HAL
open science

Biodentine™ : concepts d'adhésion et d'étanchéité

Jennifer Dorigny

▶ **To cite this version:**

Jennifer Dorigny. Biodentine™ : concepts d'adhésion et d'étanchéité. Sciences du Vivant [q-bio]. 2017. dumas-01520711

HAL Id: dumas-01520711

https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01520711v1

Submitted on 10 May 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

UNIVERSITÉ PARIS DESCARTES

MEMBRE DE
USPC
Université Sorbonne Paris Cité

AVERTISSEMENT

Cette thèse d'exercice est le fruit d'un travail approuvé par le jury de soutenance et réalisé dans le but d'obtenir le diplôme d'État de docteur en chirurgie dentaire. Ce document est mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt toute poursuite pénale.

Code de la Propriété Intellectuelle. Articles L 122.4

Code de la Propriété Intellectuelle. Articles L 335.2 - L 335.10

MEMBRE DE
USPC
Université Sorbonne Paris Cité

UNIVERSITÉ PARIS DESCARTES

FACULTÉ DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année 2017 **N° 027**

THÈSE

POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement le : 14 mars 2017

Par

Jennifer DORIGNY

Titre de la thèse :

Biodentine™ : concepts d'adhésion et d'étanchéité

Dirigée par M. le Docteur Lucien Dupagne

JURY

M. le Professeur Louis Maman	Président
M. le Docteur Jean-Pierre Attal	Assesseur
Mme le Docteur Sophie-Myriam Dridi	Assesseur
M. Docteur Lucien Dupagne	Assesseur

Except where otherwise noted, this work is licensed under
http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/

Tableau des enseignants de la Faculté

DÉPARTEMENTS	DISCIPLINES	PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS	MAÎTRES DE CONFÉRENCES
1	ODONTOLOGIE PÉDIATRIQUE	Mme VITAL Mme DAVIT-BEAL	M. COURSON Mme DURSUN Mme VANDERZWALM Mme JEGAT
	ORTHOPÉDIE DENTO-FACIALE		Mme BENAHMED M. DUNGLAS Mme KAMOUN-GOLDRAT Mme LE NORCY
	SANTÉ COMMUNAUTAIRE ET POPULATIONS SINGULIÈRES	Mme FOLLIGUET M. PIERRISNARD	M. NEBOT
2	PARODONTOLOGIE	Mme COLOMBIER	M. BIOSSE DUPLAN Mme DRIDI Mme GOSSET M. GUEZ
	MÉDECINE ET CHIRURGIE BUCCALES	M. MAMAN	Mme EJEIL M. GAULTIER M. HADIDA M. NGUYEN Mme RADOI
3	ODONTOLOGIE CONSERVATRICE ENDODONTIE	Mme CHEMLA M. LASFARGUES	Mme BESNAULT M. BONTE Mme BOUKPESSI M. DECUP Mme GAUCHER
	PROTHÈSE	M. POSTAIRE	M. CHEYLAN M. DAAS M. DOT M. EID Mme FOUILLOUX-PATEY Mme GORIN M. RENAULT M. RIGNON-BRET M. TIRLET M. TRAMBA Mme WULFMANN
4	PRÉVENTION-ÉPIDÉMIOLOGIE ÉCONOMIE DE LA SANTÉ ET ODONTOLOGIE LÉGALE		Mme GERMA M. PIRNAY M. TAVERNIER
	SCIENCES BIOLOGIQUES	Mme CHAUSSAIN M. GOGLY Mme POLIARD M. ROCHEFORT Mme SEGUIER	M. ARRETO Mme BARDET Mme CHARDIN M. LE MAY M. FERRE (MCU associé) Mme CHERIFI (MCU associée)
	SCIENCES ANATOMIQUES PHYSIOLOGIQUES ET OCCLUSODONTIQUE		M. ATTAL Mme BENBELAID Mme BENOIT M. BOUTER M. CHARRIER M. CHERRUAU M. FLEITER Mme FRON M. SALMON Mme TILOTTA

Janvier 2017

Remerciements

À M. le Professeur Louis Maman

Docteur en Chirurgie Dentaire

Spécialiste qualifié en Chirurgie Orale

Habilité à Diriger des Recherches

Professeur des Universités, Faculté de Chirurgie Dentaire Paris Descartes

Praticien Hospitalier, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris

Doyen de la Faculté de Chirurgie Dentaire Paris Descartes

Pour m'avoir fait l'honneur de présider ce jury,

Pour votre bonne humeur et votre écoute,

Je vous exprime ma plus sincère gratitude et toute ma reconnaissance.

À M. le Docteur Jean-Pierre Attal

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur de l'Université Paris Descartes

Habilité à Diriger des Recherches

Maître de Conférences des Universités, Faculté de Chirurgie Dentaire Paris Descartes

Praticien Hospitalier, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris

Pour l'honneur que vous me faites à siéger à ce jury,

Pour vos conseils et votre soutien permanent,

Je vous exprime ma gratitude la plus sincère et mon plus grand respect.

À Mme le Docteur Sophie-Myriam Dridi

Docteur en Chirurgie Dentaire

Spécialiste qualifiée en Médecine Bucco-Dentaire

Docteur de l'Université Paris Descartes

Maître de Conférences des Universités, Faculté de Chirurgie Dentaire Paris Descartes

Praticien Hospitalier, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris

Pour l'honneur que vous me faites de siéger à ce jury,

Pour tout votre soutien et votre enseignement,

Pour votre pédagogie, votre disponibilité et votre gentillesse,

Veuillez trouver ici le témoignage de ma profonde reconnaissance et de mon respect.

À M. le Docteur Lucien Dupagne

Docteur en Chirurgie Dentaire

Assistant Hospitalo-universitaire, Faculté de Chirurgie Dentaire Paris Descartes

Praticien Hospitalier, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris

Pour l'honneur que vous me faites de diriger cette thèse et de siéger à ce jury,

Pour votre gentillesse et votre disponibilité,

Je vous exprime toute ma reconnaissance.et mon respect le plus sincère.

A Stéphane, mon amour, mon pilier dans cette vie. Je pense qu' i l est maintenant prêt à diagnostiquer n' importe quelle pathologie dentaire à force de m' écouter avec attention . Comme i l dit " on fait le même métier, on fait des t rous et on les rebouche".
A ma mère, qui a toujours été d' un réconfort et d' un soutien à toutes épreuves.

A mon père, qui est toujours content que je sois bien, même s i c' est loin de lui. **A**

ma sœur, qui a toujours cru en moi, quoiqu' i l arrive.

A Florence et Geoffroy, mes premiers sponsors dans cette aventure. Merci d' y avoir cru. J ' attends votre prochain investissement pour le cabinet ☺

A Odile, qui a su prendre le relais quand i l fallait. Merci pour to n accueil et ton soutien.

A Ethan et Alexandre, mes 2 petits f rères qui remplissent de vie mes venues à Paris.

A Muriel et Jean- Ber, mes parents adoptifs. Merci de votre accueil, de votre gentillesse et de votre soutien.

A Laura, ma belle- sœur favorite, mon acolyte de bureau le samedi et le dimanche.

A Bonne- Maman et Jacques, pour leur a ide et leur écoute. Merci pour ces vacances en Corse, se ressourcer avant de réattaquer une nouvelle année.

A mon grand- père Jean, avec toute ma tendresse.

A L ia, une amie t rès chère, toujours prête à rendre service autour d' un bon gouter de préférence.

A la Dreamteam de Charles Foix, pour votre bonne humeur, pour votre folie, pour les repas du midi agrémenté de potins et r i re.

A Flavie, qui me soutien de son hamac en Guyane .

A Cha et Valou, mes 2 fondamentales. On fêtera la f in de nos études au Métro pour f inir en beauté.

A Agnès, qui je n' a i plus quitté depuis ce cours de basket en seconde.

A toute ma promo, spécialement ceux d' Ivry, dont Marie, Leatitia, Gwen, Justine.

A ceux de la promo d' au - dessus , dont Carole, E l i sa, Kinz

A la Bioteam Paris, qui m' a accueilli les bras ouverts. Merci de votre simplicité et de votre pédagogie.

A tous mes enseignants de Montrouge, merci pour votre enseignement de grande qualité. Je pense que je l ' apprécie d' autant plus en a l lant travailler dans une autre région.

Au docteur Bayet, merci de votre soutien . Je n' oublierai jamais tous les samedi matins passés dans votre cabinet et votre aquarium incroyable.

A toutes les Pompom- Girls de Montrouge.

A toute l ' équipe de Biomat', SFBD 2020 , Kods, Marianne, Mehdi , Julie, Clara. A ma petite

pouline, Carole, qui sera une formidable dentiste.

A Charlotte et Julie, pour leur relecture efficace.

Table des matières

INTRODUCTION **3**

1 : PRESENTATION DE LA BIODENTINE™ **5**

1.1. HISTORIQUE DES CIMENTS TRICALCIQUES 5

1.2. INDICATIONS DE LA BIODENTINE™ 6

1.3. COMPOSITION ET ROLE DES CONSTITUANTS DE LA BIODENTINE™ 7

1.3.1. Composition et rôle des constituants pondéraux 7

1.3.2. Composition et rôle des constituants du liquide 8

1.3.3. Manipulation 8

1.4. CARACTERISTIQUES CLINIQUES DE LA BIODENTINE™ 9

1.4.1 Temps et cinétique de prise 9

1.4.2 Résistance à la compression de la Biodentine™ 11

1.4.3 Biocompatibilité de la Biodentine™ 13

1.4.4 Bioactivité de la Biodentine™ 17

1.5. CONCLUSION 19

2 : L'ETANCHEITE ET L'ADHESION DE LA BIODENTINE™ AU COMPLEXE AMELO-DENTINAIRE **20**

2.1. L'ETANCHEITE DE LA BIODENTINE™ AU COMPLEXE AMELO-DENTINAIRE 20

2.1.1. Les tests de micro-infiltration 20

2.1.2. Résistance à l'acide 31

2.1.3. Imagerie de l'interface Biodentine™ - dentine 33

2.2. L'ADHESION DE LA BIODENTINE™ ET SON EVALUATION 37

2.2.1. L'adhésion de la Biodentine™ au complexe amélo-dentinaire 37

2.2.2. Evaluation de l'adhérence de la Biodentine™ au complexe amélo-dentinaire 40

2.3. CONCLUSION 43

3 : ADHESION ET ETANCHEITE DE LA BIODENTINE™ AUX MATERIAUX DE RESTAURATION **46**

3.1. ETANCHEITE DE LA BIODENTINE™ AUX DIFFERENTS MATERIAUX DE RESTAURATION 46

3.2. ADHESION DE LA BIODENTINE™ AUX DIFFERENTS MATERIAUX DE RESTAURATION 49

3.2.1. Etude de D. F. Hashem, 2014 50

3.2.2. Etude de M. E. Odabas, 2013 55

3.2.3. Etude de E. Cengiz, 2016 56

3.2.4. Etude de M. Altunsoy, 2015 58

3.2.5. Etude de Velaga L. Deepa, 2016 60

3.2.6. Etude de K. Cantekin, 2014 61

3.3. CONCLUSION 63

4 : PROPOSITION DE PROTOCOLE CLINIQUE 65

CONCLUSION 70

BIBLIOGRAPHIE 71

TABLE DES FIGURES 73

TABLE DES TABLEAUX 76

Introduction

Grâce aux avancées scientifiques, la dentisterie contemporaine nous offre un nouveau regard sur les traitements dentaires. La préservation tissulaire est au cœur des nouveaux traitements, rendus possibles au moyen de la recherche et de la clinique.

En effet, les lésions carieuses profondes étaient auparavant traitées par des obturations à l'amalgame ou alors, par une dévitalisation préventive suivie d'une reconstitution composée d'un inlay-core et d'une couronne. Grâce aux nouvelles données de la science, nous traitons aujourd'hui les mêmes lésions avec un coiffage pulpaire direct ou indirect suivi d'une restauration collée, afin de conserver la vitalité pulpaire à l'aide de certains matériaux développés appelés les ciments tricalciques.

Les amalgames dentaires sont de moins en moins utilisés depuis les années 80. Les vapeurs de mercure sont néfastes pour la santé du patient et du praticien et leurs préparations sont très délabrantes[1].

Les praticiens utilisent désormais les résines composites pour les pertes structurelles coronaires légères à modérées d'une dent pulpée. Ces résines, contrairement à l'amalgame, sont capables de se lier à la dentine grâce à une couche hybride formée par les différents systèmes adhésifs. Malgré ces avancées, les composites ne sont pas des « biomatériaux idéaux » pour traiter les caries profondes. En effet, la vitalité pulpaire est menacée compte tenu du retrait de polymérisation de la résine qui augmente les micro-infiltrations, et du relargage des monomères non polymérisés proches de la pulpe.

La préservation et le maintien de la vitalité pulpaire sont des objectifs majeurs de la dentisterie contemporaine.

Historiquement, l'hydroxyde de calcium (Dycal®, Dentsply) a été largement utilisé comme matériau de coiffage. Les études révèlent qu'en réalité le pont dentinaire formé par les odontoblastes est la conséquence d'une inflammation pulpaire chronique modérée voire une hyperémie. Il est de plus en plus abandonné par les praticiens.

[1] Koubi et al., « Clinical evaluation of the performance and safety of a new dentine substitute, Biodentine, in the restoration of posterior teeth : a prospective study ».

C’est pour cela que les chercheurs se sont intéressés à un nouveau biomatériau dérivé du « ciment de Portland » : le ciment tricalcique, utilisé en premier lieu dans le bâtiment.
Les ciments tricalciques à base du ciment Portland ont été développés depuis les années 90. Ils ont présenté de bons résultats cliniques concernant la biocompatibilité et sont maintenant de plus en plus utilisés dans les cas de coiffages pulpaires[2].

[2] Camilleri et Pitt Ford, « Mineral trioxide aggregate : a review of the constituents and biological properties of the material ».

1 : Présentation de la Biodentine™

1.1. Historique des ciments tricalciques

Le premier ciment tricalcique commercialisé fut le Mineral Trioxide Aggregate (MTA) décrit dès 1993 et distribué par Denstply en tant que ProRoot® MTA[3]. Aujourd'hui, il est commercialisé sous deux formes : une poudre grise ou une poudre blanche. Il est composé de 50 à 75% d'oxyde de calcium et de 15 à 25% d'oxyde de silicium. Ses 2 composants forment 70-95% du ciment auquel on ajoute de l'oxyde de Bismuth pour le rendre radio-opaque. Lors de l'hydratation, le ciment va former un gel d'hydrate de silicate[4].

Ses caractéristiques sont[5]:

- Régénération du cément ;
- Faible solubilité dans l'eau après le temps de prise ;
- Application dans un environnement humide ;
- Hémostatique ;
- Forte barrière étanche ;
- Inducteur de tissu minéralisé.

Ses indications sont[6]:

- Coiffage pulpaire direct ;
- Apexification ;
- Apexogénèse ;
- Pulpotomie ;
- Comblement des perforations ;
- Obturation *a retro* lors des chirurgies endodontiques.

[3] Cantekin et Avci, « Evaluation of shear bond strength of two resin-based composites and glass ionomer cement to pure tricalcium silicate-based cement (Biodentine®) ».
[4] Camilleri et Pitt Ford, « Mineral trioxide aggregate : a review of the constituents and biological properties of the material ».
[5] Cantekin et Avci, « Evaluation of shear bond strength of two resin-based composites and glass ionomer cement to pure tricalcium silicate-based cement (Biodentine®) ».
[6] Ibid.

Mais il présente aussi des inconvénients[7] :

- Temps de prise long (2 heures 45 minutes) ;
- Haute solubilité dans l'eau pendant le temps de prise ;
- Décoloration de la dent ;
- Difficulté de manipulation ;
- Propriétés mécaniques insuffisantes de résistance à la compression et à la flexion[8] ;
- Coût élevé.

Au-delà de son temps de prise très long, le MTA a une faible résistance à la compression et à la flexion, encore plus faible que celle de la dentine naturelle. Ces facteurs limitent le champ d'indication de ce matériau et s'opposent à son utilisation en tant que restauration temporaire, ou base de restauration dans le cas des techniques « sandwich »[9].

Depuis 2010, un nouveau ciment tricalcique a été commercialisé par Septodont en tant que nouveau substitut dentinaire (non métallique et inorganique): la Biodentine™. En améliorant les propriétés physico-chimiques des ciments tricalciques traditionnels (augmentation de la résistance mécanique, diminution du temps de prise…), Septodont a rendu plus facile l'utilisation de la Biodentine™ et a élargi son champ d'indication au coiffage pulpaire[10].

1.2. Indications de la Biodentine™

Les indications de la Biodentine™ concernent les traitements endodontiques et restaurateurs[11] :

- Obturation des perforations canalaires ou du plancher pulpaire ;
- Apexification ;

---

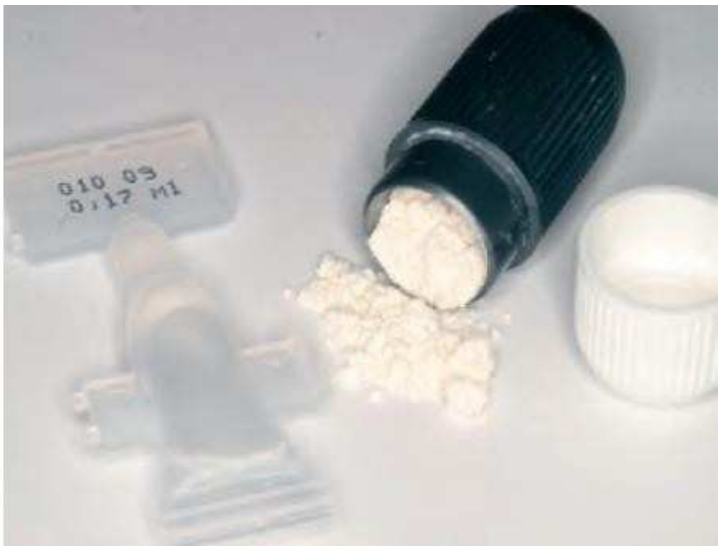
[7] Ibid.
[8] Kaup et al., « Shear bond strength of Biodentine, ProRoot MTA, glass ionomer cement and composite resin on human dentine ex vivo ».
[9] Ibid.
[10] Septodont, « Biodentine™; Active Biosilicate Technology™ ».
[11] Malkondu, Kazandag, et Kazazoglu, « A review on biodentine, a contemporary dentine replacement and repair material ».

- Résorption ;
- Obturation *a retro* lors des chirurgies endodontiques ;
- Coiffage pulpaire direct ou indirect, en cas de lésion carieuse profonde ou suite à un traumatisme ;
- Pulpotomie sur molaires immatures ou temporaires en pédodontie.

1.3. Composition et rôle des constituants de la Biodentine™

La Biodentine™ se présente sous forme d'une capsule prédosée de 0.7g contenant de la poudre et une pipette de liquide de 0.18g à usage unique[12](Fig.1).

Figure 1 : Photographie d'une capsule prédosée de poudre de Biodentine™ et de sa pipette à usage unique



Source : Semennikova, Colon, Pradelle-Plasse, Les ciments tricalciques, Biomatériaux dentaires cliniques, 2016

1.3.1. Composition et rôle des constituants pondéraux[13]

- 80,75% de Silicate tricalcique C3S : une fois hydraté, il forme un gel rigide CSH qui confère les propriétés mécaniques à la Biodentine™.
- 14,25% de Carbonate de Calcium $CaCO_3$: il représente les charges du matériau.

[12] Semennikova, Colon, et Pradelle-Plasse, « Les ciments tricalciques : exemple du matériau Biodentine™. Partie 1, présentation, composition et propriétés ».
[13] Ibid.

- 5% d'Oxyde de Zirconium ZrO_2 : il rend le matériau radio-opaque.

1.3.2. Composition et rôle des constituants du liquide

- 14,70% de Chlorure de calcium $CaCl_2 2H_2O$: il accélère la prise.
- 3% de Premia 150 : il joue le rôle d'agent réducteur d'eau.
- Eau purifiée.

1.3.3. Manipulation

- Ouvrir la capsule de poudre
- Détasser la poudre avec une spatule à ciment
- Déposer 5 gouttes de la dosette dans la capsule
- Faire vibrer 30 secondes dans un vibreur à amalgame
- Utiliser les spatules du kit afin de déposer le matériau sur la surface voulue
- Tapoter légèrement avec un fouloir pour étaler la Biodentine™ grâce à son effet thixotrope.

Une fois mélangée, la Biodentine™ a un effet de pâte épaisse (Fig.2).

Figure 2 - Photographie d'une capsule de Biodentine™ prêt à l'emploi

Source : Semennikova, Colon, Pradelle-Plasse, Les ciments tricalciques, Biomatériaux dentaires cliniques, 2016

1.4. Caractéristiques cliniques de la Biodentine™

1.4.1 Temps et cinétique de prise

La capacité du silicate de calcium à interagir avec l'eau conditionne la prise et la dureté du matériau[14].

L'hydratation du silicate tricalcique ($3CaO.SiO_2$ = C3S) produit un gel poreux d'hydrate de silicate de calcium (gel CSH) et de l'hydroxyde de calcium ($Ca(OH)_2$)[15].

Equation-bilan de la réaction[16] :

$$2(3\ CaO.SiO_2) + 6\ H_2O \rightarrow 3\ CaO.2SiO_2.3\ H_2O + 3\ Ca(OH)_2$$

Correspondant à :

Silicate tricalcique (C3S) + eau → gel d'hydrate de silicate de calcium (CSH) + hydroxyde de calcium[17]

Cette dissolution se produit à la surface de chaque grain de silicate de calcium. Le gel poreux d'hydrate de silicate de calcium (CSH) précipite à la surface des grains et l'excès d'hydroxyde de calcium comble les pores du gel[18].

