HAL open science

Adhésion à la dentine altérée par les biomatériaux et les produits chimiques

Nathaniel Kadoch

▶ To cite this version:

Nathaniel Kadoch. Adhésion à la dentine altérée par les biomatériaux et les produits chimiques. Chirurgie. 2022. ⟨dumas-03723846⟩

HAL Id: dumas-03723846

https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03723846v1

Submitted on 15 Jul 2022

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 CC BY-NC-ND 4.0 - Attribution - Non-commercial use - No Derivative Works - International License

Aix*Marseille université
Socialement engagée

Faculté des sciences médicales et paramédicales
Aix-Marseille Université
ECOLE DE MEDECINE DENTAIRE

THESE

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

Présentée et publiquement soutenue devant

Aix-Marseille Université
(Président : Monsieur le Professeur Éric BERTON)

Faculté des Sciences Médicales et Paramédicales
(Doyen : Monsieur le Professeur Georges LEONETTI)

Ecole de Médecine Dentaire
(Directeur : Monsieur le Professeur Bruno FOTI)

Adhésion à la dentine altérée par les biomatériaux et les produits chimiques

Présentée par

KADOCH Nathaniel

Né le 07/08/1995
A CASABLANCA (Maroc)

Thèse soutenue le **Lundi 21 mars 2022**

Devant le jury composé de

Président : **Professeur FOTI Bruno**

Assesseurs : **Docteur BANDON Daniel**

Docteur TOSELLO Alain

Docteur PILLIOL Virginie

Aix*Marseille université
Socialement engagée

Faculté des sciences médicales et paramédicales
Aix-Marseille Université
ECOLE DE MEDECINE DENTAIRE

THESE

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

Présentée et publiquement soutenue devant

Aix-Marseille Université
(Président : Monsieur le Professeur Éric BERTON)

Faculté des Sciences Médicales et Paramédicales
(Doyen : Monsieur le Professeur Georges LEONETTI)

Ecole de Médecine Dentaire
(Directeur : Monsieur le Professeur Bruno FOTI)

Adhésion à la dentine altérée par les biomatériaux et les produits chimiques

Présentée par

KADOCH Nathaniel

Né le 07/08/1995
A Casablanca (Maroc)

Thèse soutenue le **Lundi 21 mars 2022**

Devant le jury composé de

Président : **Professeur FOTI Bruno**

Assesseurs : **Professeur BANDON Daniel**

Professeur TOSELLO Alain

Docteur PILLIOL Virginie

Faculté des sciences médicales et paramédicales
Aix-Marseille Université

Ecole de médecine dentaire

ADMINISTRATION

Doyens Honoraires	Professeur	Raymond SANGIUOLO†
	Professeur	Henry ZATTARA
	Professeur	André SALVADORI
	Professeur	Jacques DEJOU
Directeur	Professeur	Bruno FOTI
Directeurs adjoints	Professeur	Michel RUQUET
	Professeur	Anne RASKIN
Chargés de missions		
Formation Initiale	Professeur	Michel RUQUET
Recherche	Professeur	Anne RASKIN
Formation Continue	Professeur	Frédéric BUKIET
Relations Internationales	Professeur	Hervé TASSERY
Internat et Diplômes d'études spécialisées	Professeur	Virginie MONNET-CORTI
Affaires générales	Docteur	Patrick TAVITIAN
Responsable Administrative	Madame	Katia LEONI

PROMOTIONS :

2019 Raymond SANGIUOLO
2020 Gaston BERGER
2021 Joseph MIGOZZI

Faculté des sciences médicales et paramédicales
Aix-Marseille Université

Ecole de médecine dentaire

LISTE DES ENSEIGNANTS

PROFESSEURS DES UNIVERSITES – PRATICIENS HOSPITALIERS DES CSERD

BUKIET Frédéric (58-01)
FOTI Bruno (58-02)
LE GALL Michel (56-01)
MONNET-CORTI Virginie (57-01)
RASKIN Anne (58-01)
RUQUET Michel (58-01)
TARDIEU Corinne (56-01)
TARDIVO Delphine (56-02)
TASSERY Hervé (58-01)
TERRER Elodie (58-01)

PROFESSEUR DES UNIVERSITES

ABOUT Imad (65)

PROFESSEURS EMERITES

DEJOU Jacques (58-01)
HUE Olivier (58-01)

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES – PRATICIENS HOSPITALIERS DES CSERD

ABOUDHARAM Gérard (58-01)
BANDON Daniel (56-01)
BELLONI Didier (57-01)
BOHAR Jacques (56-01)
CAMOIN Ariane (56-01)
CAMPANA Fabrice (57-01)
CATHERINE Jean-Hugues (57-01)
GAUBERT Jacques (56-01)
GIRAUD Thomas (58-01)
GIRAUDEAU Anne (58-01)
GUIVARC'H Maud (58-01)
JACQUOT Bruno (58-01)
LABORDE Gilles (58-01)
LAN Romain (56-02)
LAURENT Michel (58-01)
MAILLE Gérald (58-01)
MENSE Chloé (58-01)
PHILIP-ALLIEZ Camille (56-01)
POMMEL Ludovic (58-01)
PRECKEL Bernard-Éric (58-01)
RÉ Jean-Philippe (58-01)
ROCHE-POGGI Philippe (57-01)
STEPHAN Grégory (58-01)
TAVITIAN Patrick (58-01)
TOSELLO Alain (58-01)

Faculté des sciences médicales et paramédicales
Aix-Marseille Université

Ecole de médecine dentaire

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES ASSOCIES

BALLESTER Benoît (58-01)
BLANCHET Isabelle (58-01)
CASAZZA Estelle (58-01)

ASSISTANTS HOSPITALIERS ET UNIVERSITAIRES

ANTEZACK Angeline (57-01)
ARNIER Canelle (56-01)
BAUDINET Thomas (58-01)
BRINCAT Arthur (57-01)
BROS Agnès (56-01)
CHIARINI Thomas (58-01)
DUPRAT Florence (56-01)
FAURE-BRAC Mathias (57-01)
FERRE Enzo (58-01)
FOUQUES Agathe (56-01)
HAMMOUTENE Stéphane (57-01)
LAFONT Jacinthe (57-01)
LAURENT Camille (58-01)
LIOTARD Alicia (58-01)
MADENIAN Pauline (58-01)
MANSUY Charlotte (58-01)
MARCHAL Paul (58-01)
MARTIN William (56-01)
ONGHENA Tom (56-01)
PASCHEL Laura (58-01)
PILLIOL Virginie (58-01)
PRINCE Fanny (57-01)
RAYNAUD Camille (58-01)
REYNAL Florence (56-01)
ROMAO Vincent (57-01)
ROUSCOFF Eva (57-01)
SADOWSKI Camille (57-01)
VEILLARD Pierre (56-01)

ASSISTANT DES UNIVERSITES ASSOCIE

GRINE Ghilès (57-01)

Intitulés des sections CNU :
56ème section : Développement, croissance et prévention
56-01 Odontologie pédiatrique et orthopédie dento-faciale
56-02 : Prévention – Epidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale
57ème section : Chirurgie orale, Parodontologie, Biologie Orale
57-01 : Chirurgie orale – Parodontologie – Biologie orale
58ème section : Réhabilitation orale
58-01 : Dentisterie restauratrice – Endodontie – Prothèses – Fonction-Dysfonction – Imagerie – Biomatériaux

L'auteur s'engage à respecter les droits des tiers, et notamment les droits de propriété intellectuelle. Dans l'hypothèse où la thèse comporterait des éléments protégés par un droit quelconque, l'auteur doit solliciter les autorisations nécessaires à leur utilisation, leur reproduction et leur représentation auprès du ou des titulaires des droits. L'auteur est responsable du contenu de sa thèse. Il garantit l'Université contre tout recours. Elle ne pourra en aucun cas être tenue responsable de l'atteinte aux droits d'un tiers

A mon Président de thèse,
Monsieur le Professeur Bruno FOTI,

Je vous remercie tout d'abord d'avoir accepté de présider ce jury.
Mais je tiens surtout à vous remercier de m'avoir accueilli dans votre faculté, malgré une demande de transfert tardive depuis la faculté de Paris, et de m'avoir ainsi donné la chance de pouvoir poursuivre mon cursus à Marseille.
Votre gentillesse et votre intérêt pour chaque étudiant m'ont marqué à mes débuts à la faculté.
Soyez assuré de mon profond respect.

A Monsieur le Docteur Daniel BANDON,

Mon option en 6e année à l'Hôpital Nord m'a été donnée par la scolarité, c'est ainsi que j'ai eu la chance d'assister à vos blocs durant cette année.
Sachez que vos enseignements m'accompagneront durant tout mon exercice, tant au niveau de mes soins qu'au niveau humain.
Je vous remercie sincèrement pour votre sympathie, votre disponibilité ainsi que votre pédagogie pour lesquels tous les étudiants peuvent aujourd'hui témoigner.

A Monsieur le Docteur Alain TOSELLO,

Je tiens à vous remercier d'avoir pu vous rendre disponible afin de siéger à mon jury. Je n'ai pas eu beaucoup l'occasion de travailler avec vous lors des vacations cliniques, mais j'admire votre rigueur et votre savoir qui ont permis aux étudiants de recevoir une formation claire et de qualité.
Veuillez trouver ici le témoignage de ma sincère considération.

A ma Directrice de thèse,
Madame le Docteur Virginie PILLIOL,

Vous m'avez accompagné durant ce long travail de thèse avec précision et efficacité.
J'ai beaucoup apprécié travailler avec vous lors des vacations cliniques et ceci m'a motivé à vous demander de diriger ma thèse.
Merci pour votre disponibilité, votre investissement et vos encouragements à chaque étape de ce travail qui m'ont grandement aidé à le mener à bien.

Sommaire

INTRODUCTION 1

1. DENTINE SAINE ET ALTERÉE 2

1.1. Dentine saine 2

1.1.1. Histologie de la dentine 2

1.1.2. Rôle et fonctions de la dentine 3

1.1.3. Les différents types de dentine 4

1.2. Dentine altérée 7

1.2.1. Altération par les lésions carieuses 7

1.2.2. Par les matériaux de restauration 10

1.2.2.1. L'amalgame 10

1.2.2.2. Ciment Verre Ionomère (CVI) 13

1.2.2.3. Les matériaux de coiffage : exemple de la Biodentine™ 14

1.2.2.4. Les matériaux d'obturation ou d'assemblage temporaire 16

1.2.2.5. Le révélateur de carie 18

1.2.3. En endodontie 18

1.2.3.1. L'hydroxyde de calcium 19

1.2.3.2. Ciments endodontiques 21

1.2.3.3. Hypochlorite de sodium 23

1.2.3.4. EDTA et combinaison Hypochlorite/EDTA 24

1.2.3.5. La chlorhexidine 25

1.2.3.6. Le peroxyde d'hydrogène utilisé dans les procédés d'éclaircissement 26

2. COLLAGE DENTINAIRE 28

2.1. Définition du collage 28

2.2. L'adhésion à la dentine saine 31

2.3. Dentine altérée : les conséquences sur le collage 34

2.3.1. Après l'amalgame 34

2.3.2. La Biodentine 35

2.3.3. Le CVI 35

2.3.4. Les matériaux d'obturation ou d'assemblage temporaire 36

2.3.5. Le révélateur de carie 37

2.3.6. L'hydroxyde de calcium 37

2.3.7. Les ciments endodontiques 37

2.3.8. Les désinfectants : hypochlorite de sodium, EDTA, chlorhexidine 38

2.3.9. Le peroxyde d'hydrogène 40

2.4. Quel protocole sur les dentines altérées 40

2.4.1. Par une lésion carieuse (dentine affectée ou infectée)..... 40

2.4.2. Après utilisation d'amalgame 41

2.4.3. De Biodentine 43

2.4.4. Des matériaux temporaires..... 43

2.4.5. Du révélateur de caries..... 45

2.4.6. D'hydroxyde de calcium 45

2.4.7. Des ciments endodontiques..... 46

2.4.8. Des désinfectants..... 48

2.4.9. Après le peroxyde d'hydrogène (54) 49

3. TABLEAU DE SYNTHÈSE..... 50

CONCLUSION..... 53

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX .....A

BIBLIOGRAPHIE I

SERMENT MEDICAL I

INTRODUCTION

Le collage, que celui-ci intervienne au niveau de l'émail ou de la dentine ou encore au niveau des deux surfaces simultanément, nécessite l'application d'un protocole rigoureux afin de garantir efficacité et pérennité d'une restauration.

L'apparition de nouveaux systèmes et résines de collage aidée par les nombreux travaux de recherche et publications ont, certes, permis d'étoffer l'arsenal thérapeutique du chirurgien-dentiste tout en sous-entendant une parfaite maitrise de l'application de ces derniers en pratique. En effet, toute erreur dans la réalisation d'une des étapes de notre protocole peut s'avérer délétère et se traduire par l'échec du traitement (1).

En dehors du protocole, certaines conditions biologiques ou l'application de certains procédés et biomatériaux entrainant une altération des tissus, nous poussent à rechercher comment optimiser ce collage dans des situations données. L'évolution physiologique ou pathologique de la dentine, l'utilisation de produits chimiques ou de biomatériaux ou encore la mise en œuvre de certains traitements notamment endodontique sont à l'origine de changements au niveau de la dentine (2).

Par ailleurs, des facteurs intrinsèques à la dentine comme son volume organique ou encore la quantité d'eau rendent le collage plus difficile au niveau de ce tissu, par rapport à l'émail, mais aussi moins reproductible (3).

Cette thèse a pour objectif de souligner les principes fondamentaux de l'adhésion dentinaire, ceci afin d'expliciter les modifications histologiques de la dentine altérée par certains biomatériaux ou produits chimiques. Enfin, nous aborderons les conséquences sur l'adhésion à la dentine et les protocoles garantissant une adhésion efficace au niveau de cette dentine malgré l'utilisation ou l'application de certains agents externes.

1. DENTINE SAINE ET ALTERÉE

Afin de comprendre les problématiques en question, il est nécessaire de rappeler certaines généralités concernant l'histologie de la dentine saine puis dans son état altéré que ce soit par la maladie carieuse ou par l'application d'agents chimiques ou de biomatériaux, ceci afin de cerner les différences affectant l'adhésion sur chacune d'entre elles.

1.1. Dentine saine

1.1.1. Histologie de la dentine

Synthétisée par les odontoblastes lors de la dentinogénèse, ce tissu conjonctif minéralisé ne possède pas de vascularisation propre.

La synthèse s'effectue en deux étapes : **synthèse et sécrétion de prédentine ou matrice organique** par les odontoblastes puis la **minéralisation** de celle-ci (4).

La dentine constitue la majeure partie de la dent. En particulier, c'est elle qui va déterminer à la fois la forme mais aussi la dureté de la dent pour amortir les contraintes mécaniques.

Au niveau de la couronne, c'est **l'émail** qui enveloppe la dentine alors qu'au niveau de la racine, on retrouve plutôt de **cément**.

La dentine représente quant à elle la coque qui recouvre la pulpe.

Certains auteurs parlent de **complexe pulpo-dentinaire**, considérant que ces deux tissus n'en forment qu'un seul (2).

La composition de la dentine est la suivante en poids :

- **70% du poids en minéral**, majoritairement des apatites carbonatées,
- **20% de matrice organique**, avec du collagène de type I essentiellement ainsi que des protéines non-collagéniques, phosphoprotéines et protéoglycanes,
- **10 % d'eau.**

Le degré de minéralisation de la dentine et ses composants sont proches de ceux de l'os.

Cependant, la structure varie grandement entre ces deux tissus.

La structure de la dentine est faite de canalicules ou tubuli autour des prolongements odontoblastiques. Ces éléments représentent la majorité de la dentine, à l'exception du manteau dentinaire qui n'en comporte pas.

Les écarts sont fréquents au niveau de la taille, du nombre, etc. de ces tubuli.

Le diamètre peut se situer entre 5 microns et 0.1 mm et le nombre se rapproche de 80000 par mm^2 près de la chambre pulpaire et de 2000 par mm^2 près de l'émail ou du cément.

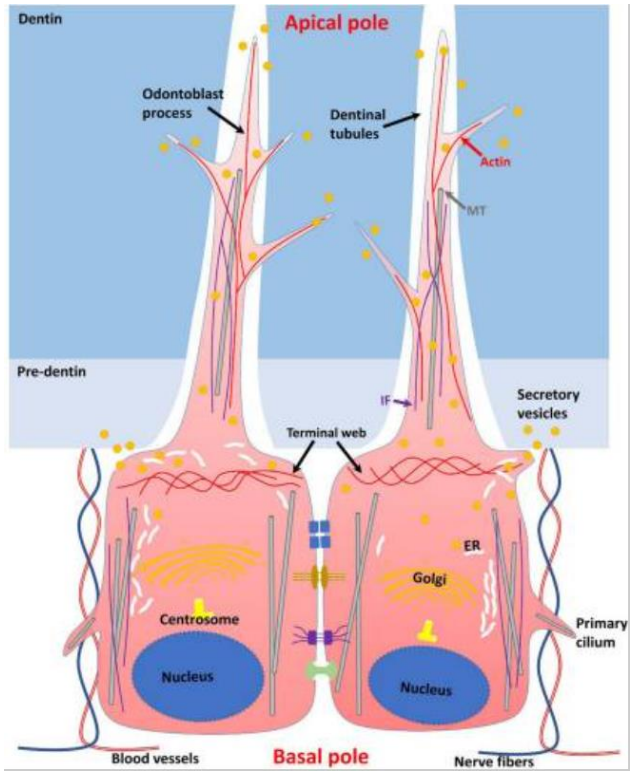


Figure 1 : Schéma de l'odontoblaste et des tubules dentinaires [5]

1.1.2. Rôle et fonctions de la dentine

L'une des fonctions de la dentine est de **réagir aux stimuli** provenant de l'extérieur grâce aux prolongements cytoplasmiques des odontoblastes situés dans les tubuli. C'est son organisation en canalicules qui permet de diriger les répercussions d'agressions de la dentine au niveau de la pulpe.

Ce phénomène induira par la suite la synthèse de **dentine tertiaire** accompagnée d'une inflammation de la pulpe qui sera soit réversible, soit irréversible lorsque ses capacités de défense sont dépassées.

