81) (71) (67) (38) (91) (57) (63) (56) (82) (39) (43) (62) (74) (69) (66) (72) (75) (65)	(60) (84)
Protocole bien décrit et complet	(35) (83) (1) (21) (61) (86) (78) (3) (80) (13) (77) (26) (37) (64) (18) (4) (20) (43) (60) (15) (68) (14) (22) (81) (71) (67) (38) (91) (63) (56) (39) (43) (62) (74) (69) (66) (72) (75) (65)	(59) (90) (70) (57) (82) (84)
Etude comparative	(35) (83) (1) (21) (61) (86) (78) (3) (80) (13) (59) (77) (26) (90) (70) (37) (64) (18) (4) (20) (58) (60) (15) (68) (14) (22) (81) (71) (67) (38) (91) (57) (63) (56) (82) (39) (43) (62) (84) (74) (69) (66) (72) (75) (65)	
Etude randomisée	(37)	(35) (83) (86) (78) (3) (80) (13) (59) (77) (26) (90) (70) (64) (18) (4) (1) (20) (58) (60) (15) (68) (14) (22) (81) (71) (67) (38) (91) (57) (63) (56) (82) (39) (43) (62) (84) (74) (69) (66) (75) (65)
Echantillons d'origine humaine	(35) (1) (21) (61) (86) (78) (3) (80) (13) (59) (90) (70) (37) (64) (18) (4) (20) (58) (15) (68) (14) (22) (81) (71) (67) (38) (91) (63) (39) (43) (62) (74) (66) (72) (65)	(83) (77) (26) (60) (57) (56) (82) (84) (69) (75)
Nombre important d'échantillons (>30)	(35) (83) (1) (21) (61) (78) (59) (26) (37) (64) (18) (4) (15) (68) (14) (22) (81) (71) (67) (38) (63) (43) (74) (66) (72) (65)	(86) (3) (80) (13) (77) (90) (70) (20) (58) (60) (91) (57) (56) (82) (39) (62) (84) (69) (75)
Résultats issus d'une analyse statistique	(35) (83) (1) (21) (86) (78) (3) (80) (13) (59) (77) (26) (90) (70) (37) (64) (18) (4) (20) (58) (60) (15) (68) (14) (81) (71) (67) (38) (91) (57) (63) (56) (82) (39) (43) (62) (84) (74) (69) (66) (72) (75) (65)	

Résultats cohérent avec l'objectif	(83) (1) (21) (61) (86) (78) (3) (80) (77) (90) (70) (37) (64) (18) (4) (60) (15) (68) (14) (22) (22) (38) (91) (57) (63) (56) (82) (39) (43) (62) (84) (74) (69) (66) (72) (75) (65) (35) (59)	(13) (26) (20) (71) (67)
Résultats applicables dans la pratique quotidienne	(83) (1) (21) (86) (78) (3) (80) (13) (59) (26) (90) (70) (37) (18) (4) (20) (15) (68) (14) (22) (71) (38) (91) (57) (63) (82) (39) (43) (62) (74) (69) (66) (72) (65)	(35) (61) (64) (60) (67) (56) (84) (75)

Tableau 14: Analyse des études *in vitro*, d'après la méthode de l'ANAES (92)

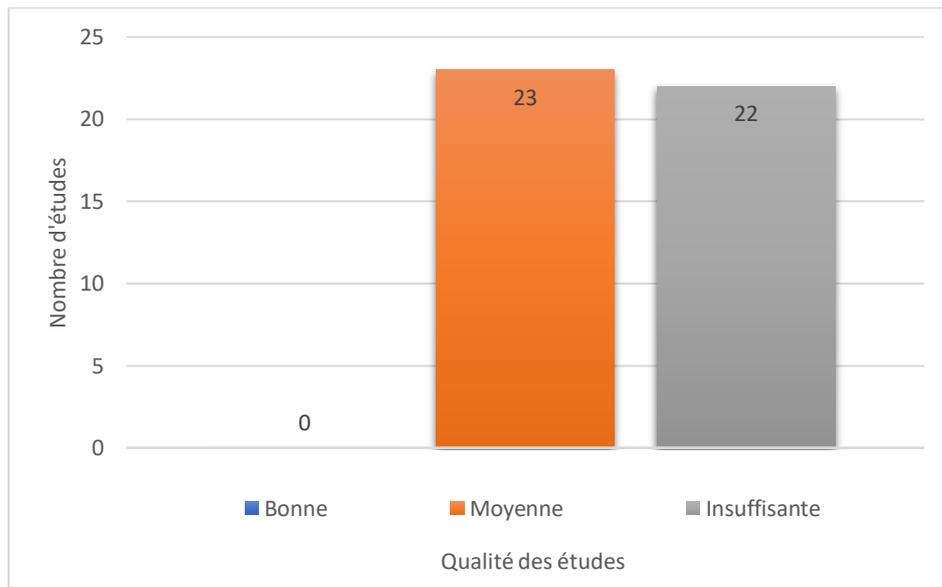


Figure 23 : Qualité des études *in vitro* mentionnées dans cette thèse

Sur les 45 études *in vitro* mentionnées dans cette thèse, aucune ne peut être considérée comme bonne, faute d'un échantillon et d'un recul important. 23 sont de qualité moyenne et 22 sont jugées insuffisantes car ayant un échantillon trop petit ou d'origine non humaine.

1 étude seulement est randomisée sans toutefois présenter une puissance importante.

Les conclusions présentées dans ces études ne s'appuyant pas sur un haut niveau de preuve, elles ne peuvent suffire à établir des recommandations pour l'utilisation des ciments biocéramiques dans notre pratique.

A l'heure actuelle il est nécessaire de réaliser d'autres études *in vitro* et préférentiellement *in vivo* pour étudier les propriétés des ciments biocéramiques. Cela concerne particulièrement leur étanchéité au long court et leur capacité d'adhésion, par rapport à celle des ciments traditionnels (surtout ceux à base de résine époxy), pour lesquels les résultats des différentes études sont très divers. Il serait également intéressant de réaliser des études avec des protocoles comparables. En effet, certaines analyses de littérature incluses dans cette thèse soulignaient l'impossibilité de la mise en relation de leur résultats suite à leur trop grande différence de mise en œuvre.

- **Étanchéité**

7 études *in vitro* ont analysé la capacité de scellement et l'étanchéité des ciments biocéramiques. Parmi elles, 2 n'ont pas une taille d'échantillon suffisante pour se fier à leur analyse statistique. Les 5 études restantes utilisent différentes méthodes pour évaluer l'étanchéité de l'obturation : passage bactérien, de colorant, de glucose, microscopie électronique,... et leur conclusions sont également variables.

3 études semblent indiquer une meilleure étanchéité de l'EndoSequence BC Sealer par rapport aux autres ciments biocéramiques et aux ciments conventionnels. En revanche, deux d'entre elles disent ne pas trouver de différence significative entre l'AH Plus et l'EndoSequence BC.

Face à une telle divergence de résultat il est difficile de tirer des conclusions. Des études complémentaires avec une plus grande puissance statistique et des protocoles comparables paraissent nécessaires.

- **Pénétration et adaptation aux parois canalaire**

8 études sur le sujet ont été incluses dans cette thèse. Parmi elles, 3 sont de qualité insuffisante pour en tirer des conclusions, les autres sont de qualité moyenne.