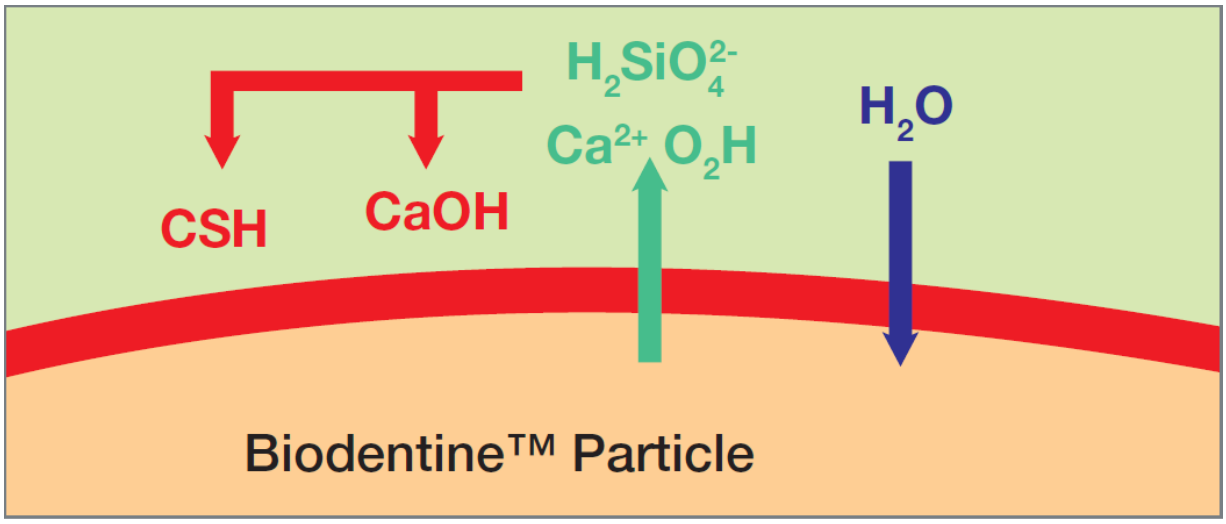
Les grains de silicate tricalcique qui n'ont pas réagi, sont entourés d'une couche de gel CSH, qui est relativement imperméable à l'eau[19].

La formation du gel CSH est due à l'hydratation permanente du silicate de calcium qui, au fur et à mesure, remplit les espaces entre les grains de silicate de calcium. La dureté résulte de la formation d'un cristal qui est déposé dans une solution sursaturée[20].

---

[14] Septodont, « Biodentine™; Active Biosilicate Technology™ ».
[15] Semennikova, Colon, et Pradelle-Plasse, « Les ciments tricalciques : exemple du matériau Biodentine™. Partie 1, présentation, composition et propriétés ».
[16] Ibid.
[17] Ibid.
[18] Septodont, « Biodentine™; Active Biosilicate Technology™ ».
[19] Ibid.
[20] Ibid.

Figure 3 - Schéma de la réaction de prise de la Biodentine™



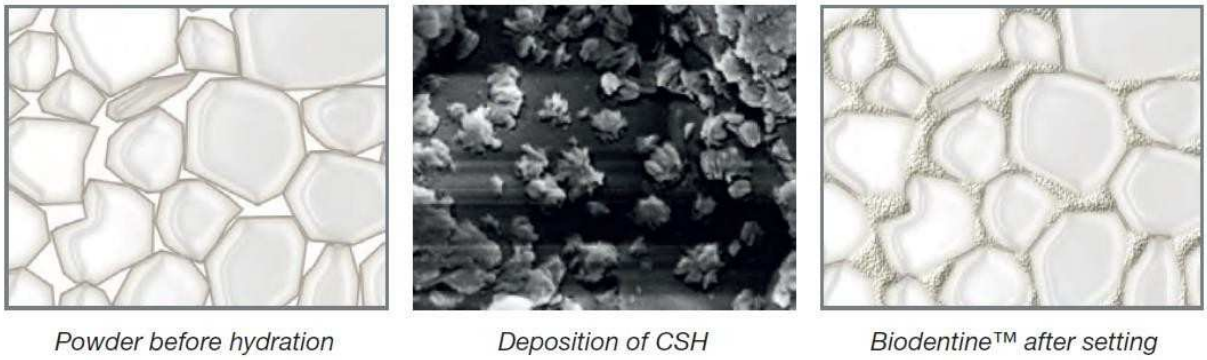
Source : Septodont R&D departement, Biodentine™ Active Biosilicate Technology™, 2009

Réaction de prise[21] (Fig.3) :

L'eau purifiée hydrate la poudre, afin de former un gel poreux de silicate de calcium et d'hydroxyde de calcium ; la calcite (CaCO3) remplit ensuite les espaces vides (Fig. 4).

L'hydroxyde de calcium autour du gel CSH permet les échanges ioniques et garde le matériau bioactif.

Figure 4 - Schéma de Biodentine™ avant et après hydratation



Source : Septodont R&D departement, Biodentine™ Active Biosilicate Technology™, 2009

Traduction : Poudre avant l'hydratation, dépôt de CSH, Biodentine™ après sa prise.

[21] Ibid.

L'hydratation des particules de silicate de calcium donne Ca2+, HO2 (hydroperoxyle) et $H_2SiO_4^{2-}$ dans une solution à haut pH, qui forment de l'hydroxyde de calcium et du gel poreux CSH[22] (Fig. 4). Ils précipitent sur les particules de Biodentine™. L'ensemble des gels CSH polymérise pour former un réseau et l'hydroxyde de calcium relargué augmente l'alcalinité[23].

Dans la salive, des ions phosphates présents réagissent avec le ciment tricalcique et forment des dépôts d'apatite, ce qui augmente l'efficacité de l'obturation des pores du gel[24]. La Biodentine™ est donc une source de cristaux d'hydroxyapatite quand elle est en contact avec la salive[25].

Le temps de prise de la Biodentine™ (9 à 12 minutes) est considérablement réduit par rapport au MTA (2heures 45). À cause de sa cinétique, la Biodentine™ atteint ses propriétés mécaniques maximales au bout de 2 semaines, ce qui correspond à la formation des cristaux de $CaCO_3$[26].

1.4.2 Résistance à la compression de la Biodentine™

La résistance à la compression est la valeur de résistance maximale enregistrée lors de la rupture d'un échantillon cylindrique soumis à une contrainte uni-axiale en compression (Fig.5).

Les ciments tricalciques utilisés en coiffage pulpaire doivent supporter la force occlusale, surtout en postérieur. Il est donc essentiel, pour ces matériaux de résister aux forces masticatrices, autrement dit d'avoir une résistance à la compression suffisante pour contrer les impacts externes.[27]

---

[22] Ibid.

[23] Semennikova, Colon, et Pradelle-Plasse, « Les ciments tricalciques : exemple du matériau Biodentine™. Partie 1, présentation, composition et propriétés ».

[24] Butt et al., « Comparison of physical and mechanical properties of mineral trioxide aggregate and Biodentine ».

[25] Malkondu, Kazandag, et Kazazoglu, « A review on biodentine, a contemporary dentine replacement and repair material ».

[26] Bachoo, Seymour, et Brunton, « A biocompatible and bioactive replacement for dentine : is this a reality ? The properties and uses of a novel calcium-based cement ».

[27] Kayahan et al., « Effect of acid etching procedures on the compressive strength of 4 calcium silicate–based endodontic cements ».

Une des caractéristiques de la Biodentine™ est d'augmenter sa résistance à la compression au fil du temps jusqu'à atteindre celle de la dentine[28].

L'équipe de N. Butt[29] a étudié la résistance à la compression du MTA et de la Biodentine™.

Méthode :

Le matériau est mis dans des moules cylindriques et stockés dans l'eau distillée à 37°C pour simuler les conditions cliniques. La résistance à la compression est ensuite testée à l'aide d'une machine universelle Instron à une vitesse de 0,5mm/minutes au bout de 1h, 1j, 7j et 28j : c'est un test de traction diamétral (Fig. 5).

Figure 5 - Machine universelle Instron réalisant un test de compression uni-axial diamétrale

Source : Butt, Comparison of physical and mechanical properties of mineral trioxide aggregate and Biodentine™, 2015

Résultats:

[28] Septodont, « Biodentine™; Active Biosilicate Technology™ ».
[29] Butt et al., « Comparison of physical and mechanical properties of mineral trioxide aggregate and Biodentine ».

La résistance à la compression du MTA était de 41MPa à 24h et de 76.8MPa à 28j, tandis que celle de la Biodentine™ passe de 170MPa à 24h à 304MPa à 28j. La Biodentine™ présente donc une meilleure résistance à la compression que le MTA.

Conclusion :

La valeur de résistance à la compression à 28 jours de la Biodentine™ (304MPa) est proche de celle de la dentine (=297MPa).

Ces résultats s'expliquent par la formation continue du gel CSH, après la mise en place initiale du matériau. Ce processus de maturation réduit les porosités avec le temps. La cristallisation de la Biodentine™ se poursuit pendant 4 semaines, ce qui augmente sa force et son étanchéité[30].

Cette importante résistance à la compression est due au faible ratio eau/poudre utilisé dans la Biodentine™. Ce faible ratio est possible grâce au réducteur d'eau (Fluide Premia 150) à base de polymère[31].

D'après une autre étude effectuée par le département d'endodontie d'Istanbul[32], un test de résistance à la compression après mordançage est réalisé 7 jours après la mise en place initiale du matériau Biodentine™. Ce test démontre que le mordançage n'entraine aucune altération de résistance à la compression.

1.4.3 Biocompatibilité de la Biodentine™

La biocompatibilité d'un matériau se définit par la capacité du matériau à ne pas dégrader ni interférer le milieu biologique dans lequel il est utilisé.

Les ciments silicates de calcium sont des dispositifs médicaux de classe III, c'est-à-dire des matériaux implantables[33].

---

[30] Ibid.

[31] Kayahan et al., « Effect of acid etching procedures on the compressive strength of 4 calcium silicate–based endodontic cements ».

[32] Ibid.

[33] Semennikova, Colon, et Pradelle-Plasse, « Les ciments tricalciques : exemple du matériau Biodentine™. Partie 1, présentation, composition et propriétés ».

C'est un matériau utilisé au contact des cellules pulpaires ou osseuses. Sa biocompatibilité est de ce fait impérative car il peut affecter leur viabilité.

Depuis de nombreuses années, beaucoup d'études témoignent de la biocompatibilité du Mineral Trioxide Aggregate (MTA)[34].

Les tests précliniques suivants de la Biodentine™ révèlent des résultats très encourageants à travers les tests de cytotoxicité (ISO 7405, ISO10993-5)[35].

Dans une première étude[36], les fibroblastes pulpaires humains des troisièmes molaires sont placés au contact de la Biodentine™ (Septodont), de l'hydroxyde de calcium (Dycal®, Dentsply) et du MTA (ProRoot MTA®, Dentsply). Leur viabilité cellulaire a été démontrée avec le test MTT (test de numération rapide des cellules vivantes). Les résultats révèlent que la Biodentine™ est non toxique, comme le MTA, alors que l'hydroxyde de calcium induit 22% de toxicité[37].

Dans une seconde étude, de l'équipe de P. Laurent[38] compare la cytotoxicité de la Biodentine™, de l'hydroxyde de calcium (Dycal®) et du MTA lors des coiffages pulpaires directs ou indirects. Les résultats indiquent qu'en cas de coiffage indirect, c'est-à-dire avec une interposition d'un disque de dentine entre la pulpe et le biomatériau, aucun de ces 3 matériaux n'est toxique. En revanche, lorsque le contact est direct avec la pulpe, le Dycal® montre une haute toxicité par rapport au MTA® et à la Biodentine™, détectée à travers une dysfonction des fibroblastes.

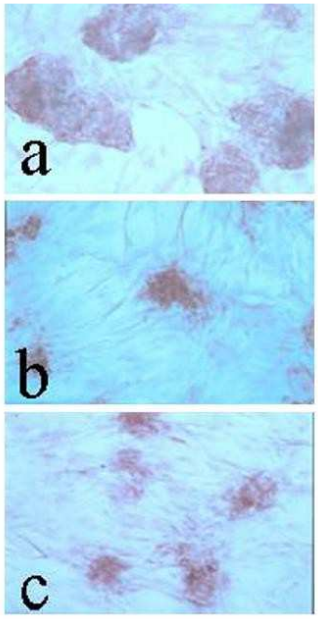
La différenciation cellulaire a été mesurée avec l'expression génique du collagène, de la sialoprotéine dentinaire (DSP) et de l'ostéonectine (OSN) par les fibroblastes. D'après cette étude, les cellules au contact de la Biodentine™ et du MTA affichent une forte expression de

---

[34] Camilleri et Pitt Ford, « Mineral trioxide aggregate : a review of the constituents and biological properties of the material ».
[35] Septodont, « Biodentine™; Active Biosilicate Technology™ ».
[36] Ibid.
[37] Ibid.
[38] Laurent et al., « Induction of specific cell responses to a Ca3SiO5-based posterior restorative material ».

ces protéines et la création d'une matrice minéralisée après 4 semaines de contact avec ces biomatériaux[39].

Figure 6 - L'effet du nouveau ciment tricalcique sur la minéralisation des cellules pulpaires. Immunohistochimie de cellules pulpaires pour évaluer l'effet des nouveaux ciments tricalciques



Source : Septodont R&D departement, Biodentine™ Active Biosilicate Technology™, 2009

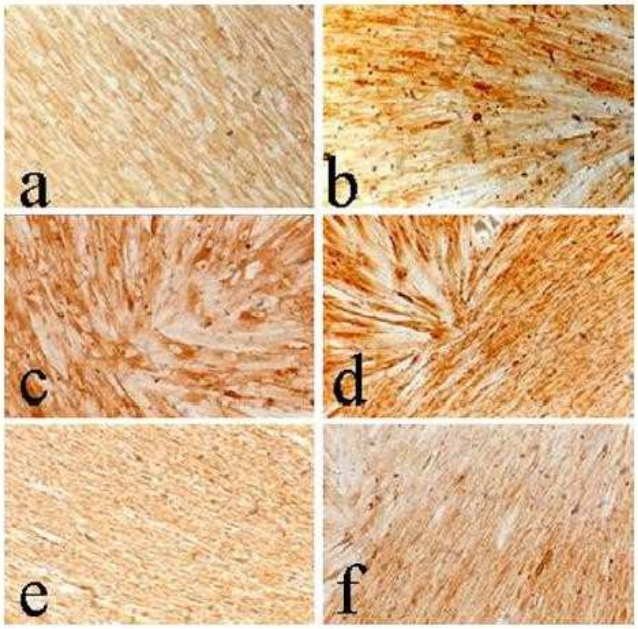
Sur la figure 6,

- l'image (Fig. 6a) est l'échantillon de contrôle : les cellules contrôles expriment la protéine Nestine et sécrètent une matrice minéralisée en forme de nodules ;
- l'image (Fig. 6b) représente les cellules au contact de la Biodentine™ ;
- l'image (Fig. 6c) représente les cellules au contact du MTA.

[39] Septodont, « Biodentine™; Active Biosilicate Technology™ ».

Ces 2 échantillons sont observés après 4 semaines de culture. La protéine Nestine y est aussi synthétisée ainsi qu'une matrice minéralisée[40].

Figure 7 - L'effet du nouveau ciment tricalcique sur l'expression génique spécifique des fibroblastes pulpaires. Immunohistochimie des cellules pulpaires au contact de la Biodentine™ et du MTA à travers l'expression génique spécifique



Source : Septodont R&D departement, Biodentine™ Active Biosilicate Technology™, 2009

Sur la figure 7, les cellules de contrôle expriment le collagène de type I (Fig. 7a) et la sialoprotéine dentinaire (Fig.7b). Il en est de même pour les cellules ayant été en culture 4 semaines au contact de la Biodentine™ (Fig. 7c et fig. 7d) et du MTA (Fig. 7e et f).

Concernant la génotoxicité, le test d'Ames (test biologique permettant de démontrer le potentiel mutagène d'un composé chimique) ne montre pas de mutagénèse particulière des

[40] Ibid.

cellules au contact de la Biodentine™. Le nombre de mutations des cellules au contact de la Biodentine™ sont les mêmes que celles encourues naturellement[41].

Un autre test, celui des micronoyaux, ne révèle aucune augmentation du taux de micro noyaux des lymphocytes au contact de la Biodentine™ par rapport au groupe contrôle (milieu négatif)[42].

D'après ces études, il n'existe aucune toxicité et génotoxicité de la part de Biodentine™.

M. Pérard teste les effets biologiques de la Biodentine™ dans les cas de coiffage sur les cellules pulpaires et les odontoblastes[43]. Il évalue aussi les effets de la Biodentine™ et du MTA sur l'expression génique sur des cultures sphériques (le modèle *in vitro* le plus réaliste du tissu humain). La différenciation a été testée avec une PCR-RT. Les 2 biomatériaux ont montré une différenciation cellulaire similaire à celles des cellules pulpaires.

En conclusion, leurs observations confirment l'indication des coiffages pulpaires pour ces 2 biomatériaux.

Les travaux de Zhirong. L.[44], ont évalué la prolifération, la migration et l'adhésion des cellules pulpaires au contact de la Biodentine™. Il en conclut que la Biodentine™ est un matériau bioactif et biocompatible capable d'entrainer la prolifération, la migration et l'adhésion des cellules humaines pulpaires.

La Biodentine™ utilisée en coiffage pulpaire direct peut influencer positivement la réparation pulpaire et la prolifération, la migration et l'adhésion des cellules pulpaires.

1.4.4 Bioactivité de la Biodentine™

La bioactivité des ciments tricalciques correspond à la capacité de formation d'apatite ; alors que la biominéralisation est la capacité de s'ancrer sur la dentine sous-jacente par la formation

[41] Ibid.
[42] Ibid.
[43] Pérard et al., « Spheroid model study comparing the biocompatibility of Biodentine and MTA ».
[44] Zhirong L. et al., « Effect of Biodentine™ on the proliferation, migration and adhesion of human dental pulp stem cells ».

d'une interface riche en minéraux et d'étendre des structures dans les zones inter-tubulaires sous forme de « tag-like »[45].

La Biodentine™ est décrit comme un biomatériau bioactif. En effet, elle montre une minéralisation biomimétique.

Les travaux de P. Laurent et J. Camps[46] étudient la capacité de la Biodentine™ d'induire une dentine synthétique réparatrice et de moduler la sécrétion du facteur de croissance TGF-β1 des cellules pulpaires.

Méthode :

La Biodentine™ a été directement appliquée sur les pulpes dentaires de dent humaine puis la sécrétion de TGF-β1 par les cellules a été évaluée et comparée au MTA, à l'hydroxyde de calcium et à une résine adhésive (Xeno®III).

Résultats :

La Biodentine™ induit des foyers de minéralisation, dès 48h après son application, sous forme d'ostéodentine due à la différenciation des fibroblastes pulpaires en odontoblastes évalués grâce à l'expression de TGF-β1. Cet accroissement est aussi présent avec le MTA et l'hydroxyde de calcium. Ces 3 matériaux induisent une différenciation des cellules pulpaires en odontoblastes, seulement les particules d'hydroxyde de calcium semblent piégées dans les macrophages alors que celles de la Biodentine™ sont intégrées dans la nouvelle structure minérale.

L. Han et T. Okiji[47,48] comparent la Biodentine™ et le ProRoot ®MTA en évaluant l'absorption de calcium et silice sur la dentine canalaire en présence d'une solution saline tamponnée au phosphate (PBS). Ils ont observé une formation « tag like » composée abondamment de

---

[45] Deepa et al., « Shear bond strength evaluation of resin composite bonded to three different liners : TheraCal LC, Biodentine, and resin-modified glass ionomer cement using universal adhesive : an in vitro study ».
[46] Laurent, Camps, et About, « BiodentineTM induces TGF- β1 release from human pulp cells and early dental pulp mineralization ».
[47] Han et Okiji, « Bioactivity evaluation of three calcium silicate-based endodontic materials ».
[48] Han et Okiji, « Uptake of calcium and silicon released from calcium silicate-based endodontic materials into root canal dentine ».

Calcium, de Phosphate et de peu de Silicium ; montrant ainsi une précipitation intratubulaire de cristaux d'apatite. Ils en ont déduit une bioactivité.

Une étude a d'ailleurs évalué ces cristaux comme de l'hydroxyapatite[49].

1.5. Conclusion

La Biodentine™ présente des caractéristiques très intéressantes : bioactif, biocompatible, ayant une résistance à la compression similaire à celle de la dentine humaine et étant plus facile d'utilisation.

Mais le succès d'un coiffage pulpaire est conditionné par la qualité et la durabilité de ses deux interfaces : Biodentine™/dentine et Biodentine™/matériaux de restauration.

[49] Semennikova, Colon, et Pradelle-Plasse, « Les ciments tricalciques : exemple du matériau Biodentine™. Partie 1, présentation, composition et propriétés ».

2 : L'étanchéité et l'adhésion de la Biodentine™ au complexe amélo-dentinaire

La Biodentine™ utilisée en coiffage pulpaire a pour but de préserver la vitalité de la pulpe. Pour cela, elle doit assurer l'étanchéité de la perforation pulpaire, afin que les bactéries ne puissent pas engendrer une inflammation irréversible et/ou provoquer la nécrose de la dent. L'étanchéité et l'adhésion de la Biodentine™ au complexe amélo-dentinaire, ainsi que l'adhésion des matériaux de restauration sont garantes du succès thérapeutique.
Ces 2 paramètres seront traités dans cette partie et illustrées par des images de microscopie à balayage.

2.1. L'étanchéité de la Biodentine™ au complexe amélo-dentinaire

Le manque d'étanchéité est une des raisons principales des sensibilités post-opératoires, des caries secondaires et des échecs de restauration[50].

L'étanchéité d'un matériau est étudiée par 3 moyens : les tests de micro-infiltration, l'érosion de la Biodentine™ (résistance à l'acide) et les images issues de la microscopie à balayage[51].

2.1.1. Les tests de micro-infiltration

L'étanchéité d'un matériau ne peut pas être mesurée directement. L'absence de micro-infiltration nous permet de supposer son étanchéité.