Par ailleurs la dentine possède un rôle de protection de la dentine de plusieurs manières.

L'une d'entre elles va être **d'amortir les contraintes** : le nombre ainsi que le diamètre des tubuli diminuent en se rapprochant de la jonction amélo-dentinaire.

Dans la même optique, un mécanisme de résistance à la fracture existe dans ce tissu afin **d'éviter l'agrandissement d'une fissure** et l'induction d'une réelle fracture de la dent. Ce phénomène est surnommé « crack bridging » et trouve son origine dans la structure de la dentine mais surtout dans sa matrice collagénique qui joue un rôle important dans la résistance de la dentine (6).

1.1.3. Les différents types de dentine

❖ **Les dentines selon l'anatomie**

On distingue deux couches de dentine selon leur localisation, à savoir la **dentine périphérique** avec le « manteau dentinaire » et la **dentine circumpulpaire** avec la « métadentine ». Ces deux zones sont moins minéralisées (7).

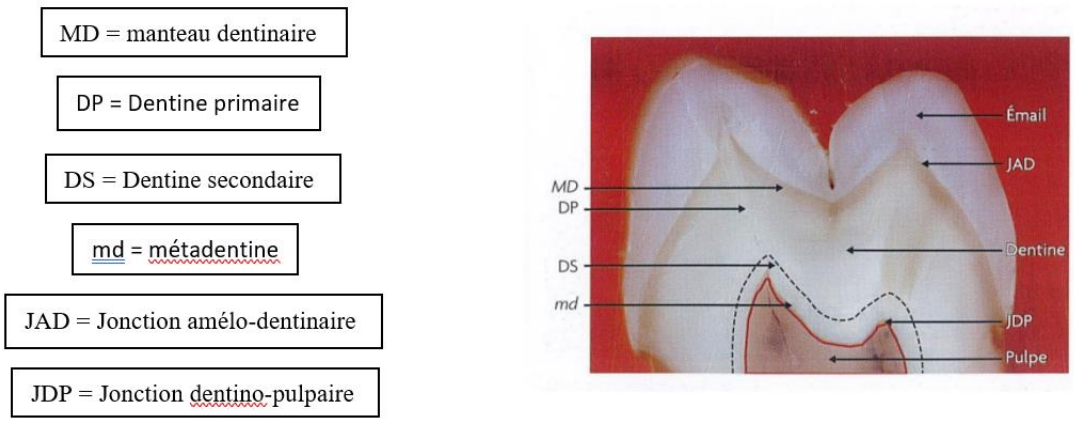


Figure 2 : Schéma des différentes couches de la couronne dentaire [7]

La dentine périphérique se différencie de la dentine circumpulpaire par une minéralisation moins importante d'où une transmission moindre des contraintes – thèse appuyée par Wang et Weiner qui ont mesuré sa microdureté ainsi que l'intensité du signal émis par microscopie électronique à balayage (7). Par ailleurs, son épaisseur est comprise entre 10 et 30 µm (7).

La dentine périphérique ne présente pas de canalicules dentinaires, tandis que la dentine circumpulpaire se décompose en dentines inter-tubulaire et intra-tubulaire (5). Cette dernière nous intéresse de par sa sensibilité à certaines situations physiologiques ou pathologiques. Ces mêmes situations peuvent aussi mener à une sclérose dentinaire.

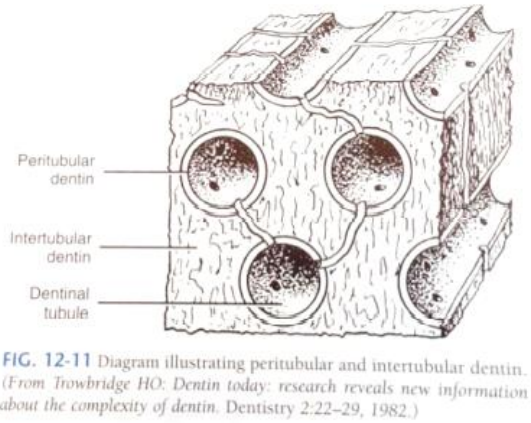


FIG. 12-11 Diagram illustrating peritubular and intertubular dentin. (From Trowbridge HO: Dentin today: research reveals new information about the complexity of dentin. Dentistry 2:22–29, 1982.)

Figure 3 : Schéma des dentines inter et intra-tubulaire [9]

La dentine circumpulpaire présente une largeur variable entre 150 et 200 µm, qui dépend de facteurs comme l'âge par exemple (3).

❖ Types de dentines selon le moment de formation (8)

- Dentine primaire

Cette dentine est synthétisée par les odontoblastes primaires lors de la formation de la dent jusqu'à édification radiculaire et sa mise en fonction sur l'arcade. La zone superficielle est appelée le manteau dentinaire.

- Dentine secondaire

Elle est également formée par les odontoblastes primaires, mais à la différence de la dentine primaire, sa synthèse a lieu après l'édification radiculaire complète.

- Dentine tertiaire (7)

Il existe 2 types de dentine tertiaire, selon l'intensité de l'atteinte de la dentine et le type de lésions provoquées au niveau de la pulpe :

- La **dentine réactionnelle**, développée en réponse à un stimulus modéré comme une carie débutante et semblable à la dentine physiologique
- La **dentine réparatrice**, développée à la suite d'un stimulus important comme une carie volumineuse ou lors de l'effraction de la pulpe. La formation de dentine réparatrice comprend des phénomènes de migration et de division des cellules souches pulpaires vers la zone de l'inflammation, qui, en se différenciant, créent une dentine atubulaire qui sépare la pulpe de l'extérieur.

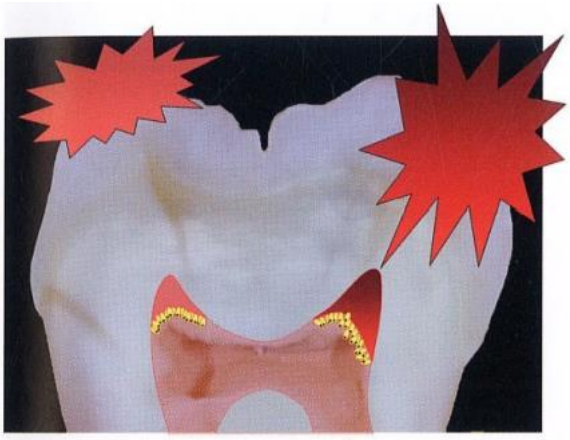


Figure 3.13 Représentation schématique des deux types de dentine tertiaire : réactionnelle (rouge pâle) et réparatrice (rouge foncé) (d'après Smith, 2002).

Figure 4 : Schéma des dentines réactionnelle (rouge pâle) et réparatrice (rouge foncé) [7]

- La sclérose dentinaire (7)

Ce phénomène s'apparente à un vieillissement : la formation de dentine secondaire s'accompagne logiquement d'une diminution du volume pulpaire ainsi que du nombre d'odontoblastes qui subissent une mort programmée, laissant des canalicules vides.

Ces structures vont ensuite s'obstruer par la venue de cristaux de phosphate de calcium, causant la sclérose dentinaire.

Cette couche est présente dans les caries à marche lente. Elle est plus dure que la dentine saine et est caractérisée par une diminution progressive des lumières tubulaires, pouvant aller jusqu'à une obturation totale de ces dernières. Cette couche constitue une barrière qui s'oppose à la progression bactérienne.

1.2. Dentine altérée

En toute logique, les études que nous prendrons comme références évaluent une dentine déjà altérée par un facteur externe. Dans un souci de simplification, l'altération originelle de la dentine sera appelée « **facteur primaire** ».

Par exemple, lorsque la dent est restaurée à l'aide d'un matériau, il est évident que celle-ci a déjà été affectée par le facteur primaire qui est la carie dans ce cas précis (ou encore une abrasion, érosion…).

Le matériau de restauration quant à lui, en causant des modifications des tissus de la dent, peut alors être considéré comme le « **facteur secondaire** » d'altération de la dent.

1.2.1. Altération par les lésions carieuses

Cette partie ne correspondant pas au sujet principal de cette thèse, elle ne sera abordée que succinctement.

❖ **Dentine affectée**

Plus foncée que la dentine saine, sa principale différence avec la dentine infectée est qu'elle a la **capacité d'être reminéralisée**, d'où l'intérêt de la conserver lors des thérapeutiques d'éviction carieuse.

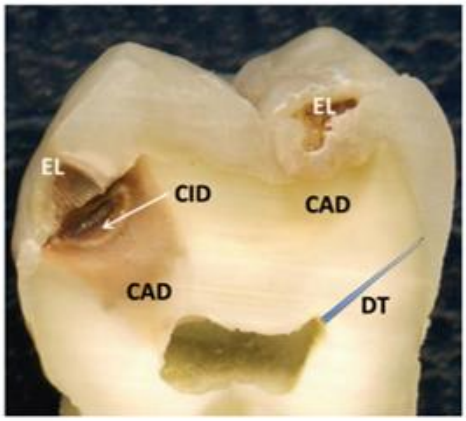
Seule la dentine péritubulaire est partiellement ou totalement déminéralisée. L'architecture du tissu reste globalement intacte et quelques bactéries sont présentes dans les tubuli dentinaires.

❖ **Dentine infectée ou couche d'invasion bactérienne**

Une fois la cavitation présente, le développement de la lésion est activé par le métabolisme bactérien.

L'architecture des tubuli est très altérée et de nombreuses bactéries sont présentes en leur sein.

Cette couche doit être éliminée lors de l'éviction, celle-ci étant non re-minéralisable et ses fibres de collagène définitivement détériorées, sans processus odontoblastiques, et non sensible. La distinction clinique entre les deux dentines (affectée et infectée) peut s'avérer difficile si ce n'est que la dentine infectée est plus molle, plus claire et la dentine affectée plus dure et plus foncée. (10)



CAD (Caries-affected dentine) = Dentine affectée

CID (Caries-infected dentine = Dentine infectée

DT = Tubules Dentinaires

Figure 5 : Coupe longitudinale des différentes dentines, affectée et infectée [11]

❖ **Le curetage sélectif et la technique stepwise**

Le curetage de la lésion carieuse est réalisé sélectivement dans le cas d'une carie profonde (appelé dans la littérature curetage en 1 étape ou 2 étapes), l'intérêt étant la préservation tissulaire dans le cas de caries profondes ainsi que de la vitalité pulpaire.

Réalisé en 1 étape, le curetage de la lésion est partiel (élimination de la dentine infectée), ceci dans l'optique d'une reminéralisation de la dentine précédemment déminéralisée. Cependant, l'obturation définitive va être placée au cours de la même séance sans besoin de réintervenir au niveau de la dent.

Réalisé en 2 étapes, le curetage prend le nom de technique stepwise (12).

Ce curetage est réalisé de façon « incomplète » (élimination de la dentine molle et jaune clair en conservant la dentine dure et plus foncée) puis un matériau de restauration **étanche** (tel qu'un CVIMAR- ciment verre ionomère modifié par adjonction de résine) est placé temporairement. Cette étape va permettre le passage à une dentine d'apparence de carie arrêtée. C'est le but de cette technique.

Quelques temps plus tard, le praticien réintervient au niveau de cette dent et une restauration définitive est placée dans la cavité. Un curetage complet de la carie peut être effectué si nécessaire (selon la réaction de la pulpe à la première étape) (6).

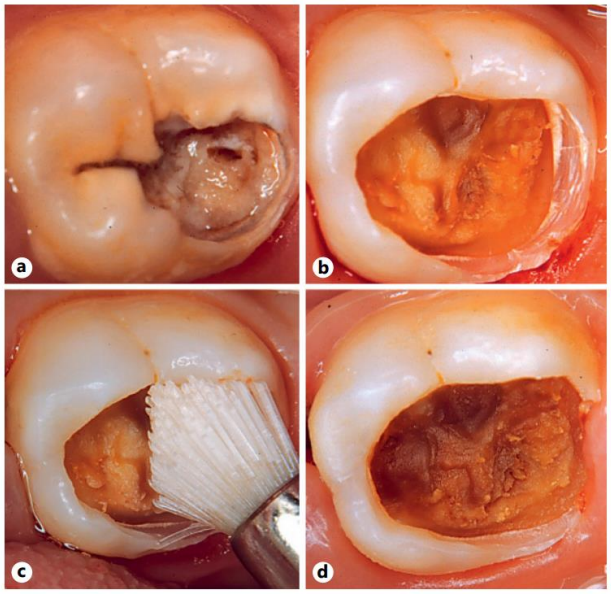


Figure 6 : Après curetage de la dentine infectée (illustration b), la dentine prend un aspect plus sombre au bout de 2 semaines (d) : la carie n'est plus active et semble arrêtée (Stepwise excavation, Björndal 2018)

Pour aider le praticien à cette fin, plusieurs outils de diagnostic ont été développés, tels que la **Soprolife** : cette caméra va guider le praticien afin d'identifier les zones de dentine infectée et permettre de réaliser une **éviction carieuse sélective** (14).

1.2.2. Par les matériaux de restauration

Ici le biomatériau peut être considéré comme un **facteur d'altération secondaire** car la dent concernée par la restauration a déjà été contaminée par un facteur d'altération primaire : la lésion carieuse.

Par exemple, la dépose d'un amalgame (altération secondaire) sur une dent ayant été affectée par une lésion carieuse (altération primaire) nous oblige à devoir « composer » avec ce facteur d'altération secondaire afin de restaurer efficacement la dent à l'aide d'une nouvelle obturation étanche.

Il serait illusoire de traiter l'intégralité des facteurs d'altération secondaire de la dentine, aussi, nous nous consacrerons à une liste non exhaustive mais qui se veut pertinente pour les étudiants du pavillon dentaire de l'Université Aix-Marseille. Nous avons donc sélectionné les matériaux avec lesquels les étudiants doivent souvent composer pour leurs soins :

- L'amalgame
- Le ciment verre ionomère (CVI)
- Les matériaux de coiffage pulpaire : la Biodentine
- Les matériaux d'obturation provisoire avec et sans eugénol

1.2.2.1. L'amalgame

- *Généralités et indications de l'amalgame*

De nos jours, l'amalgame est devenu un matériau auquel les praticiens ont bien moins fréquemment recours dans leur pratique clinique qu'auparavant.

Cependant, dans notre exercice au quotidien, nous sommes souvent amenés à déposer d'anciennes restaurations à l'amalgame soit conséquemment à une reprise carieuse, une fracture de la restauration/de la dent ou encore un manque d'étanchéité du joint dent-restauration. La qualité de ce joint est en effet un point critique de la pérennité de nos restaurations garantissant en outre l'absence d'infiltration bactérienne (15).

L'amalgame consiste en un alliage d'argent, d'étain, de faible quantité de cuivre et zinc, ainsi que de mercure trituré. Sa principale indication était l'obturation de cavités selon la classification de Black, avec une résistance à l'usure et une bonne activité anti-bactérienne.

- *Modifications des propriétés chimiques de la dentine : la corrosion*

En premier lieu, l'amalgame est responsable de modifications chimiques au niveau de la dentine : la **corrosion**.

La corrosion est l'un des défauts de l'amalgame au bout d'un certain temps, causant l'apparition de produits corrosifs à l'interface avec la dentine. Ce processus entraîne : la **réduction du volume en minéral**, une **porosité** augmentée de la dentine intertubulaire et une **dégradation du collagène** par les enzymes activées par l'hôte (16).

La carie est ici le facteur primaire d'altération de la dentine. L'amalgame est quant à lui le facteur secondaire d'altération. On peut dès lors se pencher sur l'origine de la décoloration de la dentine qui peut provenir soit de la lésion carieuse, soit de la corrosion liée à l'amalgame.

Figure 7 : Coupe longitudinale d'une dentine décolorée sous une restauration à l'amalgame (15)

La dentine décolorée est le résultat d'un échange à double sens entre la restauration et la structure dentaire environnante.

Cependant, cette décoloration peut avoir plusieurs origines :

- L'amalgame

- Une lésion carieuse arrêtée (donc inactive)
- Une lésion carieuse active

Cette coloration noirâtre de la dentine est attribuée, selon plusieurs études, à la pénétration des ions du matériau dans la dentine et à la corrosion qu'ils entraînent (15).

La précipitation d'éléments « amalgames », principalement l'étain Sn et le zinc Zn a été retrouvée concentrée dans la partie superficielle de la dentine déminéralisée (17).

Ces deux éléments diffusent depuis les complexes calcium-phosphate-étain ou calcium-phosphate-étain-zinc, formés à l'interface dent-amalgame et dans le fond de cavité dentinaire (18,19).

- *Modifications structurelles et mécaniques de la dentine*

La **perméabilité** de la dentine alors décolorée par la corrosion due à l'amalgame diminue, en raison de l'oblitération des tubules dentinaires. Ceci mène à une la formation d'une couche hybride réduite et des propriétés mécaniques inférieures des restaurations adhésives (20).

L'amalgame n'adhère pas chimiquement à la dentine, ainsi il en résulte un micro-espace marginal à l'interface qui facilite le transport de fluides, d'ions, de bactéries et toxines (21).

Les différences dans les coefficients d'expansion thermiques de l'amalgame et de la structure dentaire mènent à des changements de température intra-orale. Ceci entraîne l'ouverture et la fermeture intermittente de cet espace, créant un transport à double sens de fluides (percolation) le long de l'interface dent-amalgame.

Ainsi la **dentine est facilement exposée** aux composants de la salive, l'alimentation et des produits du métabolisme bactérien (21).

Il en résulte que la dentine mise au contact d'une restauration à l'amalgame constitue un substrat différent de la dentine saine.

En conclusion, l'amalgame cause différentes altérations de la dentine :

- **Corrosion et décoloration par pénétration d'ions (15)**
- **Présence d'éléments étain et zinc dans certaines zones de la dentine (17)**
- **Présence d'un micro-espace à l'interface avec passage d'éléments extérieurs qui modifient les propriétés (température…), mécaniques, etc. (21)**
- **Porosité augmentée de la dentine intertubulaire et dégradation du collagène avec réduction du volume de minéral (16)**

1.2.2.2. Ciment Verre Ionomère (CVI)

- *Généralités et indications*

Inventé par Wilson et Kent en 1970, le ciment verre ionomère est fréquemment utilisé dans l'obturation de cavités après éviction carieuse (ou dans les techniques de sandwich ouvert ou fermé) (22).

