



**HAL**  
open science

# Le traitement de la couche pré-hybride en dentisterie adhésive

Raphaël Bautrant

► **To cite this version:**

Raphaël Bautrant. Le traitement de la couche pré-hybride en dentisterie adhésive. Chirurgie. 2020. dumas-03327608

**HAL Id: dumas-03327608**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03327608v1>**

Submitted on 27 Aug 2021

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

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



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

**THESE**

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

Présentée et publiquement soutenue devant la

Faculté d'Odontologie de Marseille  
(Doyen : Monsieur le Professeur Bruno FOTI)

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

***Le traitement de la couche pré-hybride en dentisterie  
adhésive***

Présentée par

**BAUTRANT Raphaël**

Né(e) le 02/10/1994

A Puyricard

(Bouches-du-Rhône)

Thèse soutenue le **Vendredi 6 Novembre 2020**

Devant le jury composé de

Président : Professeur RASKIN Anne

Assesseurs : Docteur BANDON Daniel

Docteur GUIVARC'H Maud

Docteur BALLESTER Benoit



**THESE**

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

Présentée et publiquement soutenue devant la

Faculté d'Odontologie de Marseille  
(Doyen : Monsieur le Professeur Bruno FOTI)

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

***Le traitement de la couche pré-hybride en dentisterie  
adhésive***

Présentée par

**BAUTRANT Raphaël**

Né(e) le 02/10/1994

A Puyricard

(Bouches-du-Rhône)

Thèse soutenue le **Vendredi 6 Novembre 2020**

Devant le jury composé de

Président : Professeur RASKIN Anne

Assesseurs : Docteur BANDON Daniel

Docteur GUIVARC'H Maud

Docteur BALLESTER Benoit

## ADMINISTRATION

Mise à jour : sept. 2020

### **Doyens Honoraires**

Professeur	Raymond SANGIUOLO†
Professeur	Henry ZATTARA
Professeur	André SALVADORI
Professeur	Jacques DEJOU

### **Doyen Assesseurs**

Professeur	Bruno FOTI
Professeur	Michel RUQUET
Professeur	Anne RASKIN

### **Directeurs de Départements**

Formation Initiale	Professeur	Michel RUQUET
Recherche	Professeur	Anne RASKIN
Formation Continue	Professeur	Frédéric BUKIET

### **Charges de missions**

Relations Internationales	Professeur	Hervé TASSERY
Internat et Diplômes d'études spécialisées	Professeur	Virginie MONNET-CORTI
Affaires générales	Docteur	Patrick TAVITIAN

<b>Responsable des Services Administratifs et Techniques</b>	Madame	Katia LEONI
--	--------	-------------

## **LISTE DES ENSEIGNANTS**

### **PROFESSEURS DES UNIVERSITES – PRATICIENS HOSPITALIERS DES CSERD**

BUKIET Frédéric <sup>(58-01)</sup>  
FOTI Bruno <sup>(56-02)</sup>  
LE GALL Michel <sup>(56-01)</sup>  
MONNET-CORTI Virginie <sup>(57-01)</sup>  
ORTHLIEB Jean-Daniel <sup>(58-01)</sup>  
RASKIN Anne <sup>(58-01)</sup>  
RUQUET Michel <sup>(58-01)</sup>  
TARDIEU Corinne <sup>(56-01)</sup>  
TARDIVO Delphine <sup>(56-02)</sup>  
TASSERY Hervé <sup>(58-01)</sup>

### **PROFESSEUR DES UNIVERSITES**

ABOUT Imad <sup>(65)</sup>

### **PROFESSEURS EMERITES**

DEJOU Jacques  
HUE Olivier

### **MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES – PRATICIENS HOSPITALIERS DES CSERD**

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

### **MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES ASSOCIES**

BALLESTER Benoît <sup>(58-01)</sup>  
BLANCHET Isabelle <sup>(56-01)</sup>  
MENSE Chloé <sup>(58-01)</sup>  
SILVESTRI Frédéric <sup>(58-01)</sup>

### **ASSISTANTS HOSPITALIERS ET UNIVERSITAIRES**

AL AZAWI Hala <sup>(56-01)</sup>	HAHN-GOLETTI Larissa <sup>(58-01)</sup>
ANTEZACK Angeline <sup>(57-01)</sup>	LIOTARD Alicia <sup>(58-01)</sup>
ARNIER Canelle <sup>(56-01)</sup>	MANSUY Charlotte <sup>(58-01)</sup>
BACHET-DORISON Damienne <sup>(56-01)</sup>	MARTIN William <sup>(56-01)</sup>
CAMBON Isabelle <sup>(56-01)</sup>	MATTERA Rémi <sup>(56-01)</sup>
CASAZZA Estelle <sup>(56-01)</sup>	MELLOUL Sébastien <sup>(57-01)</sup>
CASTRO Romain <sup>(57-01)</sup>	PARFU Anne <sup>(58-01)</sup>
DAVID Laura <sup>(56-01)</sup>	PASCHEL Laura <sup>(58-01)</sup>
DEVICTOR Alix <sup>(58-01)</sup>	PILLIOL Virginie <sup>(58-01)</sup>
DODDS Mélina <sup>(58-01)</sup>	REPETTO Andréa <sup>(58-01)</sup>
DRAUSSIN Thierry <sup>(56-02)</sup>	ROMANET Yvan <sup>(57-01)</sup>
DUMAS Cathy <sup>(57-01)</sup>	SANTUNIONE Charlotte <sup>(58-01)</sup>
HADJ-SAID Mehdi <sup>(57-01)</sup>	VINAÏ Michael <sup>(56-01)</sup>

### **ASSISTANTS DES UNIVERSITES ASSOCIES**

GRINE Ghilès <sup>(57-01)</sup>  
HOUVENAEHEL Brice <sup>(57-01)</sup>

Intitulés des sections CNU :

- 56<sup>ème</sup> section : Développement, croissance et prévention
- 56-01 Odontologie pédiatrique et orthopédie dento-faciale
- 56-02 : Prévention – Epidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale
- 57<sup>ème</sup> section : Chirurgie orale ; Parodontologie ; Biologie Orale
- 57-01 : Chirurgie orale – Parodontologie – Biologie orale
- 58<sup>ème</sup> 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

## Remerciements

A Madame la Professeur Anne RASKIN, Docteur en chirurgie dentaire

Je vous remercie de l'honneur que vous me faites de présider ce jury de thèse. Votre bonne humeur, votre gentillesse, votre disponibilité et votre savoir-faire que vous transmettez si bien, furent très agréables durant ces années d'études. Vous avez toujours su faire preuve de pédagogie tout en restant très proche des étudiants. Merci infiniment de m'avoir poussé à faire Erasmus, qui reste pour moi une expérience exceptionnelle.

Veillez trouver ici le témoignage de mon profond respect et de ma plus sincère estime.

A Monsieur le Docteur Daniel BANDON, Docteur en chirurgie dentaire

C'est avec une immense joie que je vous compte parmi les membres de mon jury. Merci de m'avoir formé au sein de votre cabinet et de m'avoir donné cette opportunité de faire ma première expérience de travail chez vous, avec confiance et gentillesse. Ce fut un réel plaisir et une vraie chance. Les vacances du mercredi après-midi en votre compagnie resteront sans nul doute parmi mes meilleurs souvenirs de mon cursus hospitalier. Votre précieux enseignement n'a d'égal que votre gentillesse et votre humour.

Je vous prie d'accepter mes remerciements les plus chaleureux ainsi que le témoignage de mon plus grand respect.

A Madame la Docteur Maud GUIVARC'H, Docteur en chirurgie dentaire

Je vous remercie et je suis honoré que vous ayez accepté de siéger dans ce jury. J'ai pu apprécier tout au long de mes études votre efficacité, votre gentillesse, votre humour et votre savoir-faire. Vous savez comment donner confiance aux élèves.

Je vous prie de bien vouloir trouver l'expression de mes plus sincères remerciements.

A Monsieur le Docteur Benoit BALLESTER, Docteur en chirurgie dentaire

Je vous remercie beaucoup d'avoir pu me diriger dans ce travail. Merci pour le temps (immense), l'attention et l'aide que vous m'avez apporté dans la rédaction de cette thèse, avec disponibilité et dévouement. Vos qualités d'enseignant et de soignant m'ont permis de mener à bien ce travail. Je vous remercie aussi pour tout ce que vous m'avez apporté lors de mon entrée en clinique. Vous savez mettre en condition de travail les élèves sans jamais oublier d'appliquer une rigueur de travail indispensable.

Je vous prie d'accepter mes remerciements les plus sincères et de bien vouloir recevoir ce travail comme le témoignage de ma profonde sympathie.



# SOMMAIRE

<b>1. Histologie de la dent et de la couche hybride .....</b>	<b>2</b>
<b>1.1 Histologie de la dent.....</b>	<b>2</b>
1.1.1 L'émail.....	2
1.1.2 La dentine.....	3
1.1.2.1 Composition.....	3
1.1.2.2 Structure.....	4
1.1.2.2.1 Les tubuli dentinaires ou canalicules dentinaires.....	4
1.1.2.2.2 Les différents types de dentine.....	5
1.1.2.2.2.1 La dentine primaire.....	5
1.1.2.2.2.2 La dentine secondaire.....	6
1.1.2.2.2.3 La dentine tertiaire.....	6
<b>1.2 Histologie de la couche hybride.....</b>	<b>7</b>
1.2.1 Mise en place de la couche hybride.....	8
1.2.2 La boue dentinaire.....	8
1.2.2.1 Structure de la boue dentinaire.....	9
1.2.2.2 Rôle de la boue dentinaire.....	9
1.2.2.3 Impact de la boue dentinaire sur le collage.....	10
1.2.3 Préparation de la surface dentinaire.....	11
1.2.4 Infiltration du réseau de collagénique.....	11
1.2.5 Les monomères d'adhésif envahissent le réseau collagénique.....	13
<b>2. Systèmes adhésifs et facteurs influençant la pérennité de la couche hybride. ....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 Les systèmes adhésifs amélo-dentinaires.....</b>	<b>14</b>
2.1.1 Adhésifs de quatrième génération (MR3).....	14
2.1.2 Adhésifs de cinquième génération (MR2).....	15
2.1.3 Adhésifs de sixième génération (SAM2).....	16
2.1.4 Adhésif de septième génération (SAM1).....	17
2.1.5 Adhésifs de huitième génération.....	18
2.1.6 Tableau récapitulatif.....	18
<b>2.2 Facteurs influençant la pérennité de la couche hybride .....</b>	<b>19</b>
2.2.1 La boue dentinaire.....	19
2.2.2 Epaisseur de la couche hybride.....	19
2.2.3 La phase résineuse se dégrade avec le temps.....	20
2.2.4 L'action des métalloprotéinases matricielles (MMPs).....	21
2.2.5 L'action des cystéines cathepsines.....	22
<b>3. Axes de recherche sur le traitement de la couche pré-hybride.....</b>	<b>23</b>
<b>3.1 Chlorhexidine (CHX) .....</b>	<b>23</b>
3.1.1 Définition.....	23
3.1.2 Action et utilisation.....	24
3.1.2.1 Effets communs au digluconate de CHX et au méthacrylate de CHX.....	24
3.1.2.2 Spécificités du digluconate de CHX.....	24
3.1.2.2.1 Avec ou avant le primaire.....	24
3.1.2.2.2 Avec l'acide orthophosphorique.....	25
3.1.2.2.3 Avec l'adhésif.....	25
3.1.2.2.4 Limites.....	25

3.1.2.3	Spécificités du méthacrylate de CHX.....	25
<b>3.2</b>	<b>Crosslinkers .....</b>	<b>26</b>
3.2.1	Définition.....	26
3.2.1.1	Les crosslinkers homobifonctionnels .....	26
3.2.1.2	Les crosslinkers hétérobifonctionnels.....	27
3.2.2	Action et utilisation.....	27
3.2.2.1	Les crosslinkers non endogènes.....	28
3.2.2.1.1	Glutaraldéhyde (GA).....	28
3.2.2.1.2	L'EDC.....	29
3.2.2.2	Les crosslinkers endogènes .....	29
3.2.2.2.1	Proanthocyanidol (PA).....	30
3.2.2.2.2	Génipine (GNP).....	31
<b>3.3</b>	<b>EDTA.....</b>	<b>32</b>
3.3.1	Définition.....	32
3.3.2	Action et utilisation.....	32
<b>3.4</b>	<b>Hypochlorite de sodium (NaClO) .....</b>	<b>33</b>
3.4.1	Définition.....	33
<b>4.</b>	<b>Propositions thérapeutiques adaptables en omnipratique.....</b>	<b>34</b>
4.1	Tableau récapitulatif des données récoltées .....	34
4.2	Quelles pistes pour le futur ?.....	37
	<b>Conclusion .....</b>	<b>38</b>

## Introduction

La dent subit tout au long de sa vie de nombreuses agressions, qui peuvent être physiques ou chimiques. Il va ainsi y avoir une atteinte de ses structures, superficielles et profondes, plus ou moins importante, selon l'intensité et la durée des attaques. La dent va lutter naturellement contre ces processus pathologiques. Si ses moyens de défense sont dépassés, il faudra alors une aide extérieure via le praticien pour pouvoir restaurer la dent.