L'étude de Wang et al. compare l'IRoot SP avec l'AH Plus, tandis que l'étude de Arikatla et al. compare le MTA Plus et le BioRoot RCS avec l'AH Plus. Les échantillons ont été sectionnés et analysés au microscope.

Ces 2 études obtiennent des résultats opposés, l'une indiquant la meilleure pénétration et adaptation aux parois de l'AH Plus, et l'autre le IRoot SP. Les ciments étudiés n'étant pas les mêmes cela peut expliquer la différence de résultats.

2 autres études s'intéressent à l'adaptation et à la pénétration du ciment dans les parois canalaire en fonction de la technique d'obturation employée. L'étude de Silva et al. ne met pas en évidence de différence entre la technique monocône et la condensation latérale en association avec l'EndoSequence BC Sealer. L'étude de Jeong et al. met en évidence l'absence de différence entre une obturation monocône et la condensation verticale à chaud.

Ces études semblent prouver que l'utilisation des ciments biocéramiques avec une technique monocône est possible. Toutefois cette affirmation ne fait pas l'unanimité.

L'étude de Jardim del Monaco et al. s'est penchée sur l'intérêt d'utiliser un laser Nd : YAG pour améliorer la pénétration de l'EndoSequence BC Sealer et de l'AH Plus dans les tubuli dentinaires.

Cette étude n'a pas mis en évidence de différence significative suite à l'usage ou non du laser. En revanche, les auteurs concluaient à une meilleure pénétration de l'EndoSequence BC à 3 et 5 mm de l'apex par rapport à l'AH Plus.

Peu d'études sont disponibles sur le sujet. Il est prématuré de conclure à l'inutilité du laser en association avec les ciments biocéramiques.

- **Porosité**

2 études, toutes 2 de qualité insuffisante à cause de la taille de leur échantillon, traitent de ce sujet.

Celle de Santos-Junior et al, compare la présence de bulles dans les canaux aplatis avec la technique monocône ou l'obturation à chaud en association avec un ciment biocéramique (BioC Sealer). Celle de Guerrero et al, compare la porosité entre le MTA Fillapex et BioRoot RCS. Les 2 études se basent sur une analyse au microscope électronique.

D'après ces études, on retrouve autant de bulles au tiers apical quelle que soit la technique d'obturation, en revanche dans le tiers moyen et cervical la technique de Gutta chaude est plus efficace. Le MTA Fillapex semble avoir une porosité moins importante que le BioRoot RCS. Les résultats de ces études seront à confirmer, la taille de leur échantillon ne permettant pas une analyse statistique fiable.

- **Adhésion**

6 études se sont penchées sur la force d'adhésion des ciments biocéramiques par rapport aux ciments conventionnels et en fonction de divers paramètres cliniques. L'une d'elle est de qualité insuffisante faute d'un échantillon de taille adaptée, les 5 autres sont de qualité moyenne.

L'étude de Dabaj et al, s'intéresse à l'adhésion de l'EndoSequence BC Sealer par rapport à celle de l'AH Plus suite à une obturation par condensation latérale ou par gutta injectée. Celle de Gade et al, compare également avec l'Endométhasone N.

Les 2 études obtiennent des résultats contradictoires, l'une recommandant l'usage de l'EndoSequence BC avec une technique à froid, l'autre avec une technique à chaud en fonction des valeurs des tests d'adhésion. Cependant la vitesse utilisée et l'épaisseur des coupes radiculaires utilisées pour les tests n'étaient pas les mêmes selon l'étude. Cela peut expliquer la divergence des résultats.

L'étude de Khurana et al, se penche sur l'effet de différents protocoles de séchage du canal sur l'adhésion à la dentine des différents ciments (AH Plus, ENdoSequence BC, MTA Fillapex).

D'après cette étude l'EndoSequence BC Sealer présente une adhésion supérieure et pour tous les ciments le séchage avec de l'alcool isopropyl était plus favorable que celui aux cônes papier. Ces résultats sont à nuancer en regard du fait que les ciments biocéramiques font leur réaction de prise grâce à

l'humidité dentinaire, ici absente puisque les dents ont été extraites. Ce paramètre a pu influencer les résultats.

Enfin, 2 études de Shokouhinejad et al ont analysé l'effet de la présence ou de l'absence de boue dentinaire sur la force d'adhésion de l'obturation. L'une compare l'AH Plus et L'EndoSequence BC Sealer avec ou sans boue dentinaire, la deuxième compare l'effet de différentes solutions d'irrigation canalaire sur l'EndoSequence BC Sealer.

D'après ces études, la présence ou l'absence de la boue dentinaire n'influence pas l'adhésion aux parois dentinaires des différents ciments qui auraient la même adhésion entre eux. Les différents irrigants n'impacteraient pas non plus l'adhésion. Toutefois, elles restent des études *in vitro* dont les résultats seront à confirmer *in vivo*. Si l'adhésion n'est pas concernée, des études suggèrent que d'autres caractéristiques des ciments biocéramiques sont modifiées par les irrigants conventionnels. Il est donc prudent de rincer le canal avant l'obturation.

- **Solubilité**

Une étude, réalisée par Maradesh et al. avec un échantillon de taille insuffisante, s'intéresse à l'effet des estérases bactériennes présentes dans la salive humaine et le sang sur différents matériaux d'obturation (Bisfill, EndoSequence BC, AH Plus) après 28j. Par rapport à la solution test (PBS), la solution contenant des estérases induisait plus de perte de masse et celle-ci était plus importante pour l'EndoSequence BC Sealer. On observait également une expansion de prise pour le ciment biocéramique.

Cette étude semble montrer que les fluides biologiques humains peuvent induire des modifications dans le temps des ciments biocéramiques qui semblent présenter une plus grande solubilité. Celle-ci est toutefois contrebalancée par leur expansion dans le temps. Il est donc difficile de dire si cela affecte positivement ou négativement le pronostic, sachant que l'étude n'a duré qu'un mois et est une étude *in vitro* avec un échantillon réduit.

- **Effet de la chaleur**

L'étude de Viapiana s'est penchée sur l'effet de la chaleur générée par le Système B sur différents ciments de scellement canalaire (AH Plus, Pulp Canal Sealer, MTA Fillapex). Pour cela des tests ont été réalisés dans différents milieux : dent suspendue en l'air, dans une solution saline, dans un gel salé. Les modifications ont été analysées par spectroscopie infra-rouge. Selon cette étude, le MTA Fillapex ne serait pas affecté par l'application de chaleur.

Le MTA Fillapex étant un ciment biocéramique contenant une part non négligeable de résine, il serait intéressant d'avoir des études sur d'autres ciments à base de silicate. Cela permettrait de confirmer ou non cette observation qui ne fait pas l'unanimité.

- **Résistance à la fracture**

4 études de qualité moyenne se sont penchées sur la résistance à la fracture des dents obturées avec des ciments biocéramiques.