Les CVI sont connus pour leurs propriétés comme **l'adhésion directe** aux tissus dentaires (sans conditionnement amélaire ou dentinaire préalable), des **propriétés anti-cariogéniques** par relargage de fluorure, une infiltration réduite à l'interface avec la dent dû à sa **faible rétraction de prise**.

Ils possèdent par ailleurs une excellente **biocompatibilité** et une **faible cytotoxicité**. Leur **fragilité** est cependant un point négatif comparé à d'autres matériaux comme la résine composite (22).

- *Modifications des propriétés chimiques de la dentine*

Les modifications rapportées de l'utilisation du CVI sur la dentine concernent surtout le **relargage d'ions calcium et fluorure dans la dentine**, d'où le potentiel reminéralisant de la dentine adjacente par le CVI (22).

Il a également été rapporté **moins de perte de minéral au niveau de la dentine par l'utilisation des ciments verre ionomère** qu'avec une résine composite (23) : le CVI permet de prévenir la déminéralisation par son relargage de fluor et en réduisant l'impact sur le pH local.

1.2.2.3. Les matériaux de coiffage : exemple de la Biodentine™

Il existe différents matériaux de coiffage, comme le Mineral Trioxide Aggregate (MTA) ou la Biodentine qui sont tous deux des silicates tricalciques. Nous avons choisi de nous concentrer sur la Biodentine pour notre travail car c'est le matériau auquel les étudiants ont recours pour réaliser des coiffages pulpaires durant leur stage clinique.

Le MTA est un mélange de trois ingrédients : ciment de Portland (75%), l'oxyde de bismuth (20%) et du gypsum (5%) (24).

Les principales utilisations du MTA sont : le coiffage pulpaire, l'obturation de perforations, la gestion de résorptions, entre autres. Malgré ses avantages, le MTA a des limites : un temps de prise relativement long, une force compressive inadéquate, des difficultés de manipulation et un coût élevé (24).

Figure 8 : Conditionnement de la Biodentine en capsules (Source : www.henryschein.fr)

- *Généralités et indications de la Biodentine*

La Biodentine est un ciment à base de silicate de calcium, apparu initialement sur le marché en tant que substitut dentinaire. Ce matériau biologiquement actif va pénétrer à travers les tubules dentinaires ouverts, tout en se liant à la dentine et lui donnant ses propriétés mécaniques. Ses indications principales sont larges, comme le coiffage pulpaire,

direct et indirect en dentisterie restauratrice, après une pulpotomie sur dent immature, obturation d'une perforation, ou fermeture apicale… (24)

La Biodentine est disponible sous forme de capsule (24).

- *Fonctionnement de la Biodentine et impact sur le tissu dentinaire*

La Biodentine agit par l'intermédiaire de facteurs de croissance qui stimulent l'angiogenèse, le recrutement de cellules progénitrices, la différenciation cellulaire et la minéralisation de la zone située sous la pulpe et sous le biomatériau (25).

Deux jours après l'éviction carieuse et la mise en place du matériau, des foyers de minéralisation apparaissent dans la plaie pulpaire sous le matériau. Leur nombre augmente au bout de 14 jours et prennent l'apparence d'**ostéodentine**. Puis des particules de matériau apparaissent incluses dans la matrice des foyers.

En effet, la Biodentine relargue des ions calcium et silicium qui stimulent la minéralisation. Ces ions mènent à la formation d'une **Zone d'Infiltration Minérale (MIZ)** le long de l'interface entre la dentine et le matériau. Elle peut être associée à une microstructure intertubulaire altérée conduisant à un changement des propriétés optiques de la dentine à l'interface avec la Biodentine. La même structure dentinaire altérée est présente sous le biomatériau (24).

La réponse pulpaire induite par la Biodentine est (24) :

- Une réaction non-inflammatoire
- Qui augmente le taux de TGF-beta1
- Non toxique pour les cellules pulpaires
- Avec des couches d'odontoblastes bien organisés

Il y a formation d'un pont dentinaire complet, homogène et d'épaisseur uniforme.

Les interactions de la Biodentine avec les tissus durs et mous, dans les coiffages direct et indirect, mènent à une étanchéité marginale et une protection de la pulpe sous-jacente par la **production de dentine tertiaire et la reminéralisation**. L'étanchéité est assurée à la fois par la rétention micromécanique et la pénétration de Biodentine dans les tubules dentinaires.

Il y a formation de structures similaires à des balises le long de la Zone d'Infiltration Minérale, avec des cristaux de Biodentine fermement attachés à la dentine sous-jacente (26). L'alcalinité élevée de la Biodentine hydratée pourrait induire une dénaturation caustique ainsi qu'une perméabilité du collagène de la dentine à l'interface. Ceci n'a cependant pas d'effet sur la dentine péritubulaire qui est très minéralisée et donc moins riche en collagène (27).

Ainsi, lors de l'utilisation de Biodentine, les modifications au niveau de la dentine :

- **Production de dentine tertiaire à l'interface avec le matériau (27)**
- **Augmentation de la production de TGF-beta1 (24)**
- **Pénétration de Biodentine dans les tubules sans diffusion d'ions dans la dentine (24)**
- **Reminéralisation de la dentine déminéralisée (27).**

1.2.2.4. Les matériaux d'obturation ou d'assemblage temporaire

Dans ce paragraphe, nous nous intéresserons :

- Au ciment de scellement provisoire (avec eugénol)
- Au matériau d'obturation sans eugénol (Cavit)

❖ **<u>Les matériaux d'obturation provisoire – Cavit</u>**

Un matériau d'obturation provisoire est fréquemment placé dans des cavités d'accès de dents traitées endodontiquement en inter-séance ou dans l'attente de placer la restauration définitive. Son rôle est de procurer une étanchéité envers les fluides, la salive et les micro-organismes (28). Un exemple en est le Cavit, fait base d'oxyde de zinc et qui ne contient pas d'eugénol.

La résistance à la fracture de la dent a été évaluée par différentes études lorsque qu'un matériau de restauration temporaire à l'oxyde de zinc est placé. Celle-ci ne semble pas modifiée par l'utilisation de ces matériaux.

La résistance à la fracture est en fait plutôt reliée à la géométrie de la cavité de la dent qui subit un traitement endodontique (28).

Une étude menée sur 5 ans montre l'absence d'effet délétère sur la pulpe de ces matériaux de type Cavit, Coltosol, etc., après la réalisation d'une pulpotomie sur dent temporaire. Les auteurs comparent ce succès clinique à l'utilisation d'IRM qui contient de l'eugénol, et qui quant à lui entraîne une inflammation et un échec au niveau de la dent traitée (29).

❖ **Les ciments à base d'Oxyde de Zinc/Eugénol**

Ces ciments sont utiles dans le collage de restaurations partielles provisoires (couronnes provisoires, etc.).

Ils procurent une bonne étanchéité, un effet sédatif sur les dents préparées ainsi qu'une facilité pour retirer les restaurations provisoires (30).

L'eugénol contenu dans ces matériaux affecte plusieurs propriétés de la dentine : **sa mouillabilité, sa réactivité, et sa perméabilité**. L'eugénol pénètre en effet les tubules dentinaires.

La mouillabilité se trouve alors impactée : après avoir pénétré la dentine, les molécules d'eugénol emprisonnées dans l'hydroxyapatite vont protoniser les radicaux libres, bloquant ainsi leur réactivité lors du collage. En effet, ces radicaux sont censés pouvoir réagir avec les monomères adhésifs lors du collage : cette réactivité est entravée par l'eugénol (31). La réactivité de la dentine est donc également modifiée.

- **La dentine semble peu modifiée par l'utilisation de matériaux à base d'Oxyde de Zinc comme le Cavit, et particulièrement pour les propriétés mécaniques qui semblent similaires à celles d'une dentine saine (28,29).**
- **Les matériaux d'assemblage à base d'Oxyde de Zinc/Eugénol impactent plusieurs propriétés de la dentine (31) :**
  - **Diminution de la mouillabilité**
  - **Diminution de la réactivité**
  - **Modification de la perméabilité**

1.2.2.5. Le révélateur de carie

Les révélateurs de caries se sont avérés utiles en pratique pour l'identification et l'élimination de la dentine infectée. Ces agents principalement faits à base de **fuchsine basique associée à du propylène glycol** s'appuient sur la coloration de la dentine uniquement infectée par des bactéries et irréversiblement déminéralisée, cela sans colorer la dentine affectée. *Il n'est toutefois pas ici l'objet de discuter de la pertinence de son utilisation lors de l'éviction carieuse.*

La présence de coloration indique alors à l'opérateur la zone de dentine à éliminer.

Les études portant sur l'effet des détecteurs de caries sur la dentine s'attardent surtout sur la microdureté de la dentine résiduelle après élimination de la carie, et celle de la dentine superficielle saine. Mais la microdureté de cette dentine résiduelle n'est pas modifiée par l'utilisation du détecteur de carie, et il n'y a pas de différence significative dans l'étude entre les groupes testés (32).

Les révélateurs de carie ne modifient pas la microdureté de la dentine mais le propylène glycol qu'ils contiennent pénètre profondément dans la dentine (32).

1.2.3. En endodontie

Enfin, cette partie s'attardera sur les altérations de la dentine par les produits utilisés en endodontie par les étudiants en odontologie à la faculté de la Timone Aix-Marseille, tels que :

- l'hydroxyde de calcium
- les ciments endodontiques
- l'hypochlorite de sodium
- l'EDTA – Acide Ethylène Diamine Tétracétique
- la chlorhexidine

Pour terminer, nous expliciterons des modifications induites à la dentine par le peroxyde d'hydrogène, utilisé dans les traitements d'éclaircissement.

1.2.3.1. L'hydroxyde de calcium

- *Généralités et indications de l'hydroxyde de calcium*

L'hydroxyde de calcium est notamment utilisé de nos jours pour l'apexification des dents immatures, et demeure un matériau de choix en raison de sa cytotoxicité réduite, son activité antibactérienne, et de ses propriétés biologiques face aux tissus péri-radiculaires.

Il permet donc d'aider à l'induction de la fermeture apicale mais aussi de favoriser la production de dentine réparatrice. L'hydroxyde de calcium est aussi utilisé pour la temporisation en endodontie, et il aide à prévenir la résorption radiculaire (33).

Enfin, il est également utile en tant que matériau de coiffage pulpaire même si les ciments à base de silicate tricalcique sont aujourd'hui le gold standard en termes de coiffage pulpaire (34).

Toutes ces indications sont rendues possibles par la capacité des ions hydroxyde qui diffusent depuis l'hydroxyde de calcium (35).

Parmi les effets de ce matériau, la formation de dentine tertiaire permet une protection de la pulpe en réduisant la perméabilité de la dentine tout en augmentant la distance entre la source d'irritation et la pulpe, diminuant ainsi les dommages pulpaires.

- *Modifications des propriétés chimiques de la dentine*

L'infiltration de la dentine avec des matériaux comme l'hydroxyde de calcium ou le MTA augmentent son pH et rendent la dentine plus alcaline, par l'effet de la dissociation du Ca(OH)2 en ions calcium et hydroxyle. Le relargage de ces derniers ions est responsable de l'effet antibactérien (36).

Nous observons au niveau de la dentine une **diminution de la phase inorganique, et une augmentation de la phase organique** (37).

- *Modification des propriétés mécaniques de la dentine*

La résistance de la dentine peut être mesurée par le test de résistance à la fracture en micro-traction (MTFS). Une étude in vitro réalisée en 2007 a mesuré le MTFS de la dentine, sur une dent traitée endodontiquement avec de la gutta percha et une autre dent avec de l'hydroxyde de calcium. Il en ressort que la résistance à la fracture de la dentine sur une dent traitée endodontiquement avec de l'hydroxyde de calcium est diminuée de 23 % en 84 jours, par rapport au groupe contrôle (38).

Il a été proposé que cela se traduirait en induction de la fracture, puis une propagation aux parois dentinaires.

Ces études expérimentales et cliniques semblaient suggérer qu'à court et long terme, l'utilisation d'hydroxyde de calcium dans le traitement de dents immatures fragiliserait la dentine et augmenterait le risque de fracture cervicale.

Ces résultats sont encouragés et confirmés par une étude plus récente publiée en 2021 affirmant que la résistance à la fracture de la dentine a été diminuée avec le temps, en notant toutefois une diminution de cette résistance plus importante que celle relevée dans les autres études (37).

On retrouve également une **augmentation du module d'élasticité** de la dentine, induite par l'hydroxyde de calcium. Ce changement dans le module d'élasticité de la dentine la rend également **plus encline à la fracture** (39).

- *Modifications des propriétés physiques de la dentine*

En fonction du temps d'exposition au $Ca(OH)_2$, le **rapport minéral/matrice a progressivement diminué**, de 14% à 7 jours, puis de près de 80% à 90 jours par rapport au groupe contrôle sans hydroxyde de calcium (37).

La cristallinité est une notion directement associée au degré d'ordre structurel des matériaux solides et a un impact majeur sur les propriétés physiques et chimiques de la dent, comme la taille des cristaux et le degré de substitution de l'apatite dans le réseau cristallin.

La cristallinité de l'apatite du tissu dentinaire exposé à l'hydroxyde de calcium a été diminuée par rapport au groupe contrôle non exposé à l'hydroxyde (37).

La dentine traitée avec le $Ca(OH)^2$ montre également une **mouillabilité significativement réduite** (40). En effet, la mouillabilité est plus élevée pour la matrice d'hydroxyapatite, et plus faible pour la phase organique. Or il a été soutenu que la phase organique de la dentine augmente au contact de l'hydroxyde de calcium, ce qui explique la diminution de la mouillabilité (40).
La mouillabilité de la dentine serait par ailleurs directement liée à la qualité de la liaison entre la surface du substrat et l'adhésif, et donc au collage (41).

Ainsi, l'utilisation de l'hydroxyde de calcium a comme effets sur la dentine :

- **Diminution de la résistance à la fracture, plus ou moins importante selon les études (37–39)**
- **Augmentation du module d'élasticité de la dentine (39)**
- **Augmentation du pH de la dentine (36)**
- **Diminution de la phase minérale et augmentation de la phase organique (37)**
- **Cristallinité diminuée (38)**
- **Mouillabilité réduite (40)**

L'hydroxyde de calcium a donc un impact sur les propriétés physiques, chimiques et mécaniques de la dentine.

1.2.3.2. Ciments endodontiques

Les ciments d'obturation sont utilisés lors des phases de traitement endodontique afin d'aider à l'obturation des canaux radiculaires principaux et latéraux. Selon leur composition et le protocole d'utilisation fourni par le fabricant, il existe différentes techniques d'obturation, faisant la plupart du temps appel à l'emploi de gutta percha afin d'obturer le canal (42).

On distingue les ciments comprenant : (42)

- De l'oxyde de zinc-eugénol – comme le le Pulp Canal Sealer de Kerr
- Du verre ionomère – comme le Ketac-Endo de 3M
- De la résine epoxy – comme l'AH Plus de Dentsply
- Au silicate tricalcique – comme le Bioroot RCS de Septodont

Plus récemment sont apparus sur le marché des ciments contenant du MTA, de l'hydroxyde de calcium… (42)

Au niveau des effets retrouvés sur la dentine, les ciments de scellement canalaire ont la propriété de pénétrer les tubules dentinaires, avec une pénétration plus marquée en coronaire et moins en apical (43).

- *Modifications des propriétés mécaniques de la dentine*

Les ciments endodontiques ne sont pas responsables de changements importants au niveau des propriétés mécaniques de la dentine, de la microdureté notamment. Les auteurs d'une étude publiée en 2017 n'ont pas relevé de différence significative au niveau de la microdureté d'une dentine contaminée par des ciments endodontiques (iRoot SP – à base de silicate de calcium et Apexit – à base d'hydroxyde de calcium) par rapport au groupe contrôle sans ciment (44).

- *Modification des propriétés chimiques de la dentine*

Une revue de la littérature a évalué l'effet de l'eugénol contenu dans certains ciments de scellement : celle-ci a montré un impact significatif de l'eugénol sur la dentine, avec une réactivité diminuée de certains radicaux (31).

La plupart des ciments endodontiques cités (à base de résine, d'eugénol, ou de silicate tricalcique) ont la capacité de pénétrer les tubules dentinaires, avec une pénétration plus ou moins marquée selon le type de ciment et selon la localisation dans le canal (45). Cette donnée a également été relevée avec les silicates tricalciques utilisés en tant qu'obturation coronaire : ils ont pour propriété de pénétrer dans les tubules dentinaires (24).

L'impact majeur au niveau de la dentine par les ciments endodontiques est la pénétration du matériau dans les tubules dentinaires (45).

1.2.3.3. Hypochlorite de sodium

En plus des effets désirés de désinfection et d'élimination des débris, les irrigants agissent également en causant des changements sur les composants organiques et inorganiques de la dentine (46).

Basé sur la capacité à dissoudre les tissus nécrotiques résiduels, l'hypochlorite de sodium ou NaOCl demeure la solution d'irrigation la plus utilisée en endodontie. L'un des effets du NaOCl étudié dans la littérature endodontique est son impact sur la matrice dentinaire (46).

- *Modifications chimiques de la dentine*

Diverses études ont montré que l'irrigation à l'hypochlorite de sodium avait pour effet de **diminuer les taux de calcium et de phosphate dentinaires** (47).

D'autres encore portant cette fois sur les **ratios apatite/collagène ont prouvé que ces ratios ont augmenté** après utilisation du NaOCl (augmentation de l'apatite et diminution de la phase organique).

Ces modifications ont été observées avec des concentrations plus ou moins grandes de l'irrigant et sont fonction de la concentration utilisée (47).

- *Modifications des propriétés mécaniques de la dentine*

La **microdureté de la dentine est apparue diminuée** à la suite des protocoles d'irrigation, de manière significative. De même, la **résistance à la flexion** ainsi que la résistance à la **fracture** ont été diminuées (47). Le **module d'élasticité** a également été affecté car celui-ci a baissé (46).