Lors d'un processus de restauration direct, la dent sera traitée de manière à ce que ses fonctions physiologiques et ses défenses naturelles soient préservées et maximisées. De plus, on cherchera à ce que les matériaux de restauration se lient convenablement avec le substrat dentaire, afin que la liaison entre la dent et la restauration soit stable et durable dans le temps.

Au fur et à mesure des années, plusieurs types de traitements ont été envisagés pour conditionner la couche pré-hybride de manière optimale. Plusieurs chercheurs, via leurs études, ont tenté de prouver l'efficacité de leurs systèmes.

Le but de ce travail va être de mettre en évidence les différents traitements de la couche pré-hybride qui vont agir sur la pérennité des restaurations.

Après un bref rappel des bases histologiques, nous détaillerons la formation de la couche hybride et les différents types de système adhésifs amélo-dentinaires. Nous verrons ensuite les méthodes de conditionnement de la couche pré-hybride et finirons par une synthèse des solutions existantes, de leurs intérêts et de la possibilité de les utiliser en pratique quotidienne.

# 1. Histologie de la dent et de la couche hybride

## 1.1 Histologie de la dent

Nous allons commencer par distinguer deux grandes parties distinctes : la dentine et l'émail.

### 1.1.1 L'émail

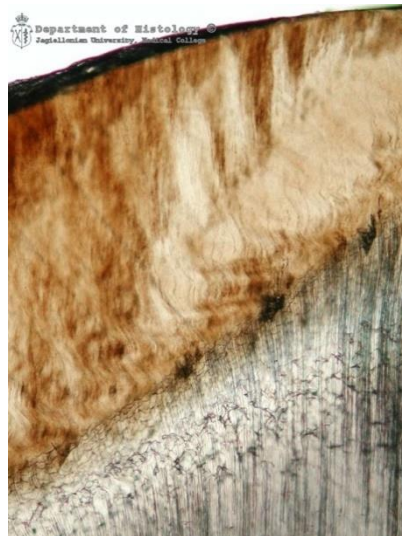
L'émail est la partie externe et visible de la couronne des dents. Il recouvre la dentine et représente la porte d'entrée principale de la carie. Associé au cément, à la pulpe dentaire et à la dentine, il est l'un des quatre principaux éléments constituant la dent. L'émail n'est pas innervé ni vascularisé. Il est constitué majoritairement de matière minérale (96%), le reste étant de l'eau et de matières organiques.

En termes d'épaisseur, celle-ci va varier selon la localisation. En effet, au niveau du bord libre de la dent, l'épaisseur de l'émail est bien plus importante, alors qu'au niveau de la zone cervicale celle-ci est beaucoup plus fine. (1)

L'émail est classiquement décrit comme étant constitué de trois phases différentes. La première est la phase minérale, avec ce qu'on appelle les sels inorganiques. Elle représente près de 96 à 98% de masse de l'émail. On va retrouver dans cette phase des cristaux d'hydroxyapatite  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ , qui sont l'association de phosphore et de calcium. On retrouve aussi d'autres éléments de manière bien plus minoritaire, comme des carbonates, du sodium, du magnésium, du chlore et du potassium.

Nous retrouvons ensuite la partie aqueuse, avec l'eau libre et l'eau liée, qui représente 2 à 3% de l'émail.

Enfin, en dernier lieu, nous trouverons la phase organique. Celle-ci réduit d'importance au fur et à mesure de la maturation de l'émail, passant de 20% à près de 0,6% de masse dans l'émail mature. On va retrouver principalement des protéines, comme des amélogénines, énamélines ou tuflines, mais aussi des lipides, avec des triglycérides, des acides gras libres, du cholestérol et des phospholipides.(1)(2)



→ Email

→ Dentine

Figure 1: Jonction émail-dentine (3)

## 1.1.2 La dentine

### 1.1.2.1 Composition

La dentine est une structure complexe de matériaux vivants et non-vivants. De teinte blanche jaunâtre, elle est moins dure que l'émail, mais cependant plus élastique. Elle est très liée avec sa structure sous-jacente, la pulpe, avec qui elle forme le complexe dentino-pulpaire. Elle va être recouverte coronairement par l'émail et radicairement par le cément.(4)

Nous allons retrouver ici aussi une phase minérale, qui représente 70% du poids, soit 40 à 45% du volume de la dentine. On retrouve des cristaux d'hydroxyapatite carboné et magnésié.

Nous retrouvons aussi une matrice organique, qui représente environ 20% du poids et 30% du volume de la dentine. Cette matrice, est composée de 90% de collagène (principalement type I, sécrété par les odontoblastes) et de 10% de protéines non collagéniques (protéoglycanes et lipides).

Enfin, nous retrouvons 10% d'eau, soit beaucoup plus que dans l'émail. Le volume de l'eau représente 20 à 25% du volume dentinaire total. (4)(5)(6)

### 1.1.2.2 Structure

La dentine est sécrétée par les odontoblastes. On va retrouver à l'intérieur de la dentine de nombreuses canalicules ou tubuli dentinaires, qui sont des travées qui vont traverser les différents types de dentine que nous détaillerons juste après.

#### 1.1.2.2.1 Les tubuli dentinaires ou canalicules dentinaires

Les tubuli dentinaires ou canalicules dentinaires sont des cavités cylindriques qui vont traverser la dentine. Elles sont bien plus nombreuses dans la couronne que dans la racine, et ont des variations anatomiques selon leur localisation. On va les retrouver de manière verticale au niveau de la couronne, transversale dans la racine ou en « S » dans le collet. Elles peuvent communiquer entre elles et présentent des ramifications collatérales. La densité tubulaire, à l'origine de la perméabilité dentinaire, est extrêmement variable, de 18 à 20 000 canalicules par  $\text{mm}^2$ .(4)

Au sein de ces canalicules dentinaires se trouvent des prolongements cytoplasmiques (ou fibres de Tomes). Il y en a un par canalicule. Il est difficile de savoir la longueur exacte du prolongement cytoplasmique dans le canalicule dentinaire, on estime que celui-ci irait jusqu'à la jonction amélo-dentinaire. (5)

En vieillissant, il y a une minéralisation canaliculaire, créant une atrophie des fibres de Tomes.(4)

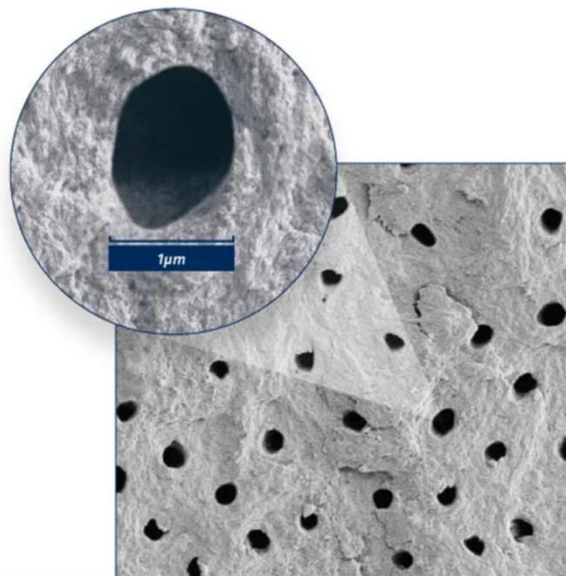


Figure 2 : Tubuli dentinaires (7)

#### *1.1.2.2.2 Les différents types de dentine*

Au fur et à mesure de la vie, la dentine va évoluer, s'accroître, se différencier. Elle peut subir de nombreuses agressions physiologiques ou pathologiques, et va s'en retrouver modifiée.

On va distinguer trois types de dentine différents :

- La dentine primaire
- La dentine secondaire
- La dentine tertiaire

##### *1.1.2.2.2.1 La dentine primaire*

La dentine primaire est la couche de dentine qui va apparaître sur la dent jusqu'à la formation de l'apex. En premier lieu nous allons retrouver, au niveau le plus coronaire, le manteau dentinaire ou « mantle dentin ». Celle-ci est hypominéralisée, riche en collagène et atubulaire. En effet, les odontoblastes ne sont pas assez matures pour avoir des prolongements cytoplasmiques à l'origine des canalicules. Elle se situe juste sous l'émail et est extrêmement sensible aux caries. Ce manteau dentinaire est épais et élastique, ce qui lui permet de résister aux chocs. Elle est associée à deux autres couches périphériques, la couche granuleuse de Tomes et la couche hyaline, qui sont très élastiques elles-aussi. (4)(5)

En second lieu, nous retrouvons la dentine circumpulpaire. Celle-ci va être produite par les odontoblastes polarisés. Cette dentine va présenter de nombreux canalicules en « S ». On va retrouver la présence de lignes de Von Ebner, caractérisées par des stries hypominéralisées entre deux couches successives de dentine. (4) Toutes les 4 à 5 lignes de Von Ebner, nous retrouvons une ligne d'Owen. (5)

On retrouve aussi des zones de dentine peu ou pas minéralisées, dites interglobulaires de Czermark. On les retrouve surtout au niveau de la couronne, à proximité de la pulpe et de la jonction amélo-dentinaire. Au niveau radiculaire, la couche granuleuse de Tomes présente également des lacunes de minéralisation.(4)

Dans la dentine circumpulpaire peut se distinguer en dentine intercanaliculaire et dentine péricanaliculaire :

- La dentine intercanaliculaire est très faiblement minéralisée mais extrêmement riche en collagène. Elle va comporter de nombreux minéraux, qui vont être parallèles aux fibres de collagène. Elle résulte de la transformation de prédentine en dentine.(5)
- La dentine péricanaliculaire est très minéralisée, bien plus que celle intercanaliculaire (40% de minéraux en plus) (4) et a un rôle dans la résistance des tubuli dentinaires. Elle est sécrétée plus tardivement que l'intercanaliculaire, ne présente pas de collagène et est très sensible à la déminéralisation.(5)

#### *1.1.2.2.2 La dentine secondaire*

La dentine secondaire fait son apparition à partir du moment où la dent rentre en contact avec la cuspide de la dentine antagoniste. Elle continue de se former tout au long de la vie. Elle n'a que très peu de différence avec la dentine primaire et reprend les mêmes caractéristiques intrinsèques, avec la présence de dentine circumpulaire, péricanaliculaire et intercanaliculaire. La différence la plus notable est qu'il y a moins de canalicules et que ceux-ci sont bien plus incurvés. Au fur et à mesure de la vie, cette dentine va empiéter sur l'espace de la pulpe et des canaux radiculaires. (6)

#### *1.1.2.2.3 La dentine tertiaire*

Plusieurs éléments peuvent être à l'origine d'attaques physiques, thermiques ou chimiques contre la dentine.