Celle de Almohaimede et al. compare la force nécessaire pour fracturer des dents non traitées, instrumentées mais non obturées, obturée par l'AH plus ou par EndoSequence BC Sealer. Celle de Dibaji et al. compare elle l'I root Sealer, l'Epiphany et l'AH plus tandis que celle de Topçuoğlu et al. compare l'Endosequence BC Sealer, le BioTech Sealer et l'AH Plus. Enfin, l'étude de Ghoneimet al ; compare la résistance à la fracture de racines obturées à l'aide de gutta percha ou de cône Activ GP associés avec de l'AH plus, de l'Activ GP Sealer ou de l'IRoot SP.

Sur ces études, les 2 premières ne mettent pas en évidence d'augmentation de la résistance mécanique des dents obturées par les biocéramiques. Les 2 autres concluent elles à une amélioration de la résistance des dents traitées. Si le protocole paraît correct et est similaire entre ces études, il est peu représentatif de la réalité. Les dents extraites sont découronnées ce qui les fragilisent et seules des prémolaires monocanalaire sont étudiées. De plus l'obturation se fait par condensation latérale à froid alors que ce n'est pas la technique présentant le plus d'intérêt pour les ciments biocéramiques.

- **Retraitabilité**

3 études *in vitro* de qualité moyenne ont étudié les possibilités de retraitement des ciments biocéramiques.

Celle de Oltra et al. compare le retraitement de canaux obturés avec de la gutta-percha associée à l'EndoSequence BC Sealer ou de l'AH plus à l'aide ou non de chloroforme.

Celle de Agrafioti et al. compare le retraitement de la gutta-percha associé soit à l'AH plus, le Totafill BC Sealer ou le MTA Fillapex. Ils étudient également leur retrait en cas de sous obturation par le maître cône. Pour le retraitement différentes méthodes sont employées : instruments rotatifs, ultrasonores, manuels et avec du chloroforme.

Celle de Carpenter et al. compare l'efficacité de 4 solvants endodontiques couramment employés dans le retraitement du MTA Fillapex associé à un cône de Gutta Percha.

Ces 3 études s'accordent pour dire que les ciments biocéramiques étudiés sont désobturables en cas d'anatomie simple mais que les solvants traditionnels sont peu efficaces. D'autre part, la quantité de matériau résiduelle est plus importante que lors du retraitement des ciments classiques. Ces résultats semblent pertinents par rapport au reste de la littérature, mais des zones d'ombre persistent. Leur retraitement n'a pas été étudié dans des canaux complexes et ne correspond donc qu'à une partie de la réalité clinique à laquelle sont confrontés les omnipraticiens.

- **Effet antibactérien, antifongique**

Cette thèse contient 6 études *in vitro* s'intéressant aux propriétés antibactériennes et antifongiques des ciments biocéramiques

Sur ces 6 études, 2 étudiant les propriétés antifongiques des ciments biocéramiques contre le staphylocoque doré et le candida albicans sont insuffisantes pour obtenir une analyse statistique correcte. Leur nombre d'échantillons est inférieur à 30. Une 3eme n'utilise pas de souches microbiennes d'origine humaine.

Concernant les 3 autres études de qualité moyenne, elles étudient l'activité antimicrobienne des biocéramiques (MTA Fillapex, IRoot BP Plus, Activa, BioRoot RCS, Totafill BC) par rapport aux ciments traditionnels (AH Plus, Tubli Seal). Celle de ELReash et al. compare également le pH des différents ciments à différents temps.

Ces études montrent que les biocéramiques ont une activité antimicrobienne qui persiste plus longtemps que celle des ciments classiques. Elle diminue rapidement après la prise complète du matériau. 2 de ces études ne se penchaient cependant que sur des souches bactériennes isolées et non pas sur un biofilm constitué de plusieurs souches comme on peut le trouver dans la cavité buccale.

- **Biocompatibilité et bioactivité**

6 études *in vitro* concernent la bioactivité et la biocompatibilité des ciments biocéramiques. Sur ces 6 études, 4 n'ont pas une taille d'échantillon permettant l'exploitation statistique des résultats, 1 ne semble pas utiliser d'échantillon d'origine humaine. Leur niveau de preuve n'est donc pas suffisant pour en tirer des conclusions.

L'étude restante de Camps et al, de qualité moyenne, étudie l'interaction du BioRoot RCS par rapport à celle d'un ciment oxyde de zinc eugénol (Pulp Canal Sealer) sur les cellules du ligament parodontal humain.

Sur cette dernière étude, les auteurs concluent que le ciment biocéramique est moins cytotoxique et présente une bioactivité supérieure à celle du Pulp Canal Sealer. L'inconvénient majeur de cette étude est qu'elle reste une étude *in vitro* d'un phénomène biologique. Ses résultats devront être confirmés par des études *in vivo*.

- **Pronostic**

5 études *in vivo* étudiant le pronostic des obturations aux ciments biocéramiques ont été incluses dans cette thèse. Bien qu'intéressantes, elles ne permettent pas de déterminer le pronostic à long terme de ces ciments, les temps de suivi étant trop courts.

L'étude de De Chévigny et al. est une étude prospective non-randomisée sur le suivi à 4 et 6 ans de traitements endodontiques avec des ciments biocéramiques. Cette étude conclut que 86% des dents traitées ne montraient pas de signe d'échec du

traitement initial à 6 ans, avec un meilleur pronostic pour les dents sans radioclarité apicale, monocanalaire et sans complication per-opératoire.

Cette étude bien qu'intéressante n'est pas comparative par rapport aux autres ciments et ne permet donc pas de démontrer à elle seule l'intérêt d'utiliser un ciment biocéramique par rapport aux ciments conventionnels. D'autre part, sur 582 dents traitées, seules 137 ont pu être suivies à 6 ans. Ajoutées au suivi des années précédentes, les auteurs ont conclu que 439 dents avaient été guéries. Cela représente toutefois une approximation des résultats obtenus.

Celle de Zavattini et al. compare le pronostic à 1 an des traitements monocône ou avec une condensation à chaud pour l'AH Plus et le BioRoot RCS. D'après cette étude le pronostic des différents traitements est le même à un an. **Cependant c'est une étude prospective non randomisée, avec un temps de suivi relativement court.**

Une autre étude de Chybowski et al, rétrospective cette fois, s'est intéressée au pronostic à minimum 1 an, de dents traitées en cabinet avec des ciments biocéramiques entre 2009 et 2015. Le taux de succès des traitements est de 90.9% selon cette étude. **Toutefois, les temps de suivi étaient très variables, de même que les ciments étudiés.**

L'étude prospective de Yuang-Ling et al. s'intéresse aux facteurs influençant le pronostic du traitement par biocéramique. L'étude différencie les traitements initiaux (83% de réussite) des retraitements (80% de réussite) à 2 et 4 ans. Ils ont déterminé 11 facteurs influençant le pronostic du traitement, en particulier l'irrigation ou non à l'EDTA.

Cette étude n'est là encore ni randomisée, ni comparative. Ses résultats seront donc à confirmer. Le traitement endodontique a été réalisé en secteur endodontique hospitalier par des internes qui n'ont pas la même expérience que les praticiens libéraux.