Il est admis que le NaOCl est un agent protéolytique non-spécifique capable d'éliminer le matériel organique, tout comme le magnésium et les ions carbonate.

Donc le NaOCl fragmente les longues chaînes peptidiques et adjoint du chlore aux groupes terminaux des protéines (46).

Ainsi l'hypochlorite de sodium peut affecter les propriétés mécaniques de la dentine par la dégradation des composants dentinaires organiques. Sim et al. ont montré que l'irrigation avec une solution de NaOCl concentré à 5,25% comparé à une solution saline réduit la résistance à la flexion et le module d'élasticité de la dentine. Ces altérations sont **dépendantes de la concentration de l'hypochlorite de sodium et de son temps d'utilisation** : plus celui-ci est concentré, plus la dentine en sera altérée. Il en est de même concernant le temps d'utilisation (48).

Cependant, les études jusqu'à aujourd'hui n'ont pu définir la concentration idéale du NaOCl affectant le moins possible la dentine tout en gardant une efficacité optimale, des effets délétères étant observés que ce soit avec une concentration à 1% ou à 6% (46).

En conclusion, l'hypochlorite de sodium affecte la dentine de diverses manières :

- **Diminution du module d'élasticité et de la résistance à la flexion, ainsi qu'à la fracture (46,47)**
- **Diminution des taux de Calcium et Phosphate dentinaires (47)**
- **Augmentation des ratios apatite/collagène (diminution de la phase organique) (47)**
- **Diminution de la microdureté dentinaire (47)**

La plupart de ces modifications pourraient « potentiellement » fragiliser la dentine.

1.2.3.4. EDTA et combinaison Hypochlorite/EDTA

- *Modification des propriétés chimiques de la dentine*

La solution d'EDTA élimine la smear layer (solution constituée d'éléments organiques et inorganiques formée lors de l'instrumentation endodontique) et ouvre les tubuli dentinaires quand elle est employée seule, produisant peu ou pas d'altération de la dentine péritubulaire.

L'EDTA est largement utilisé en tant qu'agent chélatant et il réagit avec les ions de calcium des cristaux d'hydroxyapatite, éliminant les ions calcium de la dentine (49). Enfin, l'irrigation à l'EDTA a diminué le ratio apatite/collagène dentinaire (47).

Enfin, quand l'EDTA agit, il élimine l'apatite et expose le collagène dégradé par l'hypochlorite.

Utilisée après le NaOCl, la smear layer est aussi efficacement éliminée, et la combinaison des deux favorise l'altération de la dentine tubulaire.

- *Modification des propriétés mécaniques*

L'EDTA est responsable d'une **diminution de la résistance à la flexion** de la dentine ainsi que de sa microdureté (47).

Cependant, le NaOCl associé avec l'EDTA entraîne une **altération des contenus organique et inorganique ainsi qu'une érosion** (49).

Globalement les effets sur la dentine de l'utilisation du NaOCl et de l'EDTA en irrigation sont similaires : ils entrainent une diminution de la résistance à la flexion et de la microdureté dentinaires. On observe enfin une diminution des ions calcium (47).

Les effets de l'utilisation de l'EDTA sur la dentine sont multiples (47,49) :

- **Diminution de la résistance à la flexion et de la microdureté dentinaires**
- **Diminution des ions calcium**
- **Elimine l'apatite (phase inorganique) et expose le collagène**

1.2.3.5. La chlorhexidine

La chlorhexidine est proposée comme irrigant endodontique par son activité antimicrobienne, effet observé lorsqu'elle sert de médication intracanalaire.

La chlorhexidine possède en effet un large spectre antibactérien en agissant sur *E. faecalis*.

Sa propriété de **substantivité** - capacité à adhérer de façon prolongée - sur les surfaces orales, lui est donnée en se liant à l'hydroxyapatite de l'émail et de la dentine, prolongeant son effet antibactérien sur le long terme.

La chlorhexidine ne favorise pas l'altération structurelle de la matrice organique dentinaire et maintient la qualité du substrat dentinaire (50). Celle-ci a donc très peu d'effets délétères sur la dentine.

La chlorhexidine modifie peu les propriétés de la dentine : elle possède en particulier la capacité de substantivité et d'inhiber l'action des MMP dans la dentine (50).

1.2.3.6. Le peroxyde d'hydrogène utilisé dans les procédés d'éclaircissement

Durant un traitement d'éclaircissement interne par exemple, le matériau est placé dans la chambre pulpaire en contact direct avec la dentine. La plupart de ces matériaux sont de forts agents oxydants comme le peroxyde d'hydrogène. L'effet de ce dernier sur la dentine résulte de sa forte action oxydante et de son faible pH.

Le perborate de sodium, utilisé auparavant, est quant à lui aujourd'hui interdit.

Il a été rapporté que les **changements dans la composition chimique** de la dentine après traitement sont dus à une diminution des composants organiques présents dans la dentine. Le contenu organique de la dentine intertubulaire est élevé : à peu près 20% en poids, comparé à la dentine péritubulaire, qui est hyper-minéralisée et ne contient pas de collagène comme composant organique de sa matrice.

Il est très probable que la **diminution de la dureté de la dentine** rapportée dans certaines études soit due premièrement à l'oxydation des composants organiques de la dentine intertubulaire et à la perte de contenu minéral (51). En effet, Rotstein et al. rapportent une diminution significative des taux de calcium de l'hydroxyapatite dentinaire après application de peroxyde d'hydrogène, comparé au groupe contrôle (52).

Malgré leurs excellents résultats, ces agents d'éclaircissement présentent certains effets indésirables rapportés : **des changements dans la morphologie de surface de la**

dentine, résorption cervicale externe, des altérations des substances organiques et une diminution de la microdureté de la dentine par la perte de calcium.

L'exposition au peroxyde d'hydrogène concentré à 30% pendant 24h a causé un retrait de la surface de dentine intertubulaire et significativement diminué la dureté et le module de Young de la dentine intertubulaire. La durée d'application n'a pas semblé affecter les effets observés sur la dentine (53).

Il faut noter que la dentine péritubulaire apparait plus résistante aux effets du peroxyde d'hydrogène que la dentine intertubulaire (51).

Le peroxyde d'hydrogène agit sur la dentine (51,52) :

- **Diminution des composants organiques et minéraux dentinaires**
- **Diminution de la microdureté**
- **Changements dans la morphologie de surface**
- **Retrait de la surface de dentine intertubulaire**

2. COLLAGE DENTINAIRE

Dans un premier temps, cette partie s'intéressera à certains pré-requis et généralités au niveau du collage proprement dit de façon succincte. Dans un second temps sera abordé un peu plus en profondeur le collage au niveau de la dentine, ses particularités par rapport au collage sur l'émail, et les différences observées lorsque la dentine est saine ou altérée.

Une fois ces éléments évoqués, cette thèse mettra en évidence les **conséquences des altérations dentinaires par les biomatériaux sur le collage**. Enfin, nous évoquerons les **protocoles spécifiques** à mettre en place selon l'utilisation de chacun de ces matériaux afin d'optimiser le collage sur la dentine.

2.1. Définition du collage

L'« adhésion » se définit comme la force qui lie deux matériaux de nature différente, appelés « **substrats** » ou « adhérents », mis en contact intime par une couche intermédiaire appelée « **adhésif** » (54).

2.1.1. Les théories de l'adhésion

Ce phénomène peut s'expliquer principalement par deux théories :

- La **théorie micromécanique** : correspond à l'engrènement de l'adhésif dans les irrégularités de surface des substrats, c'est la théorie la plus courante de l'adhésion d'un matériau aux tissus dentaires,

- La **théorie chimique** : correspond à la présence de liaisons primaires (covalentes ou ioniques) ou secondaires (liaisons hydrogènes, dipôles, forces de Van Der Waals), cette théorie n'est pas encore réellement prouvée.

Le but du collage est de réussir à créer une **liaison intime** entre le matériau de restauration et le substrat dentaire (55).

2.1.2. La mesure de la force de liaison

Il existe différentes façons de mesurer la force de cette liaison :

❖ **Le test de cisaillement ou SBS (Shear Bond Strength)**

Développée par Barkmeier et Cooley en 1992 (56), le Shear Bond Strength fait intervenir une machine d'essai universelle nommée Instron. Les spécimens à tester (les deux matériaux après collage par exemple) sont fixés à des supports métalliques de telle sorte qu'un dispositif va appliquer une force compressive parallèle à la surface dentaire, à une certaine vitesse, jusqu'à la fracture. Les valeurs sont exprimées en Mégapascals (MPa) et obtenues en divisant la force appliquée par la surface adhésive. Ce test est plus adapté pour des surfaces comme l'émail ou les verres ionomères qui sont plus fragiles (57).

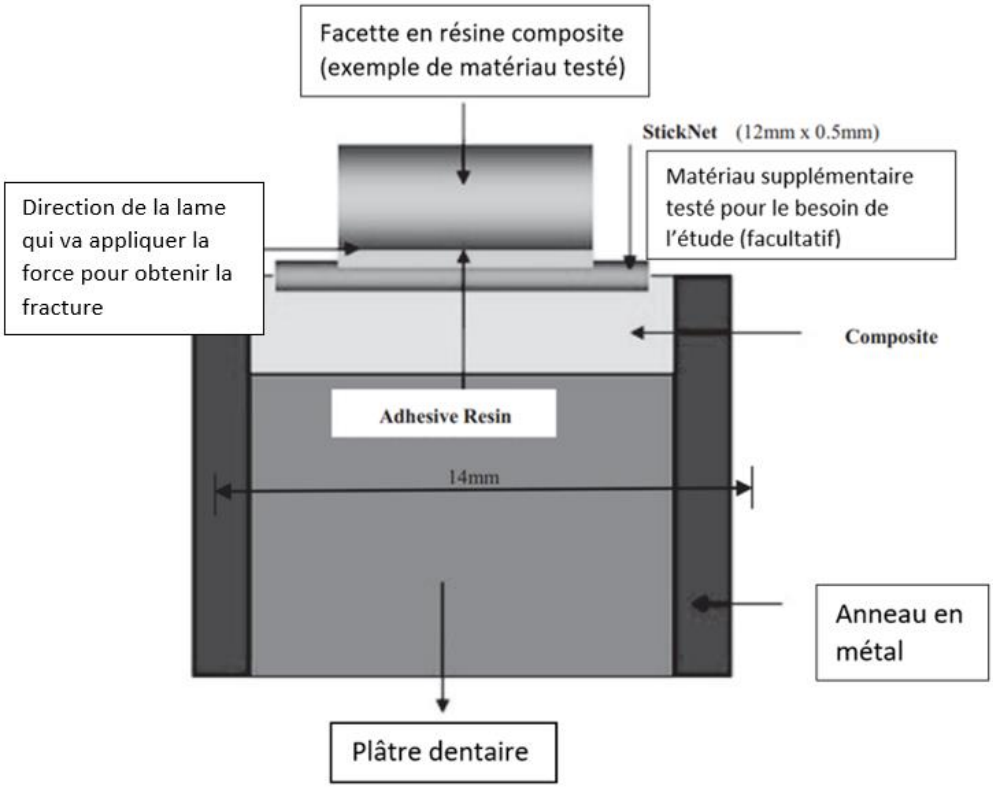
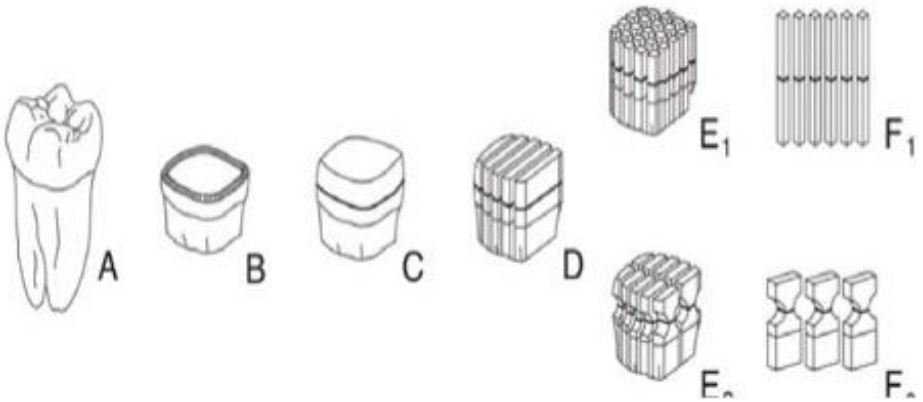


Figure 9 : Test de résistance au cisaillement [58]

❖ **<u>Le test de résistance à la microtraction (µTBS)</u>**

Il est admis que la résistance à la traction est dépendante de la surface collée. Dans le test de résistance à la traction, la cavité ou la surface préparée est collée et recouverte avec suffisamment de matériau pour créer une couronne plate. Le spécimen est ensuite sectionné à travers le matériau de restauration et la dentine pour créer 6 dalles.



<u>Figure 10 : Test de résistance à la microtraction [59]</u>

Chacune des 2 extrémités de la dalle est ensuite collée sur les bords d'une machine de traction. Les petites surfaces sont associées à une résistance à la traction élevée alors que les grandes surfaces à une résistance à la traction faible, la relation entre les deux est donc inversement proportionnelle.

Le résultat obtenu à ce test de résistance à la microtraction (appelé µTBS) permet d'évaluer l'adhésion à la dentine. Il est exprimé en Mégapascals (MPa). Il est plus souvent représenté que le précédent dans les études récentes (60). On retrouve aussi le test de résistance à la traction lorsqu'il s'agit de plus grandes surfaces à tester (le TBS).

2.1.3. Comparaison du collage sur l'émail à celui sur la dentine

Le collage à la dentine est plus difficile, mais aussi moins fiable et reproductible qu'à l'émail. Ceci est, de façon générale, lié aux différences morphologique, histologiques et de composition entre les deux tissus (3) :

- Dans l'émail : le **volume** est à 95% inorganique avec l'hydroxyapatite alors que ce même volume est évalué à 50%, et la dentine contient plus d'eau que l'émail
- Les cristaux d'hydroxyapatite ont un assemblage régulier dans l'émail alors que ceux présents dans la matrice organique dentinaire sont assemblés au hasard
- Enfin, la présence de la couche hybride (voir le paragraphe 2.2) dans la dentine rend le mouillage de la dentine par l'adhésif plus difficile

La dentine est un tissu dynamique qui montre des changements dus au vieillissement, aux caries ou aux traitements. Le fluide présent dans la dentine circule constamment vers l'extérieur, ce qui réduit l'adhésion des résines à la dentine.
Les tubules dentinaires ont aussi un impact de par leur nombre, leur diamètre et leur taille dans les dentines superficielle et profonde : la perméabilité dentinaire n'est pas uniforme à travers la dent. Puisque les tubules sont plus nombreux et plus larges près de la pulpe, la dentine intertubulaire est moins importante et le fluide l'est plus, ceci rend l'adhésion moins efficace sur la dentine profonde comparé au reste de la dent (3).
Enfin, la quantité de collagène, associée au vieillissement et aux modifications des ratios de dentine péritubulaire/intertubulaire, a une influence sur cette adhésion (3).

2.2. L'adhésion à la dentine saine

Deux stratégies différentes peuvent principalement être employées dans les procédures de collage de la résine : les techniques de **mordançage-rinçage (MR)** ou **auto-mordançantes (SAM).** Pour les systèmes dits **Universels**, le mordançage de la dentine est optionnel.

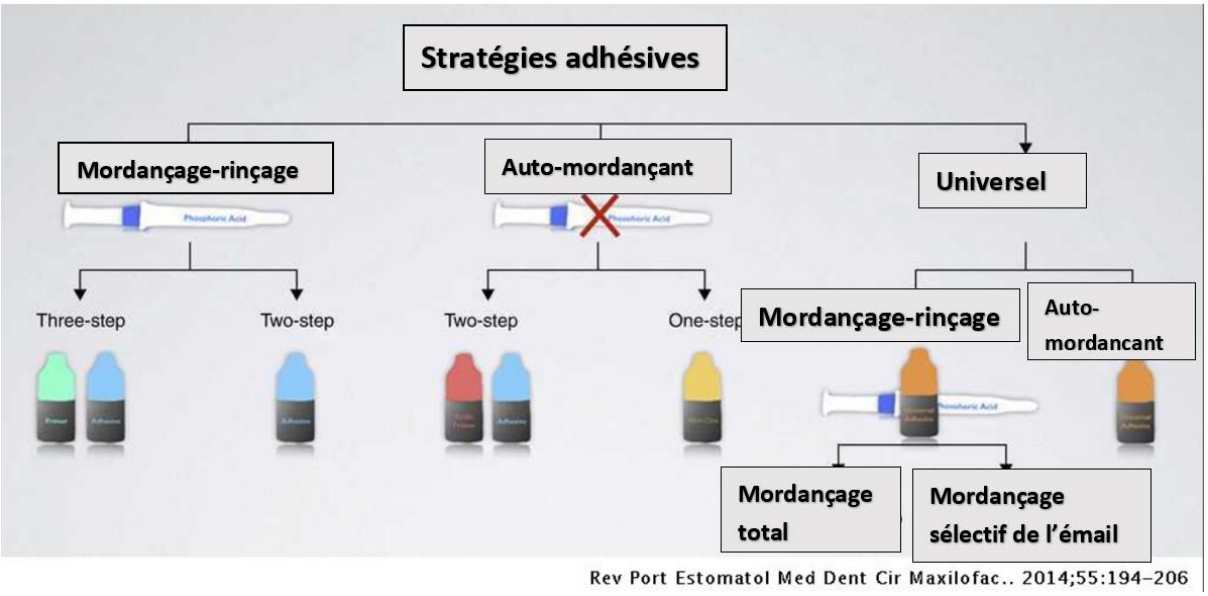


Figure 11 : Les différents stratégies adhésives [61]

Quel que soit le protocole employé, le collage dentinaire s'appuie sur la formation d'une **couche hybride**, une structure composée de fibrilles de collagène déminéralisées renforcées par une matrice résineuse.

En effet, l'adhésion d'un système adhésif requiert l'infiltration des fibrilles de collagène (préalablement exposées au conditionnement acide) par les monomères de résine présents dans l'adhésif. Ceci génère une zone intermédiaire de résine-dentine que l'on nomme donc la **couche hybride** (62).