Dans le cas du processus carieux, s'il franchit l'émail (ou le cément) et atteint la dentine, on va avoir en premier lieu le clivage de la jonction amélo-dentinaire. Le manteau dentinaire le plus périphérique va être dégradé, et les bactéries vont aller vers des couches de plus en plus profondes (il y aura plus de canalicules, favorisant la progression rapide de la lésion carieuse). En réponse à l'agression, et grâce à des phénomènes de dissolution-reprécipitations, de la dentine sclérotique va se former. C'est une dentine dont les canalicules contiennent de nombreux cristaux de phosphate de calcium permettant leur « obturation » et limitant ainsi la progression des bactéries et de leurs toxines.(5)

Lorsque la progression de la lésion carieuse est lente, et que l'agression est relativement légère, on remarque la formation d'une couche de dentine qui peut être tubulaire ou atubulaire, mais qui est sécrétée par les odontoblastes. C'est la dentine réactionnelle.(4)(5)



Lorsque la progression de la carie est rapide, importante, les systèmes de défense sont dépassés et les odontoblastes primaires meurent. Les cellules pulpaires seront donc recrutées et vont être à l'origine d'une nouvelle dentine atubulaire, appelé dentine réparatrice.(4)(5)

## 1.2 Histologie de la couche hybride

La couche hybride est la résultante d'un phénomène d'hybridation de la dentine, c'est-à-dire de la dissolution du tissu dur, suivi de son infiltration par des monomères de résine qui vont permettre de changer les propriétés physico-chimiques de la surface dentinaire, mais aussi des couches sous-dentaires. Cela permet de créer une interface entre la couche dentinaire et la résine. Ceci a été expliqué en 1982 par Nakabayashi *et al.* (8), qui ont montré comment l'infiltration de monomères de résine modifie une surface qui était au départ cristalline, sensible à l'acide et relativement hydrophile, en une surface organique, résistante à l'acide et relativement hydrophobe. Cette nouvelle surface n'est plus de la dentine ou de la résine, mais un compromis entre les deux. Pour résumer, la couche hybride est l'assemblage des polymères de fibres de collagène issus de la dentine avec les polymères issus de la résine adhésive.(9)

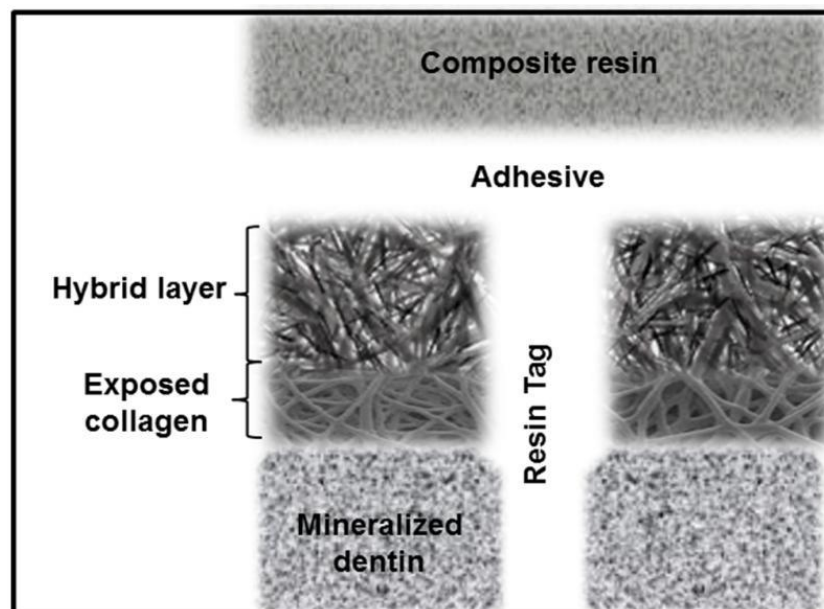


Figure 3: Formation de la couche hybride(10)

### 1.2.1 Mise en place de la couche hybride

Pour la mettre en place, deux protocoles sont possibles. Les SAM (Systèmes Auto Mordançant) et les MR (Mordantage-Rinçage). Ce sont deux familles de système amélo-dentinaire s'utilisant via deux protocoles distincts, qui divergent par le rinçage (ou non) de la phase acide initiale mais également par leur traitement de la boue dentinaire.

Plus récemment, des systèmes dit « Universel » prétendent pouvoir supporter les deux protocoles d'utilisation.

### 1.2.2 La boue dentinaire

La boue dentinaire, ou « smear layer », peut être considérée comme la couche de matériel organique et inorganique produite lors de la préparation cavitaire (ou également par l'instrumentation endodontique). Elle ne contient pas simplement des débris dentinaires, mais également des particules d'émail, de ciment, voire des bactéries. (11)

Cette boue dentinaire représente un vrai obstacle lors du traitement de lésions carieuses ou lors de soins endodontiques. Il va falloir, lors des processus d'adhésion, la traiter afin qu'elle ne représente plus un frein. Selon les cas, il faudra l'éliminer ou la modifier puis l'imprégner de résine pour permettre la meilleure des liaisons possibles.(12)

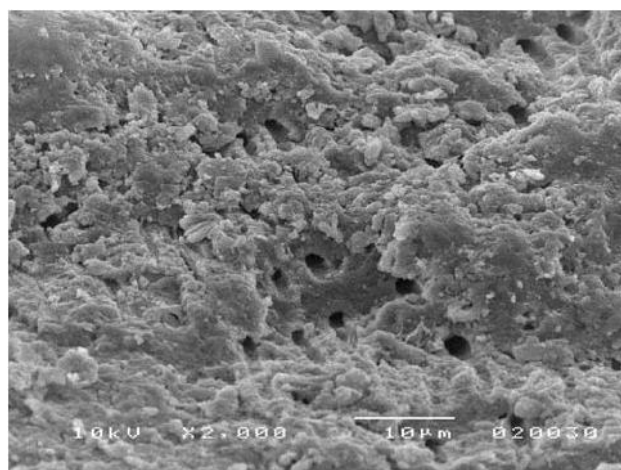


Figure 4 : Boue dentinaire répandue sur la surface dentinaire (8)

### 1.2.2.1 *Structure de la boue dentinaire*

La boue dentinaire est créée par la destruction des tissus durs, liés à l'utilisation des instruments rotatifs ou d'instruments manuels. C'est une couche difficile à éliminer, qui a une épaisseur de 1 à 5  $\mu\text{m}$ , mais peut pénétrer jusqu'à 10 $\mu\text{m}$  dans les tubules dentinaires. Il est pratiquement impossible d'anticiper son volume et son épaisseur.(13)(14)(15) Elle est constituée d'éléments organiques et inorganiques, comme des copeaux dentinaires, du collagène dénaturé, des fragments de cristaux d'hydroxyapatite.(13)(15)

On va distinguer deux surfaces différentes :

- Une surface superficielle fine et amorphe, qui va être plus susceptible d'être conditionnée par le système adhésif.
- Une seconde plus profonde, constituée de débris dentinaires, située au niveau des tubuli dentinaires et qui va les obstruer.(13) Cela est dû aux vibrations et l'action des instruments, mais aussi à l'action de forces de capillarité au niveau des tubuli dentinaires.(15)

### 1.2.2.2 *Rôle de la boue dentinaire*

La boue dentinaire a plusieurs rôles, positifs et négatifs.

Dans les côtés positifs, elle va permettre de réduire la perméabilité dentinaire de l'ordre de 86% en bloquant les tubuli, et ainsi diminuer drastiquement la pénétration des bactéries.(13) Elle peut aussi empêcher le fluide dentinaire d'aller à la surface de la dent et de se déplacer, permettant une diminution de la sensibilité. Certains systèmes adhésifs utilisent justement cette boue dentinaire pour pouvoir diminuer les sensibilités post opératoire.(13)(16)

Malheureusement, cette boue dentinaire n'est pas une barrière fiable en ce qui concerne les bactéries, elle est poreuse et mal liée avec la dentine sous-jacente, entraînant une rupture de sa liaison avec celle-ci dans le temps. (13) Cette boue dentinaire empêche de réaliser une bonne désinfection. En effet, c'est un réservoir à bactéries, pouvant également servir de substrat et favoriser ainsi leur développement.(13)(15)

### 1.2.2.3 Impact de la boue dentinaire sur le collage

Nous avons vu précédemment que la couche hybride et la boue dentinaire sont intimement liées. En effet, la couche hybride ne sera de qualité que si la boue dentinaire est convenablement conditionnée.

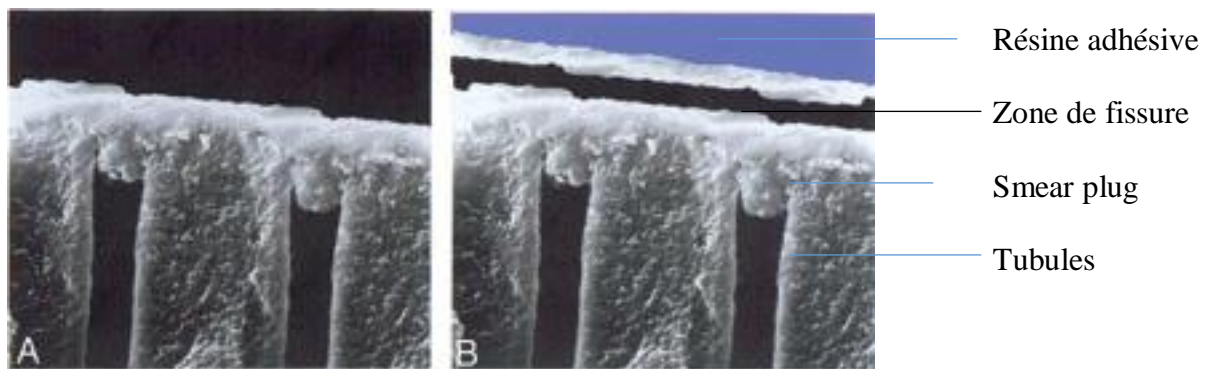


Figure 5 : La zone de fissure après application de résine adhésive (17)

On peut voir ici la boue dentinaire en surface et les tubuli dentinaires obstrués par cette dernière. On appelle cela un « smear plug ». Lors de l'application de la résine adhésive, sans application préalable d'acide, on remarque que celle-ci ne parvient pas à pénétrer au sein de la boue dentinaire. Avec le temps, il va se créer une zone de rupture entre la dent et la restauration. Cela va créer un risque important d'apparition de sensibilités post-opératoires ou de caries secondaires.(17)

De plus, si cette boue dentinaire persiste après la pose du matériau de restauration, il est probable que celle-ci se dissolve par hydrolyse de manière progressive, ce qui va permettre sur le long terme aux bactéries d'infiltrer le joint dent-restauration.(13)

C'est pour cela que l'on va retrouver dans tous les systèmes adhésifs modernes l'usage d'un acide.

### 1.2.3 Préparation de la surface dentinaire

Classiquement, on peut décrire la création de cette couche hybride en trois étapes.