Les micro-infiltrations sont définies par le passage indétectable de bactéries, de fluides, de molécules ou d'ions entre la cavité dentaire et le matériau de restauration[52].

[50] Raskin et al., « In vitro microleakage of Biodentine as a dentin substitute compared to Fuji II LC in cervical lining restorations ».
[51] Septodont, « Biodentine™; Active Biosilicate Technology™ ».
[52] Raskin et al., « In vitro microleakage of Biodentine as a dentin substitute compared to Fuji II LC in cervical lining restorations ».

2.1.1.1. Etude de monsieur Golbert, 2009

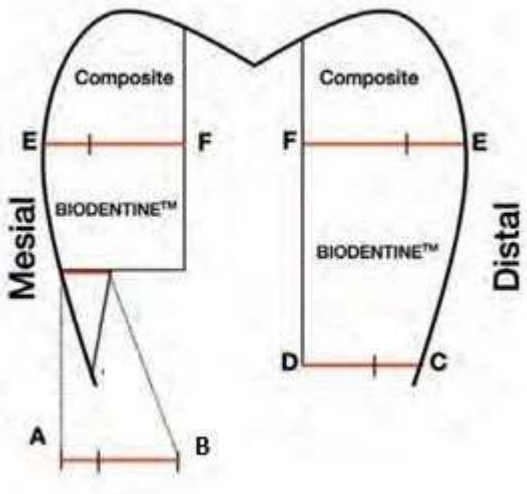
Une étude du dossier scientifique Septodont[53] révèle qu'il n'y avait aucune différence de micro-infiltration observé dans l'interface Biodentine™-émail et Biodentine™-dentine.

Méthode :

Des cavités occluso-mésiales et occluso-distales ont été préparées sur des molaires extraites. Pour évaluer la pertinence d'utiliser un acide polyacrylique, une partie des cavités ont eu un prétraitement avec de l'acide polyacrylique. Puis toutes les cavités sont traitées avec l'un des 2 adhésifs : Xeno® III, Dentsply (SAM 1) ou G Bond, GC (SAM 1). Puis 1 jour plus tard, la restauration au composite (Ceram-X® Mono, Dentsply) a été réalisée. Certains échantillons sont couverts d'un vernis sur le composite protégeant de l'humidité (Optiguard®, Kerr). Ensuite, tous les échantillons ont subis 2200 thermocycles de fatigue et plonger dans du nitrate d'argent (colorant).

Le calcul des % de pénétration ont été calculé de la manière suivante (Fig. 8) :

Figure 8 - Schéma des cavités occluso-proximales réalisées sur des molaires extraites avec leurs matériaux de reconstituions : Biodentine™ et composite



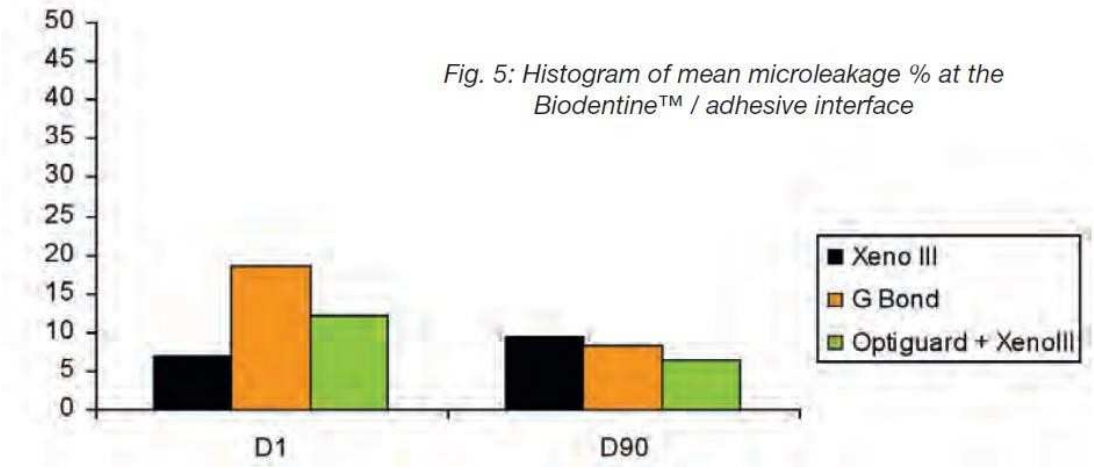
Source : Septodont R&D departement, Biodentine™ Active Biosilicate Technology™, 2009

[53] Septodont, « Biodentine™; Active Biosilicate Technology™ ».

- Pour l'interface émail-Biodentine™: le pourcentage est calculé en fonction de la portion de joint infiltrée sur A-B ;
- Pour l'interface dentine-Biodentine™: le pourcentage est calculé en fonction de la portion de joint infiltrée sur C-D ;
- Pour l'interface composite-Biodentine™: le pourcentage est calculé en fonction de la portion de joint infiltrée E-F.

Résultats :

Figure 9 - Histogramme de la distance pénétrée en pourcentage à l'interface Biodentine™-adhésif par rapport au temps (D1 = jour 1 et D90 = jour 90). % de pénétration du colorant = (EE1/EF)*100%



Source : Septodont R&D departement, Biodentine™ Active Biosilicate Technology™, 2009

Suivant les résultats de la figure 9,

- à 1 jour, l'interface Biodentine™-composite collée avec le Xeno® III (SAM 1) manifeste moins de micro-infiltrations que celle collée avec le G Bond (SAM 1).
- à 3 mois, les échantillons collés avec G bond montrent moins de micro-infiltrations qu'à 1 jour. Iln'y a plus de différence significative entre Biodentine™ collé avec Xeno® III ou G Bond ou Xeno®III + Optiguard®.

Les résultats ne montrent aucune différence concernant l'étanchéité entre la Biodentine™ et l'émail ou la dentine, avec ou sans traitement préalable à l'acide polyacrylique. Le vernis protecteur n'apporte aucun bénéfice à 3 mois.

En conclusion, cette étude révèle que les interfaces entre la Biodentine™ et les surfaces dentaires (émail et dentine) ou les systèmes adhésifs (Xeno®III ou G Bond) sont résistants aux micro-infiltrations avec ou sans traitement à l'acide polyacrylique. Le choix d'un système adhésif à base d'eau peut être préférable pour coller un composite sur de la Biodentine™.

2.1.1.2. Etude de J. Dejou et A. Raskin, 2009

J. Déjou a évalué la résistance aux micro-infiltrations de la Biodentine™ en comparaison avec le Ciment Verre-Ionomère (Fuji II LC, GC)[54].

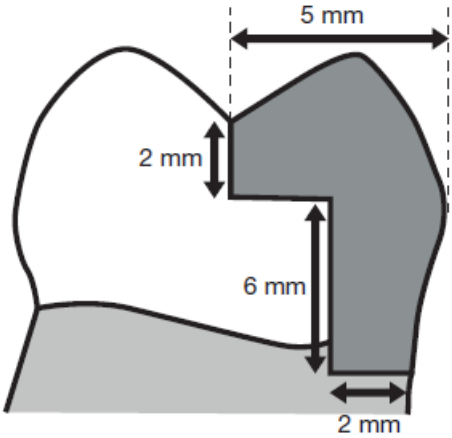
Des cavités occluso-proximales sont préparées sous la jonction amélo-cémentaire de 42 molaires extraites. Après avoir été randomisées, les cavités subissent des traitements différents avant d'être recouvertes par du composite (Filtek™ Z250, 3M ESPE) suivant le schéma figure 10 :

- Biodentine™ ;
- Fuji II LC (GC) ;
- Biodentine™ + Optibond® Solo Plus (Kerr) ;
- Biodentine™ + Optibond® Solo Plus (Kerr) + Silane ;
- Biodentine™ + Septodont SE (Septodont) ;
- Fuji LL LC (GC) + Optibond® Solo Plus (Kerr).

Concernant les 2 premiers groupes, l'évaluation de la résistante aux micro-infiltrations se fait séparément au niveau de l'émail et de la dentine.

[54] Ibid.

Figure 10 - Schéma de la préparation des cavités et de l'obturation pour les 2 premiers groupes



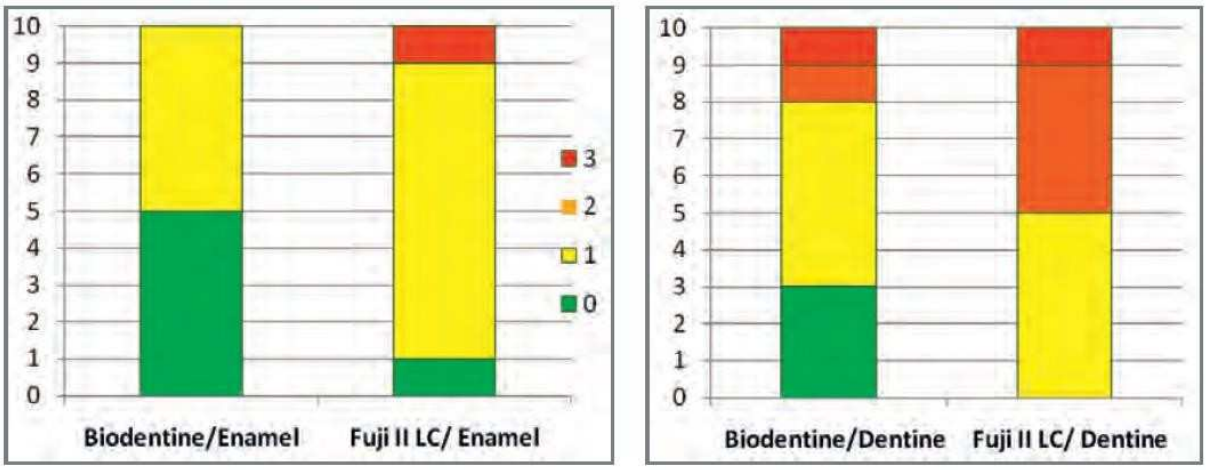
Source : Septodont R&D departement, Biodentine™ Active Biosilicate Technology™, 2009

Après 2500 thermo cycles, la pénétration du nitrate d'argent est mesurée en fonction de sa profondeur.

Les scores vont de 0 (= pas de pénétration) jusqu'à 3 (= pénétration totale de l'interface).

Résultats pour les 2 premiers groupes (Fig. 11):

Figure 11 - Histogramme des micro-infiltrations de la Biodentine™ ou du Fuji II LC en contact avec l'émail ou la dentine

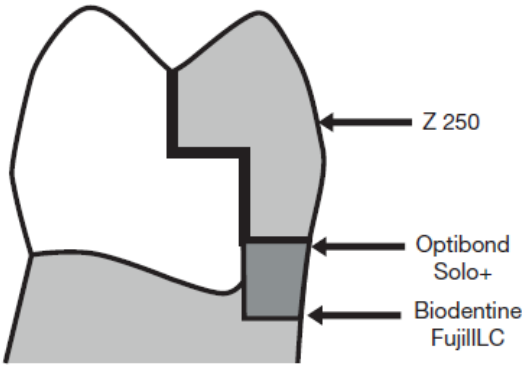


Source : Septodont R&D departement, Biodentine™ Active Biosilicate Technology™, 2009

La Biodentine™ montre une meilleure résistance aux micro-infiltrations sur l'émail et sur la dentine comparée au FUJI II LC.

Concernant les autres groupes :

Figure 12 - Schéma de la préparation et de l'obturation en technique sandwich des cavités dans les autres groupes



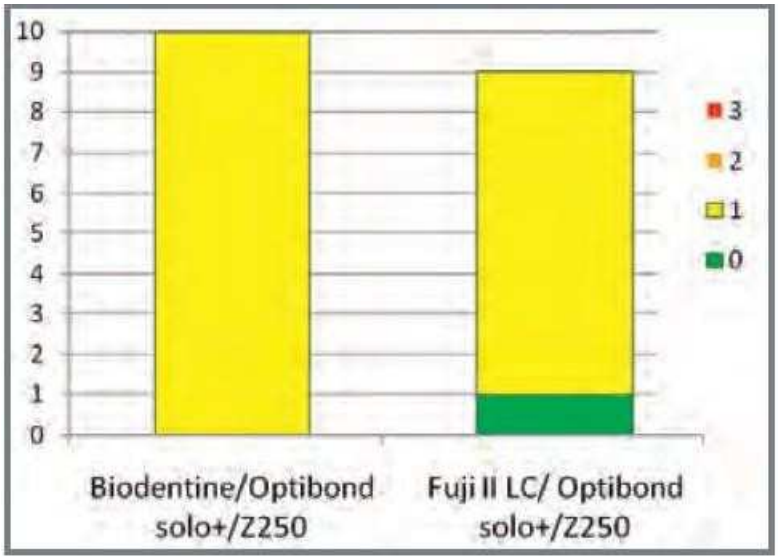
Source : Septodont R&D departement, Biodentine™ Active Biosilicate Technology™, 2009

Pour les autres groupes, une technique sandwich est appliquée suivant le schéma de la figure 12 :

- base : Biodentine™ ou le Fuji LL LC ;
- adhésif choisi : Optibond Solo Plus (Kerr) avec mordançage total préalable ou Septodont SE auto-mordançant ;
- composite Filtek Z250.

Résultats :

Figure 13 - Histogramme des micro-infiltrations de la Biodentine™ ou du Fuji II LC en contact de l'adhésif et du composite



Source : Septodont R&D departement, Biodentine™ Active Biosilicate Technology™, 2009

Les résultats (Fig. 13) ne révèlent pas de différence significative entre les bases Biodentine™ ou Fuji II LC et le composite collé avec de l'Optibond Solo Plus.

L'étude ne montre pas de différence significative avec l'utilisation de l'Optibond Solo Plus ou Septodont SE.

Conclusion :

La Biodentine™ a la même résistance aux micro-infiltrations que le Fuji II LC à la surface de l'émail, de la dentine et des adhésifs[55].

Elle peut donc être indiquée dans les cas de sandwich ouvert pour les cavités occluso-proximales sans traitement préliminaire.

[55] Ibid.

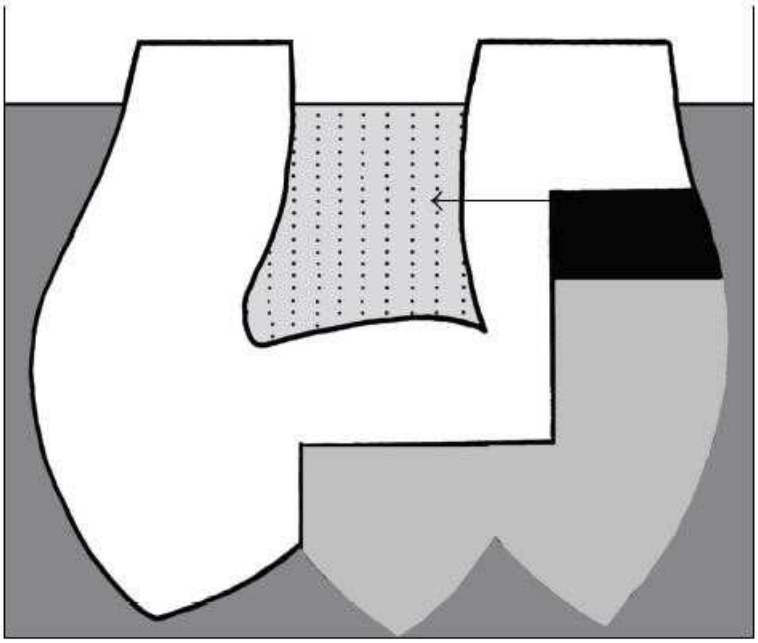
2.1.1.3. Etude de S. Koubi, 2012

S. Koubi et son équipe[56] ont comparé *in vitro* l'intégralité du joint de la restauration d'un sandwich ouvert avec un ciment tricalcique (Biodentine™) et du CVIMAR (Ionolux, Voco) sous un composite.

Méthode :

Sur 30 troisièmes molaires extraites des cavités occluso-proximales ont été préparées et randomisées en 2 groupes. Ces cavités ont été obturées en technique sandwich ouverte ayant pour base soit de la Biodentine™, soit du CVIMAR (Ionolux, Voco) et recouvert d'un composite photopolymérisable.

Figure 14 - Test de diffusion du glucose



Source : Koubi, Quantitative Evaluation by Glucose Diffusion of Microleakage in Aged Calcium Silicate-Based Open-Sandwich Restorations, 2011.

[56] Koubi et al., « Quantitative evaluation by glucose diffusion of microleakage in aged calcium silicate-based open-sandwich restorations ».

Sur la figure 14, le matériau utilisé en base est en noir et le composite est en gris. La dent est trempée dans une solution de glucose et on observe les micro-infiltrations avec l'arrivée du glucose dans la chambre pulpaire.

Ces cavités ont été soumises à une fatigue par thermocyclage et mécanocyclage, puis stockées dans une solution saline contenant des phosphates.

Après un vieillissement d'un an, l'étanchéité est contrôlée par la diffusion de glucose. Le glucose est déposé dans les chambres pulpaires et va diffuser à travers les tubulis dentinaires. Le glucose a été choisi comme marqueur pour 2 raisons : sa petite taille et sa capacité à être ingéré par les bactéries.

Résultats :

Aucune différence significative n'est démontrée entre la Biodentine™ et le CVIMAR. La Biodentine™ est aussi étanche que l'Ionolux dans les cas de restauration avec un sandwich ouvert.

2.1.1.4. Etude de A. Raskin, 2012

Une autre étude dirigée par A Raskin et son équipe[57], a évalué l'étanchéité de la Biodentine™ sur l'émail et sur la dentine comparée au CVIMAR (Fuji II LC, GC). C'est en mesurant la pénétration du nitrate d'argent au microscope qu'ils évaluent les micro-infiltrations possibles. La Biodentine™ obtient les mêmes résultats concernant la pénétration du nitrate d'argent que le CVIMAR (Fuji II LC, GC).

Figure 15 - Schéma des préparations dans les deux premiers groupes de l'étude

Source : Raskin, In Vitro Microleakage of Biodentine as a Dentin Substitute Compared to Fuji II LC in Cervical Lining Restorations, 2012

Les matériaux utilisés sur la figure 15 sont la Biodentine™ pour G1 et le CVI (Fuji II LC) pour G2.

On peut conclure que la Biodentine™ a un comportement similaire au CVI MAR (FUJI II LC) en termes de résistance aux micro-infiltrations. Et ceci en contact avec l'émail, ou avec la dentine traitée préalablement ou non. Elle peut donc être indiquée en cas de restauration en sandwich ouvert proximal sans traitement préliminaire.

Cette étude a montré que les micro-infiltrations entre la Biodentine™ et les tissus dentaires sont équivalentes à celle des systèmes adhésifs classiques, indépendamment sur l'émail ou sur la dentine.

[57] Raskin et al., « In vitro microleakage of Biodentine as a dentin substitute compared to Fuji II LC in cervical lining restorations ».

Cela peut s'expliquer par la formation de cristaux d'hydroxyapatite à la surface de la Biodentine™.

2.1.1.5. Etude de J. Camilleri, 2013

L'étude de J. Camilleri[58] est une des seules études qui contredit les résultats précédents.

Elle a comparé les propriétés physiques de la Biodentine™, d'un CVI (Fuji IX, GC) et d'un un CVIMAR (Vitrebond, 3M ESPE) dans une restauration sandwich ouvert. Elle a testé le CVI, le CVIMAR et la Biodentine™ en tant que substitut dentinaire en les recouvrant d'un composite comme substitut amélaire.

Méthode :

Sur des prémolaires extraites pour raison parodontale, des cavités ont été préparées et obturées en sandwich ouvert avec soit de la Biodentine™, soit du CVI (Fuji IX, GC) soit du CVIMAR (Vitrebond, 3M ESPE). Seulement la moitié des cavités ont reçu un mordançage à l'acide ortho phosphorique à 35% préalable, puis recouvertes d'un composite.

Résultats :

Utilisée en matériau de base dans une restauration à sandwich ouvert, la Biodentine™ révèle des micro-infiltrations visibles au niveau de l'interface matériau-dentine.

Tandis que le CVI et le CVIMAR, ne montrent aucun changement de comportement physique ou de micro-infiltration dans les mêmes conditions.

2.1.1.6. Conclusion des tests de micro-infiltration

Toutes les études sur l'étanchéité de la Biodentine™ ne sont pas unanimes. Nous pouvons imaginer que ces résultats divergents s'expliquent par des différences de méthodologies.

Cependant, l'étanchéité de la Biodentine™ semble se rapprocher de celle du CVI. Elle peut donc être utilisée en coiffage pulpaire à condition d'être recouverte par un matériau de restauration au bout de 6 mois[59], comme l'indique l'étude de G. Koubi.

---

[58] Camilleri, « Investigation of Biodentine as dentine replacement material ».
[59] Koubi et al., « Clinical evaluation of the performance and safety of a new dentine substitute, Biodentine, in the restoration of posterior teeth : a prospective study ».

La bonne intégrité marginale de la Biodentine™ peut être expliquée par la capacité du silicate de calcium à former des cristaux d'hydroxyapatite à sa surface.

Ces cristaux peuvent améliorer la capacité de l'étanchéité de la dentine, en particulier quand ils sont formés à l'interface entre la Biodentine™ et les parois dentinaires.

2.1.2. Résistance à l'acide

La Biodentine™ peut être exposée à l'acidité du milieu buccal ou au mordançage lors du protocole de collage. C'est pourquoi, il est intéressant de connaître sa résistance à l'érosion. La composition et la structure de la Biodentine™ immergée dans une salive artificielle ont été étudiées par P. Laurent en 2008[60].

Méthode :

L'érosion de la Biodentine™ et de 2 CVI (Ketal Fil et Fuji II) sont évaluées par une mesure hebdomadaire de la hauteur du matériau. Les échantillons mesurant initialement 2 mm avec un diamètre de 30 mm sont immergés dans une solution à pH = 2.74 avec de l'acide lactique (0.02M) et du lactate de sodium (0.1M).

Le vieillissement est mesuré avec la salive artificielle de Fusayama modifiée par Meyer contenant des phosphates (pH = 5.3).