Le but de ces protocoles est de former et maintenir une interface adhésif-dentine qui soit stable et pérenne, comprenant force de rétention, étanchéité et pérennité.

Il est à noter que cette couche hybride n'est pas toujours parfaite et des colorations de joints peuvent apparaitre, voire des infiltrations ou la perte de rétention de la restauration. **La qualité de l'adhésion va donc, entre autres, dépendre de la qualité de cette couche hybride.**

Les monomères de résine ne peuvent pénétrer les tissus minéralisés sans leur conditionnement. C'est pourquoi les systèmes adhésifs consistent notamment en **un primaire (ou primer), et un adhésif**.

Le **primer** est une solution hydrophile de monomères de résine qui va permettre aux monomères de résine de pénétrer la dentine déminéralisée.

L'adhésif contient aussi des monomères qui vont pénétrer les surfaces traitées avec le primer, créant une adhésion mécanique à la dentine.

Ces composants sont soit présentés séparément (SAM II, nécessitant l'application du primer tout d'abord, puis de l'adhésif dans un second temps) soit ensemble dans un flacon (système adhésif SAM I).

Pour les systèmes MR, un acide de mordançage est appliqué afin d'éliminer la **boue dentinaire** ou smear layer (couche de matériel organique et inorganique produite par l'instrumentation lors du traitement endodontique) et créer une couche superficielle de dentine déminéralisée (63).

On distingue à nouveau les systèmes MR2 ou MR3, selon que le primer est associé à l'adhésif ou non.

Pour les systèmes SAM, l'étape de mordançage préalable n'est pas nécessaire car les monomères vont simultanément déminéraliser et infiltrer le substrat dentinaire.

Le protocole classique pour un adhésif MR2 sur la dentine comporte plusieurs étapes :

- Mordançage à l'aide d'acide orthophosphorique (généralement concentré à 37%) pendant 15 secondes
- Rinçage abondant pendant un temps équivalent
- Séchage à l'air pendant quelques secondes sans dessécher la dentine
- Application de l'adhésif pendant plusieurs secondes à l'aide d'une micro-brossette
- Séchage rapide et doux afin de faire évaporer le solvant
- Photopolymérisation pendant un temps supérieur aux recommandations du fabricant (au moins 20 secondes)

Le protocole du SAM1 comporte les mêmes étapes mais sans celle du mordançage (64).

Un nouveau système adhésif est apparu sur le marché récemment : **l'adhésif universel**. Leur particularité est de pouvoir être utilisé en technique auto-mordançante ou de

mordançage-rinçage. Cependant, leur efficacité, comparé aux autres systèmes se révèle plus importante lors dans le cas d'un mordançage sélectif de l'émail (65).

2.3. Dentine altérée : les conséquences sur le collage

Il est recommandé d'éliminer la couche de **dentine infectée** afin de laisser apparaître le fond de dentine affectée et des parois de dentine saine, bien que la procédure soit délicate (cf paragraphe 1.2.1.). Cela permet d'obtenir une meilleure étanchéité avec les systèmes adhésifs et aussi d'éviter une exposition pulpaire (13).

Une revue systématique publiée en 2017 soulève de meilleurs résultats au niveau de l'adhésion sur une dentine affectée avec un système adhésif MR qu'avec un SAM. Enfin, la valeur de l'adhésion est meilleure sur une dentine saine qu'une dentine affectée par la carie (66).

2.3.1. Après l'amalgame

Au travers d'un test de résistance à la microtraction (µTBS), publié dans le Journal Of Dental Research, Harnirattisai et al. ont analysé les valeurs d'adhésion sur la dentine décolorée par l'amalgame de deux adhésifs : un adhésif universel utilisé en tant que SAM I – le Single Bond, ainsi qu'un système composé d'un primer et d'un adhésif – le Clearfil SE Bond (SAM II) (21).

La situation est comparable à celle obtenue avec une dentine affectée par la carie : la dentine est plus molle et la **valeur de l'adhésion moins bonne que sur dentine saine**.

La diminution du µTBS à la dentine décolorée n'est pas attribuée à des changements physiques ou structurels au niveau du substrat. Elle serait plutôt liée à une précipitation de protéines plasmatiques dans le fluide dentinaire par les produits de la corrosion.

Ces protéines interfèrent avec l'élimination de la boue dentinaire, ce qui rend la dentine moins mordançable. Par conséquent, la perméabilité dentinaire est réduite ainsi que l'infiltration des monomères de résine.

Une autre raison soulignée pour expliquer la faible valeur d'adhésion est la liaison d'éléments métalliques issus de la corrosion aux surfaces des fibrilles de collagènes. Ces éléments interfèrent avec la polymérisation de la résine (21).

Une étude de 2020 appuie la précédente à travers un test de résistance à la microtraction réalisé par Mandava et al. **Les valeurs d'adhésion des systèmes adhésifs SAM et MR2 sont significativement moindres** sur la dentine décolorée par l'amalgame, comparé à la dentine saine (20).

Le système adhésif MR2 a cependant permis d'obtenir une meilleure valeur d'adhésion comparé au SAM, ceci de façon significative.

Il a été conclu que la dentine altérée par l'amalgame était un substrat donnant lieu à des valeurs d'adhésion moins bonnes que la dentine saine (20).

2.3.2. La Biodentine

Nous n'avons que peu de données concernant l'adhésion des matériaux de restauration à la dentine, après utilisation de MTA ou Biodentine. Ceci est probablement dû à l'arrivée relativement récente de ces matériaux sur le marché et au recul moins important qu'avec des résines ou matériaux de restaurations dits classiques (67).

Nous disposons cependant de résultats concernant l'adhésion des résines composites à la Biodentine. Au niveau de la Biodentine, la restauration de la cavité à l'aide d'un **CVIMAR** (ciment verre ionomère modifié par adjonction de résine) a conduit à des **valeurs d'adhésion supérieures** à celles obtenues avec un **CVI**. L'adhésion obtenue est à peu près équivalente avec l'utilisation d'un système SAM ou MR (67).

2.3.3. Le CVI

Une étude menée en 2014 évalue l'influence d'une restauration au ciment verre ionomère ainsi que de l'utilisation de résine composite sur l'adhésion à la dentine contaminée par ces matériaux. Publiée dans le « Journal of Applied Oral Science », les auteurs ont effectué un test de résistance à la traction d'adhésifs appliqués à cette dentine contaminée.

L'étude ne montre **pas d'impact de l'utilisation de ces matériaux** au niveau de l'adhésion au substrat dentinaire (68).

2.3.4. Les matériaux d'obturation ou d'assemblage temporaire

En général, les matériaux d'obturation provisoires sont retirés à l'aide **d'instruments dentaires** (69).

Terata et al. ont montré que ce nettoyage mécanique **ne permet pas l'élimination totale** de certains de ces matériaux (69). En effet, des résidus pourraient impacter la mouillabilité et l'infiltration de l'adhésif dans la structure de la dent.

Cette condition conduit à une **couche hybride insuffisante** et une valeur **d'adhésion diminuée** (69).

Des résultats contradictoires existent à propos de la dentine : l'application d'eugénol a toujours été communément admise comme délétère au niveau de l'adhésion à la dentine.

En effet, les premières recherches ont prouvé que l'eugénol avait un impact négatif sur l'adhésion ultérieure à la dentine, mais ce n'est pas le cas d'études plus récentes, à l'instar de Sahar et al. qui recommandent un sablage pour éliminer l'eugénol présent ou son excavation tout simplement afin que l'adhésion de la dentine à des restaurations en céramique ne soient pas du tout altérée (70).

Un autre exemple est une étude parue dans le Journal of International Society of Preventive and Community Dentistry, en 2017, affirmant elle aussi l'absence d'effet délétère de des matériaux d'assemblage contenant de l'eugénol sur l'adhésion à la dentine. Un point à souligner est une limitation de l'étude qui a été réalisée in vitro et qui met en relief la nécessité d'évaluer cet impact de l'eugénol à la dentine in vivo, afin de pouvoir affirmer avec certitude que l'eugénol n'impacte pas l'adhésion dentinaire dans notre pratique clinique (30).

Il semblerait judicieux de mener de plus amples études ainsi qu'en clinique car les données dont nous disposons concernant l'eugénol, même si celles-ci témoignent d'une adhésion diminuée, sont relativement anciennes.

De nouvelles recherches en ce sens avec les techniques de test actuelles permettraient peut-être d'avoir un nouveau regard sur l'effet de l'eugénol contenu dans les ciments temporaires sur l'adhésion.

2.3.5. Le révélateur de carie

Concernant le **révélateur de carie**, Singh et al. ont évalué son effet sur la résistance à la traction au niveau d'une dentine saine et d'une dentine affectée : que la dentine soit saine ou affectée, les valeurs d'adhésion sont meilleures sans application du révélateur de carie, ce qui indique un **effet négatif** du détecteur de carie sur les valeurs d'adhésion à la dentine (71).

2.3.6. L'hydroxyde de calcium

Windley et al. (72) ont évalué l'influence de l'hydroxyde de calcium sur le SBS de résines composites à une dentine contaminée par l'hydroxyde de calcium (restauration précédente) à 7 et 30 jours de contrôle post-opératoire. Certes, l'alcalinité du pH introduite par l'hydroxyde de calcium était supposée altérer la matrice collagénique de la dentine (voir paragraphe I.2.b.) – et neutraliser les agents de mordançage utilisés dans les protocoles de collage. Ceci devrait donc compromettre le collage de la résine à la dentine en diminuant les valeurs d'adhésion. **Cependant il n'en est rien, et même sur le long terme** (72).

Plusieurs études (73–75) rapportent une **adhésion inchangée par le traitement de la dentine avec de l'hydroxyde de calcium**. Renovato et al. (73) notamment relèvent que l'adhésion de fibres de verre à la dentine avec un SAM est inchangée par l'utilisation d'hydroxyde de calcium, tout comme une étude de 2017 réalisée par les auteurs Someya et al. (74), ainsi qu'une étude publiée dans « The Journal of Adhesive Dentistry ». Ces derniers ne rapportent **pas d'influence de l'hydroxyde de calcium sur le SBS de résines à la dentine.**

2.3.7. Les ciments endodontiques

Comme mentionné dans le paragraphe 1.2.2.5, **l'eugénol** contenu dans certains ciments de scellement canalaire va se lier aux radicaux libres normalement utiles aux liaisons

créées lors de l'adhésion. Ce facteur **réduit** donc significativement l'efficacité de l'adhésion à la dentine avec des valeurs d'adhésion plus basses par rapport au groupe contrôle (31) (76).

L'étude publiée par Mosharraf et Zare soutient que **l'adhésion à la dentine** est directement **dépendante** du type de **ciment endodontique** utilisé (76) :

- Le ciment de scellement à base d'hydroxyde de calcium a mené à une valeur d'adhésion plus élevée que celui à base d'eugénol, l'auteur de l'étude conseillant de privilégier un ciment à base d'hydroxyde de calcium plutôt qu'eugénol.

La comparaison des valeurs d'adhésion entre des dents traitées endodontiquement avec des ciments de scellement différents révèlent :

- Une valeur d'**adhésion significativement diminuée pour le ciment à base d'eugénol** par rapport au groupe contrôle (la plus basse)
- L'absence de différence significative pour le ciment à base de résine époxy
- Des **valeurs diminuées pour tous les autres ciments par rapport au groupe contrôle sans ciment,** à savoir : le ciment à base de silicate tricalcique et celui à base d'hydroxyde de calcium (77).

L'adhésion diminuée avec le ciment à base d'eugénol souligne **l'hétérogénéité des résultats** concernant l'adhésion à la dentine contaminée par les matériaux contenant de **l'eugénol**, et donc la nécessité, comme affirmé au paragraphe 2.3.4., de mener de plus amples recherches sur les ciments contenant de l'eugénol.

2.3.8. Les désinfectants : hypochlorite de sodium, EDTA, chlorhexidine

Utilisé en tant que désinfectant canalaire en endodontie, le **NaOCl** agit sur l'adhésion à la dentine.

Une revue systématique publiée en 2020 dans l'International Journal of Molecular Sciences par Coelho et al. analyse les effets de différents désinfectants utilisés en endodontie sur la valeur de l'adhésion à la dentine (78).

Celle-ci rapporte des résultats très **hétérogènes** sur les études **in vitro** concernant l'hypochlorite de sodium avec une absence de consensus clair :

- Certaines études soutiennent que les **valeurs d'adhésion** à la dentine sont **préservées voire améliorées** par l'utilisation du NaOCl
- D'autres études quant à elles rapportent des **résultats négatifs** en révélant des diminutions dans les valeurs d'adhésion

Les résultats des **études cliniques** sélectionnées dans la revue sont quant à eux plus homogènes : **l'absence d'effet négatif** sur l'adhésion à la dentine, toujours selon la revue de Coelho et al. (78).

Selon les auteurs, l'élimination du collagène par le NaOCl dans les couches dentinaires profondes permettrait à l'adhésif de pénétrer plus facilement et ainsi d'éviter l'échec de l'adhésion (78).

Une **autre revue** systématique (plus ancienne) publiée en 2018 par Bohrer et al. rapporte des résultats similaires avec **l'absence d'effet délétère** au niveau de l'adhésion sur des données d'études in vitro (79).

- La **chlorhexidine** demeure le désinfectant pour lequel les valeurs d'adhésion sont apparues le plus **préservées**, voire augmentées et son utilisation devrait être privilégiée par rapport aux autres désinfectants afin d'obtenir un collage efficace à la dentine (80).

Globalement, pour ce qui est de l'utilisation en pratique clinique, la totalité des auteurs s'accordent sur l'obtention de **résultats positifs** sur la valeur de **l'adhésion** à la dentine, qu'il s'agisse de la chlorhexidine ou de **l'EDTA**.

La revue systématique de Coelho et al insiste sur le fait qu'il faille néanmoins étudier l'effet sur des périodes plus longues (la plus longue étudiée étant de 18 mois) (78).

2.3.9. Le peroxyde d'hydrogène

Les traitements d'éclaircissement interfèrent avec l'adhésion des résines composites à la dentine, d'après la majorité des études. Les valeurs du **SBS** de la résine composite sur la dentine traitée avec le **peroxyde d'hydrogène** sont apparues **diminuées** par rapport à la dentine saine.

Cette diminution est causée par la présence de résidus de solution (appliquée pendant le traitement d'éclaircissement) dans la matrice collagénique dentinaire et dans les tubuli, résidus qui vont impacter l'adhésion. D'autres auteurs affirment que ces résidus inhibent la polymérisation de la résine, et seraient responsables des changements dans la dureté dentinaire ou de la concentration en calcium (53).

2.4. Quel protocole sur les dentines altérées

2.4.1. Par une lésion carieuse (dentine affectée ou infectée)

L'adhésion des résines composites a été évaluée sur les dentines altérées par la carie.

La dentine infectée est celle qui présente la valeur d'adhésion la plus basse par rapport à la dentine affectée. En effet, le µTBS obtenu sur la dentine saine est supérieur à celui sur les dentines affectée et infectée (2).

Certes, les **adhésifs MR** qui permettent d'obtenir un **meilleur collage** sur la dentine affectée par rapport aux systèmes SAM (66).

L'éviction carieuse partielle lors d'une lésion profonde implique l'élimination complète du tissu carieux au niveau des parois cavitaires mais limitée au niveau de la paroi axiale et donc de la pulpe. Même si la dentine affectée laissée au centre présente une capacité d'adhésion réduite par rapport aux autres parois, celle-ci est un peu moins perméable et conduira donc moins les stimuli. Ainsi, c'est le protocole qui serait à recommander au niveau de la dentine affectée (81).

2.4.2. Après utilisation d'amalgame

- <u>En cas d'utilisation d'un MR :</u>

La **valeur du SBS** obtenue avec le collage d'un adhésif MR à la dentine saine est plus **élevée** que sur la dentine ayant subi l'amalgame, de façon significative.

Cependant, les valeurs de l'adhésion sont globalement similaires, sans différence significative, entre les groupes de dentine contaminée par l'amalgame qu'il y ait application de chlorhexidine ou éviction de 0,5 mm de dentine (82).

<u>Exemple de protocole utilisé par les auteurs Mandava et al. avec un MR, l'adhésif Tetric N-Bond de la marque Ivoclar Vivadent (20):</u>

- Dépose de l'amalgame
- Mordançage de la surface dentinaire à l'acide orthophosphorique à 37% pendant 15 secondes et de la surface amélaire pendant 20 secondes (N-etch etching d'Ivoclar Vivadent) puis rinçage pendant 10 secondes et séchage à l'air pendant 2 secondes
- A l'aide d'une microbrush, application de l'adhésif pendant 10 secondes, séchage à l'air pendant 5 secondes pour évaporer le solvant puis photopolymérisation pendant 10 secondes
- Obturation par apports de petits incréments de composite de 4mm photopolymérisés pendant 20 secondes
- Polissage de la restauration

- <u>En cas d'utilisation d'un SAM :</u>

Les valeurs de l'adhésion sont plus élevées sur une dentine saine comparé à une dentine ayant subi l'amalgame, de façon significative.

Sur les dentines altérées par l'amalgame, le SBS était le plus élevé après application de chlorhexidine au niveau de la dentine, comparé à une dentine où une éviction de 0.5mm de dentine a été effectuée, et sans traitement, sans différence significative. L'adhésion après éviction de 0.5mm de dentine n'a pas montré de différence significative par rapport à la dentine sans éviction (82).

Exemple de protocole employé par les auteurs Alshehri et al. avec un adhésif universel utilisé en tant que SAM, le Single Bond de 3M ESPE (82) :

- Dépose de l'amalgame
- A l'aide d'une microbrush, application de l'adhésif pendant 20 secondes sur les surfaces amélaire et dentinaire, séchage à l'air pour évaporer le solvant puis photopolymérisation pendant 10 secondes
- Traitement de surface à l'aide de chlorhexidine concentrée à 2%
- Obturation par apports de petits incréments de composite photopolymérisés pendant 20 secondes
- Polissage de la restauration

L'éviction d'une épaisseur de 0.5 mm de dentine décolorée par l'amalgame- surnommée **rafraichissement de la dentine** dans l'étude (ou dentin refreshment) – n'a pas montré de différence significative au niveau des valeurs d'adhésion par rapport à la dentine décolorée par l'amalgame sans traitement. L'intérêt de cette technique est dont uniquement esthétique et n'améliore pas le collage.