Enfin l'étude de Zaki et al. s'intéresse à la cicatrisation des tissus apicaux après obturation canalaire avec un ciment à base de biocéramique ou à base d'hydroxyde de calcium. Selon cette étude, l'IRoot SP permet une meilleure cicatrisation à 3 mois. **Cependant cette étude a été réalisée sur des chiens et le suivi n'est que de 3 mois. Il est donc difficile d'en tirer des conclusions sur le pronostic à long terme chez l'homme.**

V. Conclusion

Depuis leur apparition il y a une trentaine d'années, les ciments biocéramiques sont utilisés par les spécialistes en endodontie pour de nombreux actes. Malgré les propriétés très intéressantes de ces matériaux, leurs caractéristiques physiques ne permettaient pas de les utiliser lors d'obturations canalaires orthogrades simples. Il a fallu attendre 2007 pour voir apparaître les premiers ciments de scellement à base de silicates de calcium. Ces derniers rendent les biocéramiques, et leurs nombreux atouts, accessibles aux omnipraticiens.

Ces ciments sont indiqués en association avec un cône de Gutta Percha allant jusqu'à la longueur de travail pour l'obturation des canaux simples sans difficulté anatomique, avec ou sans radioclarité apicale, et également en cas de fragilité radiculaire.

Les fabricants ne les recommandent pas pour le coiffage pulpaire, l'obturation de perforation... pour lesquels il faudra se tourner vers d'autres produits.

Répondant aux normes ISO, leurs caractéristiques les plus intéressantes sont :

- leur biocompatibilité
- leur adhésion chimique à la dentine
- leur réaction de prise en milieu humide
- leur expansion de prise
- leur compatibilité avec l'obturation monocône

Cette dernière, décrite avec les ciments traditionnels, est très intéressante de par sa rapidité et sa facilité de mise en œuvre. Elle a cependant des limites et n'est pas adaptée en cas d'anatomie complexe, car elle ne permet pas d'obtenir une obturation tri-dimensionnelle.

Entre leur efficacité clinique et l'amélioration de l'efficacité du praticien au fauteuil, les biocéramiques semblent avoir tout pour séduire les omnipraticiens.

Pourtant, bien qu'ils se rapprochent du ciment idéal tel que décrit par Grossman, les ciments de scellement biocéramiques n'en ont pas moins des limites. Si tous s'accordent à reconnaître leur biocompatibilité et se posent la question d'une bioactivité, il n'en est pas de même pour toutes leurs caractéristiques.

En effet, les études actuelles ne permettent pas de conclure à la supériorité de leur adhésion et de leur étanchéité dans le temps par rapport aux ciments à base de résine époxy. Leurs protocoles et leurs résultats sont trop différents pour en tirer des conclusions.

La possibilité de réintervention fait également toujours débat. S'il semble possible de retrouver la perméabilité canalair (sous réserve d'avoir utilisé un maître cône allant à la longueur de travail), cela est toutefois plus chronophage et moins efficace qu'avec les ciments traditionnels. C'est notamment dû au fait que les solvants traditionnels sont peu efficaces sur eux. L'obturation en cas d'anatomie complexe est donc inopportune car le pronostic du retraitement est moins bon en cas d'échec du traitement initial.

Enfin, leur coût reste encore nettement plus élevé que celui des ciments classiques, ce qui est un frein supplémentaire à sa diffusion dans les cabinets.

Concernant la recherche sur les ciments biocéramiques, peu de consensus ont été établis à l'heure actuelle. Les études sont majoritairement réalisées *in vitro* avec des échantillons peu importants. Elles ne suffisent pas à établir des recommandations de bonne pratique avec un haut niveau de preuve. Les quelques études *in vivo* réalisées sont des études avec au mieux un recul de six ans. Il est donc encore difficile d'évaluer l'efficacité au long terme des obturations aux ciments biocéramiques. Des recherches plus poussées sont impératives pour statuer sur leurs caractéristiques et leur intérêt par rapport aux matériaux d'obturation classiques.

Si les ciments biocéramiques semblent présenter un réel intérêt dans la pratique quotidienne, il est encore trop tôt pour considérer comme obsolètes les techniques d'obturation et les ciments conventionnels.(9)

Bibliographie

1. Bose R, Ioannidis K, Foschi F, Bakhsh A, Kelly RD, Deb S, et al. Antimicrobial effectiveness of calcium silicate sealers against a nutrient-stressed multispecies biofilm. *J Clin Med*. sept 2020;9(9):2722.
2. Šimundić Munitić M, Poklepović Peričić T, Utrobičić A, Bago I, Puljak L. Antimicrobial efficacy of commercially available endodontic bioceramic root canal sealers: a systematic review. *PLoS ONE* [Internet]. 17 oct 2019 [cité 11 août 2020];14(10). Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6797114/>
3. Chisnoiu R, Moldovan M, Chisnoiu A, Hrab D, Rotaru D, Păstrav O, et al. Comparative apical sealing evaluation of two bioceramic endodontic sealers. *Med Pharm Rep*. déc 2019;92(Suppl No 3):S55-60.
4. Arikatla SK, Chalasani U, Mandava J, Yelisela RK. Interfacial adaptation and penetration depth of bioceramic endodontic sealers. *J Conserv Dent*. 2018;21(4):373-7.
5. Saint-Pierre F, Fanelli G, Mokhbi J, Lombry Y. Rapport traitement Endodontique. Saint-Denis-la-Plaine : Haute Autorité de Santé; 2008.
6. Löst C. Quality guidelines for endodontic treatment: consensus report of the European Society of Endodontology. *Int Endod J*. 2006;39(12):921-30.
7. American Association of Endodontists. Treatment Standards : executive summary [Internet]. 2019. Disponible sur: https://www.aae.org/specialty/wp-content/uploads/sites/2/2019/11/TreatmentStandards_2019.pdf
8. American Association of Endodontists. TreatmentStandards_Whitepaper. [Internet]. [cité 12 août 2020]. Disponible sur: https://www.aae.org/specialty/wp-content/uploads/sites/2/2018/04/TreatmentStandards_Whitepaper.pdf
9. Lim M, Jung C, Shin D-H, Cho Y, Song M. Calcium silicate-based root canal sealers: a literature review. *Restor Dent Endod* [Internet]. 9 juin 2020 [cité 6 sept 2020];45(3). Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7431927/>
10. Jordana F, Choussat P, Colat-Parros J. La Gutta-Percha. Marseille : Société francophone de biomatériaux dentaires; 2009.
11. Komabayashi T, Colmenar D, Cvach N, Bhat A, Primus C, Imai Y. Comprehensive review of current endodontic sealers. *Dent Mater J* [Internet]. 24 mars 2020; Disponible sur: https://www.jstage.jst.go.jp/article/dmj/39/5/39_2019-288/_pdf/-char/en
12. AL-Haddad A, Che Ab Aziz ZA. Bioceramic-based root canal sealers: a review. *Int J Biomater* [Internet]. 3 mai 2016 [cité 27 sept 2020];2016. Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4868912/>