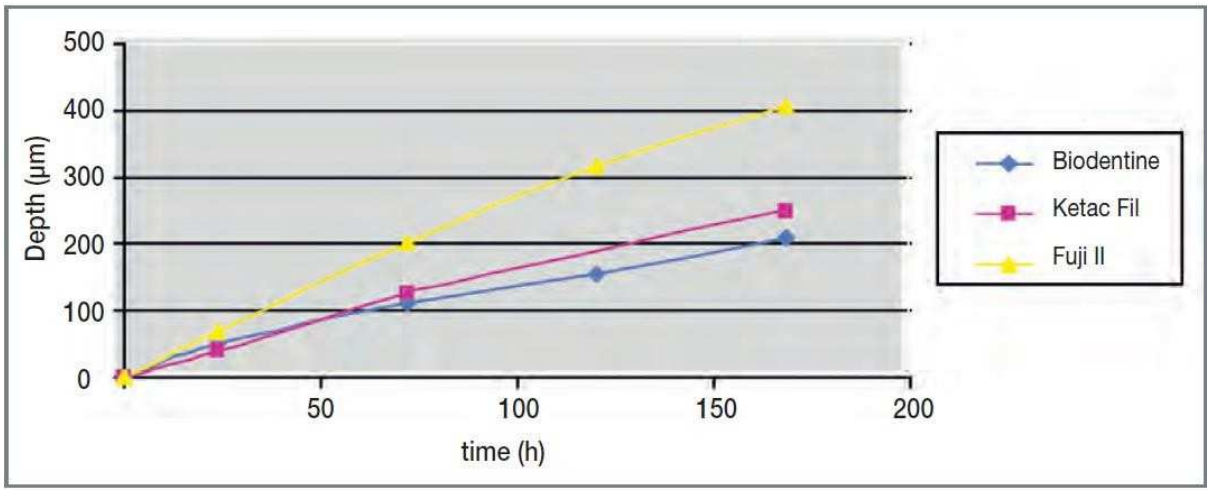
L'état de surface après vieillissement a été observé par microscope électronique à balayage.

La dissolution de la Biodentine™ a été mesurée par la concentration de Silice, de Calcium de Zirconium et de carbonate inorganique dans la salive artificielle au bout de 1, 2, 3 et 4 semaines.

[60] Septodont, « Biodentine™; Active Biosilicate Technology™ ».

Résultats :

Figure 16 - Courbe représentant l'érosion de la Biodentine™, du Ketac Fil et du Fuji II dans une solution acide à pH = 2.74 avec acide lactique et lactate

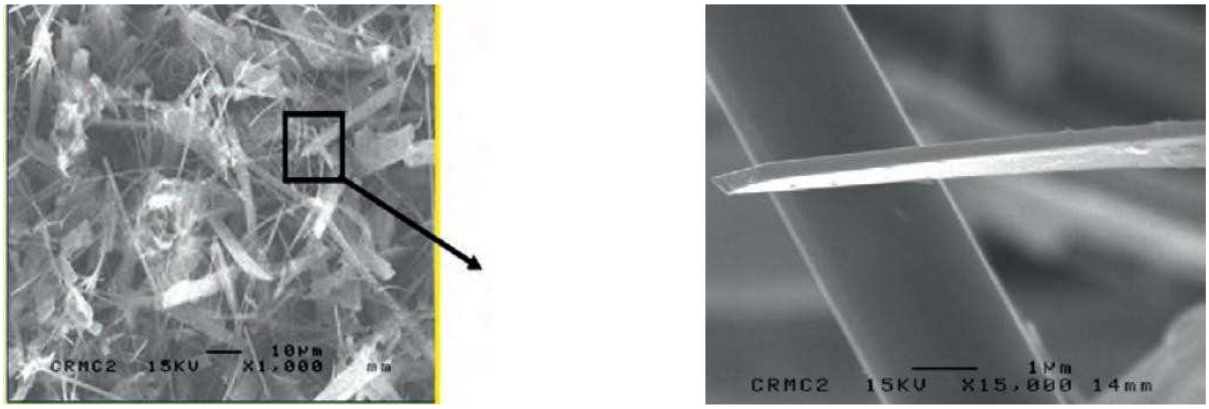


Source : Septodont R&D departement, Biodentine™ Active Biosilicate Technology™, 2009

Sur la figure 16, l'érosion de la Biodentine™ est observée dans la solution acide mais est moindre que celles des 2 CVI.

En revanche dans la salive artificielle, l'érosion n'a pas eu lieu. Un dépôt d'un matériau blanc à la surface de la Biodentine™ est observé. Au MEB, on l'identifie à des cristaux ressemblants à de l'apatite (Fig. 17). Une analyse par diffraction au rayon X semble confirmer une composition d'apatite. La décroissance des ions calcium avec le temps correspond à la précipitation des cristaux d'apatite.

Figure 17 - Dépôts des cristaux apatite sur la surface de la Biodentine™ dans une solution de salive artificielle contenant des phosphates à pH = 5.3



Source : Septodont R&D departement, Biodentine™ Active Biosilicate Technology™, 2009

Conclusion :

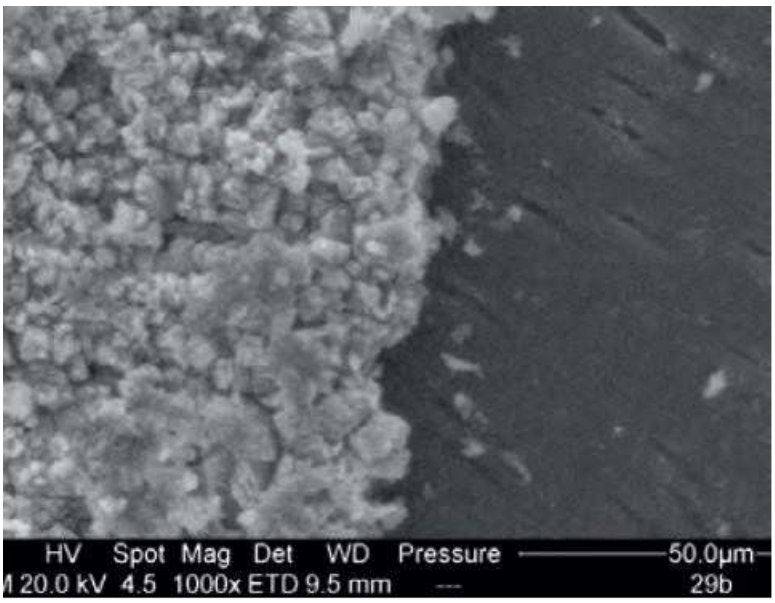
Les recherches ci-dessus révèlent que l'érosion de la Biodentine™ dans une solution acide est limitée et moindre que celle des ciments verre-ionomères. Dans une salive artificielle contenant des phosphates, aucune érosion n'est observée mais un dépôt des cristaux d'apatite est formé. Ce type de dépôt était déjà connu avec le MTA.

Le processus de déposition des cristaux d'apatite va améliorer l'interface entre la Biodentine™ et la dentine naturelle et augmenter son étanchéité.

2.1.3. Imagerie de l'interface Biodentine™ - dentine

L'interface de la Biodentine™-dentine a été observée à l'aide d'un microscope à balayage et révèle une adaptation quasi-parfaite entre les 2 surfaces.

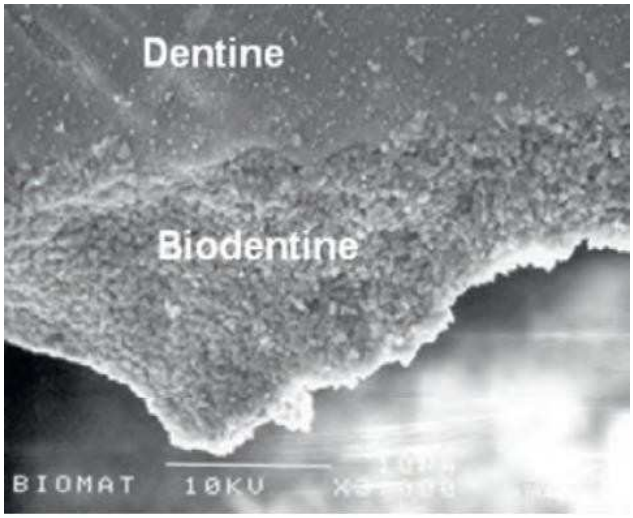
Figure 18 - Interface entre la Biodentine™ à gauche et la dentine humaine à droite. Courtoisie du Pr Dejou et du Dr Raskin



Source : Septodont R&D departement, Biodentine™ Active Biosilicate Technology™, 2009

Sur la figure 18, les deux surfaces ont un contact direct et intime. La surface de la Biodentine™ présente un dépôt de cristal qui apparaît à la réexposition d'eau.

Figure 19 - Coupe représentant le contact entre la dentine et la Biodentine™. Courtoisie du Pr Colon et Dr Pradelle

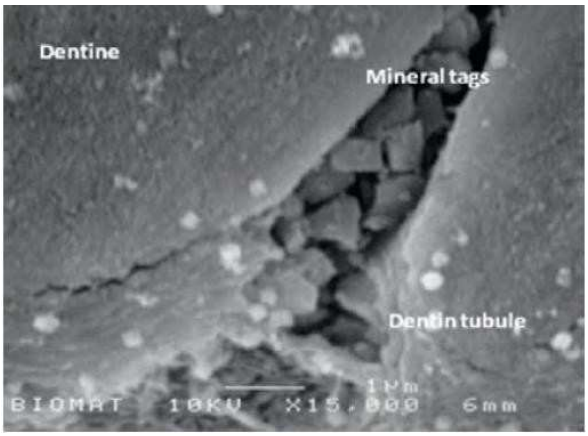


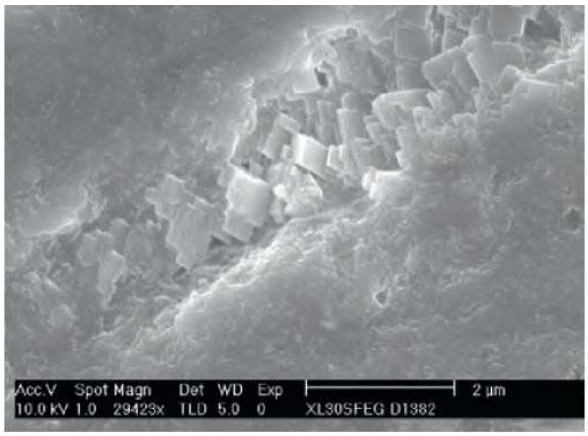
Source : Septodont R&D departement, Biodentine™ Active Biosilicate Technology™, 2009

Sur l'image 19, l'interface entre la Biodentine™ et la dentine se fait sans interruption.

La petite fissure observée dans la Biodentine™ est due à la déshydratation opérée pendant la préparation de l'échantillon sous vide. Cette défaillance cohésive n'affecte en rien l'interface Biodentine™-Dentine, ce qui souligne la qualité de l'adhésion micromécanique.

Figure 20 - Image de gauche : Vue au MEB de la dentine et des tags minéraux. Courtoisie du Pr Colon et Dr Pradelle. Image de droite : Courtoisie du Dr Franquin



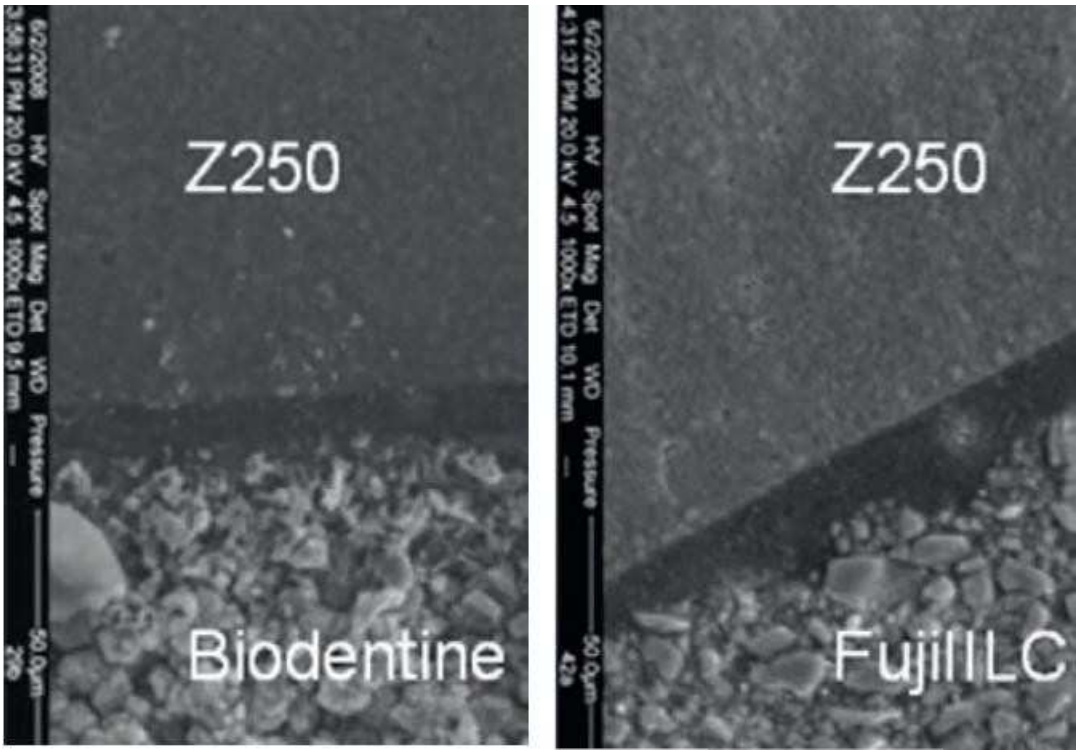


Source : Septodont R&D departement, Biodentine™ Active Biosilicate Technology™, 2009

Sur la figure 20 gauche, à l'entrée des tubulis dentinaires, une recristallisation se produit et forme des tags minéraux qui induisent un ancrage micromécanique de la Biodentine™. Ce processus augmente l'étanchéité et continue dans le temps.

Sur la figure 20 droite, le processus de cristallisation dans les tubulis dentinaires des dents de sagesses extraites et traitées avec de la Biodentine™, observé après 28 jours de stockage dans une eau distillée. Les tubulis dentinaires sont obturés par recristallisation.

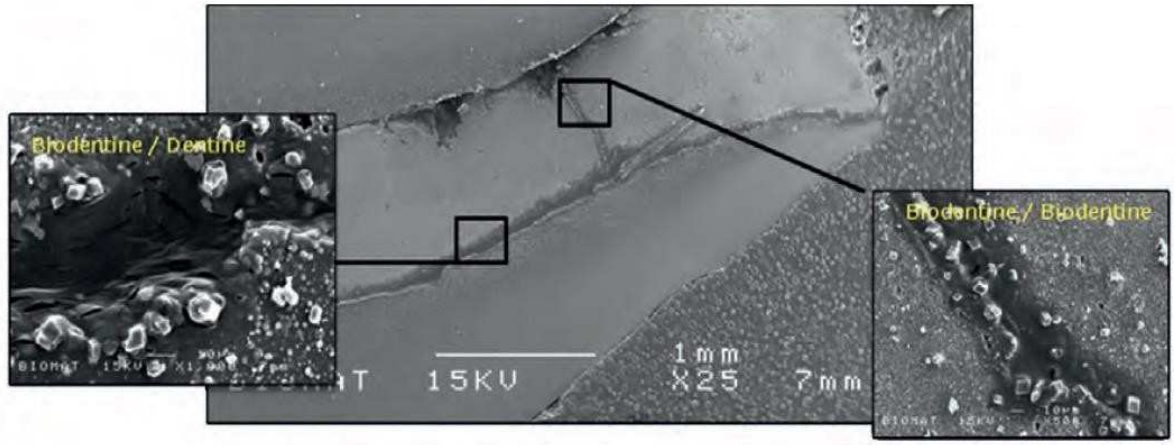
Figure 21 - Image en MEB des interfaces Biodentine™ - complexe adhésif et Fuji LL LC - complexe adhésif, Courtoisie du Pr Dejou et du Dr Raskin



Source : Septodont R&D departement, Biodentine™ Active Biosilicate Technology™, 2009

Sur la figure 21, la comparaison des interfaces entre la Biodentine™ ou Fuji II LC et un composite (avec Optibond Solo Plus comme système adhésif) montre qu'elles sont similaires.

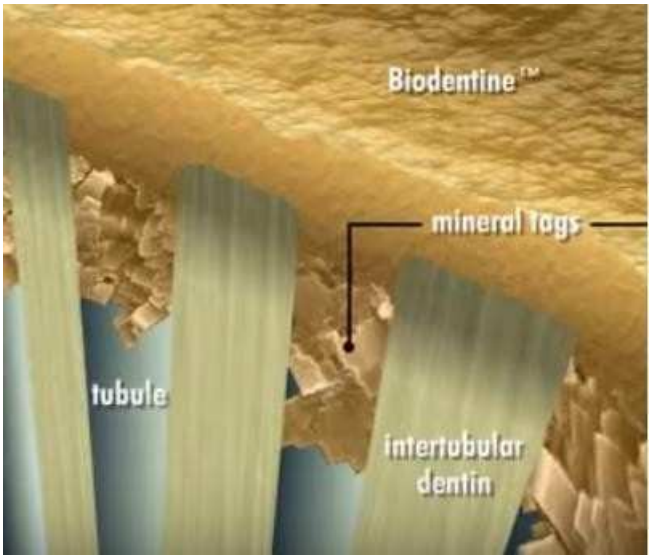
Figure 22 - Image de Microscopie des interfaces Biodentine™ - Biodentine™ (à droite) et Biodentine™ - Dentine (à gauche). Courtoisie du Dr Bronnec et du Pr Colon



Source : Septodont R&D departement, Biodentine™ Active Biosilicate Technology™, 2009

Sur la figure 22, la parfaite étanchéité de la Biodentine™ en contact avec de la dentine radiculaire est visible, ainsi que celle entre les 2 incréments de Biodentine™ dans un test *in vitro* d'apexification.

Figure 23 - Image de l'interface Biodentine™-dentine



Source : Vidéo «Biodentine™ from Septodont - Dentine in a capsule, 2012

La figure 23 représente la formation des « tag minéraux » dans les tubulis dentinaires.

2.2. L'adhésion de la Biodentine™ et son évaluation

2.2.1. L'adhésion de la Biodentine™ au complexe amélo-dentinaire

Au-delà d'avoir un temps de prise court et une bonne résistance à la compression, tout matériau utilisé pour obturation postérieure doit avoir la capacité d'adhérer à la dentine. Un matériau utilisé comme base doit sceller la dentine pour prévenir des infiltrations bactériennes et rester en place malgré les forces de mastication. L'adhésion d'un matériau de restauration est donc un facteur important dans la pratique clinique[61].

L'adhésion est définie comme l'ensemble des phénomènes chimiques et physiques qui prennent naissance lorsque 2 surfaces sont mises en contact.

L'interaction entre la dentine et la Biodentine™ ou entre la dentine et le CVI, a été comparée par A.R. Atmeh et son équipe à travers plusieurs imageries[62].

Lors de leur réaction acido-basique, les CVI provoquent la formation de sels de polyalkénoate par attaque acide sur les fibres de verres de fluoro-aluminosilicates. Etant acides par nature, les CVI sont considérés comme auto-mordançant et sur une dentine humide déclenche un échange ionique entre les 2 substrats.

Tandis que l'hydratation de la Biodentine™ provoque une dissolution des grains de silicates ce qui produit de l'hydroxyde de calcium et un gel d'hydrate de silicate de calcium (CSH). Ce gel forme une matrice à partir de grains de silicates déshydratés et contient des pores où les hydroxydes de calcium diffusent. Ce qui augmente l'alcalinité du milieu.

Méthode :

Des cavités ont été préparées sur 49 dents extraites. 31 ont été obturées par la Biodentine™ et 19 par du CVI (Fuji IX, GC) sans traitement préalable.

Les dents ont été coupées par des disques et analysées.

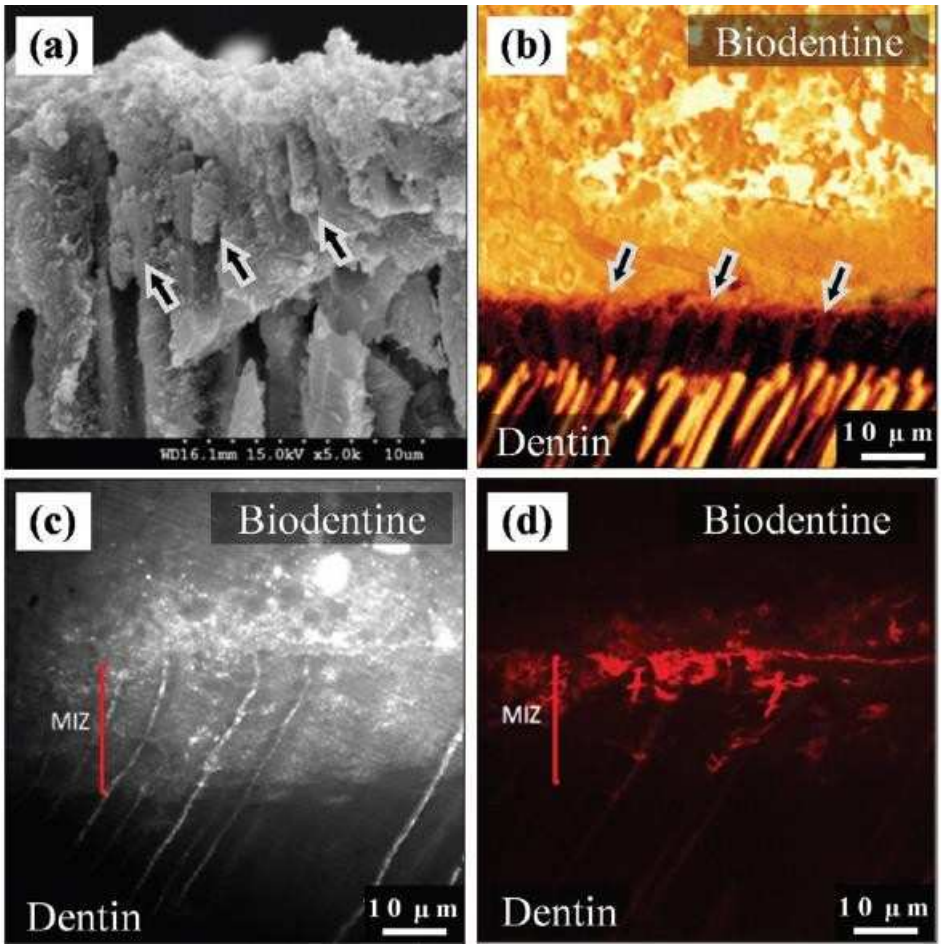
---

[61] Kaup et al., « Shear bond strength of Biodentine, ProRoot MTA, glass ionomer cement and composite resin on human dentine ex vivo ».
[62] Atmeh et al., « Dentin-cement interfacial interaction ».