Une résine composite peut être utilisée dans ces restaurations.

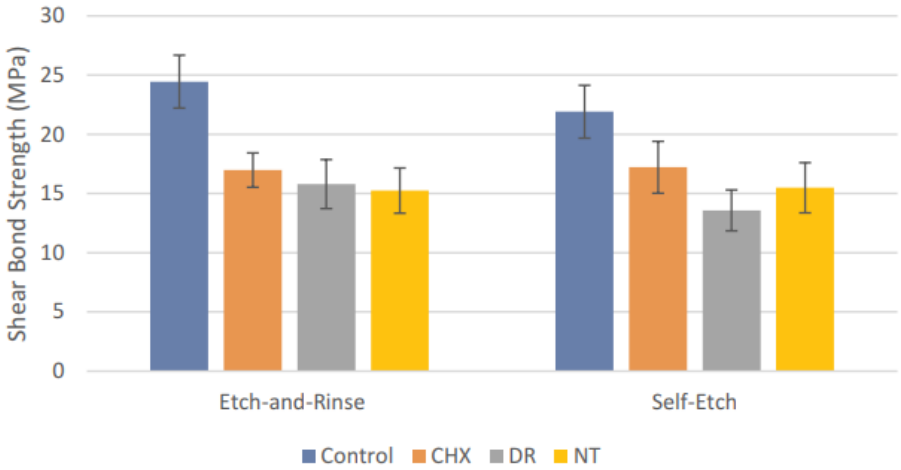


Figure 12 : Comparatif des valeurs de SBS avec l'adhésif universel Single Bond et différents protocoles adhésifs au niveau d'une dentine contaminée par l'amalgame [82]

Il serait donc préférable d'utiliser un système adhésif MR afin de coller efficacement sur une dentine décolorée par l'amalgame (20), et de traiter la surface de la dentine par une chlorhexidine à 2% en cas d'utilisation d'un SAM (82).

Enfin, le collage peut être optimisé en ménageant une surface de dentine saine au niveau de la cavité au niveau de laquelle le collage sera plus efficace que sur la dentine contaminée.

2.4.3. De Biodentine

Dans le cas d'une restauration à l'aide de Biodentine lors d'un coiffage pulpaire, par exemple, il est nécessaire de rechercher un protocole permettant d'optimiser le collage des résines à la dentine après utilisation de Biodentine.

La Biodentine a des propriétés mécaniques faibles dans sa phase initiale d'application (les fabricants conseillent un délai de 12 minutes après mise en place du matériau). D'après Krawczyk-Stuss et al, il est préférable d'attendre un délai de 2 semaines avant le collage de la résine composite, qui peut se faire avec un adhésif SAM ou MR (83).

Il est intéressant de noter que la **prolongation du temps de mordançage de 30 secondes à 240 secondes lors de l'emploi de l'adhésif MR** a permis de **multiplier le SBS par 4** lors de l'étude de ces auteurs et donc d'augmenter l'adhésion.

Concernant l'adhésif **SAM**, la **prolongation de son application** a également permis d'améliorer l'adhésion, contrairement à l'application d'une 2ème couche distincte d'adhésif qui n'a pas eu d'effet positif sur l'adhésion. Enfin, pour un même temps d'application de 30 secondes, l'adhésif SAM a mené à une meilleure valeur d'adhésion que l'adhésif MR, ce qui n'est pas le cas avec une application durant 240 secondes (83).

Une autre manière d'optimiser le collage des biomatériaux sur une dentine déjà restaurée par la Biodentine est de rechercher une bonne adhésion aux parois dentinaires/amélaires, afin de garantir une étanchéité et une pérennité de la restauration (84).

2.4.4. Des matériaux temporaires

❖ **<u>Le ciment d'assemblage à l'Oxyde de Zinc/Eugénol</u>**

Concernant l'oxyde de zinc/eugénol, le type de système adhésif utilisé peut permettre de retrouver des valeurs d'adhésion efficaces à la suite de son altération de la dentine.

En l'état, une étude menée par Carvalho et al. (85) a montré une **meilleure résistance au micro-cisaillement (µSBS) avec un système adhésif MR3** comparé aux adhésifs MR2 et auto-mordançant.

Les systèmes MR3 semblent donc à privilégier lors du collage de résines sur une dentine altérée par des matériaux d'assemblage contenant de l'oxyde de zinc/eugénol afin d'obtenir une meilleure adhésion (85).

Des méthodes d'élimination des ciments à base d'eugénol sont proposées dans le paragraphe 2.4.7. qui montrent leur efficacité pour améliorer les valeurs de l'adhésion, à savoir le nettoyant Katana Cleaner de Kuraray et l'éthanol, ainsi que le sablage (86,87).

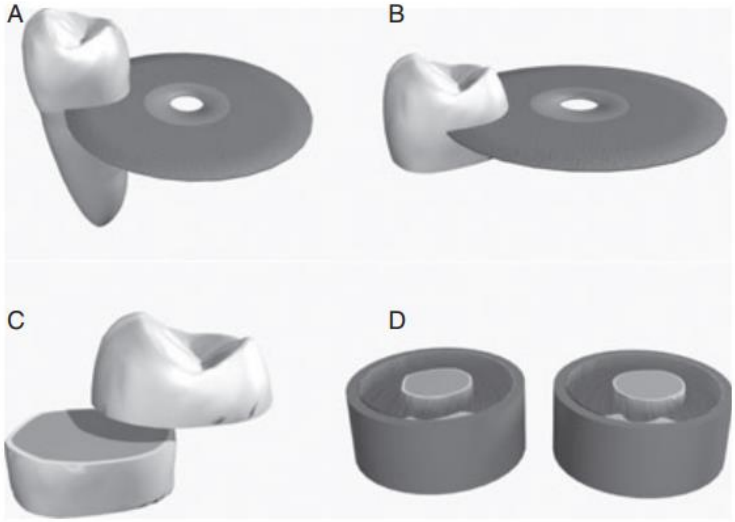


Figure 13 : Préparation des spécimens pour le test du µSBS [85]

❖ **Matériau d'obturation à l'oxyde de zinc (Cavit)**

Concernant les matériaux à l'oxyde de zinc sans eugénol, l'adhésion dentinaire n'a pas semblé altérée par leur utilisation. Toutefois, les adhésifs MR donnent de meilleurs résultats au niveau de l'adhésion, que ce soit dans le groupe contrôle sans oxyde de zinc ou celui de la dentine contaminée par l'oxyde de zinc (88).

Il sera donc simplement **recommandé** de procéder à une **élimination efficace** du matériau provisoire avant de mettre en place un protocole de collage sur cette dentine (instruments dentaires (69), sablage…)

2.4.5. Du révélateur de caries

Il est difficile de contrer l'effet négatif de ce produit chimique. En effet, le révélateur contient du propylène glycol, un alcool qui permet à l'agent de pénétrer rapidement et profondément dans la dentine, d'où la difficulté d'annuler son action.

Une étude de 2019 suggère l'utilisation d'une solution de **NaOCl peu concentrée** (3%) pour **l'éliminer complètement** ou **d'eau oxygénée** (H2O2) à 3% en frottant à l'aide d'une petite compresse humidifiée (89). L'auteur ne précise cependant pas les modalités d'application de ces solutions désinfectantes (temps d'application…).

Figure 14 : Solution d'eau oxygénée à 3% (Source : www.viata.fr)

Les auteurs rappellent que l'utilisation de NaOCl à forte concentration peut altérer les propriétés de la dentine (comme vu dans 1.2.3.1), l'irrigant doit alors être utilisé **avec précaution** lors des protocoles pour éliminer la présence du révélateur de caries.

Une fois ce dernier éliminé, le protocole de collage peut alors être mis en œuvre.

2.4.6. D'hydroxyde de calcium

Ce matériau contribue à rendre la dentine plus alcaline, même si l'adhésion à la dentine semble inchangée par son utilisation (72). Une des hypothèses serait que son élimination complète ainsi que le mordançage acide permettent d'éliminer efficacement les particules alcalines du matériau et de restaurer une adhésion dentinaire efficace (53).

Cependant, l'utilisation d'un **adhésif universe**l a permis d'obtenir de meilleures valeurs de SBS au niveau de la dentine, après utilisation d'hydroxyde de calcium ou de MTA, par rapport au système MR, et donc une meilleure adhésion (34).

D'autres auteurs pointent également de meilleures valeurs d'adhésion avec l'utilisation du Single Bond (adhésif universel) qu'avec un MR après restauration de la dent avec de l'hydroxyde de calcium (72).

Le collage au niveau de cette dentine sera donc amélioré grâce à l'utilisation d'un adhésif universel, le Single Bond, dans le protocole utilisé en clinique : premièrement car l'adhésif universel utilisé en tant que MR dans l'étude, contient de l'éthanol et de l'eau comme solvants. Nous avons alors moins de risque de dessécher ou trop hydrater la dentine (72).

De plus, le Single Bond contient du 10-Methacryloyloxidecyl dihydrogenphosphate (MDP), qui permettrait à l'adhésif d'être moins sensible à l'alcalinité de la dentine induite par l'hydroxyde de calcium. **Ceci est une hypothèse avancée par une autre étude qui conclut comme Windley et al. sur l'efficacité supérieure de l'adhésif universel par rapport au MR lors du collage à une dentine contaminée par l'hydroxyde de calcium** (34).

2.4.7. Des ciments endodontiques

Le protocole permettant d'améliorer le collage à la dentine altérée par les ciments de scellement canalaire va dépendre directement de la composition chimique de celui-ci et donc de sa nature (76).

- Nous avons vu que les ciments à base d'eugénol avaient un impact négatif sur l'adhésion à la dentine. Dans une étude publiée dans l'International Endodontic Journal, les auteurs ont souligné le fait qu'un **délai de 7 jours** entre la réalisation du traitement endodontique de la dent et le collage sur la dentine permettait d'améliorer les valeurs de l'adhésion (90).

En résumé, les ciments à base d'eugénol sont ceux qui altèrent le plus l'adhésion à la dentine, tandis que ceux à base de résine epoxy sont ceux qui l'altèrent le moins (77).

- Mosharraf et al ont affirmé qu'il était préférable de recourir à un ciment de scellement canalaire à base d'hydroxyde de calcium plutôt qu'à base d'eugénol afin de moins altérer le collage à la dentine (76). D'autres auteurs, Soares et al. relèvent cependant que les résidus de ce ciment (à base d'hydroxyde de calcium) sont difficiles à éliminer (77).

Il est dès lors impératif de chercher comment nettoyer efficacement les résidus de ciment afin d'obtenir la meilleure adhésion à la dentine.

Plusieurs méthodes d'élimination du ciment après traitement endodontique ont été étudiées (86) :

- L'utilisation de boules de coton
- L'éthanol
- Un nettoyant à base de surfactant, le Katana Cleaner de Kuraray

Avec un ciment à base d'eugénol, l'application d'éthanol avant le protocole adhésif a permis d'améliorer la valeur d'adhésion à la dentine par rapport au groupe contrôle, en assurant le nettoyage des résidus de ciment.

Pour le ciment à base de résine epoxy ainsi que celui à base d'eugénol, le nettoyant **Katana Cleaner à base de MDP** – 10-Methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate - a permis de **restaurer une résistance à la traction** (TBS) et donc une adhésion équivalente aux valeurs dans le groupe contrôle. Ce produit possède une couleur violette afin de visualiser son élimination complète une fois le nettoyage des résidus de ciment complet (86).

Le **sablage** de la dentine a également été efficace afin d'éliminer les résidus de ce ciment, sans donner cependant sur la valeur d'adhésion à la dentine obtenue après nettoyage (87).

- Concernant le ciment à base de silicate tricalcique, ici le **Bioroot**, l'étude a testé l'élimination de ses résidus à l'aide du **spray air/eau** et celle-ci a été jugée assez efficace pour les éliminer, sans qu'il y ait besoin de tester d'autre technique (sablage) ou produit chimique (87).

Enfin, l'utilisation de Xylol n'a pas semblé efficace pour éliminer les résidus de ciment (91).

2.4.8. Des désinfectants

❖ **La chlorhexidine**

De récentes études indiquent que la perte d'intégrité des liaisons résine-dentine à travers le temps serait due à la dégradation des fibrilles de collagène exposées à des couches hybrides pas totalement infiltrées. L'activité de métalloprotéinases matricielles (MMPs) serait impliquée dans ce processus protéolytique. La chlorhexidine a des effets bénéfiques sur la préservation des liaisons résine-dentine en inhibant l'activité de ces MMPs de la couche hybride (50).

Le **prétraitement** de la dentine avec de la chlorhexidine concentrée à 0,2% ou 2% se fait à l'aide d'une boule de coton imbibée pendant 60 secondes puis séchage à l'air sans dessécher. Cela permet **d'augmenter le µTBS** d'un SAM1 ou SAM2 appliqué sur la dentine en annulant la perte d'adhésion causée par les MMPs. On obtient dès lors une meilleure couche hybride. L'adhésion avec un SAM à la dentine est donc améliorée par ce prétraitement (92).

❖ **L'hypochlorite de sodium**

Nous avons vu qu'au niveau des études cliniques, le NaOCl ne semble pas avoir d'effet négatif sur l'adhésion à la dentine.

Au vu de l'hétérogénéité de certains résultats (in vitro notamment, selon la revue de Coelho et al. (78)), nous avons estimé intéressant de rapporter les protocoles cités par les auteurs qui rapportent des valeurs d'adhésion diminuées.

Certains antioxydants permettent d'annuler les effets négatifs du NaOCl sur la dentine, comme **l'acide ascorbique, l'acide rosmarinique, l'extrait de thé vert et la proanthocyanidine**. Ces antioxydants améliorent la valeur d'adhésion à la dentine traitée par le NaOCl et stabilisent l'interface résine-dentine grâce à leurs propriétés. Ils éliminent les résidus d'hypochlorite par une réaction d'oxydo-réduction.

L'acide ascorbique par exemple a été utilisé par Stevens en 2014 qui a remarqué qu'un **rinçage avec un acide ascorbique** à 10% pour 5 et 60 secondes après le NaOCl

permettait une restauration d'au moins 50% de la valeur d'adhésion initiale aux composites, lorsqu'elle a été diminuée. De plus certains de ces antioxydants ont une action antibactérienne (93).

La restauration de la meilleure valeur d'adhésion passe par un protocole comprenant une étape de rinçage à l'ascorbate de sodium concentré à 10% (exemple de protocole utilisé par Vongphan et al.) (94) :

- Après irrigation avec du NaOCl concentré à 5,25%, la dentine est séchée à l'aide de boulettes de coton puis rincée avec l'ascorbate de sodium à 10% pendant 10 minutes
- Mordançage à l'acide orthophosphorique à 35% pendant 15 secondes puis rinçage (acide orthophosphorique à 35% de 3M ESPE)
- Application de l'adhésif Single Bond de 3M en protocole de MR2 puis photopolymérisation
- Obturation de la cavité avec une résine composite

Enfin, les auteurs Kim et al. (80) recommandent la chlorhexidine en tant que seul désinfectant cavitaire n'ayant aucun impact négatif sur l'adhésion à la dentine mais ceci se limite à leur étude et aux conditions de réalisation de celle-ci.

2.4.9. Après le peroxyde d'hydrogène (53)

L'acide ascorbique est un agent efficace afin de **neutraliser les effets** oxydants du peroxyde d'hydrogène : la **valeur d'adhésion restaurée** est presque égale à celle obtenue sur la dentine saine (SBS à peu près équivalent).

Une autre recommandation afin d'obtenir une meilleure adhésion à la dentine est de patienter une période de 7 jours entre l'application du peroxyde d'hydrogène et la procédure de collage de la résine composite. L'adhésion est alors aussi efficace que sur la dentine saine (53).

Le protocole mis en œuvre par Feiz et al. dans leur étude de 2011 et ayant conduit à la meilleure valeur d'adhésion est celui où le **collage a été reporté d'une semaine** après le traitement d'éclaircissement interne.

Un mordançage de la dentine avec un acide orthophosphorique à 35% a d'abord été effectué pendant une durée de 15 secondes, puis un rinçage pendant 10 secondes, et enfin un séchage à l'air pendant 5 secondes.

Un adhésif universel est appliqué avant d'effectuer un séchage très court de la dentine puis une polymérisation pendant 10 secondes.

Enfin la résine composite est apportée par petits incréments photopolymérisés pendant 20 secondes.

En cas d'utilisation de l'acide ascorbique, celui-ci a été appliqué 40 heures avant le protocole de collage à une concentration de 10% puis rincé pendant 1 minute. S'en est suivi le même protocole de collage que le précédent, avec l'obtention d'une valeur d'adhésion significativement meilleure que le groupe contrôle sans acide ascorbique (53).

Olmedo et al. (95) rapportent des résultats similaires dans leur revue : l'ascorbate de sodium concentré à 10% appliqué pendant une durée allant jusqu'à 10 minutes permet de restaurer la valeur de l'adhésion. De même, la proanthocyanidine à 5% et le thé vert à 10% donnent des résultats satisfaisants. Ils soutiennent également que le report de la procédure de collage sur une dent ayant subi un éclaircissement au peroxyde d'hydrogène peut être remplacé par l'utilisation correcte de ces antioxydants (95).

3. TABLEAU DE SYNTHÈSE

Dans les pages suivantes, nous avons essayé d'établir un tableau permettant d'avoir une vue globale sur chacun des matériaux et produits cités dans cette thèse avec les principales modifications sur la dentine, l'impact de ces facteurs sur l'adhésion ainsi que les différents protocoles proposés par les auteurs pour améliorer les valeurs de l'adhésion lors des procédures en clinique.