En premier lieu, la surface dentinaire est préparée avec une phase dite de mordantage acide. L'acidification du milieu va être à l'origine d'une dissolution de la boue dentinaire et de la dentine, créant ainsi une surface plus rugueuse.(18)

Après cela, le maintien de l'hydratation du collagène est indispensable avant la pénétration de monomères de résine afin d'éviter que la matrice se effondre suite à la formation de liaisons hydrogènes entre les fibrilles de collagène. (19)

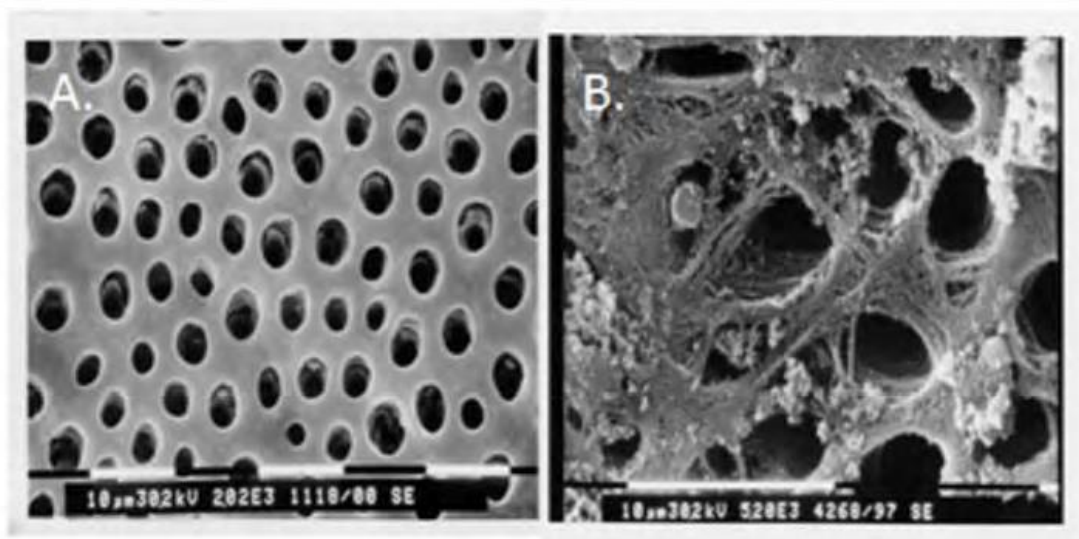


Figure 6 : Deux types de dentine :

A : Dentine séchée à l'air : réseau collagénique regroupé. B : dentine après absorption de l'eau : collagénique non regroupé (20)

### 1.2.4 Infiltration du réseau de collagénique

Le réseau collagénique est hydrophile. Pour que la résine adhésive parvienne à envahir entièrement les fibrilles de collagène jusqu'à atteindre le front de déminéralisation, il faut rendre ce réseau collagénique hydrophobe.

Pour cela, on va utiliser un primaire (composé d'eau, de solvants organiques et de monomères hydrophiles) qui aura pour but de remplacer l'eau déjà présente dans et autour du collagène et de pénétrer dans le réseau de fibres de collagène pour une bonne hybridation. Utilisé avant

ou avec l'adhésif, il va permettre de maintenir le réseau de collagène en expansion ou, s'il a été collapsé lors du séchage, obtenir sa ré-expansion. (19)(21)

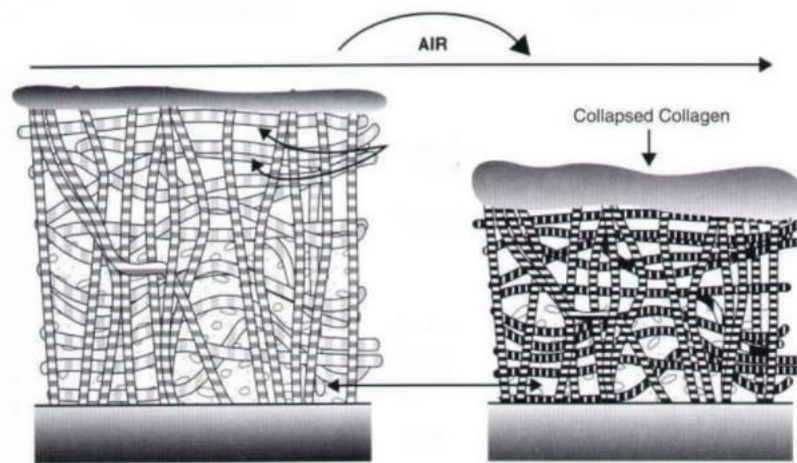


Figure 7 : Comportement du réseau collagénique avant et après séchage (14)

Le primaire le plus utilisé est l'HEMA (hydroxy ethyl methacrylate), car il est totalement soluble dans l'eau. (21)(22)

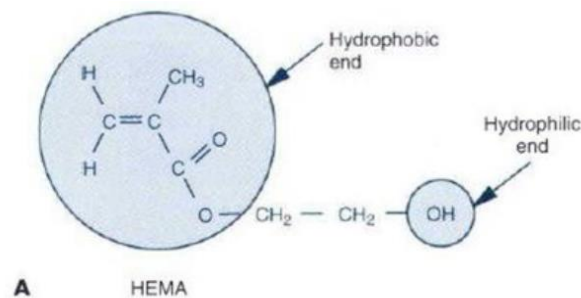


Figure 8 : Formule chimique HEMA

L'HEMA a deux terminaisons :

- Une hydrophile qui va déplacer le fluide dentinaire, et mouiller la surface
- Une hydrophobe qui va permettre de se lier à la résine composite (14) (23)

Afin d'améliorer la pénétration du primaire, les monomères résineux sont dilués dans des solvants tels que l'eau, l'alcool d'éthyle ou l'alcool de butyle. Ils peuvent également être mélangés à de l'acétone, pour permettre de déplacer l'eau déjà existante. Pashley assure que l'éthanol, utilisé comme co-solvant, est très utile car il permet d'éliminer l'eau libre mais également une partie de l'eau liée au collagène.(24)

### 1.2.5 Les monomères d'adhésif envahissent le réseau collagénique

Maintenant que ces deux étapes sont réalisées, il est désormais possible d'utiliser la résine adhésive. Celle-ci va s'introduire dans le réseau de collagène et au niveau des surfaces intra et intertubulaires. (25). Il faut ensuite polymériser la résine adhésive après évaporation des solvants.

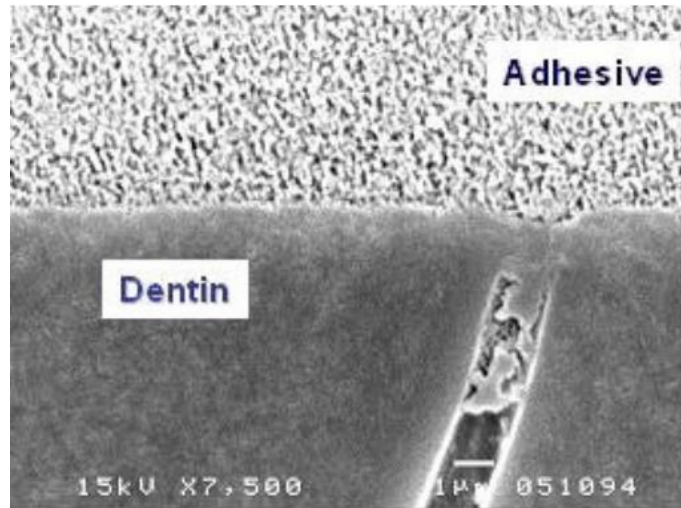


Figure 9 : Infiltration de résine adhésive au sein de la dentine(25)

## **2. Systèmes adhésifs et facteurs influençant la pérennité de la couche hybride.**

### **2.1 Les systèmes adhésifs amélo-dentaires**

Il y a eu près de huit générations différentes de système adhésifs amélo-dentaires. Ils ont été classés par leur capacité à modifier, éliminer ou dissoudre la boue dentinaire, mais aussi le nombre d'étapes nécessaire.

Ils peuvent aussi être classés en trois types distincts :

- Les MR pour Mordançage Rinçage (« Etch and Rinse adhesive »)
- Les SAM pour Systèmes Auto-Mordançants (« Self-Etch adhesive »)
- Les adhésifs universels.

A partir de la 4<sup>ème</sup> génération (les trois premières générations étant aujourd'hui obsolètes), le nombre d'étape a eu tendance à diminuer, passant progressivement de trois à une seule étape. (17) (23) (26)

#### **2.1.1 Adhésifs de quatrième génération (MR3)**

Les adhésifs de la quatrième génération font partie de la famille des Mordançage Rinçage. Le but va être en premier lieu d'appliquer de l'acide orthophosphorique sur la dentine, qui va éliminer la boue dentinaire, mais aussi sur l'émail, pour créer des micro-porosités, permettant à la résine d'adhérer par capillarité.(23) La dentine et l'émail vont être mordancés pendant 15 à 20 secondes par de l'acide orthophosphorique d'une concentration d'environ 37%. (23)

Il faut se méfier, car avec ce système il se peut que la zone de dentine déminéralisée devienne un point de faiblesse pour l'adhésion, du fait de l'hydrolyse potentielle des fibres de collagène prenant part à la formation de la couche hybride. Il faut absolument que toutes les fibres soient par la suite imprégnées par de la résine pour les protéger. En effet, une mauvaise imprégnation donne une perméabilité aux fluides externes et aux enzymes protéolytiques



relâchées durant l'étape de mordantage.(27)

Le système MR3 est le système où le nombre d'étape est le plus important. On va d'abord appliquer l'acide orthophosphorique, le rincer, sécher la dentine sans la dessécher puis passer le primaire en une ou plusieurs couches. Une fois cela fait, il faut sécher le primaire, passer l'adhésif, sécher de nouveau puis enfin polymériser. Ce système adhésif est conditionné en trois parties (3), cela est à l'origine de son nom.

C'est aujourd'hui pour beaucoup le meilleur système qui procure les meilleures liaisons, mais par son nombre élevé d'étape, le risque d'erreur lié au praticien est important. (23)

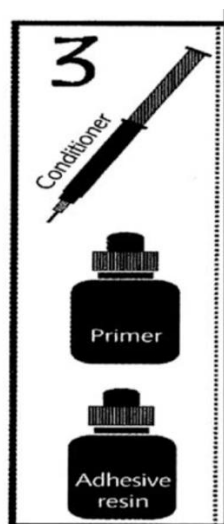


Figure 10 : MR3(28)

### 2.1.2 Adhésifs de cinquième génération (MR2)

Nous sommes toujours dans la famille des MR. La différence ici sera que le primaire et l'adhésif sont réunis dans le même flacon. Les étapes se retrouvent ainsi réduites, les erreurs du praticien diminuées.

Le problème que nous risquons de rencontrer ici est que le primaire, de tendance hydrophile, ne sera pas recouvert d'adhésif à tendance hydrophobe comme dans les cas des MR3. De ce fait, il est plus susceptible d'avoir un risque d'hydrolyse par l'eau avec le temps. (23)



Figure 11 : MR2 (28)

### 2.1.3 Adhésifs de sixième génération (SAM2)

Dans la famille des Systèmes Auto-Mordançants, la phase de mordançage va être incorporée avec le primaire. Les deux éléments seront dans un seul et même flacon, déjà mélangés. La particularité de ce système est donc que nous n'utiliserons plus d'acide phosphorique, mais des monomères acides, avec conservation de la boue dentinaire transformée.(26) L'adhésif sera ensuite appliqué seul.