Résultats :

Caractéristique de l'interface.

Figure 24 - Interface Biodentine™-dentine avec différentes techniques d'imagerie



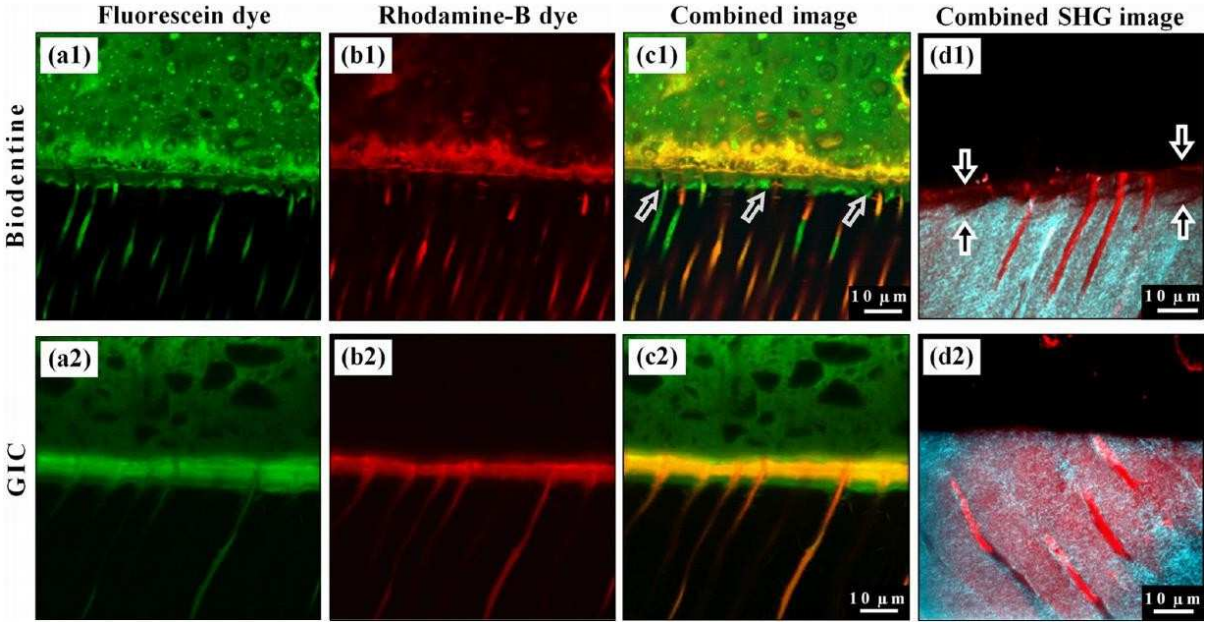
Source : Atmeh, Dentin-cement interfacial interaction: calcium silicates and polyalkenoates, 2012

Les images du MEB (Fig. 24a) et de la fluorescence confocale (Fig. 24b) de l'échantillon de Biodentine™ montrent des structures « tag like » dans les tubulis dentinaire sous l'interface.

L'interaction de l'interface :

L'image de (Fig. 24c) montre une bande brillante, mesurant entre 5 et 15µm, dans la dentine directement le long et sous l'interface, ce qui montre un changement des propriétés réfléchissantes de la dentine dans cette zone. Dans cette même zone, l'image (Fig. 24d) nous montre la perméabilité de la solution marquée à la Rhodamine.

Figure 25 - Interfaces Biodentine™ -dentine sur la partie supérieur (a1-d1) et CVI-dentine sur la partie inférieure (a2-d2)



Source : Atmeh, Dentin-cement interfacial interaction: calcium silicates and polyalkenoates, 2012

Dans la première colonne de la figure 25, on observe la fluorescéine, qui a été mélangée avec la Biodentine™ ou le CVI puis appliquée dans les cavités.

Alors que, le colorant rhodamine B a été mis en place dans les chambres ouvertes des pulpes.

Les images (Fig. 25a1) et (Fig. 25b1) montrent un marquage prononcé en bande sous l'interface Biodentine™-dentine avec respectivement de la fluorescéine et de la rhodamine B. Sur l'image (Fig. 25c1), on observe la fluorescéine qui a diffusé dans la dentine. La rhodamine a diffusé au-dessus de la MIZ et à peine dans la dentine péri-tubulaire. Ces 2 colorants ne se mélangent pas.

Pour le CVI, on peut voir que les 2 colorants diffusent dans les mêmes structures (Fig. 25a2 et fig. 25b2). Sur l'image en C2, les 2 colorants se mixent.

Dans la colonne (Fig. 25d) : La Couleur cyan représente les collagènes inter-tubulaires. On voit qu'ils sont dégradés sur l'image d1 au niveau de l'interface des 2 matériaux contrairement à (Fig. 25d2).

La couleur rouge est le signal auto-fluorescent de la dentine. On note la préservation des tubulis dans cette zone pour l'échantillon avec la Biodentine™, contrairement à l'échantillon avec le CVI. Cette zone est appelée « zone d'infiltration minérale ». On l'explique par l'altération de la microstructure des tubulis dentinaires qui change de propriétés optiques.
Cette altération peut être expliquée par l'effet dual du relargage d'hydroxyde de calcium par la Biodentine™ : un mordançage alcalin suivi d'une diffusion minérale.
En effet, l'hydroxyde de calcium a un haut pouvoir alcalin et peut induire une dénaturation et une perméabilité du collagène. En modifiant la structure des fibrilles de collagène, l'hydroxyde de calcium le rend plus absorbant en eau. Ce qui expliquerait la force concentration de la fluorescéine dans cette zone. La dentine péri-tubulaire minéralisée ayant moins de collagène n'est pas dénaturée, elle est représentée par la zone sans marquage.

Dans les échantillons de CVI en d2, la zone infiltrée fortement colorée est le résultat de l'effet déminéralisant de l'acide polyacrylique et les composants tartriques sur la dentine inorganique.

En conclusion :

La morphologie de l'interface Biodentine™- dentine est composée de 2 parties : une « zone d'infiltration minérale» intertubulaire et une zone d'infiltration cristalline intratubulaire, les « tags-like »[63].
La zone intertubulaire peut être expliquée par l'effet du haut pouvoir alcalin de l'hydroxyde de calcium. La dégradation du collagène va former une structure poreuse qui facilite la diffusion des ions minéralisant cette zone.

Cette morphologie ressemble à la couche hybride et aux tags minéraux décrits avec les systèmes adhésifs.

L'adhésion de la Biodentine™ avec la dentine est donc chimio-mécanique.

2.2.2. Evaluation de l'adhérence de la Biodentine™ au complexe amélo-dentinaire

[63] Semennikova, Colon, et Pradelle-Plasse, « Les ciments tricalciques : exemple du matériau Biodentine™. Partie 1, présentation, composition et propriétés ».

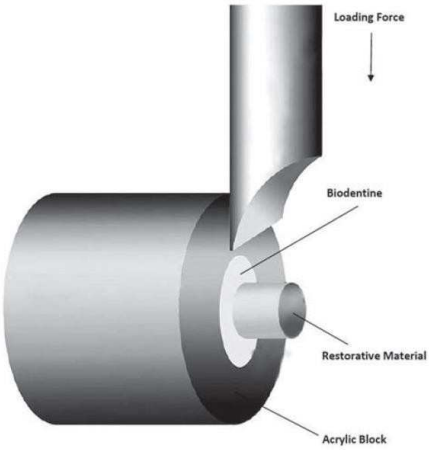
L'adhérence est définit comme la force ou le travail qu'il faut fournir au système adhérent pour séparer 2 constituants.

Pour tester l'adhérence entre 2 surfaces, plusieurs tests sont possibles. Dans les études suivantes, les tests de résistance au cisaillement et au micro-cisaillement sont utilisés.

Des blocs d'un matériau sont préparés et un cylindre plus petit d'un autre matériau est collé dessus selon les protocoles des fabricants.

Les blocs sont couchés à l'horizontal et une tête de cisaillement va venir pousser le cylindre jusqu'à ce qu'il cède (Fig.26). La résistance au cisaillement est donnée en Méga Pascal (MPa).

Figure 26 - Illustration schématique du test de cisaillement SBS



Source: Cantekin, Evaluation of shear bond strength of two resin-based composites and glass ionomer cement to pure tricalcium silicate-based cement (Biodentine™), 2014

La force d'adhésion à la dentine humaine a été testée avec de la Biodentine™, du ProRoot MTA, un CVI (ChemFil rock) et un composite (X-trabase) par l'équipe de M. Kaup[64].

Méthode :

120 dents humaines ont été extraites et fraisées jusqu'à la dentine puis randomisés en 4 groupes : Biodentine™, ProRoot MTA, CVI et composite.

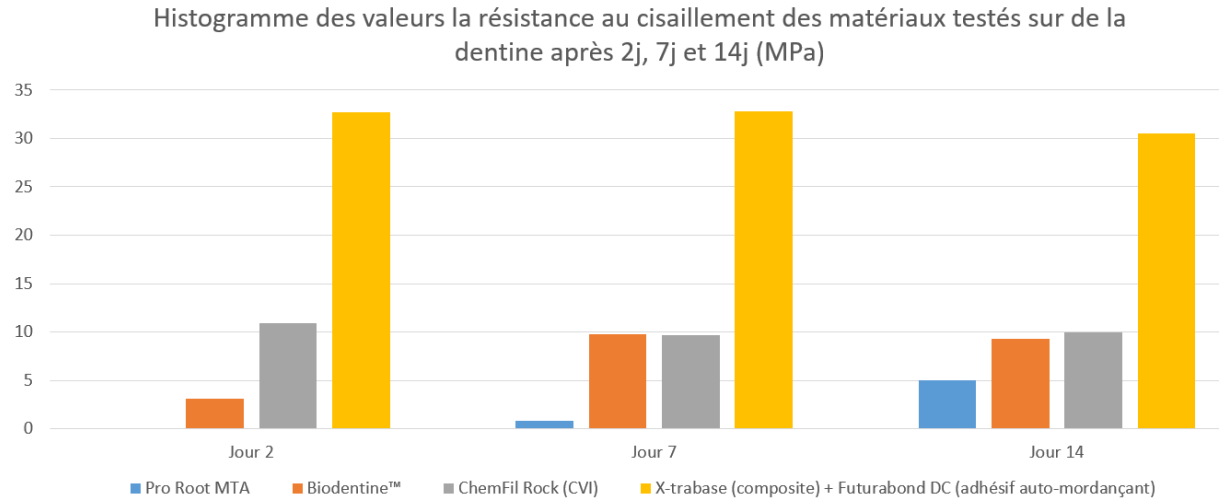
Dans le groupe résine composite, un mordançage et une couche adhésive avec FuturaBond DC (SAM 1) préalables ont été effectués. Les autres groupes n'ont eu aucun traitement préalable de la dentine. Les échantillons sont stockés à 37°C avec 100% d'humidité.

[64] Kaup et al., « Shear bond strength of Biodentine, ProRoot MTA, glass ionomer cement and composite resin on human dentine ex vivo ».

Puis, un test de résistance au cisaillement est effectué à 2 jours, 7jours et 14jours ; à l'aide d'une machine universelle qui évalue la force séparation du matériau de la dentine en MPa.

Résultat :

Figure 27 - Histogramme des valeurs la résistance au cisaillement des matériaux testés sur de la dentine après 2j, 7j et 14j (MPa)



Source: Auteur, d'après Kaup, Shear bond strength of Biodentine, ProRoot MTA, glass ionomer cement and composite resin on human dentine ex vivo, 2015

- La résine composite a une résistance au cisaillement plus importante que les autres matériaux de manière significative dans les 3 intervalles de temps (~31 MPa) (Fig.27).
- Après 2 jours, les matériaux montrent des différences significatives en termes de résistance au cisaillement. La résine composite a le meilleur score ; le MTA a le moins bon score.
- Après 7 jours et 14 jours, la résistance au cisaillement de la Biodentine™ et du MTA augmente significativement par rapport au test à 2 jours. La Biodentine™ a un meilleur score significativement par rapport au MTA mais non significative par rapport au CVI.

Les modes d'échec ont été divisés en 3 groupes : les ruptures adhésives (matériau-dentine), les ruptures cohésives (à l'intérieur du matériau), et mixtes.

Concernant le MTA : ~63% ruptures sont adhésives, ~13% sont cohésives et ~23% sont mixtes.

Concernant la Biodentine™ : ~56% ruptures cohésives, ~43% ruptures adhésives.

Concernant le CVI : ~93% de ruptures cohésives et ~6% de ruptures mixtes.

Concernant le composite : ~66% de ruptures adhésives, ~33% de ruptures mixtes.

Conclusion :

Après 7 jours, la Biodentine™ montre une valeur de la résistance au cisaillement comparable à celle du CVI (10MPa), alors que la valeur du MTA (5MPa) même à 14 jours reste bien en dessous. L'adhésion de la Biodentine™ à la surface dentinaire semble être supérieure à celle du MTA.

Ceci peut être expliqué par la prise de la Biodentine™ qui continue pendant plus d'un mois. La différence de ces valeurs entre la Biodentine™ et le MTA peut venir de la différence de taille des particules qui les composent. Leur taille affecte la pénétration des tubulis dentinaires pour former des « tags like » qui permettent une ancre micromécanique[65]. En effet, l'absorption du calcium et du silicium de la Biodentine™ dans la dentine conduit à la formation des structures « tags-like » plus importantes qu'avec le MTA[66].

La rupture cohésive est importante pour le CVI et la Biodentine™. C'est une rupture à l'intérieure du matériau qui ne concerne donc pas l'adhésion du matériau et de la surface. La rigidité du matériau a une influence non négligeable pour l'interprétation de la force d'adhérence[67].

Néanmoins, les matériaux sont testés à plus de 2 jours après avoir été mis en place. Cela ne reflète pas les conditions cliniques où le matériau est directement soumis aux forces de mastication.

2.3. Conclusion

La Biodentine™ révèle des valeurs d'adhérence à la dentine très satisfaisante. A 7 jours, elles sont similaires à celles obtenues par le CVI (~10MPa) et bien supérieures à celles du MTA (~5MPa)[68]. L'étude précédente montre aussi que le mode d'échec est majoritairement

[65] Ibid.
[66] Han et Okiji, « Uptake of calcium and silicon released from calcium silicate-based endodontic materials into root canal dentine ».
[67] Kaup et al., « Shear bond strength of Biodentine, ProRoot MTA, glass ionomer cement and composite resin on human dentine ex vivo ».
[68] Ibid.

cohésif[69]. Les résultats de la résistance au cisaillement sont donc sûrement influencés par la faiblesse mécanique de la Biodentine™ qui masquerait les réelles valeurs d'adhérence.

Ces précédents résultats peuvent s'expliquer par une formation de structure analogue au « tag like » le long de l'interface, appelée la « zone d'infiltration minérale ». Le collagène de la dentine situé dans cette zone est dégradé grâce à l'effet alcalin caustique des produits d'hydratations de la Biodentine™. Cette dégradation forme des structures poreuses qui facilitent la diffusion d'une forte concentration d'ions de Calcium, d'hydroxyde et de CO32- augmentant la minéralisation de cette région. On voit donc se former une couche hydride avec des tags minéraux semblables aux systèmes adhésifs. L'adhésion est donc chimique et micromécanique. En observant la couche au microscope à balayage, on observe une continuité entre la dentine et la Biodentine™.
La Biodentine™ est donc un matériau de choix pour le coiffage pulpaire. Grâce à son étanchéité et son adhésion avec la dentine, elle permet de conserver la vitalité pulpaire. Ayant une bonne sa résistance à la compression (~304 MPa), la Biodentine™ peut donc être utilisée comme un matériau provisoire au même titre que le CVI.

Ces 3 paramètres atteignent leurs valeurs optimales quelques semaines après la prise initiale. Ces données orienteront donc vers un protocole de collage différé par rapport à la prise initiale pour que l'adhésion à la dentine humaine soit optimale.

En revanche, les travaux de G. Koubi ont montré qu'au bout de 6 mois elle n'est plus étanche et nécessite une restauration avec de meilleures propriétés mécaniques, comme les résines composites ou le CVI[70].

Il a réalisé une étude multicentrique, randomisée, incluant 400 patients durant 3 ans. Elle a démontré la possibilité d'utilisation de la Biodentine™ comme substitut dentinaire permanent et substitut amélaire temporaire en cas de caries profondes avec une préservation de la vitalité pulpaire.
La Biodentine™ est utilisée comme restauration postérieure et révèle de bonnes propriétés mécaniques et une bonne adaptation marginale jusqu'à 6 mois.

---

[69] Ibid.
[70] Koubi et al., « Clinical evaluation of the performance and safety of a new dentine substitute, Biodentine, in the restoration of posterior teeth : a prospective study ».

Au bout de 6 mois, la Biodentine™ doit donc être recouverte par un matériau de restauration. Mais quel matériau faut-il utiliser ? Un traitement préalable est-il nécessaire ?

3 : Adhésion et étanchéité de la Biodentine™ aux matériaux de restauration

Etant donné que la Biodentine™ est un substitut dentinaire amené à rester sous les restaurations d'usages, des chercheurs ont étudié l'adhésion des différents systèmes de collage et du ciment verre-ionomère à ce nouveau ciment tricalcique.

Par ailleurs, la Biodentine™ a un processus de dissolution/précipitation inhérent au ciment tricalcique, qui est différent des matériaux connus comme le composite, le CVI ou les adhésifs.

C'est pour cela qu'il est important de connaître ses capacités d'adhésion afin que la restauration définitive reste étanche et résiste aux forces de mastication.

Ce sont l'adaptation marginale et le contact intime avec les matériaux qui l'entourent (dentine, émail, composites et autres matériaux) qui vont déterminer la réussite du traitement[71].

3.1. Etanchéité de la Biodentine™ aux différents matériaux de restauration

Dans l'étude précédente vue en 2.1.1 réalisée par A. Raskin[72], la Biodentine™ en combinaison avec un adhésif associé à une résine composite ou avec un CVI a été évaluée.

Méthode :

Sur 30 troisièmes molaires extraites, des cavités occluso-proximales ont été préparées et randomisées en 2 groupes. Ces cavités ont été obturées en technique sandwich ouverte ayant pour base soit de la Biodentine™, soit du CVIMAR (Ionolux, Voco) et recouvert d'un composite photopolymérisable comme sur la figure 28.

[71] Septodont, « Biodentine™; Active Biosilicate Technology™ ».

[72] Raskin et al., « In vitro microleakage of Biodentine as a dentin substitute compared to Fuji II LC in cervical lining restorations ».

Figure 28 - Schéma des différents groupes étudiés. Matériau utilisé : G3 : Biodentine™ + Optibond® Solo Plus (Kerr) + Silane ; G4 : Biodentine™ + Optibond® Solo Plus (Kerr); G5 : Biodentine™ + Septodont SE (Septodont) ; G6 : Fuji LL LC (GC) + Optibond® Solo Plus

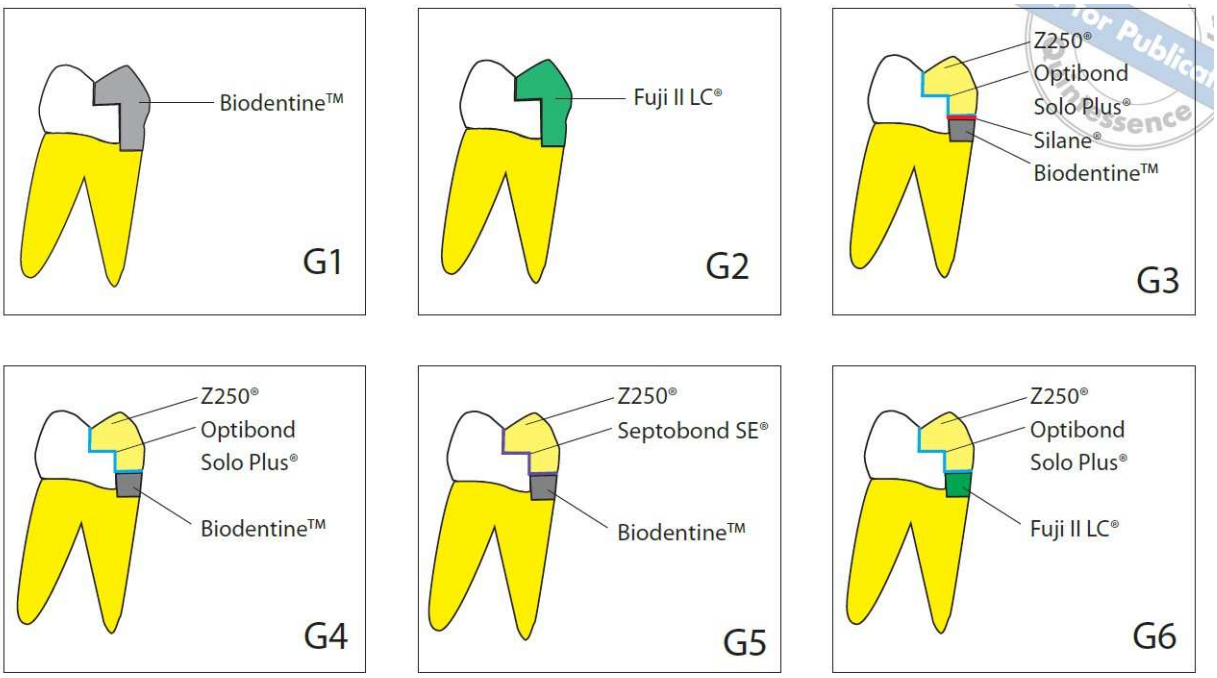


Fig 1 Class II cavities designs in the 6 experimental groups. G1: Class II filled with Biodentine; G2: Class II filled with Fuji II LC; G3: dentin substitute (Biodentine) covered with silane, Optibond Solo Plus and filled with Z250; G4: dentin substitute (Biodentine) covered with Optibond Solo Plus and filled with Z250; G5: dentin substitute (Biodentine) covered with Septobond SE and filled with Filtek Z250; G6: dentin substitute (Fuji II LC) covered with Optibond Solo Plus and filled with Filtek Z250.