3. Tableau de synthèse

Source d'altération primaire/secondaire	EFFET SUR LA DENTINE	INFLUENCE SUR LE COLLAGE	OPTIMISATION DU COLLAGE
Lésion carieuse	- Déminéralisation - Activation des MMP par les bactéries (96)	Diminution de la valeur d'adhésion (2)	- Dentine affectée : Adhésion avec Systèmes adhésifs MR > Systèmes SAM (2) - Optimisation du collage par l'éviction périphérique complète afin de coller sur des parois saines (82)
Amalgame	- Corrosion et décoloration - Porosité augmentée - Diffusion d'ions de l'amalgame (16,21)	Diminution de la valeur d'adhésion (20)	- Si utilisation d'un SAM, application de chlorhexidine après l'adhésif pour augmenter l'adhésion - L'éviction d'une très fine couche de dentine n'a pas d'effet - L'adhésion est meilleure avec un MR qu'avec un SAM (82)
Hydroxyde de calcium	- Augmentation du pH - Mouillabilité réduite - Diminution du minéral - Diminution de la résistance à la fracture, de la cristallinité et la mouillabilité (36,37,40)	Adhésion inchangée pour la plupart des auteurs (72–75)	L'adhésion avec un adhésif universel est meilleure (34,72)
Biodentine	- Production de dentine tertiaire - Augmente le taux de TGF-beta1 - Reminéralisation - Forme un pont dentinaire (24,26)	Des études supplémentaires sont nécessaires (67)	- Prolongation du temps de mordançage de 30 à 240 sec dans le protocole de collage avec un MR améliore l'adhésion (83) - Prolongation de l'application de l'adhésif avec un SAM améliore aussi l'adhésion (83) - Il faut s'efforcer de coller efficacement aux parois dentinaires/amélaires (84)
CVI	- Relargage d'ions Calcium et Fluorure (97)	Pas d'effet sur l'adhésion (68)	Protocole classique car pas d'effet sur l'adhésion dentinaire (68)

3. Tableau de synthèse

Matériaux d'obturation/ d'assemblage temporaire	- Matériau d'obturation (Cavit) : pas d'impact - Matériau d'assemblage à l'Oxyde de Zinc/Eugenol : diminution de la mouillabilité et de la réactivité (28,31)	- Matériau d'obturation temporaire : Adhésion inchangée (28) - Matériau d'assemblage temporaire : Adhésion diminuée (69)	- Matériau d'obturation temporaire : protocole classique - Matériau d'assemblage provisoire à l'Oxyde de Zinc/Eugenol : le collage avec un adhésif MR3 donne de meilleurs résultats (85)
Révélateur de carie	Pénétration profonde du propylène glycol contenu dans le révélateur de carie dans la dentine (32)	Adhésion diminuée (71)	Rinçage à l'hypochlorite de sodium à 3% ou l'eau oxygénée à 3% avant le collage (mais vigilance avec le NaOCl à plus forte concentration) puis mise en œuvre du protocole de collage (89) pour améliorer l'adhésion
Ciments endodontiques	- Pénétration du matériau dans les tubules dentinaires (45)	Adhésion globalement diminuée pour tous les ciments (76,77)	- Ciments à base d'eugénol : délai de 7 jours avant le collage (90) - Ciments à base de résine epoxy ou eugénol : le nettoyage de la surface à coller avec un désinfectant, le Katana Cleaner à base de MDP restaure une adhésion efficace, le sablage également (86,87) - Ciment à base de silicate tricalcique : nettoyage de la surface à coller avec le spray air/eau est efficace (87)
Hypochlorite de sodium	Diminue le module d'élasticité - Diminue les taux de calcium et phosphate - Augmente le ratio apatite/collagène (47,48)	Adhésion diminuée selon la majorité des auteurs (78)	Rinçage à l'ascorbate de sodium à 10% pendant 10 minutes avant collage avec un adhésif MR2 (93,94)
EDTA	- Diminue le calcium - Elimine l'apatite (47,49)	Adhésion inchangée voire augmentée selon certaines études (78)	Protocole classique
Chlorhexidine	- Substantivité - Inhibe les MMP (50)	Adhésion inchangée voire améliorée (80)	Le prétraitement à l'aide de chlorhexidine à 0,2% ou 2% améliore l'adhésion à la dentine lors de l'utilisation d'un SAM (92)
Peroxyde d'hydrogène	- Diminue les composants organiques - Diminue la microdureté (51)	Adhésion diminuée (53)	- Reporter le collage à 7 jours après l'utilisation du peroxyde - Ou application d'acide ascorbique à 10% avant le collage (53)

Tableau 1 : Récapitulatif des effets observés sur la dentine et des protocoles proposés

CONCLUSION

Ce travail aura permis de présenter tout d'abord la dentine sous ses différents aspects, une présentation nécessaire pour comprendre l'influence des différents matériaux et produits employés par les étudiants du pavillon dentaire de la Timone à Marseille au cours de leurs soins en clinique. En effet, certains peuvent avoir un impact plus ou moins grand sur les propriétés de la dentine, et concerner les propriétés mécaniques, chimiques ou physiques de ce tissu et parfois même l'adhésion comme nous avons pu le voir.

Les protocoles explicités pourraient dès lors être utiles aux étudiants afin de mieux anticiper l'évolution de leurs restaurations lors de la réintervention sur une même dent, qu'il s'agisse d'une lésion carieuse secondaire, de temporisation, etc. soit par le report du collage, soit par la mise en place d'une technique spécifique d'éviction du matériau/produit responsable d'une diminution de l'adhésion.

Une certaine limite apparaît concernant les matériaux de coiffage, relativement récents, et pour lesquels les études sur le collage de restaurations définitives sont encore peu nombreuses. De même, la nécessité de mener de plus amples recherches est à soulever pour l'eugénol, les données étant relativement anciennes et peu nombreuses en clinique.

Par ailleurs, il serait intéressant de développer, à l'image du tableau de synthèse présenté en cette thèse, des protocoles fiables et reproductibles qui pourraient servir au chirurgien-dentiste dans sa pratique libérale et servir de référence.

Enfin, bien que notre travail se base sur des tests de Shear Bond Strength (SBS) – ce test étant encore communément utilisé bien qu'aujourd'hui les tests de résistance à la traction soient plus fréquents – il existe une limitation dans la plupart des études se basant sur ce test. Ce dernier donne parfois lieu à des échecs de cohésion qu'il faut approfondir dans les études menées sur l'adhésion, et ce souvent avec les nouveaux systèmes adhésifs. Cependant, sa simplicité et sa validité font que ce test est toujours d'actualité. (82)

Pour conclure, plus d'évaluations en clinique doivent être menées, certaines n'ayant été réalisées qu'in vitro, et sur des périodes plus longues également afin d'évaluer l'effet de ces matériaux/produits chimiques au niveau de la dentine sur une durée plus longue.

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

Figure 1 : Schéma de l'odontoblaste et des tubules dentinaires [5]....3
Figure 2 : Schéma des différentes couches de la couronne dentaire [6] 4
Figure 3 : Schéma des dentines inter et intra-tubulaire [9] 5
Figure 4 : Schéma des dentines réactionnelle (rouge pâle) et réparatrice (rouge foncé) [6]..... 6
Figure 5 : Coupe longitudinale des différentes dentines, affectée et infectée [11] 8
Figure 6 : Après curetage de la dentine infectée (illustration b), la dentine prend un aspect plus sombre au bout de 2 semaines (d) : la carie n'est plus active et semble arrêtée (Stepwise excavation, Björndal 2018) 9
Figure 7 : Coupe longitudinale d'une dentine décolorée sous une restauration à l'amalgame [15] 11
Figure 8 : Conditionnement de la Biodentine en capsules (Source : www.henryschein.fr) 14
Figure 9 : Test de résistance au cisaillement [58] 29
Figure 10 : Test de résistance à la microtraction [59] 30
Figure 11 : Les différents stratégies adhésives [61] 32
Figure 12 : Comparatif des valeurs de SBS avec l'adhésif universel Single Bond et différents protocoles adhésifs au niveau d'une dentine contaminée par l'amalgame [82] 42
Figure 13 : Préparation des spécimens pour le test du µSBS [85] 44
Figure 14 : Solution d'eau oxygénée à 3% (Source : www.viata.fr) 45

Tableau 1 : Récapitulatif des effets observés sur la dentine et des protocoles proposés....50

BIBLIOGRAPHIE

1. Stape THS, Uctasli M, Cibelik HS, Tjäderhane L, Tezvergil-Mutluay A. Dry bonding to dentin: Broadening the moisture spectrum and increasing wettability of etch-and-rinse adhesives. Dent Mater J. 2021;37(11):1676-87. DOI: 10.1016/j.dental.2021.08.021

2. Costa AR, Garcia-Godoy F, Correr-Sobrinho L, Naves LZ, Raposo LHA, Carvalho FG de, et al. Influence of Different Dentin Substrate (Caries-Affected, Caries-Infected, Sound) on Long-Term µTBS. Braz Dent J. 2017;28(1):16-23. DOI: 10.1590/0103-6440201700879

3. Garg N, Garg A. Textbook of operative dentistry. 2013. p.237-54

4. Colon J.P., Lasfargues J.J., Complexe pulpo-dentinaire. Dans : Odontologie conservatrice et restauratrice: Tome 1 : Une approche médicale globale. Rueil-Malmaison: Editions CdP; 2010. p.49-71

5. Nowicka A, Parafiniuk M, Lipski M, Lichota D, Buczkowska-Radlinska J. Pulpo-dentin complex response after direct capping with self-etch adhesive systems. Folia Histochem Cytobiol. 2012;9.

6. Nalla RK, Kruzic JJ, Ritchie RO. On the origin of the toughness of mineralized tissue: microcracking or crack bridging? Bone. 2004;34(5):790-8. DOI: 10.1016/j.bone.2004.02.001

7. Colon J.P., Lasfargues J.J., Complexe pulpo-dentinaire. Dans : Odontologie conservatrice et restauratrice: Tome 1 : Une approche médicale globale. Rueil-Malmaison: Editions CdP; 2010. p.49-71

8. Goldberg M, Smith AJ. Cells and Extracellular Matrices of Dentin and Pulp: A Biological Basis for Repair and Tissue Engineering. Crit Rev Oral Biol Med. 2004;15.

9. Hargreaves KM, Berman LH, Rotstein I, Cohen S. Cohen's pathways of the pulp. 2021.

10. Bjørndal L, Simon S, Tomson PL, Duncan HF. Management of deep caries and the exposed pulp. Int Endod J. 2019;52(7):949-73. DOI: 10.1111/iej.13128

11. Tjäderhane L. Dentin Bonding: Can We Make it Last? Oper Dent. 2015;40(1):4-18. DOI: 10.2341/14-095-BL

12. Bjørndal L, Reit C, Bruun G, Markvart M, Kjaeldgaard M, Näsman P, et al. Treatment of deep caries lesions in adults: randomized clinical trials comparing stepwise vs. direct complete excavation, and direct pulp capping vs. partial pulpotomy: Treatment of deep caries in adults. Eur J Oral Sci. 2010;118(3):290-7. DOI: 10.1111/j.1600-0722.2010.00731.x

13. Schwendicke F, Dörfer CE, Paris S. Incomplete Caries Removal: A Systematic Review and Meta-analysis. J Dent Res. 2013;92(4):306-14. DOI: 10.1177/0022034513477425

14. Zeitouny M, Feghali M, Nasr A, Abou-Samra P, Saleh N, Bourgeois D, et al. SOPROLIFE System: An Accurate Diagnostic Enhancer. ScientificWorldJournal. 2014;2014:1-8. DOI: 10.1155/2014/924741

15. Scholtanus JD, Özcan M, Huysmans M-CDNJM. Penetration of amalgam constituents into dentine. J Dent. 2009;37(5):366-73. DOI: 10.1016/j.jdent.2009.01.009

16. Redwan H, Bardwell D, Ali A, Finkelman M, Khayat S, Weber H-P. Composite Replacement of Amalgam Restoration Versus Freshly Cut Dentin: An In Vitro Microleakage Comparison. Oper Dent. 2016;41(3):E73-82. DOI: 10.2341/14-278-L

17. Kurosaki N, Fusayama T. Penetration of elements from amalgam into dentin. J Dent Res. 1973;52(2):309-17. DOI: 10.1177/00220345730520022001

18. Hals E, Halse A. Electron probe microanalysis of secondary carious lesions associated with silver amalgam fillings. Acta Odontol Scand. 1975;33(3):149-60. DOI: 10.3109/00016357509026356

19. Sarkar NK, Fuys RA, Schoenfeld CM, Armstrong LM, Stanford JW. The tooth-amalgam interaction. J Oral Rehabil. 1981;8(5):401-11. DOI: 10.1111/j.1365-2842.1981.tb00514.x

20. Mandava J, Pamidimukkala S, Karumuri S, Ravi R, Borugadda R, Afraaz A. Microtensile Bond Strength Evaluation of Composite Resin to Discolored Dentin After Amalgam Removal. Cureus. 2020; DOI: 10.7759/cureus.7536

21. Harnirattisai C, Senawongse P, Tagami J. Microtensile Bond Strengths of Two Adhesive Resins to Discolored Dentin after Amalgam Removal. J Dent Res. 2007;86(3):232-6. DOI: 10.1177/154405910708600307

22. Mustafa HA, Soares AP, Paris S, Elhennawy K, Zaslansky P. The forgotten merits of GIC restorations: a systematic review. Clin Oral Invest. 2020;24(7):2189-201. DOI: 10.1007/s00784-020-03334-0

23. Schlafer S, Bornmann T, Paris S, Göstemeyer G. The impact of glass ionomer cement and composite resin on microscale pH in cariogenic biofilms and demineralization of dental tissues. Dental Materials. 2021;37(10):1576-83. DOI: 10.1016/j.dental.2021.08.007

24. Kaur M. MTA versus Biodentine: Review of Literature with a Comparative Analysis. J Clin Diagn Res. 2017; DOI: 10.7860/JCDR/2017/25840.10374

25. Laurent P, Camps J, About I. BiodentineTM induces TGF-β1 release from human pulp cells and early dental pulp mineralization: Biodentine induces mineralisation and TGF-β1 release. Int Endod J. 2012;45(5):439-48. DOI: 10.1111/j.1365-2591.2011.01995.x

26. Kunert M, Lukomska-Szymanska M. Bio-Inductive Materials in Direct and Indirect Pulp Capping—A Review Article. Materials (Basel). 2020;13(5):1204. DOI: 10.3390/ma13051204

27. Atmeh AR, Chong EZ, Richard G, Festy F, Watson TF. Dentin-cement Interfacial Interaction: Calcium Silicates and Polyalkenoates. J Dent Res. 2012;91(5):454-9. DOI: 10.1177/0022034512443068

28. Balkaya H, Topçuoğlu HS, Demirbuga S. The Effect of Different Cavity Designs and Temporary Filling Materials on the Fracture Resistance of Upper Premolars. J Endod. 2019;45(5):628-33. DOI: 10.1016/j.joen.2019.01.010

29. Moskovitz M, Tickotsky N, Dassa M, Fux-Noy A, Shmueli A, Halperson E, et al. Zinc Oxide Zinc Sulfate versus Zinc Oxide Eugenol as Pulp Chamber Filling Materials in Primary Molar Pulpotomies. Children (Basel). 2021;8(9):776. DOI: 10.3390/children8090776

30. Chiluka L, Shastry YM, Gupta N, Reddy KM, Prashanth N, Sravanthi K. An In vitro Study to Evaluate the Effect of Eugenol-free and Eugenol-containing Temporary Cements on the Bond Strength of Resin Cement and Considering Time as a Factor. J Int Soc Prev Community Dent. 2017;7(4):202-7. DOI: 10.4103/jispcd.JISPCD_138_17

31. Altmann ASP, Leitune VCB, Collares FM. Influence of Eugenol-based Sealers on Push-out Bond Strength of Fiber Post Luted with Resin Cement: Systematic Review and Meta-analysis. J Endod. 2015;41(9):1418-23. DOI: 10.1016/j.joen.2015.05.014

32. Mollica FB, Torres CRG, Gonçalves SE de P, Mancini MNG. Dentine microhardness after different methods for detection and removal of carious dentine tissue. J Appl Oral Sci. 2012;20(4):449-54. DOI: 10.1590/S1678-77572012000400010

33. Hawkins JJ, Torabinejad M, Li Y, Retamozo B. Effect of three calcium hydroxide formulations on fracture resistance of dentin over time. Dent Traumatol. 2015;31(5):380-4. DOI: 10.1111/edt.12175

34. Ballal NV, Gandhi P, Kashyap NN. Influence of particulate alkaline biomaterial remnants in dentin on the adhesion of two resin-based bonding systems. Microsc Res Tech. 2021;84(5):1036-41. DOI: 10.1002/jemt.23664

35. Sahebi S, Nabavizadeh M, Dolatkhah V, Jamshidi D. Short Term Effect of Calcium Hydroxide, Mineral Trioxide Aggregate and Calcium-Enriched Mixture Cement on the Strength of Bovine Root Dentin. Iran Endod J. 2012;7(2):68-73.

36. Sáez MDM, López GL, Atlas D, de la Casa ML. Evaluation of pH and calcium ion diffusion from calcium hydroxide pastes and MTA. Acta Odontol Latinoam. 2017;30(1):26-32.