L'acidité sera dite soit « strong » quand le  $\text{pH} < 1$ , « intermediate » quand le  $\text{pH}$  est d'environ 1,5, ou « low » quand le  $\text{pH}$  est aux alentours de 2. Selon l'acidité, on aura plus ou moins de boue dentinaire conditionnée. Un  $\text{pH}$  de 2 conduirait à une déminéralisation partielle de la dentine et laisserait les cristaux d'hydroxyapatite autour des fibres de collagène, ce qui permettrait également à certains systèmes adhésifs d'établir une liaison chimique. (23)(28)

D'après des études, il semblerait que la liaison à la dentine reste de bonne qualité, mais que la liaison avec l'émail soit moins bonne. En effet, les monomères utilisés pour l'acide n'auraient pas un  $\text{pH}$  adapté pour la liaison avec l'émail. Il serait donc nécessaire d'effectuer préalablement un mordançage sélectif de l'émail (en prenant soin de bien préserver la dentine) avec de l'acide orthophosphorique pour obtenir une meilleure liaison à l'émail.(23)

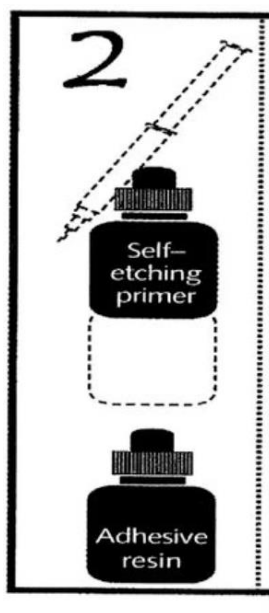


Figure 12 : SAM2 (28)

#### 2.1.4 Adhésif de septième génération (SAM1)

Ce système-là fait aussi partie des SAM. La particularité majeure est que la simplification est poussée à son maximum en réduisant le nombre d'étape à un. L'acide, le primaire et l'adhésif sont réunis dans un seul et même flacon, ce qui limite au maximum le risque d'erreur lié au praticien.

Le problème que l'on va rencontrer est la présence importante d'eau dans ce système. Cela peut générer une dégradation hydrolytique sur le long terme, mais aussi être à l'origine d'une absorption de l'eau, d'une solubilité dans celle-ci et d'une diminution de la pénétration de la résine, ce qui permettrait l'apparition d'espaces vides.(14)(23)

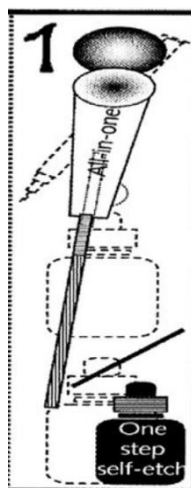


Figure 13 : SAM1(28)

### 2.1.5 Adhésifs de huitième génération

Les adhésifs de huitième génération, ou adhésifs universels, ont leur particularité qui réside dans le fait que des monomères très petits (de l'ordre de 12 nanomètres) seront utilisés. Ils auront de plus la possibilité de se lier avec le substrat dentinaire, comme les cristaux d'hydroxyapatite, permettant une liaison plus forte. Les monomères vont ainsi mieux pénétrer, et on va retrouver une épaisseur de la couche hybride plus importante. La liaison émail-dentine se retrouve améliorée, ainsi que sa durée de vie. (23)(29)

Ils seront aussi utilisés en une seule étape, à la manière des SAM. On peut également privilégier un mordantage sélectif de l'émail pour améliorer ses performances. (23)(29)

### 2.1.6 Tableau récapitulatif

Nous voyons ici un tableau qui récapitule les deux grandes familles d'adhésifs précédemment citées, ainsi que leurs modes d'application. (30)

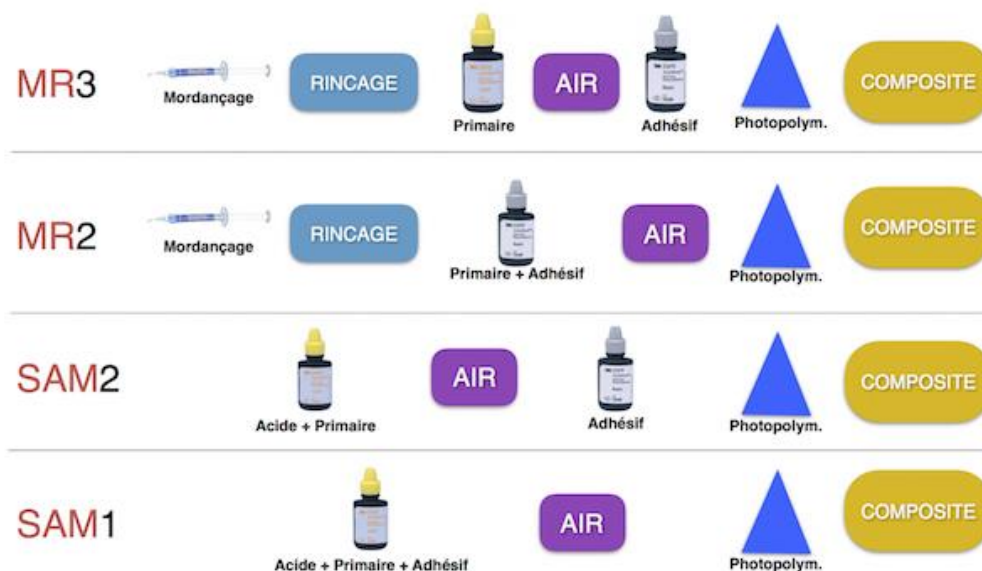


Figure 14 La classification des adhésifs (30)

Ainsi, le choix de l'adhésif aura un vrai impact sur la durée de vie de la couche hybride.

## 2.2 Facteurs influençant la pérennité de la couche hybride

### 2.2.1 La boue dentinaire

Comme vu précédemment, celle-ci a pour vocation d'être éliminée dans les cas des MR3 et MR2, par l'application d'un acide, ou conservée et modifiée dans le cas des SAM1 et SAM2 et permettre d'assurer une couche hybride stable et solide.(31)

En ce qui concerne les SAM, des auteurs ont déclaré qu'il n'y avait pas de conséquences sur la force de liaison résine/dent malgré les variations de boue dentinaire. Cependant, une double application de l'adhésif sur la boue dentinaire permettrait une liaison plus forte. (31)

### 2.2.2 Epaisseur de la couche hybride

Naturellement, il serait logique de penser que l'épaisseur de la couche hybride pourrait avoir un impact sur la force et la nature de la liaison avec la dentine. De nombreuses études ont étudié le problème, et les résultats sont variés.

Le temps d'application de l'acide orthophosphorique a effectivement un lien sur l'épaisseur de la couche hybride. Plus celui est appliqué longtemps, plus la couche hybride semble épaisse. Mais à partir d'un temps trop important (au-delà de 120s), la couche hybride ne semble plus augmenter en épaisseur. Un temps d'application d'acide orthophosphorique trop important nuit à une bonne liaison, ce qui fait que dans ce cas-là, l'épaisseur de la couche hybride n'aura pas de conséquences positives sur l'adhésion. (32)

Une épaisseur de la couche hybride plus importante permettrait d'avoir une liaison de meilleure qualité dans le cadre de l'utilisation d'un système MR. En effet, consécutivement à l'application d'acide orthophosphorique, il faut impérativement que l'ensemble du collagène libéré soit infiltré par la résine adhésive. Ainsi, lors de l'utilisation d'un système MR, une couche hybride plus épaisse ressort comme un critère statistique positif associé à une liaison à la dentine de meilleure qualité.

Dans les systèmes SAM par contre, où le collagène est infiltré de manière concomitante à la dissolution de la dentine, les variations d'épaisseur de couche hybride n'apportent pas de différence en ce qui concerne la force de liaison.(21) (33) (34)

### 2.2.3 La phase résineuse se dégrade avec le temps

Dans tous les systèmes adhésifs, on retrouvera une polymérisation incomplète de la partie hydrophile des adhésifs et une absorption de l'eau, engendrant un déplacement d'eau. Cela créera l'apparition de larges chaînes aqueuses au sein de la couche hybride, qui vont être à l'origine d'une hydrolyse progressive de celle-ci.

On va retrouver deux types de défaut de la couche hybride. Le premier serait lié au collage en lui-même, avec par exemple la mauvaise gestion du protocole adhésif ou de la rétraction de prise de la résine composite lors de la polymérisation, ce qui entraînerait une dégradation de la couche hybride sur le long terme. Ce défaut va être à l'origine d'une diffusion de l'eau accentuée, qui va créer deux types de problèmes :

- Tout d'abord, les « nanoleakages ». On va retrouver des zones de « vide » au sein de la couche hybride dues à la mauvaise pénétration de la résine adhésive. Ces zones vont être à l'origine de la diffusion de molécules de très faibles poids entre la zone de la couche hybride et la zone de dentine intact, ce qui peut créer sur le long terme une dégradation hydrolytique.
- On a ensuite les « microleakages », qui seront un autre problème à anticiper. Dans ce cas-là, on retrouvera la diffusion de bactéries, molécules, ions, ou d'eau entre la résine composite et la cavité de restauration.(19)(28)

A sa surface, le collagène est enveloppé par des glycosaminoglycanes (ou GAG), qui ont la capacité de retenir l'eau, susceptible de créer un risque d'hydrolyse sur le long terme.(19)

## 2.2.4 L'action des métalloprotéinases matricielles (MMPs)

Les MMP ont aussi leur impact sur la pérennité de la couche hybride. C'est une famille de protéases dépendantes du  $\text{Ca}^2$  ou du  $\text{Zn}^{2+}$ , que l'on retrouve dans de très nombreux processus physiologiques et pathologiques. C'est une famille de 28 membres, dont 23 chez l'humain, divisée en 6 groupes différents. (19) (35)

La dentine contient beaucoup de MMPs, à la base inactives (proMMPs), piégées dans la matrice dentinaire minéralisée (24). Les proMMPs restent inactives par le fait qu'au sein de leur prodomaine subsiste une cystéine qui forme un pont avec la zone catalytique. Cette cystéine « switch » permet d'éviter que la MMP se lie avec le substrat et le dégrade.

Les MMP vont être rendues actives par une activité protéolytique, initié par une cystéine catépsine, une protéinase, une autre MMP ou un pH faible.(24)(19)(36)

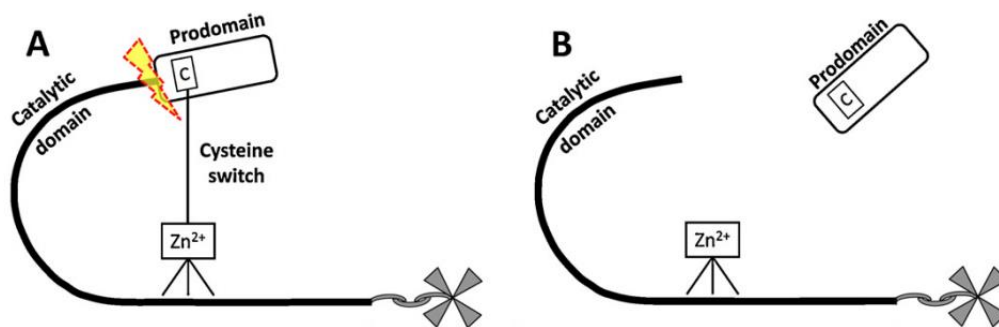


Figure 15 : Libération du site catalytique par le mécanisme de la cystéine switch (19)

On a cru pendant longtemps que c'était l'action de l'acide orthophosphorique qui était responsable de l'activation des MMPs, mais le pH trop faible de l'acide ne pouvait les activer. On a donc conclu que c'était l'application d'adhésif qui serait à l'origine de leur activation. Lors de son application, les monomères de résine permettent de maintenir les MMPs inactives. Cependant, l'infiltration du réseau collagénique n'étant pas parfaite, il y a la persistance d'une fine couche de collagène non infiltrée. Celle-ci contient des MMP, qui peuvent dégrader le collagène par phénomène d'hydrolyse. Ils vont cibler la triple hélice de collagène et la dégrader par la suite. (24)(19)

### 2.2.5 L'action des cystéines cathepsines

Formées dans le lysosome, les cystéines cathepsines (CC) font parties des protéines capables de dégrader le collagène. Elles sont transformées de leurs formes pro-actives en leurs formes actives soit par l'acidification de l'endosome directement, ou par l'action d'autres protéases, tels que les MMPs.(37)

La cystéine est retrouvée à la fois dans les odontoblastes mais aussi dans la pulpe, et il est important de noter qu'il y a autant de variétés de cystéines que de MMPs dans la dentine et la pulpe. On remarque d'ailleurs une forte corrélation entre l'activité des MMPs et de la cystéine. (19)(37)

En ce qui concerne leur rôle, on retrouve :

- L'activation de MMP-1 par la cystéine cathepsine B
- Le clivage de la triple hélice de collagène par la cathepsine K
- La faculté de couper les extensions non hélicoïdales du collagène par les cathepsines B et L.(19)(37)

L'activité des cystéines est régulée par TGF-béata, ou « transforming growth factor », qui est un facteur de croissance. (37)



### 3. Axes de recherche sur le traitement de la couche pré-hybride

Notre but ici sera de différencier plusieurs produits de traitement de la couche pré-hybride. Chacun a ses particularités et son mode d'action.