Source : Raskin, In vitro microleakage of Biodentine™ as a dentin substitute compared to Fuji II LC in cervical lining restorations, 2012

Après un vieillissement d'un an, l'étanchéité est contrôlée par une diffusion de glucose.

Résultats :

Les résultats des groupes n°1 et n°2 ont déjà été commentés dans le chapitre 2.1.1.

Concernant les autres groupes :

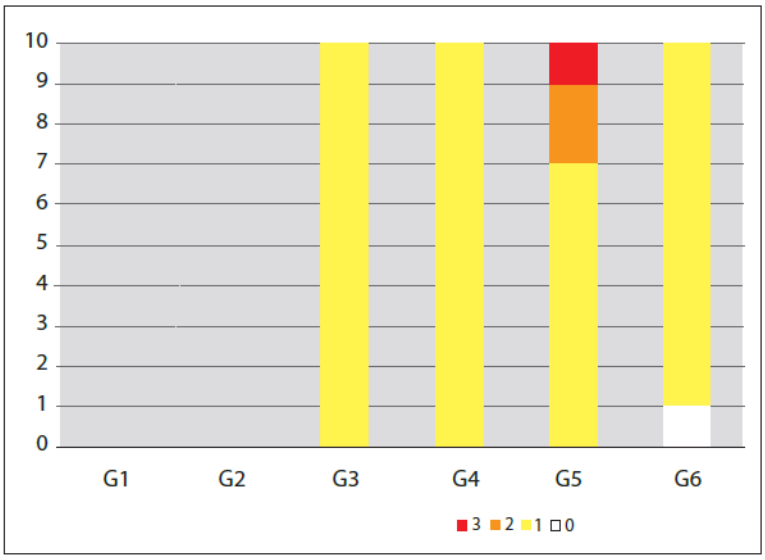
- G3 : Biodentine™ + Optibond® Solo Plus (Kerr) + Silane
- G4 : Biodentine™ + Optibond® Solo Plus (Kerr)
- G5 : Biodentine™ + Septodont SE (Septodont)
- G6 : Fuji LL LC (GC) + Optibond® Solo Plus (Kerr)

Pour les groupes G3 G4 et G5, la Biodentine™ a été éliminée d'environ 2mm.

Ces cavités ont été soumises à une fatigue par thermocyclage et mécanocyclage puis stockées dans une solution saline contentant des phosphates.

Résultats :

Figure 29 - Histogramme des scores de la micro-infiltration pour les groupes G3 G4 G5 et G6



Source : Raskin, In vitro microleakage of Biodentine™ as a dentin substitute compared to Fuji II LC in cervical lining restorations, 2012

Comme on le voit sur la figure 29, il n'y a pas de différence significative entre les 4 groupes. Le score moyen des 2 groupes est faible (1= infiltration présente dans la première moitié de la restauration). Il n'y a que le groupe G5, contenant la Biodentine™ associé à un adhésif auto-mordançant, qui obtient des scores plus élevés.

Conclusion :

Les différents matériaux testés peuvent être utilisés pour recouvrir la Biodentine™ sans différence significative concernant leur étanchéité par rapport au ciment tricalcique. Le silane placé sur la Biodentine™ ne semble pas augmenter l'étanchéité de la restauration.

3.2.Adhésion de la Biodentine™ aux différents matériaux de restauration

La Biodentine™ est recommandée comme substitut dentinaire sous les restaurations. C'est pourquoi l'adhésion entre la Biodentine™ et les matériaux de restaurations est importante pour la qualité du soin[73]. Une force d'adhésion en cisaillement de 17 à 20MPa est requise pour résister aux contraintes de retrait de polymérisation[74].

Il y a peu d'information dans la littérature sur l'interface entre le Biodentine™ et les restaurations adhésives qui la recouvrent[75].

Des recherches sur les monomères présents dans les adhésifs montrent que le monomère 10-MPD peut lier au calcium de la structure de la dent[76].

Théoriquement, on peut supposer que le monomère 10-MPD pourrait se lier chimiquement au calcium de la Biodentine™, ce qui additionnerait un lien chimique au lien mécanique.

Cependant, l'acidité venant des techniques de collage peut être tamponnée par l'alcalinité de la Biodentine™ et réduire ses effets.

Dans une étude précédente[77], J. Camilleri étudie l'effet du mordançage sur la Biodentine™, le CVI et le CVIMAR. Les changements structurels et chimiques de la Biodentine™ mordancée sont comparés à la Biodentine™ non mordancée. Le mordançage n'affecte en rien la micro-dureté du matériau. Cependant, cela entraine des modifications sur la surface du CVI, et dans une moindre mesure celui du CVIMAR, mais sans changement physique ou chimique des matériaux.

---

[73] Odabaş, Bani, et Tirali, « Shear bond strengths of different adhesive systems to Biodentine ».
[74] Hashem et al., « The physical characteristics of resin composite-calcium silicate interface as part of a layered/laminate adhesive restoration ».
[75] Ibid.
[76] Ibid.
[77] Camilleri, « Investigation of Biodentine as dentine replacement material ».

3.2.1. Etude de D. F. Hashem, 2014

L'équipe de D.F. Hashem[78] a évalué *in vitro* la résistance au micro-cisaillement de la résine composite sur la Biodentine™ en utilisant un adhésifs utilisé en auto-mordançant (SE : self-etch) et ou en mordançage total (TE : total etch).
Le but est d'étudier si la maturation du matériau influe sur la force d'adhésion du composite au substrat.

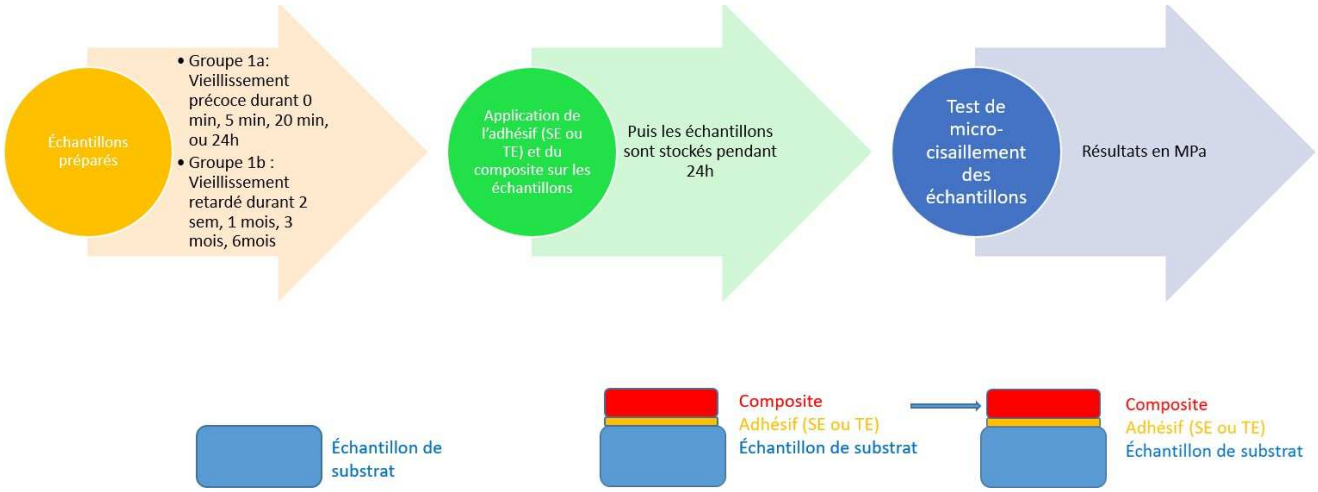
Méthode :
Les échantillons de Biodentine™ sont divisés en 2 groupes afin d'évaluer l'influence de la maturation de la Biodentine™ lors que l'on colle à différents intervalles au test de micro-cisaillement.
Le groupe 1 permet d'évaluer l'influence de la maturation de la Biodentine™ seule. Il est lui-même divisé en 2 groupes pour tester 2 intervalles de temps différents.

- Groupe 1a concerne le vieillissement de la Biodentine™ pour des intervalles de temps « précoces » (t=0min, t=5 min, t=20 min, t=24h) (Fig. 30).
  La Biodentine™ est mixée puis est laissée au repos le temps des intervalles indiqués avant de procéder au collage en utilisant l'adhésif en SE ou TE.
- Le groupe 1b concerne le vieillissement de la Biodentine™ pour des intervalles de temps « retardés » (2sem, 1mois, 3mois, 6mois).
  La Biodentine™ est mixée puis est laissée au repos le temps des intervalles indiqués avant de procéder au collage en utilisant l'adhésif en SE ou TE.

La résistance au micro-cisaillement a été testée 24h après collage avec le test de micro-cisaillement (Fig. 30).
Ces 2 groupes évaluent s'il est pertinent de laisser mûrir le matériau avant de coller dessus.

[78] Hashem et al., « The physical characteristics of resin composite-calcium silicate interface as part of a layered/laminate adhesive restoration ».

Figure 30 - Schéma du protocole du groupe 1: Test du vieillissement de la Biodentine™

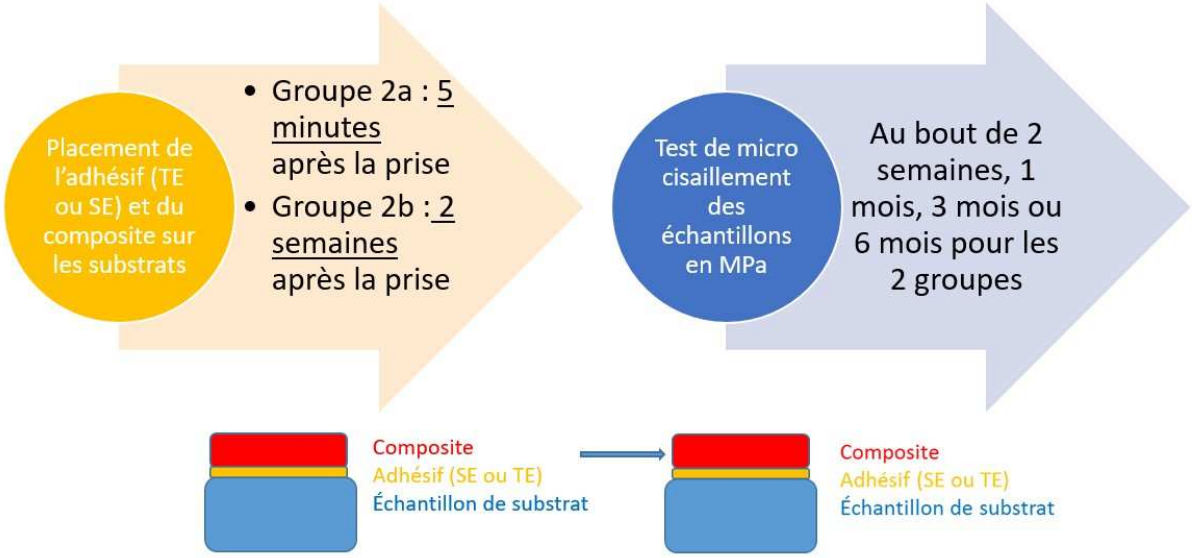


Source : Auteur, d'après Hashem, The physical characteristics of resin composite-calcium silicate interface as part of a layered/laminate adhesive restoration, 2014

Le groupe 2 permet d'évaluer l'influence du vieillissement de la Biodentine™ collée, à 2 intervalles de temps (Fig. 31).

- Le groupe 2a : Le placement de l'adhésif (TE ou SE) et du composite est effectué 5 minutes après le mélange de la Biodentine™.
- Le groupe 2b : Le placement de l'adhésif (TE ou SE) et du composite est effectué 2 semaines après le mélange de la Biodentine™.
- Pour les 2 groupes le test de micro-cisaillement est réalisé au bout de 2 semaines, 1 mois, 3 mois ou 6 mois.

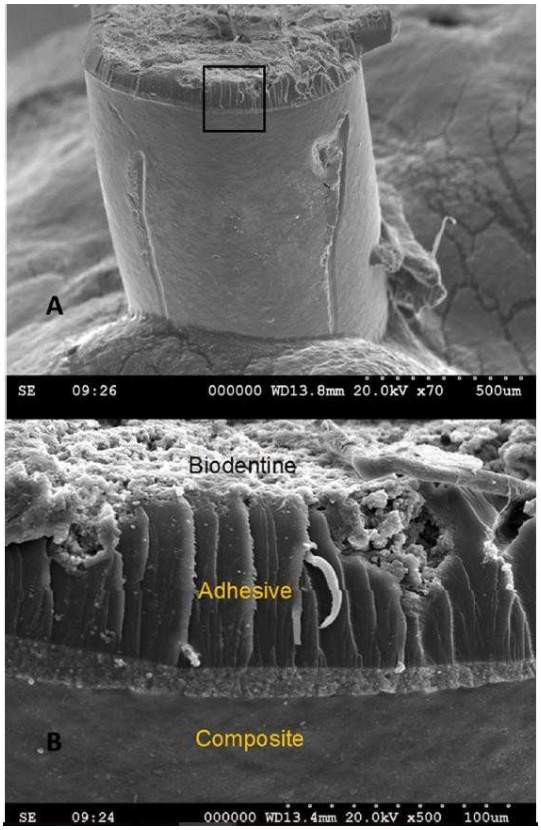
Figure 31 - Schéma du protocole du groupe 2: Test du vieillissement de la Biodentine™ collée



Source : Auteur, d'apès Hashem, The physical characteristics of resin composite-calcium silicate interface as part of a layered/laminate adhesive restoration, 2014

Le protocole du groupe 2 permet d'évaluer s'il est pertinent de laisser murir la Biodentine™ avec une couche adhésive dessus ou s'il est préférable de la différer.

Figure 32 - Image en microscope à balayage d'un collage avec un adhésif auto-mordançant sur de la Biodentine™, avec une rupture cohésive de la Biodentine™ en A. En B, la même image mais agrandit sur l'interface

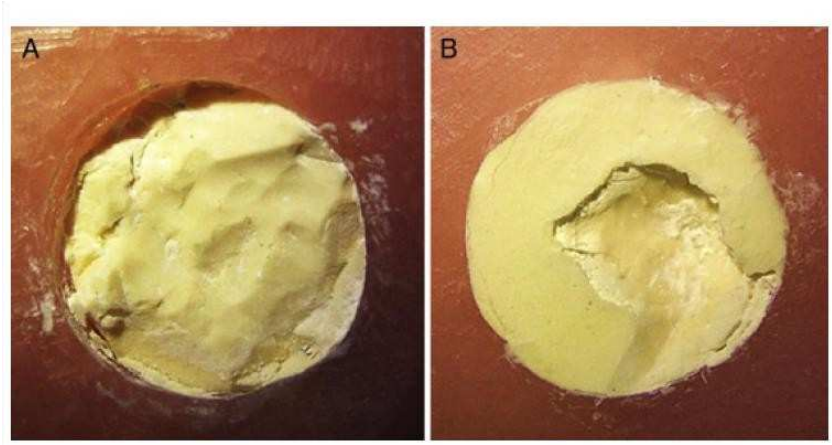


Source : Hashem, The physical characteristics of resin composite-calcium silicate interface as part of a layered/laminate adhesive restoration, 2014

On peut voir, sur cette image de MEB, le collage du composite effectué sur la Biodentine™(Fig.32).

Enfin, les modes d'échec ont été identifiés. (Fig. 33)

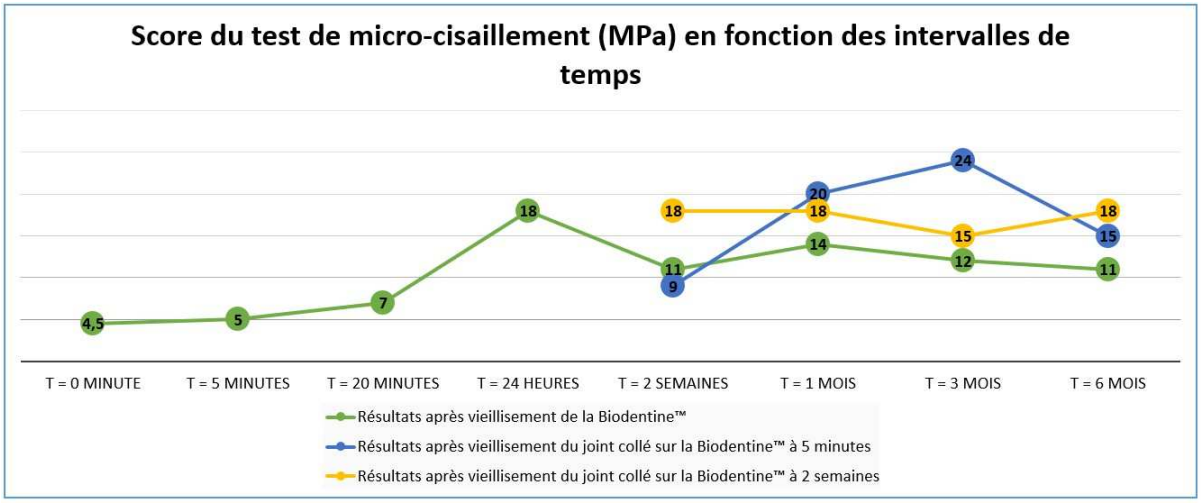
Figure 33 - Image au microscope des différents modes d'échecs. Exemple de fracture cohésive en A et de fracture mixte en B



Source : Altunsoy, Shear bond strength of a selfadhering flowable composite and a flowable base composite to mineral trioxide aggregate, calcium enriched mixture cement, and Biodentine™, 2015

Résultats :

Figure 34 - Courbe des résultats du test de micro-cisaillement après vieillissement du de la Biodentine™ ou du joint adhésif



Source : Auteur, d'après Hashem, The physical characteristics of resin composite-calcium silicate interface as part of a layered/laminate adhesive restoration, 2014

Pas de différence significative observée entre l'utilisation de l'adhésif en auto-mordançage (SE) ou en mordançage total (TE)[79]. Les 2 groupes sont fusionnés pour les résultats.

[79] Ibid.

Concernant le vieillissement de la Biodentine™ seule (groupe 1), on observe une augmentation significative des scores du groupe « vieillissement retardé » par rapport au groupe « vieillissement précoce » (Fig.34). Mais à l'intérieur du groupe « vieillissement précoce », le test de micro-cisaillement réalisé après 24 heures de vieillissement de la Biodentine™ est le plus haut (18 MPa).

Concernant le vieillissement de la Biodentine™ collée (groupe 2), il n'y a pas de différence significative entre les groupes et entre les intervalles de temps.

Concernant les modes d'échec, les ruptures cohésives représentent ~68.8%, puis viennent les ruptures adhésives avec ~22%.

Conclusion :

La Biodentine™ est un matériau de restauration aux propriétés mécaniques faibles pendant sa prise initiale. Même si elle atteint un score élevé à 24 heures, le délai idéal pour la couvrir après sa mise en place est de 2 semaines, afin d'atteindre une maturation intrinsèque capable de résister aux forces de contraction venant du composite.

Ce délai minimum se justifie aussi par la nécessité d'évaluer la vitalité pulpaire après le coiffage. Une fois la vitalité pulpaire vérifiée, le praticien peut couvrir la Biodentine™ avec une résine composite. Un adhésif auto-mordançant ou un adhésif à mordançage total peut être utilisé[80]. La porosité de la Biodentine™ pourrait expliquer qu'il n'y ait pas de différence. L'acidité du mordançage préalable ou celle contenue dans les adhésifs auto-mordançant pourraient être tamponnées par l'alcalinité de la Biodentine™.

Concernant la méthodologie de ce test, les valeurs de résistance au micro-cisaillement ne sont pas totalement fiables. La force de ce test n'est pas uniforme et se concentre sur un seul pan du matériau. Le matériau cède avant l'interface de collage. Le pourcentage de ruptures cohésives indique que les valeurs ne sont pas celles de la vraie force d'adhésion de l'interface mais la force de cohésion dans le matériau lui-même[81].

---

[80] Ibid.
[81] Ibid.

3.2.2. Etude de M. E. Odabas, 2013

L'équipe de M. E. Odabas[82] a mesuré la résistance au cisaillement des différents systèmes adhésifs sur la Biodentine™ avec différents intervalles de temps.

80 échantillons de Biodentine™ ont été préparés et randomisés en 2 groupes.

Premier groupe :

Après 12 minutes de prise, les 40 échantillons sont randomisés et divisés en 4 groupes de 10 échantillons :

- Groupe 1: Prime & Bond NT (MR2)
- Groupe 2: ClearFil SE Bond (SAM 2)
- Groupe 3 : ClearFil S3 Bond (SAM 1)
- Groupe 4 : groupe contrôle sans adhésif

Après l'application des systèmes adhésifs, une restauration composite recouvre la Biodentine™.