13. Singh S, Srivastava B, Gupta K, Gupta N, Singh R, Singh S. Comparative evaluation of antifungal efficacy of five root canal sealers against clinical isolates of *Candida albicans*: a microbiological study. *Int J Clin Pediatr Dent*. 2020;13(2):119-23.
14. Oltra E, Cox TC, LaCourse MR, Johnson JD, Paranjpe A. Retreatability of two endodontic sealers, EndoSequence BC Sealer and AH Plus: a micro-computed tomographic comparison. *Restor Dent Endod*. févr 2017;42(1):19-26.
15. Agrafioti A, Koursoumis AD, Kontakiotis EG. Re-establishing apical patency after obturation with gutta-percha and two novel calcium silicate-based sealers. *Eur J Dent*. 2015;9(4):457-61.
16. Jordana F, Choussat P, Colat-Parros J. Les ciments de scellement canalaire. Marseille : Société francophone de biomatériaux dentaires; 2009.
17. Lee JK, Kwak SW, Ha J-H, Lee W, Kim H-C. Physicochemical properties of epoxy resin-based and bioceramic-based root canal sealers. *Bioinorg Chem Appl* [Internet]. 22 janv 2017 [cité 10 août 2020];2017. Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5292198/>
18. Wang Y, Liu S, Dong Y. *In vitro* study of dentinal tubule penetration and filling quality of bioceramic sealer. *PLoS ONE* [Internet]. 1 févr 2018 [cité 18 août 2020];13(2). Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5794174/>
19. ZedentalTV. Les techniques d'obturation [Internet]. 2014 [cité 22 nov 2020]. Disponible sur: https://www.youtube.com/watch?v=Y7i57Oix_VM
20. Celikten B, F. Uzuntas C, I. Orhan A, Tufenkci P, Misirli M, O. Demiralp K, et al. Micro-CT assessment of the sealing ability of three root canal filling techniques. *J Oral Sci*. 2015;57(4):361-6.
21. Mohamed El Sayed MAA, Al Hussein H. Apical dye leakage of two single-cone root canal core materials (hydrophilic core material and gutta-percha) sealed by different types of endodontic sealers: an *in vitro* study. *J Conserv Dent*. 2018;21(2):147-52.
22. Hegde V, Arora S. Sealing ability of three hydrophilic single-cone obturation systems: an *in vitro* glucose leakage study. *Contemp Clin Dent*. mars 2015;6(Suppl 1):S86-9.
23. Atlan A, Dantan Q, Jouanny G. La technique monocône est-elle une technique d'avenir ? *Inf Dent*. sept 2015;97(32):5.
24. Zavattini A, Knight A, Foschi F, Mannocci F. Outcome of root canal treatments using a new calcium silicate root canal sealer: a non-randomized clinical trial. *J Clin Med* [Internet]. 13 mars 2020 [cité 13 août 2020];9(3). Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7141324/>
25. Zafar K, Jamal S, Ghafoor R. Bio-active cements-Mineral Trioxide Aggregate based calcium silicate materials: a narrative review. *J Pak Med Assoc*. mars 2020;70(3):1.

26. Benetti F, de Azevedo Queiroz ÍO, Oliveira PHC de, Conti LC, Azuma MM, Oliveira SHP de, et al. Cytotoxicity and biocompatibility of a new bioceramic endodontic sealer containing calcium hydroxide. *Braz Oral Res.* 2019;33:42.
27. Thomas J. Les ciments biocéramiques pour obturation canalair. *Dentoscope.* mai 2017;(178):40-4.
28. Marchi V. Ciments biocéramiques - bouleversement en endodontie ? [Internet]. *ADF2018;* 2018 [cité 5 sept 2020]. Disponible sur: <https://www.youtube.com/watch?v=VzEqEeHy15l>
29. Washio A, Morotomi T, Yoshii S, Kitamura C. Bioactive glass-based endodontic sealer as a promising root canal filling material without semisolid core materials. *Materials* [Internet]. 29 nov 2019 [cité 11 août 2020];12(23). Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6926972/>
30. ISO 20507:2014(fr), Céramiques techniques — Vocabulaire [Internet]. 2014 [cité 1 mars 2021]. Disponible sur: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:20507:ed-2:v1:fr>
31. Raghavendra SS, Jadhav GR, Gathani KM, Kotadia P. Bioceramics in endodontics – a review. *J Istanb Univ Fac Dent.* déc 2017;51(3 Suppl 1):S128-37.
32. Brasseler USA. Redefining endodontics bioceramic technology [Internet]. 2016. Disponible sur: http://39a6b12ilb7y46yglh3knb1p-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/sites/9/2017/11/B_3644_Bioceramic-Guide.pdf
33. Société Angelus. Notice fabricant MTA Fillapex [Internet]. 2016. Disponible sur: https://www.angelusdental.com/img/arquivos/bull_mta_fillapex.pdf
34. Primus CM, Tay FR, Niu L. Bioactive tri/dicalcium silicate cements for treatment of pulpal and periapical tissues. *Acta Biomater.* sept 2019;96:35-54.
35. Ha J-H, Kim H-C, Kim YK, Kwon T-Y. An evaluation of wetting and adhesion of three bioceramic root canal sealers to intraradicular human dentin. *Materials* [Internet]. 25 juill 2018 [cité 18 août 2020];11(8). Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6117688/>
36. Chybowski EA, Glickman GN, Patel Y, Fleury A, Solomon E, He J. Clinical outcome of non-surgical root canal treatment using a single-cone technique with endosequence bioceramic sealer: a retrospective analysis. *J Endod.* juin 2018;44(6):941-5.
37. Celikten B, Uzuntas CF, Orhan AI, Orhan K, Tufenkci P, Kursun S, et al. Evaluation of root canal sealer filling quality using a single-cone technique in oval shaped canals: an *in vitro* Micro-CT study. *Scanning.* 2016;38(2):133-40.
38. Jeong JW, DeGraft-Johnson A, Dorn SO, Fiore PMD. Dentinal tubule penetration of a calcium silicate–based root canal sealer with different obturation methods. *J Endod.* avr 2017;43(4):633-7.
39. Santos-Junior AO, Tanomaru-Filho M, Pinto JC, Tavares KIMC, Torres FFE, Guerreiro-Tanomaru JM, et al. Effect of obturation technique using a new bioceramic sealer on the presence of voids in flattened root canals. *Braz Oral Res*

[Internet]. 2021 [cité 3 mars 2021];35. Disponible sur:
<https://www.scielo.br/j/bor/a/qzXNv494RWmRyXFnqLdCVjr/?format=pdf&lang=en>