#### 3.1 Chlorhexidine (CHX)

##### 3.1.1 Définition

La Chlorhexidine, ou CHX, est un antiseptique à large spectre d'action (38). Il est utilisé depuis les années 1950, et a une double activité, en particulier sur les bactéries Gram+ mais aussi sur les Gram-. Majoritairement utilisé dans les traitements parodontaux, il est aussi fréquemment utilisé comme gel, dentifrice, spray ou même chewing-gum sans sucre aujourd'hui.(38)(39)(40)

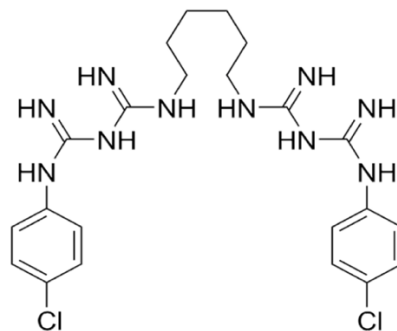


Figure 16 : Structure de la Chlorhexidine (38)

Deux types de CHX seront particulièrement utilisés en Odontologie :

- Le digluconate de CHX
- Le méthacrylate de CHX

### 3.1.2 Action et utilisation

#### 3.1.2.1 *Effets communs au digluconate de CHX et au méthacrylate de CHX*

La CHX est un biguanide cationique, qui inhibe la dégradation collagénique de la matrice dentaire. De plus, elle a une forte affinité avec la structure dentaire, et se lie facilement avec les groupes phosphates de la dentine déminéralisée et les groupes carboxyles de la matrice de collagène. (41)

Le digluconate et le méthacrylate de CHX vont pouvoir inhiber l'activation des MMP-2, MMP-8 et MMP-9, qui ont une action délétère sur le réseau collagénique. Pour cela, ils vont :

- Séquestrer les ions zinc et calcium, qui sont essentiels pour activer les domaines catalytiques des MMPs, et ainsi rendre impossible leurs actions.
- Agir sur l'action des cystéines cathepsines B, K, L, qui jouent un rôle dans l'activation des MMP.

Cela va permettre ainsi de préserver l'intégrité de la couche hybride, mais aussi d'augmenter la force et la durabilité de liaison entre la résine et la dentine. (41)(42)(43)(44)

#### 3.1.2.2 *Spécificités du digluconate de CHX*

Il est important de noter que même une très faible concentration de CHX appliquée seule (de l'ordre de 0,002 ou 0,02%), pendant un temps allant de 15 à 30 secondes, a des effets positifs. En termes d'utilisation, le digluconate de CHX peut être utilisé de différentes manières. Il peut être soit utilisé juste avant le primaire ou avec le primaire, soit être incorporé dans l'adhésif. Il n'est pas utile avant l'acide orthophosphorique. (41)(44)

##### 3.1.2.2.1 *Avec ou avant le primaire*

Il semblerait que l'action de la CHX sur la dentine déminéralisée reste la méthode de choix. En effet, la déminéralisation de la dentine augmente les chances que le CHX se lie avec elle. Ainsi, il est préférable d'utiliser la CHX avec les systèmes MR.

En termes d'utilisation, on recommande de 0,2% à 2% de concentration, pour une durée allant de 15 à 60s. C'est dans ce mode d'application que la force de liaison est la plus importante, et que l'interface dentine-résine la plus durable dans le temps, même sur une dent temporaire.(41)(43)

#### *3.1.2.2.2 Avec l'acide orthophosphorique*

On est encore dans le cas du système adhésif de type MR. On remarque que l'incorporation avec l'acide orthophosphorique n'est pas tellement avantageuse. En effet, le temps de contact étant limité par les impératifs liés au mordantage et un rinçage à l'eau, l'inhibition des MMPs et des cystéines cathepsines est moins importante.(41)

#### *3.1.2.2.3 Avec l'adhésif*

Les résultats sont controversés. En effet, la concentration de CHX dans la formule adhésive peut avoir une influence sur l'adsorption de l'eau, sur la solubilité et on remarque une diminution des propriétés mécaniques et de la durabilité de la liaison dentine-résine composite. (41)(44)

#### *3.1.2.2.4 Limites*

L'effet du CHX est réduit dans le temps. La CHX est une molécule large, insoluble qui disparaît progressivement de l'adhésif. Celle-ci disparaît d'autant plus vite s'il y a un contact extérieur qui est établie, comme dans le cas de restaurations débordantes ou de détériorations marginales.(41)

#### *3.1.2.3 Spécificités du méthacrylate de CHX*

Le méthacrylate de CHX, permet aussi de protéger la force de liaison et de réduire le risque de nanoleakage. D'ordinaire utilisé avec le primaire, il permet d'augmenter la durée de la couche hybride et d'inhiber l'activité des MMPs comme la CHX ordinaire.

Il aura une action supplémentaire, celle de se lier avec les monomères d'adhésif et de copolymériser avec eux. Ainsi, il ne serait pas lié uniquement électrostatiquement, mais bien ancrée dans la couche hybride pendant plusieurs années.

Généralement associé à l'éthanol, cela va permettre aussi de réduire l'eau résiduelle et réduire son effet d'hydrolyse. (41)(44)

## 3.2 Crosslinkers

### 3.2.1 Définition

En biologie, un cross-link est la liaison qui lie une chaîne de polymère à une autre. Le but va être ainsi de créer une chaîne de polymère plus importante pour que celle-ci devienne plus résistante à la dissolution. L'agent crosslinker est une molécule qui doit avoir au moins deux terminaisons réactives pour se connecter aux chaînes de polymères.

Nous les classons en deux catégories : les homobifonctionnels et les hétérobifonctionnels.(45)(46)

#### 3.2.1.1 *Les crosslinkers homobifonctionnels*

Les crosslinkers homobifonctionnels contiennent deux groupes fonctionnels réactifs identiques. Les terminaisons réactives sont choisies pour leurs propriétés chimiques particulières. Elles vont avoir pour but de se lier aux amines primaires et aux groupes hydroxyle de sulfate des protéines cibles. (47)

On les utilise pour des conjugaisons simples où l'agent crosslinker sera entièrement lié à un seul type de site réactif. (48) Il agit comme une « corde » moléculaire en se liant avec des protéines de manière covalente.(49)

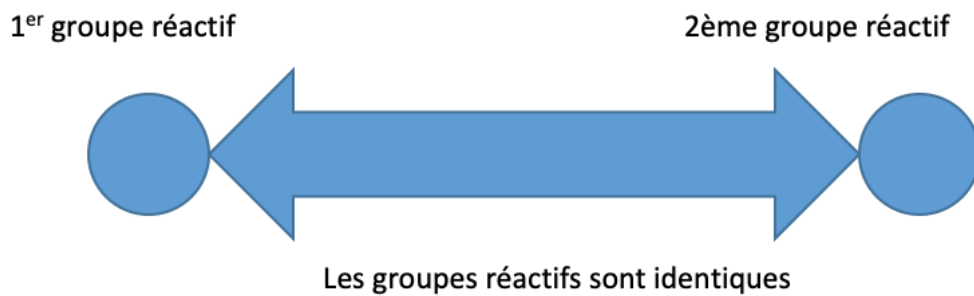


Figure 17: Fonctionnement d'un crosslinker homobifonctionnel

### 3.2.1.2 Les crosslinkers hétérobifonctionnels

Les crosslinkers hétérobifonctionnels contiennent à l'inverse des crosslinkers homobifonctionnels deux groupes fonctionnels différents, qui ont chacun leur réactivité et sélectivité propre. Les crosslinkers hétérobifonctionnels, du fait de leurs deux groupes réactifs différents, permettent de réaliser une « corde moléculaire » entre plusieurs molécules et ainsi créer des réactions plus complexes. Du fait de leur double sélectivité, les crosslinkers hétérobifonctionnels sont extrêmement utiles.(50)(51)

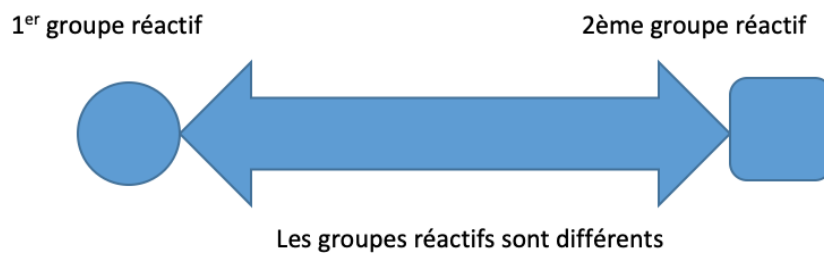


Figure 18 : Fonctionnement d'un crosslinker hétérobifonctionnel

### 3.2.2 Action et utilisation

Nous allons distinguer ici les crosslinkers non endogènes des crosslinkers endogènes.

### 3.2.2.1 Les crosslinkers non endogènes

Les crosslinkers non endogènes (ou exogènes) peuvent augmenter les propriétés physiques du collagène. Ils vont pouvoir se lier aux groupes amines et carbonyles du collagène, rendant sa structure plus résistante à la réaction enzymatique, mais aussi de pouvoir augmenter les propriétés intrinsèques du collagène, en améliorant ses qualités biomécaniques.

Ils peuvent aussi induire la formation additionnelle de liaisons chimiques intra et intermoléculaires.(24)(41)

Nous allons distinguer deux crosslinkers non endogènes principaux :

- Le glutaraldéhyde
- L'EDC

#### 3.2.2.1.1 Glutaraldéhyde (GA)

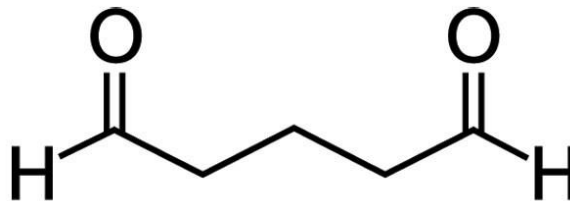


Figure 19 : Formule chimique du GA (52)

Il contient deux groupes aldéhydes capables de réagir avec les groupes aminés des collagènes.