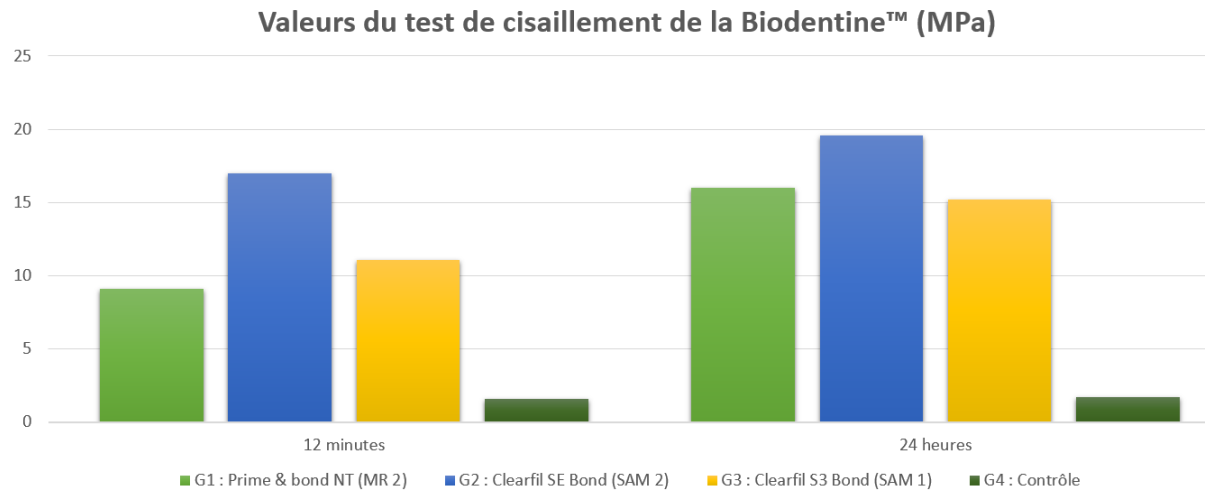
Deuxième groupe :

Cette même procédure est répétée 24 heures après avoir mis en place la Biodentine™.

Puis les modes d'échec sont analysés au microscope.

Résultats :

Figure 35 - Valeur du test de cisaillement des adhésifs sur la Biodentine™ en MPa



Source: Auteur, d'après Odabas, Shear bond strenghts of different adhesive systems to Biodentine™, 2013

[82] Odabaş, Bani, et Tirali, « Shear bond strengths of different adhesive systems to Biodentine ».

Pas de différence significative entre les différents adhésifs dans le même intervalle (Fig.35).
Dans les 2 intervalles :

- la valeur la plus faible (~9.1MPa) a été obtenue par le groupe 1 (MR2) à 12 minutes ;
- la valeur la plus haute (~19.6MPa) est obtenue par le groupe 2 (SAM 2) à 24h.

La grande majorité des échecs sont cohésifs dans la Biodentine™ (87%).

Conclusion :
Dans cette étude, la force d'adhésion du composite sur la Biodentine™ a été testé avec 3 adhésifs différents à 2 intervalles de temps différents (12 minutes et 24 heures).
Il n'y pas de différence significative entre les 3 adhésifs. Les valeurs sont situées entre 9.1 et 19.6 MPa[83].

3.2.3. Etude de E. Cengiz, 2016

Une autre étude évalue la micro-résistance au cisaillement de la Biodentine™ et du TheraCal LC™ à différents matériaux de restauration, avec des adhésifs différents[84]. Le TheraCal LC™ est un nouveau Mineral Trioxide Aggregate (MTA) photopolymérisable. Il est renforcé à la résine afin de mieux coller sous un composite de restauration.

Méthode :
35 disques de TheraCal LC™ et de Biodentine™ ont été fabriqués en utilisant un moule en téflon, puis recouverts de 7 matériaux de restauration différents, de manière randomisée :

- Fuji IX, GC : ciment verre ionomère,
- Fuji II, GC : ciment verre ionomère avec adjonction de résine,
- Equia Fil, GC : ciment verre ionomère auto-adhérant,
- Vertise Flow, Kerr : un composite fluide auto-adhérant,

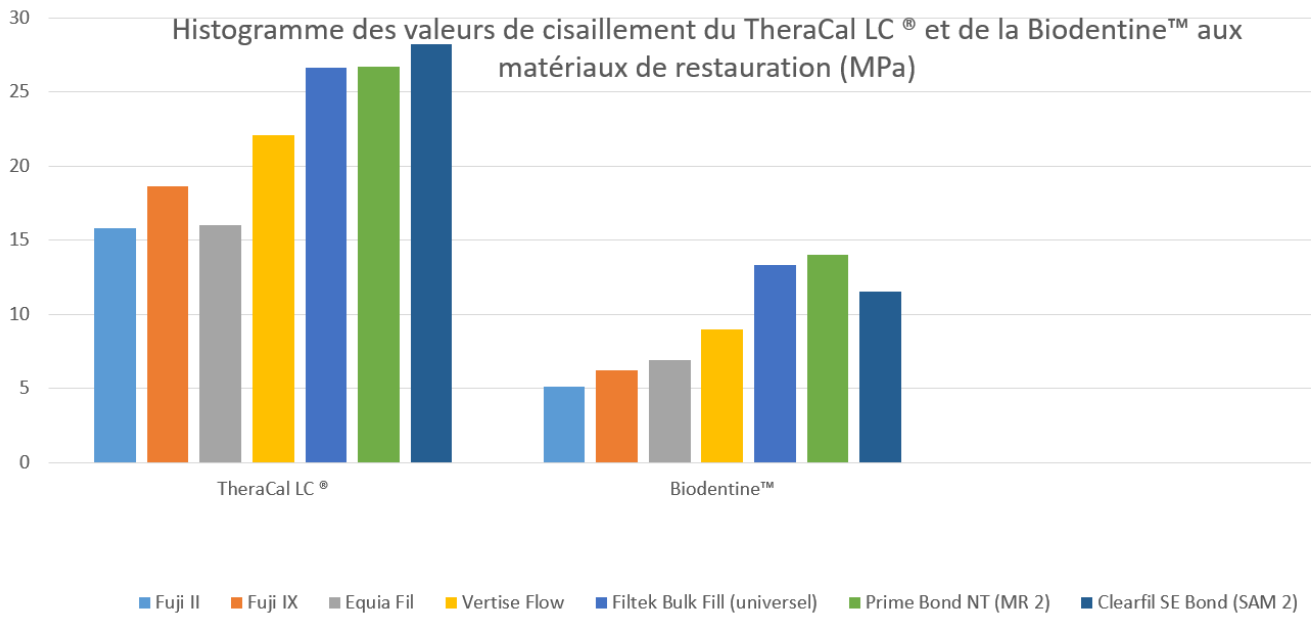
[83] Ibid.
[84] Cengiz et Ulusoy, « Microshear bond strength of tri-calcium silicate-based cements to different restorative materials ».

- Filtek Bulk Fill Posterior Restorative, 3M ESPE : mordançage à l'acide ortho phosphorique 35% puis d'un adhésif universel (Scotchbond Universal Adhesif, 3M ESPE) puis du composite Filtek Bulk Fil Posterior Restorative,
- Filtek Z250, 3M ESPE et Prime&Bond NT, Dentsply : mordançage à l'acide ortho-phosphorique 35% puis application d'un adhésif MR2 (Prime&Bond NT) puis du composite Filtek Z250
- Filtek Z250, 3M ESPE et ClearFil SE bond, Kuraray : mordançage à l'acide ortho-phosphorique 35% puis application d'un adhésif auto-mordançant SAM 2 (ClearFil SE bond) puis du composite Filtek Z250

Les échantillons ont été stockés à 37°C pendant 24h, puis testés avec une machine universelle grâce au test de résistance au micro-cisaillement (µ-SBS).

Résultats :

Figure 36 - Histogramme des valeurs de cisaillement du TheraCal LC ® et de la Biodentine™ aux matériaux de restauration



Source : Auteur, d'après Cengiz, Microshear bond strength of tri-calcium silicate-based cements to different restorative materials, 2016

Pour toutes les restaurations, le TheraCal LC™ montre des valeurs de force d'adhésion supérieures à la Biodentine™ (Fig. 36).

Pour le TheraCal LC™, les valeurs les plus faibles sont celles obtenues avec CVI Fuji II et avec l'Equia Fil. La valeur la plus forte est celle du Filtek Z250 avec l'adhésif ClearFil SE bond auto-

mordançant. Concernant le Filtek Z250, il n'y a pas de différence significative entre l'adhésif Prime&Bond Nt et le Filtek Bulk Fill.
Pour la Biodentine™, la valeur la plus faible est celle du CVI, du CVIMAR et de l'Equia Fil. Les valeurs les plus fortes sont celles de Filtek avec Prime&Bond et Filtek Bulk avec Scotchbond Universal adhesive (Fig. 36).

Les modes d'échec sont analysés. Concernant le TheraCal LC™, c'est la fracture adhésive qui est prédominante alors que pour la Biodentine™ c'est la fracture cohésive. Encore une fois, dans cette étude la Biodentine™ a été testée que 24h après son application contrairement aux 2 semaines nécessaires pour sa maturation.

Conclusion :
Pour la Biodentine™, les résines composites montrent de meilleures valeurs d'adhérence par rapport au CVIs. Pour les auteurs, l'application d'un adhésif MR est suggérée pour améliorer l'adhésion à la résine composite[85].

3.2.4. Etude de M. Altunsoy, 2015

L'équipe de M. Altunsoy[86] a mesuré la résistance au cisaillement (SBS) d'un composite fluide auto-adhérant et d'un composite fluide sur le MTA, la Biodentine™ et le CEM (mélange de ciment enrichi en calcium).
Le CEM est un nouveau matériau contenant une combinaison de calcium et d'oxyde de sulfate, de phosphate, de carbonate, de silicium, de l'hydroxyde et du chlore. Comparé au MTA, il a un temps de prise réduit, une faible viscosité.

Méthode :
60 blocs d'acrylique avec un trou de 3 mm de diamètre et 1.5mm de hauteur ont été préparés, randomisés en groupe de 20 et obturés avec du MTA, de la Biodentine™ et du CEM. Les échantillons ont été stockés pendant 3 jours dans 100% d'humidité et 37°C. Chaque groupe

[85] Ibid.
[86] Altunsoy et al., « Shear bond strength of a self-adhering flowable composite and a flowable base composite to mineral trioxide aggregate, calcium-enriched mixture cement, and Biodentine ».

est divisé en 2 sous-groupes de 10. L'un est recouvert avec un composite fluide auto-adhérant (Vertise flow, Kerr) et l'autre avec un composite fluide (X-trabase, Voco). Les tests de résistance au cisaillement (SBS) sont réalisés avec une machine universelle.
Les modes d'échecs ont aussi été évalués et divisés en 3 groupes : fracture cohésive, fracture adhésive et fracture mixte.

Résultats :

Tableau 1 - Tableau des valeurs d'adhésion du MTA, du CEM et le Biodentine™ avec les 2 composites testés

Mean Shear Bond Strength Values (MPa) and Standard Deviations of Each Group (n = 10)

	MTA	CEM	Biodentine
Vertise Flow	2.01 (0.6)ab	2.44 (0.8)a	1.2 (0.5)b
X-tra base	2.17 (0.9)a	1.8 (0.7)ab	1.69 (0.3)ab

CEM, calcium-enriched mixture; MTA, mineral trioxide aggregate.

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

Source :Altunsoy, Shear bond strength of a selfadhering flowable composite and a flowable base composite to mineral trioxide aggregate, calcium enriched mixture cement, and Biodentine™, 2015

Le tableau 1 nous révèle que les plus fortes valeurs de résistance au cisaillement sont atteintes par les groupes Vertise flow-CEM (~2.44MPa) et X-Tra-base –MTA (~2.77MPa). Elles sont significativement plus fortes que celle de la Biodentine™ (~1.2MPa avec le Vertise Flow et ~1.69MPa avec le X-Tra Base).
Le MTA et le CEM montrent une plus grande valeur de résistance au cisaillement que la Biodentine™.

Tableau 2 - Distribution des modes d'échecs

Distribution of Failure Modes within Groups (n = 10)

Group	Adhesive	Cohesive	Mix	Total
MTA–Vertise Flow	0	3	7	10
Biodentine–Vertise Flow	0	2	8	10
CEM–Vertise Flow	0	9	1	10
MTA–Xtra base	0	5	5	10
Biodentine–X-tra base	0	3	7	10
CEM–X-tra base	0	10	0	10

MTA, mineral trioxide aggregate.

Source :Altunsoy, Shear bond strength of a selfadhering flowable composite and a flowable base composite to mineral trioxide aggregate, calcium enriched mixture cement, and Biodentine™, 2015

Les modes d'échecs cohésifs et mixtes sont les plus représentés (tableau 2). Cela peut s'expliquer par les faibles propriétés mécaniques pour le MTA et par le trop court temps de prise pour la Biodentine™.

Conclusion:

Il n'y a pas de différence significative entre le Vertise Flow (composite fluide auto-adhérant) et le X-trabase (composite fluide) quand ils sont appliqués sur les matériaux de coiffage testés[87].

Le MTA et le CEM montrent des valeurs d'adhérence supérieure à la Biodentine™.

Les résultats de cette étude montrent des valeurs de résistance au cisaillement bien inférieures aux études précédentes. L'intérêt d'utiliser ce type de produit est donc limité.

3.2.5. Etude de Velaga L. Deepa, 2016

Dans une autre étude[88], une équipe de chercheurs a testé la résistance au cisaillement du composite sur plusieurs substrats : le CVIMAR, le TheraCal LC™ et la Biodentine™ avec un adhésif universel.

---

[87] Ibid.

[88] Deepa et al., « Shear bond strength evaluation of resin composite bonded to three different liners : TheraCal LC, Biodentine, and resin-modified glass ionomer cement using universal adhesive : an in vitro study ».

Méthode :

Le protocole adhésif a été réalisé juste 12 minutes après l'application de la Biodentine™. Puis le test de résistance au cisaillement a été effectué(test SBS).

Résultats :

Pas de différence significative entre les échantillons de TheraCal LC™ et ceux du CVIMAR (~18MPa). Néanmoins, il y a une différence significative de ces 2 groupes par rapport à la Biodentine™. La Biodentine™ montre une résistance au cisaillement bien inférieure (~5.6MPa). Son mode d'échec est principalement cohésif.

Conclusion :

Nous pouvons expliquer cette valeur très faible par le temps très court entre l'application de la Biodentine™ et le protocole adhésif, réalisé juste 12 minutes après sa prise initiale. Selon l'étude de D. F. Hashem[89], la Biodentine™ a besoin de 2 semaines de maturation pour résister au stress de polymérisation[90]. De plus, cet écart avec le TheraCal LC™ peut venir de l'ajout d'HEMA dans ce biomatériau qui va améliorer significativement la capacité de collage.

3.2.6. Etude de K. Cantekin, 2014

K. Cantekin et son équipe ont évalué la résistance au cisaillement de 2 composites et d'un CVI sur de la Biodentine™ et du MTA[91].

Ils ont utilisé deux composites différents : l'un composé de méthacrylate (MB), et l'autre de silorane (SB). Le composite silorane a été choisi car il possède une rétraction au retrait moindre que le méthacrylate.

Méthode :

90 blocs d'acrylique percés d'un trou de 5mm sont préparés :

---

[89] Hashem et al., « The physical characteristics of resin composite-calcium silicate interface as part of a layered/laminate adhesive restoration ».

[90] Bachoo, Seymour, et Brunton, « A biocompatible and bioactive replacement for dentine : is this a reality ? The properties and uses of a novel calcium-based cement ».

[91] Cantekin et Avci, « Evaluation of shear bond strength of two resin-based composites and glass ionomer cement to pure tricalcium silicate-based cement (Biodentine®) ».

- 45 sont comblés par de la Biodentine™ ;
- et 45 comblés par du MTA ;

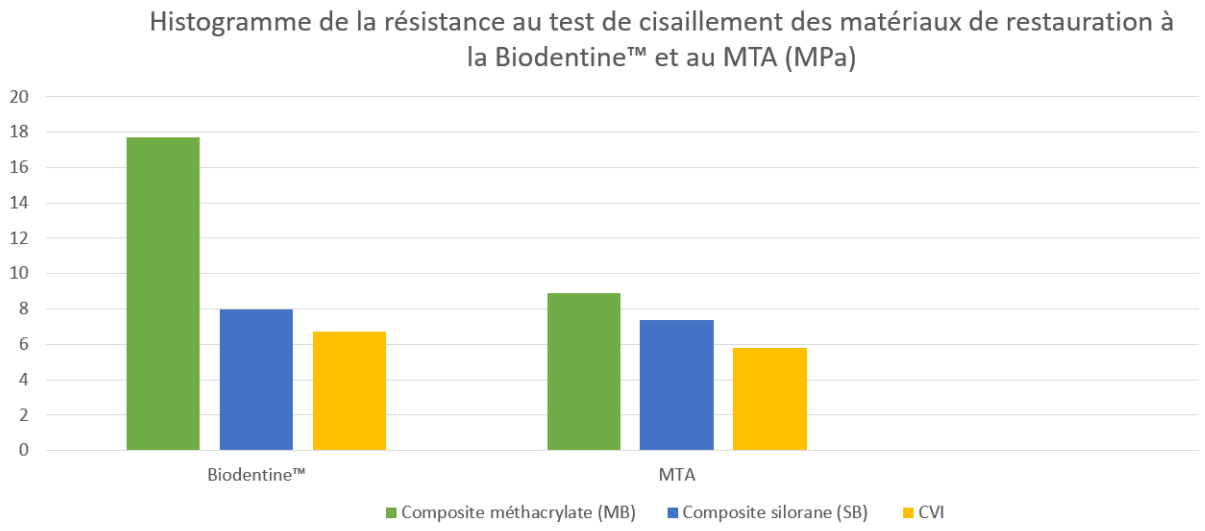
Puis randomisés en 3 sous-groupes de 15 échantillons :

- Groupe 1 : composite MB
- Groupe 2 : composite SB
- Groupe 3 : CVI

Le test de résistance au cisaillement (SBS) réalisé avec une machine universelle après 96 heures de stockage.

Résultats :

Figure 37 - Histogramme de la résistance au test de cisaillement des matériaux de restauration à la Biodentine™ et au MTA (MPa)



Source : Cantekin, Evaluation of shear bond strength of two resin-based composites and glass ionomer cement to pure tricalcium silicate-based cement (Biodentine™), 2014

Le meilleur score est obtenu avec la combinaison Biodentine™ et composite MB (17.7MPa).

Le moins bon est obtenu avec le MTA et CVI (5.8MPa) (Fig. 37).

Le composite MB montre une bien meilleure adhérence sur la Biodentine™ (~17MPa) que sur le MTA (~8MPa), tandis que le composite SB révèle des résultats similaires.

Conclusion :

La Biodentine™ utilisée avec un composite méthacrylate obtient de meilleurs résultats que le MTA.

3.3. Conclusion

Concernant l'adhérence sur les tissus dentinaires, la Biodentine™ montre des valeurs proches de 10MPa à 7 jours, comparables à celle du CVI et bien supérieures à celle du MTA, d'après l'étude menée par M. Kaup[92].

Au niveau de l'interface avec les restaurations adhésives, les valeurs sont aux alentours des 15-17 MPa, quelle que soit la famille d'adhésif[93]. Elles sont proches de celles obtenues au niveau de l'interface dentine-systèmes adhésifs[94]. Il faut souligner que les modes de rupture étaient pour la plupart cohésifs, ce n'est pas la liaison Biodentine™/matériaux de restaurations qui est testée mais la résistance intrinsèque de la Biodentine™.

Cela nous indique que la qualité de l'étanchéité et de l'adhésion de la Biodentine™ avec les tissus dentaires[95, 96] et les restaurations adhésives[97,98] est satisfaisante.

Cependant, il est préférable réaliser le protocole de collage dans un deuxième temps opératoire ; au moins 2 semaines[99] après la prise initiale du matériau.

Il faut attendre quelques semaines après l'application de la Biodentine™ pour pouvoir réévaluer la vitalité pulpaire. De plus, les études montrent que la qualité de l'adhésion à la dent est meilleure au-delà de 2 semaines, ce qui limite les risques d'un arrachage du matériau lors du collage. Le temps de prise de 12 minutes est un temps mort lors du soin ; reporter le collage permet de ne pas perdre du temps.

Enfin, la résistance du matériau augmente avec le temps. Les propriétés mécaniques augmentées permettent de résister au retrait de polymérisation.

---

[92] Kaup et al., « Shear bond strength of Biodentine, ProRoot MTA, glass ionomer cement and composite resin on human dentine ex vivo ».

[93] Odabaş, Bani, et Tirali, « Shear bond strengths of different adhesive systems to Biodentine ».

[94] Hashem et al., « The physical characteristics of resin composite-calcium silicate interface as part of a layered/laminate adhesive restoration ».

[95] Koubi et al., « Quantitative evaluation by glucose diffusion of microleakage in aged calcium silicate-based open-sandwich restorations ».

[96] Raju et al., « Comparative evaluation of shear bond strength and microleakage of tricalcium silicate-based restorative material and radioopaque posterior glass ionomer restorative cement in primary and permanent teeth : an in vitro study ».

[97] Raskin et al., « In vitro microleakage of Biodentine as a dentin substitute compared to Fuji II LC in cervical lining restorations ».

[98] Camilleri, « Investigation of Biodentine as dentine replacement material ».

[99] Hashem et al., « The physical characteristics of resin composite-calcium silicate interface as part of a layered/laminate adhesive restoration ».

En ce qui concerne les cavités occlusales exiguës à 4 parois, le risque d'arrachage du matériau est diminué, et l'interface Biodentine™/Composite étant réduite, le retrait de polymérisation résineux est moins important. Hashem & al. ont prouvé que l'adhésion augmente dans les 2 semaines et devient satisfaisante, que le collage ai été réalisé immédiatement ou non. On peut donc en théorie procéder au protocole de collage dans la séance dans ce type de cas.

4 : Proposition de protocole clinique

Lors d'un curetage profond ou d'une exposition pulpaire, la Biodentine™ est un matériau de choix pour réaliser le coiffage direct ou indirect, toujours sous champ opératoire. Le curetage des bords est primordial, il va conditionner l'adhésion de la Biodentine™ en périphérie de la plaie dentinaire. Il faut lui laisser le temps de finir sa prise avant d'engager une restauration d'usage directe ou indirecte.