40. Chevigny C de, Dao TT, Basrani BR, Marquis V, Farzaneh M, Abitbol S, et al. Treatment outcome in endodontics: the Toronto Study—Phase 4: initial treatment. *J Endod.* mars 2008;34(3):258-63.
41. Ng Y-L, Mann V, Gulabivala K. A prospective study of the factors affecting outcomes of nonsurgical root canal treatment: part 1: periapical health. *Int Endod J.* juill 2011;44(7):583-609.
42. Viapiana R, Guerreiro-Tanomaru JM, Tanomaru-Filho M, Camilleri J. Investigation of the effect of sealer use on the heat generated at the external root surface during root canal obturation using warm vertical compaction technique with system B heat source. *J Endod.* avr 2014;40(4):555-61.
43. Silva PJP da, Marceliano-Alves MF, Provenzano JC, Dellazari RLA, Gonçalves LS, Alves FRF. Quality of root canal filling using a bioceramic sealer in oval canals: a three-dimensional analysis. *Eur J Dent [Internet].* 3 févr 2021 [cité 3 mars 2021]; Disponible sur: <https://www.thieme-connect.de/products/ejournals/pdf/10.1055/s-0040-1722095.pdf>
44. Dentalclick. AH-Plus base + activateur ; Maillefer. [Internet]. [cité 24 mars 2021]. Disponible sur: <https://www.dentalclick.fr/ah-plus-base-activateur.html>
45. Dentalclick. AH-Plus jet seringue + embouts ; Maillefer. [Internet]. [cité 24 mars 2021]. Disponible sur: <https://www.dentalclick.fr/ah-plus-jet-seringue-embouts.html>
46. Dentalclick. Apexit Plus coffret ; Ivoclar Vivadent. [Internet]. [cité 24 mars 2021]. Disponible sur: <https://www.dentalclick.fr/apexit-plus-coffret.html>
47. Dental Addict. BioRoot RCS - Le coffret [Internet]. Dental Addict. [cité 24 mars 2021]. Disponible sur: <https://www.dental-addict.be/fr/endodontie/310134-bioroot-rs-le-coffret.html>
48. Brasseler. Endosequence BC Sealer Biocéramique Racine Canal matériel de scellement Ciment brasseler [Internet]. eBay. [cité 24 mars 2021]. Disponible sur: <https://www.ebay.fr/itm/Endosequence-BC-Sealer-Bioceramic-Root-Canal-Sealing-Material-Cement-Brasseler-/264504372608>
49. Dentaltix. Fillapex - ciment mta 4 gr. - Angelus [Internet]. Dentaltix - Boutique Dentaire Online. [cité 24 mars 2021]. Disponible sur: <https://www.dentaltix.com/fr/angelus/fillapex-ciment-mta-4-gr>
50. Dentaltix. Fillapex - kit ciment d'obturation mta 30 gr. - Angelus [Internet]. Dentaltix - Boutique Dentaire Online. [cité 24 mars 2021]. Disponible sur: <https://www.dentaltix.com/fr/angelus/fillapex-kit-ciment-dobturation-mta-30-gr>
51. Dentalclick. Pulp Canal Sealer ; Kerr. [Internet]. [cité 24 mars 2021]. Disponible sur: <https://www.dentalclick.fr/pulp-canal-sealer.html>
52. GACD. Sealapex - Le coffret ; Kerr [Internet]. [cité 24 mars 2021]. Disponible sur: <https://www.gacd.fr/article-0112590-sealapex.html>

53. Dental Elite. Sealite Regular . Acteon Satelec. [Internet]. [cité 24 mars 2021]. Disponible sur: <https://www.dentalelite.fr/endodontie-20/sealite-regular-221.html>
54. Dentalclick. TotaFill BC Sealer . FKG. [Internet]. [cité 24 mars 2021]. Disponible sur: https://www.dentalclick.fr/totalfill-bc-sealer.html?gclid=EAIaIQobChMI5crzgvfI7wIVF57VCh16rAhmEAYYASABEgKm8fD_BwE
55. Dentalclick. Tubli-Seal Xpress . Kerr. [Internet]. [cité 24 mars 2021]. Disponible sur: <https://www.dentalclick.fr/tubli-seal-xpress.html>
56. Katakidis A, Sidiropoulos K, Koulaouzidou E, Gogos C, Economides N. Flow characteristics and alkalinity of novel bioceramic root canal sealers. Restor Dent Endod. août 2020;45(4): e42. Disponible sur: <https://doi.org/10.5395/rde.2020.45.e42>
57. Zhou H, Shen Y, Zheng W, Li L, Zheng Y, Haapasalo M. Physical properties of 5 root canal sealers. J Endod. oct 2013;39(10):1281-6.
58. Candeiro GT de M, Lavor AB, Lima IT de F, Vasconcelos BC de, Gomes NV, Iglecias EF, et al. Penetration of bioceramic and epoxy-resin endodontic cements into lateral canals. Braz Oral Res [Internet]. 27 mai 2019 [cité 10 août 2020];33. Disponible sur: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1806-83242019000100237&lng=en&nrm=iso&tlng=en
59. Asawaworarit W, Pinyosopon T, Kijssamanmith K. Comparison of apical sealing ability of bioceramic sealer and epoxy resin-based sealer using the fluid filtration technique and scanning electron microscopy. J Dent Sci. juin 2020;15(2):186-92.
60. Guerrero F, Berástegui E, Aspiazu K. Porosity analysis of mineral trioxide aggregate Fillapex and BioRoot cements for use in endodontics using microcomputed tomography. J Conserv Dent. 2018;21(5):491-4.
61. Yanpiset K, Banomyong D, Chotvorrarak K, Srisatjaluk RL. Bacterial leakage and micro-computed tomography evaluation in round-shaped canals obturated with bioceramic cone and sealer using matched single cone technique. Restor Dent Endod. juill 2018;43(3): e30 Disponible sur: <https://www.readcube.com/articles/10.5395%2Frde.2018.43.e30>
62. Martinho JP, França S, Paulo S, Paula AB, Coelho AS, Abrantes AM, et al. Effect of different irrigation solutions on the diffusion of MTA cement into the root canal dentin. Materials. déc 2020;13(23): 5472 Disponible sur: <https://www.mdpi.com/1996-1944/13/23/5472/htm>
63. Jardim Del Monaco R, Tavares de Oliveira M, de Lima AF, Scarparo Navarro R, Zanetti RV, de Fátima Teixeira da Silva D, et al. Influence of Nd:YAG laser on the penetration of a bioceramic root canal sealer into dentinal tubules: a confocal analysis. PLoS ONE. août 2018;13(8): e0202295 Disponible sur: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0202295>
64. Almohaimede A, Almanie D, Alaathy S, Almadi E. Fracture resistance of roots filled with bio-ceramic and epoxy resin-based sealers: *in vitro* study. Eur Endod J. mai 2020;5(2):134-7.