37. Al-Hiyasat AS, El-Farraj HS, Alebrahim MA. The effect of calcium hydroxide on dentine composition and root fracture resistance of human teeth: An in vitro study. Eur J Oral Sci. 2021;129(4). DOI: 10.1111/eos.12798

38. Rosenberg B, Murray PE, Namerow K. The effect of calcium hydroxide root filling on dentin fracture strength. Dent Traumatol. 2007;23(1). DOI: 10.1111/j.1600-9657.2006.00453.x

39. Kawamoto R, Kurokawa H, Takubo C, Shimamura Y, Yoshida T, Miyazaki M. Change in elastic modulus of bovine dentine with exposure to a calcium hydroxide paste. J Dent. 2008;36(11):959-64. DOI: 10.1016/j.jdent.2008.08.003

40. Yassen GH, Sabrah AHA, Eckert GJ, Platt JA. Effect of Different Endodontic Regeneration Protocols on Wettability, Roughness, and Chemical Composition of Surface Dentin. J Endod 2015;41(6):956-60. DOI: 10.1016/j.joen.2015.02.023

41. Al-Omari WM, Mitchell CA, Cunningham JL. Surface roughness and wettability of enamel and dentine surfaces prepared with different dental burs. J Oral Rehabil. 2001;28(7):645-50. DOI: 10.1046/j.1365-2842.2001.00722.x

42. Komabayashi T, Colmenar D, Cvach N, Bhat A, Primus C, Imai Y. Comprehensive review of current endodontic sealers. Dent Mater J. 2020;39(5):703-20. DOI: 10.4012/dmj.2019-288

43. Viapiana R, Guerreiro-Tanomaru J, Tanomaru-Filho M, Camilleri J. Interface of dentine to root canal sealers. J Dent. 2014;42(3):336-50. DOI: 10.1016/j.jdent.2013.11.013

44. Khallaf M. Effect of two contemporary root canal sealers on root canal dentin microhardness. J Clin Exp Dent. 2016;0-0. DOI: 10.4317/jced.53052

45. Kim Y, Kim B-S, Kim Y-M, Lee D, Kim S-Y. The Penetration Ability of Calcium Silicate Root Canal Sealers into Dentinal Tubules Compared to Conventional Resin-Based Sealer: A Confocal Laser Scanning Microscopy Study. Materials (Basel). 2019;12(3):531. DOI: 10.3390/ma12030531

46. Pascon FM, Kantovitz KR, Sacramento PA, Nobre-dos-Santos M, Puppin-Rontani RM. Effect of sodium hypochlorite on dentine mechanical properties. A review. J Dent. 2009;37(12):903-8. DOI: 10.1016/j.jdent.2009.07.004

47. Rath PP, Yiu CKY, Matinlinna JP, Kishen A, Neelakantan P. The effect of root canal irrigants on dentin: a focused review. Restor Dent Endod. 2020;45(3):e39. DOI: 10.5395/rde.2020.45.e39

48. Sim TPC, Knowles JC, Ng Y-L, Shelton J, Gulabivala K. Effect of sodium hypochlorite on mechanical properties of dentine and tooth surface strain: Effect of sodium hypochlorite on dentine. Int Endod J. 2001;34(2):120-32. DOI: 10.1046/j.1365-2591.2001.00357.x

49. Cardoso LR, Baldasso FER, Delai D, Montagner F, Kopper PMP. Effect of EDTA, sodium, and calcium hypochlorite on the inorganic component of root canal dentin: A SEM analysis. Microsc Res Tech. 2019;82(2):128-33. DOI: 10.1002/jemt.23151

50. Cecchin D, Farina AP, Giacomin M, Mattos Pimenta Vidal C de, Carlini-Júnior B, Ferraz CCR. Influence of Chlorhexidine Application Time on the Bond Strength between Fiber Posts and Dentin. J Endod. 2014;40(12):2045-8. DOI: 10.1016/j.joen.2014.08.019

51. Chng HK, Ramli HN, Yap AUJ, Lim CT. Effect of hydrogen peroxide on intertubular dentine. J Dent. 2005;33(5):363-9. DOI: 10.1016/j.jdent.2004.10.012

52. Rotstein I, Dankner E, Goldman A, Heling I, Stabholz A, Zalkind M. Histochemical analysis of dental hard tissues following bleaching. J Endod. 1996;22(1):23-6. DOI: 10.1016/S0099-2399(96)80231-7

53. Feiz A, Khoroushi M, Gheisarifar M. Bond Strength of Composite Resin to Bleached Dentin: Effect of Using Antioxidant Versus Buffering Agent. J Dent. 8(2):7.

54. Roulet J-F, Degrange M. Collage et adhésion: la révolution silencieuse. Paris: Quintessence International; 2000.

55. Perdigão J. Dentin bonding—Variables related to the clinical situation and the substrate treatment. Dent Mater. 2010;26(2):e24-37. DOI: 10.1016/j.dental.2009.11.149

56. Kaup M, Dammann CH, Schäfer E, Dammaschke T. Shear bond strength of Biodentine, ProRoot MTA, glass ionomer cement and composite resin on human dentine ex vivo. Head Face Med. 2015;11(1):14. DOI: 10.1186/s13005-015-0071-z

57. Miranda C, Maykot Prates LH, de Souza Vieira R, Marino Calvo MC. Shear Bond Strength of Different Adhesive Systems to Primary Dentin and Enamel. J Clin Pediatr Dent. 2007;31(1):35-40. DOI: 10.17796/jcpd.31.1.2436up85l810667h

58. AlJehani YA, Baskaradoss JK, Geevarghese A, AlShehry MA, Vallittu PK. Shear Bond Strength between Fiber-Reinforced Composite and Veneering Resin Composites with Various Adhesive Resin Systems: Shear Strength of Prosthodontic Resins. J Prosthodont. 2016;25(5):392-401. DOI: 10.1111/jopr.12315

59. Fernandes Jr VVB, Oliani MG, Nogueira Jr L, Silva JMF, Araújo RM (2016) Analysis and Comparison of Different Bond Strength Tests. JSM Dent Surg 4(5): 1076.

60. Sano H, Shono T, Sonoda H, Takatsu T, Ciucchi B, Carvalho R, et al. Relationship between surface area for adhesion and tensile bond strength — Evaluation of a micro-tensile bond test. Dent Mater. 1994;10(4):236-40. DOI: 10.1016/0109-5641(94)90067-1

61. Sezinando A. Looking for the ideal adhesive – A review. Rev Port Estomatol Med Dent Cir Maxilofac. Elsevier; 2014;55(4):194-206. DOI: 10.1016/j.rpemd.2014.07.004

62. Betancourt DE, Baldion PA, Castellanos JE. Resin-Dentin Bonding Interface: Mechanisms of Degradation and Strategies for Stabilization of the Hybrid Layer. Int J Biomater. 2019;2019:1-11. DOI: 10.1155/2019/5268342

63. Violich DR, Chandler NP. The smear layer in endodontics – a review: Smear layer in endodontics. Int Endod J. 2010;43(1):2-15. DOI: 10.1111/j.1365-2591.2009.01627.x

64. Hass V, Cardenas A, Siqueira F, Pacheco R, Zago P, Silva D, et al. Bonding Performance of Universal Adhesive Systems Applied in Etch-and-Rinse and Self-Etch Strategies on Natural Dentin Caries. Oper Dent. 2019;44(5):510-20. DOI: 10.2341/17-252-L

65. Bonding Performance of Universal Adhesives: An Updated Systematic Review and Meta-Analysis. J Adhes Dent. 2019;21(1):7-26. DOI: 10.3290/j.jad.a41975

66. Isolan CP, Sarkis-Onofre R, Moraes RR. Bonding to sound and caries-affected dentin: Systematic review and meta-analysis. Dent Mater. 2015;31:e55. DOI: 10.1016/j.dental.2015.08.122

67. Hashem DF, Foxton R, Manoharan A, Watson TF, Banerjee A. The physical characteristics of resin composite–calcium silicate interface as part of a layered/laminate adhesive restoration. Dent Mater. 2014;30(3):343-9. DOI: 10.1016/j.dental.2013.12.010

68. Azevedo LM, Casas-Apayco LC, Villavicencio Espinoza CA, Wang L, Navarro MF de L, Atta MT. Effect of resin-modified glass-ionomer cement lining and composite layering technique on the adhesive interface of lateral wall. J Appl Oral Sci. 2015;23(3):315-20. DOI: 10.1590/1678-775720140463

69. Erdemir A, Eldeniz AU, Belli S. Effect of temporary filling materials on repair bond strengths of composite resins. J Biomed Mater Res. 2008;86B(2):303-9. DOI: 10.1002/jbm.b.31017

70. Abohamar S, Federlin M, Hiller K, Friedl K, Schmalz G. Effect of temporary cements on the bond strength of ceramic luted to dentin. Dent Mater. 2005;21(9):794-803. DOI: 10.1016/j.dental.2005.01.015

71. Singh U, Tikku A, Chandra A, Loomba K, Boruah L. Influence of caries detection dye on bond strength of sound and carious affected dentin: An in-vitro study. J Conserv Dent. 2011;14(1):32. DOI: 10.4103/0972-0707.80732

72. Windley W, Ritter A, Trope M. The effect of short-term calcium hydroxide treatment on dentin bond strengths to composite resin: Calcium hydroxide treatment and dentin bonding. Dent Traumatol. 2003;19(2):79-84. DOI: 10.1034/j.1600-9657.2003.00160.x

73. Renovato SR, Santana FR, Ferreira JM, Souza JB, Soares CJ, Estrela C. Effect of calcium hydroxide and endodontic irrigants on fibre post bond strength to root canal dentine. Int Endod J. 2013;46(8):738-46. DOI: 10.1111/iej.12053

74. Someya T, Kinoshita H, Harada R, Kawada E, Takemoto S. Effects of calcium hydroxide reagent on the bond strength of resin cements to root dentin and the retention force of FRC posts. Dent Mater J. 2017;36(5):630-7. DOI: 10.4012/dmj.2016-355

75. Garcia, MG, Poskus LT, Hass VA, Cristiane M, Noronha-Filho JD, Silva EM. Effect of Calcium Hydroxide on Bonding Performance of an Experimental Self-etch Adhesive. J Adhes Dent. 2018;20(1):57-64. DOI: 10.3290/j.jad.a39880

76. Mosharraf R, Zare S. Effect of the Type of Endodontic Sealer on the Bond Strength Between Fiber Post and Root Wall Dentin. J Dent (Tehran). 2014;11(4):455-63.

77. Soares IMV, Crozeta BM, Pereira RD, Silva RG, da Cruz-Filho AM. Influence of endodontic sealers with different chemical compositions on bond strength of the resin cement/glass fiber post junction to root dentin. Clin Oral Invest. 2020;24(10):3417-23. DOI: 10.1007/s00784-020-03212-9

78. Coelho A, Amaro I, Rascão B, Marcelino I, Paula A, Saraiva J, et al. Effect of Cavity Disinfectants on Dentin Bond Strength and Clinical Success of Composite Restorations—A Systematic Review of In Vitro, In Situ and Clinical Studies. Int J Mol Sci. 2020;22(1):353. DOI: 10.3390/ijms22010353

79. Bohrer TC, Fontana PE, Lenzi TL, Soares FZM, Rocha R de O. Can Endodontic Irrigating Solutions Influence the Bond Strength of Adhesives to Coronal Dental Substrates? A Systematic Review and Meta-Analysis of In Vitro Studies. J Adhes Dent. 2018;20(6):481-94. DOI: 10.3290/j.jad.a41633

80. Kim B-R, Oh M-H, Shin D-H. Effect of cavity disinfectants on antibacterial activity and microtensile bond strength in class I cavity. Dent Mater J. 2017;36(3):368-73. DOI: 10.4012/dmj.2016-283

81. Thompson VT, Craig RG, Curro FA, Green WS, Ship JA. Treatment of deep carious lesions by complete excavation or partial removal. J American Dent Assoc. 2008;139(6):705-12. DOI: 10.14219/jada.archive.2008.0252

82. Alshehri N, Bin-Shuwaish M. The Effects of Amalgam Contamination and Different Surface Modifications on Dentin Shear Bond Strength When Using Different Adhesive Protocols. Clin Cosmet Investing Dent. 2021;13:211-221. Published 2021 May 27. doi:10.2147/CCIDE.S307545

83. Krawczyk-Stuss M, Nowak J, Bołtacz-Rzepkowska E. Bond strength of Biodentine to a resin-based composite at various acid etching times and with different adhesive strategies. Dent Med Probl. 2019;56(1):39-44. DOI: 10.17219/dmp/103589

84. Meraji N, Camilleri J. Bonding over Dentin Replacement Materials. J Endod. 2017;43(8):1343-9. DOI: 10.1016/j.joen.2017.03.025

85. Carvalho CN, De Oliveira Bauer JR, Loguercio AD, Reis A. Effect of Zoe Temporary Restoration on Resin-Dentin Bond Strength Using Different Adhesive Strategies. J Esthet Restor Dent. 2007;19(3):144-52. DOI: 10.1111/j.1708-8240.2007.00087.x

86. Tian F, Jett K, Flaugher R, Arora S, Bergeron B, Shen Y, et al. Effects of dentine surface cleaning on bonding of a self-etch adhesive to root canal sealer-contaminated dentine. J Dent. 2021;112:103766. DOI: 10.1016/j.jdent.2021.103766

87. Devroey S, Calberson F, Meire M. The efficacy of different cleaning protocols for the sealer-contaminated access cavity. Clin Oral Invest. 2020;24(11):4101-7. DOI: 10.1007/s00784-020-03283-8

88. Ribeiro JCV, Coelho PG, Janal MN, Silva NRFA, Monteiro AJ, Fernandes CAO. The influence of temporary cements on dental adhesive systems for luting cementation. J Dent. 2011;39(3):255-62. DOI: 10.1016/j.jdent.2011.01.004

89. Tunc ES, Sahin Z, Guler E, Bayrak S, Tuloglu N. Effectiveness of Different Cleaning Solutions in Removing Residual Caries-Detector Dyes. J Esthet Restor Dent. 2019;31(3):253-6. DOI: 10.1111/jerd.12393

90. Menezes MS, Queiroz EC, Campos RE, Martins LRM, Soares CJ. Influence of endodontic sealer cement on fibreglass post bond strength to root dentine. Int Endod J. 2008;41(6):476-84. DOI: 10.1111/j.1365-2591.2008.01378.x

91. Morais JMP, Victorino KR, Escalante-Otárola WG, Jordão-Basso KCF, Palma-Dibb RG, Kuga MC. Effect of the calcium silicate-based sealer removal protocols and time-point of acid etching on the dentin adhesive interface. Microsc Res Tech. 2018;81(8):914-20. DOI: 10.1002/jemt.23056

92. Lin J, Kern M, Ge J, Zhu J, Wang H, Vollrath O, et al. Influence of peripheral enamel bonding and chlorhexidine pretreatment on resin bonding to dentin. J Adhes Dent. 2013;15(4):351-9. DOI: 10.3290/j.jad.a29582

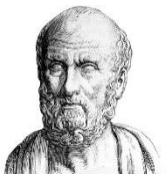
93. Abuhaimed TS, Abou Neel EA. Sodium Hypochlorite Irrigation and Its Effect on Bond Strength to Dentin. BioMed Res Int. 2017;2017:1-8. DOI: 10.1155/2017/1930360

94. Vongphan N, Senawongse P, Somsiri W, Harnirattisai C. Effects of sodium ascorbate on microtensile bond strength of total-etching adhesive system to NaOCl treated dentine. J Dent. 2005;33(8):689-95. DOI: 10.1016/j.jdent.2005.01.008

95. Olmedo DERP, Kury M, Resende BA, Cavalli V. Use of antioxidants to restore bond strength after tooth bleaching with peroxides. Eur J Oral Sci. 2021;129(2):e12773. DOI: 10.1111/eos.12773

96. Chaussain-Miller C, Fioretti F, Goldberg M, Menashi S. The Role of Matrix Metalloproteinases (MMPs) in Human Caries. J Dent Res. 2006;85(1):22-32. DOI: 10.1177/154405910608500104

97. Kucukyilmaz E, Savas S, Kavrik F, Yasa B, Botsali M. Fluoride release/recharging ability and bond strength of glass ionomer cements to sound and caries-affected dentin. Niger J Clin Pract. 2017;20(2):226. DOI: 10.4103/1119-3077.178917



SERMENT MEDICAL

En présence des Maîtres de cette Faculté, de mes chers condisciples, devant l'effigie d'HIPPOCRATE.

Je promets et je jure, d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la Médecine Dentaire.

Je donnerai mes soins à l'indigent et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail, je ne participerai à aucun partage clandestin d'honoraires.

Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admis dans l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe, ma langue taira les secrets qui me seront confiés et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs ni à favoriser le crime.

Je ne permettrai pas que des considérations de religion, de nation, de race, de parti ou de classe sociale viennent s'interposer entre mon devoir et mon patient.

Même sous la menace, je n'admettrai pas de faire usage de mes connaissances médicales contre les lois de l'humanité.

J'informerai mes patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences. Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des connaissances pour forcer les consciences.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

Respectueux et reconnaissant envers mes Maîtres, je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leur père.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses.

Que je sois déshonoré et méprisé de mes confrères si j'y manque.

KADOCH Nathaniel – Adhésion à la dentine altérée par les biomatériaux et les produits chimiques

Th. : Chir. dent. : Marseille : Aix-Marseille Université : 2022

Rubrique de classement : Odontologie Conservatrice

Résumé : L'arsenal thérapeutique dont dispose le chirurgien-dentiste dans sa pratique clinique est aujourd'hui très développé. Les caries secondaires nécessitant la dépose d'anciennes restaurations, la restauration définitive de la dent après temporisation ou encore les protocoles utilisés en endodontie altèrent la dentine. Cette altération peut parfois concerner l'adhésion à la dentine, ce qui nous pousse à évaluer l'effet précis des différents biomatériaux ou produits chimiques au niveau de ce tissu. Cette thèse nous permet dès lors de présenter les différentes données qui existent concernant l'adhésion à la dentine altérée, et enfin à explorer certaines pistes permettant d'améliorer cette adhésion lorsqu'elle parait diminuée. Ces pistes permettront en particulier aux étudiants de l'Université d'Aix-Marseille de développer un peu plus leur vision de l'odontologie restauratrice et de sa mise en pratique lors de leur stage clinique.

Mots-clés : Dentine - Collage dentaire - Agents de collage dentinaire - Matériaux dentaires - Protocoles cliniques

KADOCH Nathaniel – Adhesion to dentin altered by biomaterials and chemical products

Abstract: The therapeutic arsenal available to the dental surgeon in his clinical practice is now highly developed. Secondary caries requiring the removal of old restorations, the definitive restoration of the tooth after temporization or the protocols used in endodontics alter the dentin. This alteration can sometimes affect the adhesion to the dentin, which prompts us to assess the precise effect of the various biomaterials or chemical products on this tissue. This thesis therefore allows us to present the various data that exist about adhesion to altered dentin, and finally to explore some leads for improving this adhesion when it appears to be reduced. These leads will in particular allow students from the University of Aix-Marseille to develop a little bit more their vision of restorative odontology and its implementation during their clinical internship.

Keywords : Dentin - Dental Bonding - Dentin-Bonding Agents - Dental Materials - Clinical Protocols