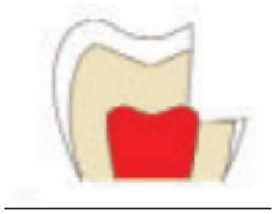
Nous vous proposons un protocole clinique expérimental :

1. Curetage de la lésion carieuse

- Elimination de la dentine infectée tout en gardant la dentine affectée à l'aide d'une fraise boule de Tungstène ou d'un excavateur

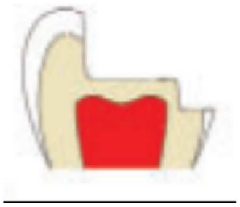
2. Préparation de la cavité

Figure 38 - Schéma d'une exposition pulpaire nécessitant un coiffage direct



Source : Septodont, Biodentine™, Dentine de substitution en capsule, Des solutions cliniques au quotidien, 2009

Figure 39 - Schéma d'une cavité profonde nécessitant un coiffage indirect



- Source : Septodont, Biodentine™, Dentine de substitution en capsule, Des solutions cliniques au quotidien, 2009

- Réaliser une préparation guidée par la perte de substance (Fig. 38 et 39). Eliminer les pans amélaires trop faibles qui menacent de casser

- Cureter les bords avec une fraise diamantée de sorte d'éliminer tous tissus dentaires trop contaminé ou déminéralisé

3. Nettoyage de la plaie dentinaire

- Dans le cas des coiffages pulpaires indirectes, rincer la plaie dentinaire avec de la Chlorhexidine 0.12%

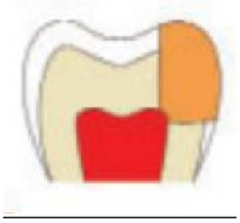
4. Matriçage

- Dans les cas de cavité proximale, utiliser une matrice qui épouse le bord marginal de la dent

- Vérifier la continuité de la matrice avec le bord marginal

5. Préparation et mise en place de la Biodentine™

Figure 40 - Schéma d'un coiffage pulpaire direct réalisé avec de la Biodentine™



Source : Septodont, Biodentine™, Dentine de substitution en capsule, Des solutions cliniques au quotidien, 2009

Figure 41 - Schéma d'un coiffage pulpaire indirect réalisé avec de la Biodentine™

- Source : Septodont, Biodentine™, Dentine de substitution en capsule, Des solutions cliniques au quotidien, 2009

- Ouvrir la capsule de poudre
- Détasser la poudre avec une spatule à ciment
- Déposer 5 gouttes de la dosette dans la capsule
- Faire vibrer 30 secondes dans un vibreur à amalgame
- Utiliser les spatules du kit afin de déposer le matériau sur la surface voulue
- Tapoter légèrement avec un fouloir pour étaler la Biodentine™ (effet thixotrope)
- Combler l'intégralité de la perte de substance avec le matériau (Fig. 40 et 41).

6. Temps de prise

- Attendre 12 minutes, le temps de prise initial de la Biodentine™
- Ne pas toucher au matériau pendant son temps de prise

7. Mise en sous-occlusion de la Biodentine™

- Eliminer la Biodentine™ en contact avec la dent antagoniste lors des mouvements fonctionnels à l'aide d'une fraise diamantée. Laisser la Biodentine™ en tant que substitut amélaire temporaire
- Prévoir une 2ème séance entre minimum 2 semaines et 6 mois plus tard

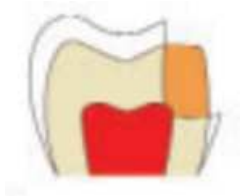
8. Lors de la 2ème séance

- Assurer vous de la vitalité de la dent grâce aux tests de vitalité pulpaire thermique et électrique
- Fraiser avec une fraise diamantée de la Biodentine™ en insistant sur les bords dentinaires (Fig. 42 et 43). Le matériau est laissé en tant que substitut dentinaire

Figure 42 - Schéma d'un coiffage pulpaire direct réalisé avec de la Biodentine™. La Biodentine™ a été retravaillée pour être collée

Source : Septodont, Biodentine™, Dentine de substitution en capsule, Des solutions cliniques au quotidien, 2009

Figure 43 - Schéma d'un coiffage pulpaire indirect réalisé avec de la Biodentine™. La Biodentine™ a été retravaillée pour être collée



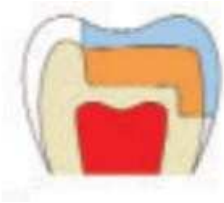
Source : Septodont, Biodentine™, Dentine de substitution en capsule, Des solutions cliniques au quotidien, 2009

- Utiliser un système adhésif au choix
- Choix d'une restauration directe ou indirecte en fonction de la perte de substance (Fig. 44 et 45) : Utiliser un composite méthacrylate en cas de restauration direct

Figure 44 - Schéma d'un coiffage pulpaire direct réalisé avec de la Biodentine™ et recouvert d'une restauration directe ou indirecte

Source : Septodont, Biodentine™, Dentine de substitution en capsule, Des solutions cliniques au quotidien, 2009

Figure 45 - Schéma d'un coiffage pulpaire indirect réalisé avec de la Biodentine™ et recouvert d'une restauration directe ou indirecte



Source : Septodont, Biodentine™, Dentine de substitution en capsule, Des solutions cliniques au quotidien, 2009

- Polissage des bords de la restauration d'usage

9. Contrôle.

- Réaliser une surveillance clinique tous les 3 mois la première année puis tous les 6 mois

Conclusion

La Biodentine™ est un ciment tricalcique avec une forte bioactivité. Elle permet la formation d'hydroxyapatite, d'une dentine réparatrice, et une cicatrisation pulpaire. Ce paramètre va élargir son champ d'indication.

Concernant les coiffages directs ou indirects, la Biodentine™ est un matériau de choix. Son étanchéité et son adhésion aux tissus dentinaires sont garants du succès thérapeutique. Seulement, le remplacement de ce substitut amélaire provisoire doit être réalisé lors d'une période allant de 2 semaines à 6 mois, car au-delà l'étanchéité n'est plus assurée. De plus, l'adhésion aux systèmes adhésifs semble similaire à celle de la dentine.

L'adhérence de la Biodentine™ aux systèmes adhésifs est encore peu décrite dans la littérature. D'autres études sont attendues afin de mieux comprendre les mécanismes impliqués.

Bibliographie

Altunsoy, M., M. Tanrıver, E. Ok, et E. Kucukyilmaz. « Shear bond strength of a self-adhering flowable composite and a flowable base composite to mineral trioxide aggregate, calcium-enriched mixture cement, and Biodentine ». *Journal of endodontics* 41, nº 10 (2015): 1691–95. doi:10.1016/j.joen.2015.06.013.

Atmeh, A. R., E. Z. Chong, G. Richard, F. Festy, et T. F. Watson. « Dentin-cement interfacial interaction ». *Journal of dental research* 91, nº 5 (2012): 454–59. doi:10.1177/0022034512443068.

Bachoo, I. K., D. Seymour, et P. Brunton. « A biocompatible and bioactive replacement for dentine : is this a reality ? The properties and uses of a novel calcium-based cement ». *British dental journal* 214, nº 2 (2013): E5–E5. doi:10.1038/sj.bdj.2013.57.

Butt, N., A. Bali, S. Talwar, S. Yadav, R. R. Nawal, et S. Chaudhry. « Comparison of physical and mechanical properties of mineral trioxide aggregate and Biodentine ». *Indian journal of dental research* 25, nº 6 (2014): 692. doi:10.4103/0970-9290.152163.

Camilleri, J. « Investigation of Biodentine as dentine replacement material ». *Journal of dentistry* 41, nº 7 (2013): 600–610. doi:10.1016/j.jdent.2013.05.003.

Camilleri, J., et T. R. Pitt Ford. « Mineral trioxide aggregate : a review of the constituents and biological properties of the material ». *International endodontic journal* 39, nº 10 (2006): 747–54. doi:10.1111/j.1365-2591.2006.01135.x.

Cantekin, K., et S. Avci. « Evaluation of shear bond strength of two resin-based composites and glass ionomer cement to pure tricalcium silicate-based cement (Biodentine®) ». *Journal of applied oral science* 22, nº 4 (2014): 302–6. doi:10.1590/1678-775720130660.

Cengiz, E., et N. Ulusoy. « Microshear bond strength of tri-calcium silicate-based cements to different restorative materials ». *The journal of adhesive dentistry* 18, nº 3 (2016): 231–37. doi:10.3290/j.jad.a35934.

Deepa, V. L., B. Dhamaraju, I. P. Bollu, et T. S. Balaji. « Shear bond strength evaluation of resin composite bonded to three different liners : TheraCal LC, Biodentine, and resin-modified glass ionomer cement using universal adhesive : an in vitro study ». *Journal of conservative dentistry* 19, nº 6 (2016): 166–70. doi:10.4103/0972-0707.178696.

Han, L., et T. Okiji. « Bioactivity evaluation of three calcium silicate-based endodontic materials ». *International endodontic journal* 46, nº 9 (2013): 808–14. doi:10.1111/iej.12062.

———. « Uptake of calcium and silicon released from calcium silicate-based endodontic materials into root canal dentine ». *International endodontic journal* 44, nº 12 (2011): 1081–87. doi:10.1111/j.1365-2591.2011.01924.x.

Hashem, D. F., R. Foxton, A. Manoharan, T. F. Watson, et A. Banerjee. « The physical characteristics of resin composite-calcium silicate interface as part of a layered/laminate adhesive restoration ». *Dental materials* 30, nº 3 (2014): 343–49. doi:10.1016/j.dental.2013.12.010.

Kaup, M., C. H. Dammann, E. Schäfer, et T. Dammaschke. « Shear bond strength of Biodentine, ProRoot MTA, glass ionomer cement and composite resin on human dentine ex vivo ». *Head & face medicine* 11 (2015): 14. doi:10.1186/s13005-015-0071-z.

Kayahan, M. B., M. H. Nekoofar, A. McCann, H. Sunay, R. F. Kaptan, N. Meraji, et P. M. H. Dummer. « Effect of acid etching procedures on the compressive strength of 4 calcium silicate–based endodontic cements ». *Journal of endodontics* 39, nº 12 (2013): 1646–48. doi:10.1016/j.joen.2013.09.008.

Koubi, G., P. Colon, J.-C. Franquin, A. Hartmann, G. Richard, M.-O. Faure, et G. Lambert. « Clinical evaluation of the performance and safety of a new dentine substitute, Biodentine, in the restoration of posterior teeth : a prospective study ». *Clinical oral investigations* 17, nº 1 (2013): 243–49. doi:10.1007/s00784-012-0701-9.

Koubi, S., H. Elmerini, G. Koubi, H. Tassery, et J. Camps. « Quantitative evaluation by glucose diffusion of microleakage in aged calcium silicate-based open-sandwich restorations ». *International journal of dentistry* 2012 (2012): 1–6. doi:10.1155/2012/105863.

Laurent, P., J. Camps, et I. About. « BiodentineTM induces TGF- β1 release from human pulp cells and early dental pulp mineralization ». *International endodontic journal* 45, nº 5 (2012): 439–48. doi:10.1111/j.1365-2591.2011.01995.x.

Laurent, P., J. Camps, M. De Méo, J. Déjou, et I. About. « Induction of specific cell responses to a Ca3SiO5-based posterior restorative material ». *Dental materials* 24, nº 11 (2008): 1486–94. doi:10.1016/j.dental.2008.02.020.

Malkondu, O., M. K. Kazandag, et E. Kazazoglu. « A review on biodentine, a contemporary dentine replacement and repair material ». *Biomed research international* 2014 (2014): e160951. doi:10.1155/2014/160951.

Odabaş, M. E., M. Bani, et R. E. Tirali. « Shear bond strengths of different adhesive systems to Biodentine ». *The scientific world journal* 2013 (2013): 626103. doi:10.1155/2013/626103.

Pérard, M., J. Le Clerc, F. Meary, F. Pérez, S. Tricot-Doleux, et P. Pellen-Mussi. « Spheroid model study comparing the biocompatibility of Biodentine and MTA ». *Journal of materials science* 24, nº 6 (2013): 1527–34. doi:10.1007/s10856-013-4908-3.

Raju, V. G., N. R. Venumbaka, J. Mungara, P. Vijayakumar, S. Rajendran, et A. Elangovan. « Comparative evaluation of shear bond strength and microleakage of tricalcium silicate-based restorative material and radioopaque posterior glass ionomer restorative cement in primary and permanent teeth : an in vitro study ». *Journal of the Indian society of pedodontics and preventive dentistry* 32, nº 4 (2014): 304–10. doi:10.4103/0970-4388.140952.

Raskin, A., G. Eschrich, J. Dejou, et I. About. « In vitro microleakage of Biodentine as a dentin substitute compared to Fuji II LC in cervical lining restorations ». *The journal of adhesive dentistry* 14, nº 6 (2012): 535–42. doi:10.3290/j.jad.a25690.

Semennikova, K., P. Colon, et N. Pradelle-Plasse. « Les ciments tricalciques : exemple du matériau Biodentine™. Partie 1, présentation, composition et propriétés ». *Biomatériaux dentaires cliniques* 1, nº 2 (2016): 16–25.

Septodont. « Biodentine™; Active Biosilicate Technology™ ». Septodont, 2009. http://www.septodont.fr/.

Zhirong L., Dongmei L., M. R. Kohli, Qing Y., Syngcuk K., et Wen-xi H. « Effect of Biodentine™ on the proliferation, migration and adhesion of human dental pulp stem cells ». *Journal of dentistry* 42, nº 4 (2014): 490–97. doi:10.1016/j.jdent.2013.12.011.

Table des figures

Figure 1 : Photographie d'une capsule prédosée de poudre de Biodentine™ et de sa pipette à usage unique 7
Figure 2 - Photographie d'une capsule de Biodentine™ prêt à l'emploi 8
Figure 3 - Schéma de la réaction de prise de la Biodentine™ 10
Figure 4 - Schéma de Biodentine™ avant et après hydratation 10
Figure 5 - Machine universelle Instron réalisant un test de compression uni-axial diamétrale 12
Figure 6 - L'effet du nouveau ciment tricalcique sur la minéralisation des cellules pulpaires. Immunohistochimie de cellules pulpaires pour évaluer l'effet des nouveaux ciments tricalciques ... 15
Figure 7 - L'effet du nouveau ciment tricalcique sur l'expression génique spécifique des fibroblastes pulpaires. Immunohistochimie des cellules pulpaires au contact de la Biodentine™ et du MTA à travers l'expression génique spécifique 16
Figure 8 - Schéma des cavités occluso-proximales réalisées sur des molaires extraites avec leurs matériaux de reconstituions : Biodentine™ et composite 21
Figure 9 - Histogramme de la distance pénétrée en pourcentage à l'interface Biodentine™-adhésif par rapport au temps (D1 = jour 1 et D90 = jour 90). % de pénétration du colorant = (EE1/EF)*100% 22
Figure 10 - Schéma de la préparation des cavités et de l'obturation pour les 2 premiers groupes 24
Figure 11 - Histogramme des micro-infiltrations de la Biodentine™ ou du Fuji II LC en contact avec l'émail ou la dentine 24
Figure 12 - Schéma de la préparation et de l'obturation en technique sandwich des cavités dans les autres groupes 25
Figure 13 - Histogramme des micro-infiltrations de la Biodentine™ ou du Fuji II LC en contact de l'adhésif et du composite 26
Figure 14 - Test de diffusion du glucose 27
Figure 15 - Schéma des préparations dans les deux premiers groupes de l'étude 29
Figure 16 - Courbe représentant l'érosion de la Biodentine™, du Ketac Fil et du Fuji II dans une solution acide à pH = 2.74 avec acide lactique et lactate 32
Figure 17 - Dépôts des cristaux apatite sur la surface de la Biodentine™ dans une solution de salive artificielle contenant des phosphates à pH = 5.3 32
Figure 18 - Interface entre la Biodentine™ à gauche et la dentine humaine à droite. Courtoisie du Pr Dejou et du Dr Raskin 33

Figure 19 - Coupe représentant le contact entre la dentine et la Biodentine™. Courtoisie du Pr Colon et Dr Pradelle 34
Figure 20 - Image de gauche : Vue au MEB de la dentine et des tags minéraux. Courtoisie du Pr Colon et Dr Pradelle. Image de droite : Courtoisie du Dr Franquin 34
Figure 21 - Image en MEB des interfaces Biodentine™ - complexe adhésif et Fuji LL LC - complexe adhésif, Courtoisie du Pr Dejou et du Dr Raskin 35
Figure 22 - Image de Microscopie des interfaces Biodentine™ - Biodentine™ (à droite) et Biodentine™ - Dentine (à gauche). Courtoisie du Dr Bronnec et du Pr Colon 36
Figure 23 - Image de l'interface Biodentine™-dentine 36
Figure 24 - Interface Biodentine™-dentine avec différentes techniques d'imagerie 38
Figure 25 - Interfaces Biodentine™ -dentine sur la partie supérieur (a1-d1) et CVI-dentine sur la partie inférieure (a2-d2) 39
Figure 26 - Illustration schématique du test de cisaillement SBS 41
Figure 27 - Histogramme des valeurs la résistance au cisaillement des matériaux testés sur de la dentine après 2j, 7j et 14j (MPa) 42
Figure 28 - Schéma des différents groupes étudiés. Matériau utilisé : G3 : Biodentine™ + Optibond® Solo Plus (Kerr) + Silane ; G4 : Biodentine™ + Optibond® Solo Plus (Kerr); G5 : Biodentine™ + Septodont SE (Septodont) ; G6 : Fuji LL LC (GC) + Optibond® Solo Plus 47
Figure 29 - Histogramme des scores de la micro-infiltration pour les groupes G3 G4 G5 et G6 48
Figure 30 - Schéma du protocole du groupe 1: Test du vieillissement de la Biodentine™ 51
Figure 31 - Schéma du protocole du groupe 2: Test du vieillissement de la Biodentine™ collée 51
Figure 32 - Image en microscope à balayage d'un collage avec un adhésif auto-mordançant sur de la Biodentine™, avec une rupture cohésive de la Biodentine™ en A. En B, la même image mais agrandit sur l'interface 52
Figure 33 - Image au microscope des différents modes d'échecs. Exemple de fracture cohésive en A et de fracture mixte en B 53
Figure 34 - Courbe des résultats du test de micro-cisaillement après vieillissement du de la Biodentine™ ou du joint adhésif 53
Figure 35 - Valeur du test de cisaillement des adhésifs sur la Biodentine™ en MPa 55
Figure 36 - Histogramme des valeurs de cisaillement du TheraCal LC ® et de la Biodentine™ aux matériaux de restauration 57
Figure 37 - Histogramme de la résistance au test de cisaillement des matériaux de restauration à la Biodentine™ et au MTA (MPa) 62
Figure 38 - Schéma d'une exposition pulpaire nécessitant un coiffage direct 65
Figure 39 - Schéma d'une cavité profonde nécessitant un coiffage indirect 65

Figure 40 - Schéma d'un coiffage pulpaire direct réalisé avec de la Biodentine™ 66
Figure 41 - Schéma d'un coiffage pulpaire indirect réalisé avec de la Biodentine™ 66
Figure 42 - Schéma d'un coiffage pulpaire direct réalisé avec de la Biodentine™. La Biodentine™ a été retravaillée pour être collée 68
Figure 43 - Schéma d'un coiffage pulpaire indirect réalisé avec de la Biodentine™. La Biodentine™ a été retravaillée pour être collée 68
Figure 44 - Schéma d'un coiffage pulpaire direct réalisé avec de la Biodentine™ et recouvert d'une restauration directe ou indirecte 68
Figure 45 - Schéma d'un coiffage pulpaire indirect réalisé avec de la Biodentine™ et recouvert d'une restauration directe ou indirecte 69

Table des tableaux

Tableau 1 - Tableau des valeurs d'adhésion du MTA, du CEM et le Biodentine™ avec les 2 composites testés. 59
Tableau 2 - Distribution des modes d'échecs. 60

Vu, le Directeur de thèse

Vu, le Doyen de la Faculté de Chirurgie dentaire
de l'Université Paris Descartes

Docteur Lucien DUPAGNE

Professeur Louis MAMAN

Vu, le Président de l'Université Paris Descartes
Professeur Frédéric DARDEL
Pour le Président et par délégation,

Le Doyen Louis MAMAN

Biodentine™ : concepts d'adhésion et d'étanchéité

Résumé :

Les avancées de l'adhésion ont engendré une nouvelle philosophie de conservation tissulaire en odontologie quotidienne. Cette politique de conservation a d'abord concerné les tissus durs, mais s'étend maintenant aux tentatives de conservation de vitalité pulpaire. Les ciments tricalciques ont complétement changé notre manière de traiter les lésions carieuses profondes. Parmi ses ciments, le MTA (mineral trioxide aggregate) a été le précurseur et un leader dans cette tâche pendant une trentaine d'années. Plus récemment, la Biodentine™ s'est démarquée comme le matériau de choix concernant les coiffages pulpaires directs ou indirects en surmontant les inconvénients du MTA. Seulement, une fois la vitalité pulpaire conservée, comment restaurer la perte tissulaire et par quel protocole d'adhésion ? Le travail consistera en une revue de la littérature. En introduction, les indications et caractéristiques de la Biodentine™ seront brièvement présentées. La première partie abordera l'adhésion et l'étanchéité de la Biodentine™ sur le complexe amélo-dentinaire. La seconde partie abordera les protocoles d'adhésion de la Biodentine™ aux résines composites. Nous finirons par proposer un protocole de collage de la Biodentine™ avec une restauration pérenne illustré par un cas clinique.

Discipline :

Matériaux dentaires

Mots clés fMesh et Rameau :

Ciment silicate -- Dissertations universitaires ; Collage dentaire -- Dissertations universitaires ; Percolation dentaire -- Dissertations universitaires ; Restauration dentaire -- Thèses et écrits académiques

Université Paris Descartes

Faculté de Chirurgie dentaire

1, rue Maurice Arnoux

92120 Montrouge