Le GA va pouvoir induire des liaisons avec le collagène. Cela va permettre d'augmenter sa dureté, mais aussi sa stabilité mécanique. Il va aussi avoir une action contre les MMPs, en se liant à leur site actif et bloquant leur accès. Il va ainsi pouvoir améliorer la stabilité de la couche hybride. (24) (41)

Une récente étude a révélé que le prétraitement par GA pouvait aussi créer des sites d'affinité pour la nucléation d'hydroxyapatite dans le collagène, probablement due à l'introduction direct des groupes carbonyles, qui induiraient la minéralisation du collagène, ce qui permettrait une bonne stratégie de reminéralisation de la dentine.(53)

Le problème est que l'utilisation de seulement 5% de GA peut être cytotoxique, son application clinique n'est pas appropriée.(24)(41)

### 3.2.2.1.2 L'EDC

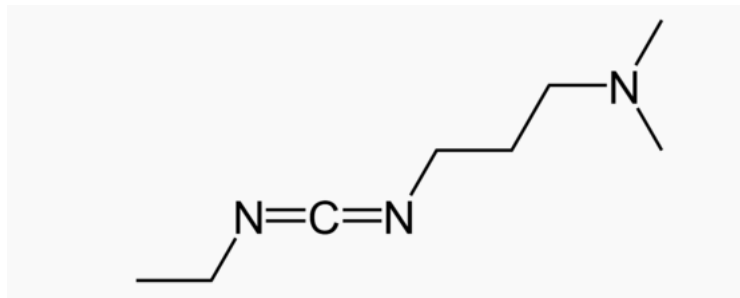


Figure 20 : Formule chimique EDC (54)

L'EDC (1-éthyl-3-(3-diméthylaminopropyl)carbodiimide) a été proposé comme un agent crosslinker du collagène. (24) (41)

Il va pouvoir lui aussi augmenter la durabilité de l'interface adhésive, améliorer son intégrité structurale, préserver la force de liaison dentine-résine composite et induire la formation de liaisons chimiques inter et intramoléculaires. (41)

Il est bien moins cytotoxique et plus stable que le GA, même s'il reste un produit irritant et corrosif s'il n'est pas employé convenablement (55). Il est généralement utilisé juste après l'acide orthophosphorique dans les techniques MR, mais nécessitant près d'une heure pour qu'il puisse être relié au collagène, son application clinique est rendue impossible. (24) (41)

### 3.2.2.2 Les crosslinkers endogènes

Ils sont naturellement synthétisés par le corps et peuvent réaliser des liaisons chimiques avec le collagène. Ils vont avoir un double effet, enzymatique et non enzymatique, ce-dernier marchant par processus d'oxydation et de glycation.

On va retrouver des liaisons covalentes intermoléculaires, intramoléculaires, et inter-microfibrilles. Les liaisons chimiques intermoléculaires et inter-microfibrilles vont augmenter

les propriétés mécaniques et améliorer l'élasticité du collagène. Les intramoléculaires vont stabiliser la molécule de collagène et la rendre plus rigide.

On va de plus retrouver une inhibition de l'activité des MMPs et des CC, en cachant le site de clivage du collagène et en empêchant l'activation du mécanisme de la cystéine switch. (24)(41)

On retrouve deux molécules fréquemment utilisées :

- Le proanthocyanidol
- La génipine

#### 3.2.2.2.1 Proanthocyanidol (PA)

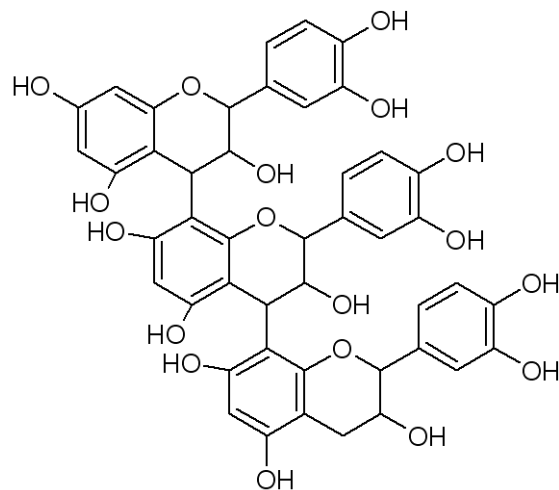


Figure 21 : Formule chimique du PA (56)

Le PA est un agent bioflavonoïde dont la structure chimique est basée sur les flavanols. On peut en obtenir largement dans les fruits, végétaux, noix et fleurs, mais la composition est diverse.(41) Le PA contient énormément de groupes hydroxyles capables d'interagir avec le collagène via des liaisons ioniques, covalentes et hydrogènes mais aussi par interactions hydrophobes.(57)

En induisant des liaisons avec le collagène, il permet d'augmenter sa rigidité, sa durée dans le temps, son élasticité, sa résistance contre la biodégradation. Tout cela permet de pérenniser l'interface de liaison résine composite-dentine.(24)(41)



Le PA a aussi la particularité d'inhiber près de 90% des MMP 2, 8, et 9, et près de 70% des cystéines B, K. Son efficacité contre ces protéases est même supérieure que celle des CHX.(58)

Le problème principal que l'on va rencontrer est qu'il faut l'appliquer pendant 10min à 1h pour avoir une action, ce qui rend son utilisation clinique impossible. De plus, il va induire une pigmentation brune de la dentine sur le long terme et il entraîne une réduction de degré de conversion des monomère résineux, ce qui va induire l'inhibition de la polymérisation des monomères.(24)

#### 3.2.2.2 Génipine (GNP)

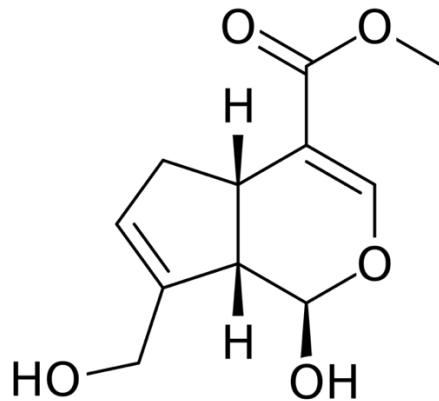


Figure 22 : Formule chimique du GNP(59)

La génipine va être extrait d'une herbe médicinale issue du fruit gardénia jasminoïde.(60)

Elle va avoir comme effet de favoriser la formation de liaisons chimiques intra ou intermoléculaires avec la molécule de collagène.(41)

Nous allons aussi remarquer l'augmentation importante de la résistance à la traction ce qui va permettre l'augmentation de la force de liaison entre la dent et la restauration.(61)

Malheureusement, les chercheurs ne savent pas encore aujourd'hui comment l'utiliser cliniquement.

### 3.3 EDTA

#### 3.3.1 Définition

L'EDTA, ou acide éthylènediaminetétraacétique, a été synthétisé en 1935 par l'autrichien Ferdinand Munz. Il l'avait synthétisé comme un substituant à l'aide citrique pour que le gouvernement allemand n'est plus à en importer de l'étranger.

Nous retrouvons aujourd'hui l'utilisation d'EDTA et ses principaux sels en cosmétiques (Disodium EDTA, Tetrasodium EDTA, Trisodium EDTA), dans l'industrie du papier, la photographie... mais aussi en chirurgie dentaire, lors de traitements endodontiques et restaurateurs.

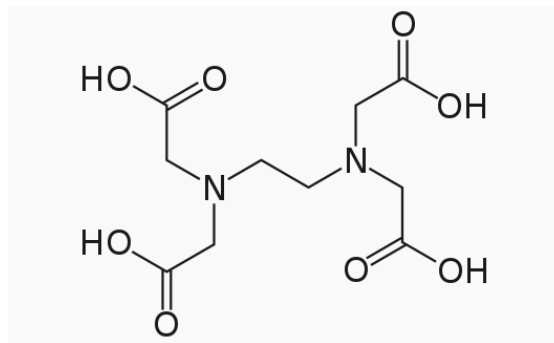


Figure 23: Formule chimique EDTA(62)

L'EDTA est un acide diaminotétracarboxylique, de formule  $C_{10}H_{16}N_2O_8$  sans couleur et soluble dans l'eau. Il comporte quatre sites basiques qui sont des carboxylates et deux correspondant aux fonctions amines. Sa principale caractéristique est son pouvoir chélatant, ce qui lui permet de former des complexes métalliques extrêmement stables.(63)(64)(62)(65)

L'EDTA a été utilisée dans les premiers systèmes adhésifs créés, aujourd'hui obsolètes. Dans les adhésifs dits de seconde génération, il servait à conditionner la dentine avec une concentration de 0,22%, pour tenter d'éliminer au mieux la boue dentinaire. Dans les adhésifs de troisième génération, on utilisait des acides de concentrations faibles, dont l'EDTA associé au Gluma (5% GA et 35%HEMA). Il sera abandonné par la suite dans les systèmes adhésifs usuels. (65)

#### 3.3.2 Action et utilisation

L'EDTA permet de chélater les ions calcium et de déminéraliser la dentine. Il présente également une action sur les MMPs en les empêchant d'agir.(66)(67) D'ordinaire, l'EDTA est utilisé pour conditionner la dentine avec comme but de maintenir la stabilité de la liaison résine dentine dans le temps et d'empêcher sa dégradation par les MMPs.(68)(66)

L'EDTA est utilisé avec dans une solution d'eau distillé et d'hydroxyde de sodium, à une concentration supérieure à 15%, avec un temps d'application est court, entre 1 ou 2 minutes. L'utilisation d'une concentration inférieure, de l'ordre d'1,5% ou de 5%, ne permet pas de dissoudre la boue dentinaire. (68)(66)

L'EDTA va éliminer la boue dentinaire de manière partielle en laissant près de 30% des « smears plugs » en place, et ne déminéralise que partiellement la dentine. Il va enlever sélectivement l'hydroxyapatite au sein du collagène. Cela va permettre que la structure même de la dentine reste intacte, de ne pas l'altérer et de préserver l'intégrité du collagène intra fibrillaire.(68)(66)(69)

En ce qui concerne la force de liaison, les auteurs semblent diverger, mais il semble que les résultats tendent à montrer que la force de liaison que l'on retrouve après l'application d'EDTA est soit égale ou inférieure à celle que l'on retrouve après l'application d'acide orthophosphorique seul. Les résidus d'hydroxyapatites restant entre les fibres de collagènes peuvent agir comme une barrière à la diffusion de monomères adhésifs à l'origine de la diminution de la force de liaison.

### **3.4 Hypochlorite de sodium (NaClO)**

#### **3.4.1 Définition**

L'hypochlorite de sodium fut découvert par Claude Louis Bertholet en 1785. A l'origine utilisée pour le blanchiment du linge (eau de javel), elle fut, au fur et à mesure des années, utilisée pour ses propriétés bactéricides. (70)

Elle est aujourd'hui utilisée de manière très importante dans en odontologie, notamment comme irrigant de traitements endodontiques.

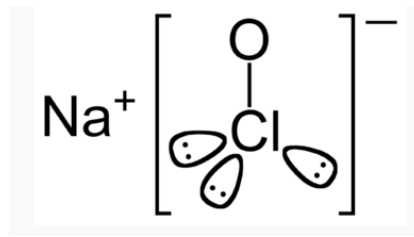


Figure 24 : Structure NaOCl(71))

On peut l'écrire NaClO ou NaOCl. Il comprend un cation sodium  $\text{Na}^+$ , et un anion hypochlorite. C'est un composé hallogénique, qui, dans l'eau s'ionise en  $\text{Na}^+$  et  $\text{ClO}^-$ . Entre des pH de 4 et de 7, l'ion chlorure devient de l'acide hypochloreux, alors qu'à pH 9, c'est ClO qui prédomine.(72) Le NaOCl a une action antimicrobienne associée à une action contre les protéines. Sur une dentine déminéralisée, le NaOCl a la capacité de dissoudre et éliminer le collagène dentaire exposé. Il va pouvoir créer une nouvelle surface de dentine minéralisée plus poreuse.