65. Dibaji F, Afkhami F, Bidkhorji B, Kharazifard MJ. Fracture resistance of roots after application of different sealers. *Iran Endod J.* 2017;12(1):50-4.
66. Topçuoğlu HS, Tuncay Ö, Karataş E, Arslan H, Yeter K. *In vitro* fracture resistance of roots obturated with epoxy resin-based, mineral trioxide aggregate-based, and bioceramic root canal sealers. *J Endod.* déc 2013;39(12):1630-3.
67. Ghoneim AG, Lutfy RA, Sabet NE, Fayyad DM. Resistance to fracture of roots obturated with novel canal-filling systems. *J Endod.* nov 2011;37(11):1590-2.
68. Carpenter MT, Sidow SJ, Lindsey KW, Chuang A, McPherson JC. Regaining apical patency after obturation with gutta-percha and a sealer containing mineral trioxide aggregate. *J Endod.* avr 2014;40(4):588-90.
69. Marashdeh MQ, Friedman S, Lévesque C, Finer Y. Esterases affect the physical properties of materials used to seal the endodontic space. *Dent Mater.* août 2019;35(8):1065-72.
70. Gade VJ, Belsare LD, Patil S, Bhede R, Gade JR. Evaluation of push-out bond strength of endosequence BC sealer with lateral condensation and thermoplasticized technique: an *in vitro* study. *J Conserv Dent.* 2015;18(2):124-7.
71. Dabaj P, Kalender A, Unverdi Eldeniz A. Push-out bond strength and SEM evaluation in roots filled with two different techniques using new and conventional sealers. *Materials* [Internet]. 5 sept 2018 [cité 7 févr 2021];11(9). Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6163187/>
72. Shokouhinejad N, Gorjestani H, Nasseh AA, Hoseini A, Mohammadi M, Shamshiri AR. Push-out bond strength of gutta-percha with a new bioceramic sealer in the presence or absence of smear layer. *Aust Endod J.* déc 2013;39(3):102-6.
73. Shokouhinejad N, Hoseini A, Gorjestani H, Shamshiri AR. The effect of different irrigation protocols for smear layer removal on bond strength of a new bioceramic sealer. *Iran Endod J.* 2013;8(1):10-3.
74. Khurana N, Chourasia HR, Singh G, Mansoori K, Nigam AS, Jangra B. Effect of drying protocols on the bond strength of bioceramic, MTA and resin-based sealer obturated teeth. *Int J Clin Pediatr Dent.* 2019;12(1):33-6.
75. Hrab D, Chisnoiu AM, Badea ME, Moldovan M, Chisnoiu RM. Comparative radiographic assessment of a new bioceramic-based root canal sealer. *Clujul Med.* 2017;90(2):226-30.
76. Tour Savadkouhi S, Fazlyab M. Discoloration potential of endodontic sealers: a brief review. *Iran Endod J.* 2016;11(4):250-4.
77. Mestieri LB, Zaccara IM, Pinheiro LS, Barletta FB, Kopper PMP, Grecca FS. Cytocompatibility and cell proliferation evaluation of calcium phosphate-based root canal sealers. *Restor Dent Endod* [Internet]. févr 2020 [cité 17 août 2020];45(1). Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7030964/>

78. Camps J, Jeanneau C, El Ayachi I, Laurent P, About I. Bioactivity of a calcium silicate-based endodontic cement (BioRoot RCS): interactions with human periodontal ligament cells *in vitro*. J Endod. sept 2015;41(9):1469-73.
79. Fonseca B, Coelho MS, Bueno CE da S, Fontana CE, Martin ASD, Rocha DGP. Assessment of extrusion and postoperative pain of a bioceramic and resin-based root canal sealer. Eur J Dent. juill 2019;13(3):343-8.
80. López-García S, Pecci-Lloret MR, Guerrero-Gironés J, Pecci-Lloret MP, Lozano A, Llena C, et al. Comparative cytocompatibility and mineralization potential of Bio-C Sealer and TotalFill BC Sealer. Materials [Internet]. 22 sept 2019 [cité 17 août 2020];12(19). Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6804055/>
81. Šimundić Munitić M, Budimir A, Jakovljević S, Anić I, Bago I. Short-term antibacterial efficacy of three bioceramic root canal sealers against *Enterococcus Faecalis* biofilms. Acta Stomatol Croat. mars 2020;54(1):3-9.
82. Singh G, Gupta I, Elshamy FMM, Boreak N, Homeida HE. *In vitro* comparison of antibacterial properties of bioceramic-based sealer, resin-based sealer and zinc oxide eugenol based sealer and two mineral trioxide aggregates. Eur J Dent. 2016;10(3):366-9.
83. ElReash AA, Hamama H, Eldars W, Lingwei G, Zaen El-Din AM, Xiaoli X. Antimicrobial activity and pH measurement of calcium silicate cements versus new bioactive resin composite restorative material. BMC Oral Health [Internet]. 4 nov 2019 [cité 5 sept 2020];19. Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6829974/>
84. Rathod RK, Taide PD, Dudhale RD. Assessment of antimicrobial efficacy of bioceramic sealer, epiphany self-etch sealer, and AH-Plus sealer against *Staphylococcus aureus* and *Candida albicans*: an *in vitro* study. Niger J Surg. 2020;26(2):104-9.
85. Zaki DY, Zaazou MH, Khallaf ME, Hamdy TM. *In vivo* comparative evaluation of periapical healing in response to a calcium silicate and calcium hydroxide based endodontic sealers. Open Access Maced J Med Sci. août 2018;6(8):1475-9.
86. Talabani RM, Garib BT, Masaeli R. Bioactivity and physicochemical properties of three calcium silicate-based cements: an *in vitro* study. BioMed Res Int [Internet]. 22 mai 2020 [cité 5 sept 2020];2020. Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7273418/>
87. Brasseler USA. Notice d'utilisation de l'EndoSequence BC Sealer [Internet]. 2008. Disponible sur: <http://39a6b12ilb7y46yglh3knb1p-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/files/B-3114D-EndoSequence-BC-Sealer-DFU.pdf>
88. Angelus Science and Technology. MTA-Fillapex. [Internet]. 2016 [cité 28 févr 2021]. Disponible sur: <https://www.angelusdental.com/products/details/id/2>
89. Angelus. MTA Fillapex Endodontic sealer - Scientific profile [Internet]. Disponible sur:

https://cdn.shopify.com/s/files/1/0136/0828/8320/files/MTA_Fillapex_Scientific_Profile.pdf?v=1590440043

90. Olcay K, Taşlı PN, Güven EP, Ülker GMY, Öğüt EE, Çiftçiöğlü E, et al. Effect of a novel bioceramic root canal sealer on the angiogenesis-enhancing potential of assorted human odontogenic stem cells compared with principal tricalcium silicate-based cements. *J Appl Oral Sci* [Internet]. 17 déc 2019 [cité 17 août 2020];28. Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6919198/>
91. Benezra MK, Wismayer PS, Camilleri J. Interfacial characteristics and cytocompatibility of hydraulic sealer cements. *J Endod.* juin 2018;44(6):1007-17.
92. Haute Autorité de Santé. Guide d'analyse de la littérature et gradation des recommandations. *Acta Endosc.* janv 2000;28(2):151-5.

Table des Figures

FIGURE 1 : CLASSIFICATION DES CIMENTS DE SCHEMEMENT ENDODONTIQUES (11) (12).....	19
FIGURE 2 : SCHEMA DE LA REACTION D'HYDRATATION DES CIMENTS BIOCERAMIQUES AU CONTACT DE L'HUMIDITE DENTINAIRE (34).....	30
FIGURE 3 : SUIVI RADIOGRAPHIQUE DE 3 DENTS TRAITEES PAR ENDOSEQUENCE BC SEALER (DE GAUCHE A DROITE, RADIO PRE, PER ET POST-OPERATOIRE) (36).....	34
FIGURE 4 : COUPES HORIZONTALES DE RACINES OBTUREES AVEC LE TOTALFILL BC® (MICROSCOPIE OPTIQUE) (23).....	37
FIGURE 5 : GRAPHIQUE ILLUSTRANT LA VISCOSITE DE 6 CIMENTS DIFFERENTS EN FONCTION DE 3 VITESSES D'INJECTION (DE GAUCHE A DROIT : 72MM/MIN, 10MM/MIN, 5MM/MIN) (57).....	38
FIGURE 6 : IMAGES AUX MEB : AH PLUS® (A,B,C), BIOROOT RCS® (D,E,F) ET MTA PLUS® (G,H,I) AU TIERS CORONAIRE, MEDIAN ET APICAL DU CANAL (4).....	38
FIGURE 7 : IMAGE AU MEB DE SECTION APICALE DE RACINES OBTUREES PAR GP/AH PUS® (EN HAUT) ET GP/ENDOSEQUENCE BC SEALER® (EN BAS) A 24H, 7J ET 4 SEMAINES (59).....	39
FIGURE 8 : POURCENTAGE DE MATERIAU RESIDUEL APRES DESOBTURATION AVEC OU SANS CHLOROFORME (14).....	41
FIGURE 9 : POURCENTAGE DE MATERIAU D'OBTURATION RESIDUEL APRES RETRAITEMENT AVEC OU SANS CHLOROFORME AU TIERS APICAL, MEDIAN ET CORONAIRE POUR L'APH PLUS® ET ENDOSEQUENCE BC SEALER®. (14).....	42
FIGURE 10 : TEMPS DE PRISE DE DIFFERENTS CIMENTS SELON LE FABRICANT (12).....	43
FIGURE 11 : STABILITE DIMENSIONNELLE DE 4 CIMENTS DE SCHEMEMENT A 6 TEMPS DONNES SUR 30J APRES LA PRISE (17).....	43
FIGURE 12 : RADIO-OPACITE DE DIFFERENTS CIMENTS BIOCERAMIQUES PARMIS LES PLUS ETUDIES PAR ORDRE CROISSANT (12) (27) (75).....	45
FIGURE 13 : EVOLUTION DU PH DE 4 CIMENTS DE SCHEMEMENT DE 15 MIN A 28J APRES LEUR PRISE (1).....	45
FIGURE 14 : SURVIE DES CELLULES DU LIGAMENT PARODONTAL AU CONTACT DE 2 CIMENTS DIFFERENTS : BIOROOT RCS® ET PULPCANALSEALER® (ZOE) A 2, 5 ET 7J (78).....	47
FIGURE 15 : TAUX DE SURVIE CELLULAIRE APRES CONTACT DIRECT PENDANT 24H AVEC 3 CIMENTS DE SCHEMEMENT (77).....	47
FIGURE 16 : ASPECT MORPHOLOGIQUE DES CELLULES DU LIGAMENT PARODONTAL HUMAIN AU CONTACT DE DIFFERENTS CIMENTS DE SCHEMEMENT (80).....	48
FIGURE 17 : INHIBITION DU BIOFILM PAR 4 CIMENTS DE SCHEMEMENT DIFFERENTS (1).....	49
FIGURE 18 : ZONE D'INHIBITION DU CANDIDA ALBICANS POUR PLUSIEURS CIMENTS (13).....	49
FIGURE 19 : EFFET DE 2 CIMENTS DE SCHEMEMENT SUR LA SECRETION DE 3 FACTEURS DE CROISSANCE (78).....	50
FIGURE 20 : PRODUITS DE LA GAMME ENDOSEQUENCE POUR LES TECHNIQUES D'OBTURATION A FROID (32).....	52
FIGURE 21 : PRODUITS DE LA GAMME ENDOSEQUENCE POUR L'OBTURATION VERTICALE A CHAUD (32).....	52
FIGURE 22 : CONDITIONNEMENTS DU MTA FILLAPEX (17) (88).....	54
FIGURE 23 : QUALITE DES ETUDES IN VITRO MENTIONNEES DANS CETTE THESE.....	57

Table des Tableaux

TABLEAU 1 : COMPOSITION MOYENNE DES CONES DE GUTTA PERCHA (10)	16
TABLEAU 2 : NORMES ISO 6876/2012 ET ANSI/ADA NUMERO 57 (16)	19
TABLEAU 3 : COMPOSITION DES ZOE (11)	20
TABLEAU 4 : PROPRIETES DES ZOE (16)	21
TABLEAU 5 : PROPRIETES DES CIMENTS A BASE D'HYDROXYDE DE CALCIUM (16)	21
TABLEAU 6 : PROPRIETES DES CIMENTS A BASE DE VERRE IONOMERE (16)	22
TABLEAU 7 : PROPRIETES DES CIMENTS A BASE DE RESINE EPOXY (9) (16) (17) (18).....	23
TABLEAU 8 : PRINCIPAUX CIMENTS BIOCERAMIQUES ET LEUR COMPOSITION CHIMIQUE (9)	30
TABLEAU 9 : TABLEAU RECAPITULATIF DES AVANTAGES ET DES INCONVENIENTS DES CIMENTS BIOCERAMIQUES (9) (12) (23) (31) (35) (36) (29) (28)	31
TABLEAU 10 : TABLEAU COMPARATIF DU PRIX DE DIFFERENTS CIMENTS SELON LEUR COMPOSITION ET LEUR PRESENTATION (44) (45) (46) (47) (48) (49) (50) (51) (52) (53) (54) (55).....	36
TABLEAU 11 : TABLEAU COMPARATIF DES MICRO-INFILTRATIONS APICALES APRES PRISE DE 2 CIMENTS A 3 DUREES DIFFERENTES (59)	40
TABLEAU 12 : TABLEAU RECAPITULATIF DES PROPRIETES DE 4 TYPES DE CIMENTS DE SCELLEMENT.....	51
TABLEAU 13 : TABLEAU RECAPITULATIFS DES PROPRIETES PHYSIQUES DE 6 CIMENTS SELON L'ETUDE DE ZHOU ET AL. (57).....	51
TABLEAU 14: ANALYSE DES ETUDES IN VITRO, D'APRES LA METHODE DE L'ANAES (92)	57

UNIVERSITÉ DE NANTES
UNITÉ DE FORMATION ET DE RECHERCHE D'ODONTOLOGIE

Vu le Président du Jury,

Vu et permis d'imprimer

Vu le Doyen,

Pr Bernard GIUMELLI

ALLIN-GUILLOU (Mélody). – Les ciments biocéramiques en endodontie – 37 f ; ill ; tabl ; 92 réf ; 30 cm (Thèse : Chir. Dent ; Nantes ; 2021)

RESUME :

La pratique endodontique a fortement évolué ces dernières années. Les praticiens sont à la recherche de techniques et de matériaux alliant facilité et rapidité d'utilisation. Cependant, ces derniers ne doivent pas impacter négativement le pronostic du traitement. Afin de répondre à cette demande, les industriels ont développé de nombreux ciments de scellement canalaire, dont ceux à base de biocéramiques.

Apparus il y a une dizaine d'années et présentant des avantages non négligeables, ils sont pourtant peu répandus dans les cabinets d'omnipraticque. La difficulté de retraitement et le coût élevé de ces ciments sont un obstacle à leur démocratisation. Pour autant leur utilisation n'est-elle réellement adaptée qu'à une pratique spécialisée ? Quelles sont leurs propriétés réelles ? Les inconvénients dépassent-ils les avantages ?

RUBRIQUE DE CLASSEMENT :

ODONTOLOGIE- ENDODONTIE

MOTS CLEFS MESH :

Endodontie – Endodontics
Produits d'obturation des canaux radiculaires – Root Canal Filling Materials
Silicate de calcium – Calcium Silicate

JURY :

Président : Professeur Pérez F.
Assesseur : Docteur Enkel B.
Assesseur : Docteur Jordana F.
Assesseur : Docteur Hemming C.
Directeur : Docteur Armengol V.

ADRESSE DE L'AUTEUR :

52 quai Albert Goupil - 53 000 LAVAL
melody.allin@gmail.com