Pour certains auteurs il permettrait d'obtenir une « reverse hybrid layer » qui, étant caractérisée par une adhésion directe entre la dentine et la résine adhésive sans couche hybride intermédiaire, permettrait d'éviter les problématiques liées à l'infiltration du réseau collagénique exposé par l'utilisation d'acide orthophosphorique.(72) (73)

Pour cet usage, il est généralement utilisé à une concentration très faible (environ 1,5%) pour une durée de 2min, mais ses résultats sont trop variables pour être cliniquement acceptables.

De plus NaOCl agit comme un agent oxydant qui peut interférer avec les radicaux libres issus de la polymérisation de la résine et inhiber celle-ci. Pour limiter ce problème il peut être utilisé en association avec d'autres éléments qui arriveraient à pallier ces effets négatifs, comme l'acide ascorbique, des extraits de thé verts ou encore le PA, mais même si les résultats semblent concluants, cela n'est toujours pas utilisé cliniquement. (72) (74)

S'il est communément admis que le résultat dépendra du système adhésif qui suivra l'application de NaOCl, il ne devrait pas y avoir autant de résultats contradictoires si NaOCl était aussi efficace. (72) (73) (74)

#### **4. Propositions thérapeutiques adaptables en omnipratique**

##### **4.1 Tableau récapitulatif des données récoltées**

Molécules	Quand l'utiliser ?	Concentration et temps d'application	Effets positifs	Effets négatifs	Cliniquement Acceptable
<b>Digluconate de CHX</b>	Avec ou avant le primer	0,2 à 2% pendant 15 à 60s	Inhibition MMPs et CCs forte  Force de liaison très importante	Effet réduit dans le temps	Oui
	Avec l'acide		Inhibition MMPs et CCs (faible)	Contact pas assez important pour effet notable	Non car effets positifs pas assez importants
	Avec l'adhésif			Augmente la solubilité et l'adsorption d'eau  Diminution propriétés mécaniques  Durabilité liaison dentine résine	Non car effets positifs pas assez importants
<b>Méthacrylate de CHX</b>	Avec le primer		Réduit nanoleakge  Durabilité supérieure de la couche hybride		Oui mais pas encore commercialisé
<b>Glutaraldéhyde</b>	Après l'acide	Environ 5%	Augmente dureté et la stabilité du collagène.  Action contre MMP	Très cytotoxique	Non trop de cytotoxicité

<b>EDC</b>	Après l'acide	1h	Durabilité couche hybride  Préserve force de liaison  Formation liaisons chimiques intra et intermoléculaires		Non temps d'application trop important
<b>Proanthocyanidol</b>	Après l'acide	10 min à 1h	Induit liaison chimique  Matrice dentinaire préservée  Agit contre MMP	Pigmentation marronne de la restauration  Inhibition de la polymérisation des résines monomères	Non car le temps d'application est trop important et présence d'effets indésirables
<b>Génépine</b>	Après l'acide		Induit liaison chimique Augmentation résistance traction Augmentation force de liaison avec la restauration	Moyen d'utilisation non trouvé	Non mais piste sérieuse pour le futur
<b>EDTA</b>	Comme acide	Supérieur à 15% (0,5M EDTA) 1 à 2 min ou environ 15% (0,1 EDTA) 1 à 2 min	Force de liaison bonne  Préservation de la structure de collagène	Problème de perméabilité	Non, les effets positifs ne sont pas assez importants.
<b>NaOCl</b>	Après l'acide	Faible concentration (environ 1,5%) environ 2min	Création « reverse hybrid layer »  Dissolution collagène dentaire  Diminution nanoleakage  Diminution sensibilité	Déstabilisation de la surface dentinaire Inhibition de la polymérisation de la résine	Non si utilisé seul, mais envisageable dans le futur en association avec d'autres molécules

Figure 25 : Tableau récapitulatif des données récoltées

## 4.2 Quelles pistes pour le futur ?

Concernant le CHX il semble qu'aujourd'hui seul le digluconate de CHX soit commercialisé. On le retrouve chez de nombreux commerçants, mais il n'est pas encore utilisé par de nombreux praticiens. Le méthacrylate de CHX allierait les qualités du digluconate de CHX et une meilleure stabilité. Il serait possiblement une méthode de choix pour le futur.

Les crosslinkers semblent être eux aussi une voie d'avenir, au vu de leurs qualités. Malheureusement, pour la majorité d'entre eux, on est encore très loin de temps d'application acceptables qui pourrait être envisageable en pratique clinique.

L'EDTA à l'inverse ne semble pas réellement d'avoir d'intérêt majeur. Il était très utile à l'époque avant le choix d'utiliser de l'acide phosphorique, mais il est clair aujourd'hui qu'il n'apporte pas assez de qualités pour pouvoir être utilisé de nouveau cliniquement.

## Conclusion

La dentine est l'une des barrières de défense principale de la dent. Elle doit être traitée de la meilleure des manières afin de pouvoir obtenir une liaison convenable avec le matériau restaurateur. Cela impose, pour les restaurations en résine composite, l'obtention d'une couche hybride de qualité, stable et durable dans le temps. Plusieurs facteurs entrent en jeu pour essayer de la dégrader, notamment l'action de protéines endogènes ou des phénomènes d'hydrolyse.

Plusieurs molécules ont été envisagées pour améliorer la qualité et la stabilité de la couche hybride. Dans les limites de ce travail de thèse d'exercice, le digluconate de chlorhexidine semble se démarquer. Elle est cliniquement acceptable et montre réellement une amélioration dans le traitement de la couche hybride. Utilisée de préférence avant le primer, on note une amélioration importante de la force de liaison, mais probablement pas suffisante pour pouvoir créer un bouleversement des méthodes de restauration en omnipratique.

Le méthacrylate de chlorhexidine fait partie des molécules qui aura un rôle à jouer dans le futur, ses effets sont très positifs sur la couche hybride en permettant d'augmenter sa durée, mais elle n'est pas encore commercialisée pour cet effet-là.

D'autres molécules, en particulier les crosslinkers, montrent des résultats plus spectaculaires mais des études *in vivo* et *in vitro* supplémentaires vont être nécessaire pour pouvoir les rendre utilisable cliniquement, la plupart n'étant tout simplement pas recevables, du fait d'un temps d'application bien trop long ou d'une cytotoxicité trop importante. Il est nécessaire que les études se poursuivent dans ce domaine.





## Table des figures :

Figure 1: Jonction émail-dentine (3) .....	3
Figure 2 : Tubuli dentinaires (7) .....	4
Figure 3: Formation de la couche hybride(10).....	7
Figure 4 : Boue dentinaire répandue sur la surface dentinaire (8) .....	8
Figure 5 : La zone de fissure après application de résine adhésive (17) .....	10
Figure 6 : Deux types de dentine :.....	11
Figure 7 : Comportement du réseau collagénique avant et après séchage (14) .....	12
Figure 8 : Formule chimique HEMA .....	12
Figure 9 : Infiltration de résine adhésive au sein de la dentine(25) .....	13
Figure 10 : MR3(28).....	15
Figure 11 : MR2 (28).....	16
Figure 12 : SAM2 (28) .....	17
Figure 13 : SAM1(28) .....	17
Figure 14 La classification des adhésifs (30).....	18
Figure 15 : Libération du site catalytique par le mécanisme de la cystéine switch (19).....	21
Figure 16 : Structure de la Chlorhexidine (38) .....	23
Figure 17: Fonctionnement d'un crosslinker homobifonctionnel.....	27
Figure 18 : Fonctionnement d'un crosslinker hétérobifonctionnel .....	27
Figure 19 : Formule chimique du GA (52) .....	28
Figure 20 : Formule chimique EDC (54).....	29
Figure 21 : Formule chimique du PA (56).....	30
Figure 22 : Formule chimique du GNP(59).....	31
Figure 23: Formule chimique EDTA(62) .....	32
Figure 24 : Structure NaOCl(71)) .....	34
Figure 25 : Tableau récapitulatif des données récoltées.....	36

## Références bibliographiques

1. Goldberg M. Histologie de l'émail. EMC Stomatologie. 2016
2. Dentica Club. Histologie de l'émail Dentaire [Internet]. 2018. [cité 17 avr 2020]. Disponible sur: <http://denticaclub.blogspot.com/2018/08/histologie-de-lemail-dentaire.html>
3. Narzad Zebowy. Enamel and Dentin [Internet]. [cité 11 avr 2020]. Disponible sur: [http://www.histologia.cm-uj.krakow.pl/Repetytorium/Zab/zab\\_1.html](http://www.histologia.cm-uj.krakow.pl/Repetytorium/Zab/zab_1.html)
4. Dentica Club. Histologie de la dentine [Internet]. 2018. [cité 17 avr 2020]. Disponible sur: <http://denticaclub.blogspot.com/2018/08/histologie-de-la-dentine.html>
5. Goldberg M. Histologie du complexe dentinopulpaire. EMC Stomatologie. 2016
6. Goldberg M, Kulkarni AB, Young M, Boskey A. Dentin: Structure, Composition and Mineralization. *Front Biosci (Elite Ed)*. 1 janv 2011;3:711-35.
7. Hauteville DA. Canalicules dentinaires [Internet]. Conseil Dentaire Dr.Hauteville. [cité 11 avr 2020]. Disponible sur: <https://conseildentaire.com/glossary/canalicules-dentaires-2/>
8. Nakabayashi N, Kojima K, Masuhara E. The promotion of adhesion by the infiltration of monomers into tooth substrates. *J Biomed Mater Res*. mai 1982;16(3):265-73.
9. Degrange M, Pourreyron L, Les systèmes adhésifs amélo-dentaires.pdf [Internet]. 2010 [cité 17 sept 2019]. Disponible sur : <http://campus.cerimes.fr/odontologie/enseignement/chap12/site/html/cours/pdf>
10. Baldion P, Cortes C, Mathematical models of polymer-dentin physicochemical interactions and their biological effects. *Scientific Journal of review*. 2016; 319-30.
11. Pashley DH. Smear layer: overview of structure and function. *Proc Finn Dent Soc*. 1992;88 Suppl 1:215-24.
12. Oliveira SSA, Pugach MK, Hilton JF, Watanabe LG, Marshall SJ, Marshall GW. The influence of the dentin smear layer on adhesion: a self-etching primer vs. a total-etch system. *Dent Mater*. déc 2003;19(8):758-67.
13. Bhagwat S, Heredia A, Mandke L, The smear layer revisited. *Indian Journal of Medical Research and Pharmaceutical Sciences*. Jan 2016;3(1): 54-65.
14. Bond N Buonocore, Elaheh Habibi. Bonding to Enamel and Dentin - ppt video online download [Internet]. 2018[cité 3 avr 2020]. Disponible sur: <https://slideplayer.com/slide/12317406>
15. Violich DR, Chandler NP. The smear layer in endodontics – a review: Smear layer in endodontics. *International Endodontic Journal*. janv 2010;43(1):2-15.
16. Sen BH, Wesselink PR, Türkün M. The smear layer: a phenomenon in root canal therapy. *Int Endod J*. mai 1995;28(3):141-8.
17. Pashley DH. The evolution of dentin bonding from no-etch to total-etch to self-etch. *Adhesive technology solutions*. Jan 2002:1-5
18. Zafar MS, Ahmed N. The effects of acid etching time on surface mechanical properties of dental hard tissues. *Dent Mater J*. 2015;34(3):315-20.
19. Tjäderhane L, Nascimento FD, Breschi L, Mazzoni A, Tersariol ILS, Geraldini S, et al. Optimizing dentin bond durability: control of collagen degradation by matrix metalloproteinases and cysteine cathepsins. *Dent Mater*. janv 2013;29(1):116-35.
20. Patrizia Mila E, Santini A, Vladimir I. A review of SEM and TEM studies on the hybridisation of dentine. *Microscopy: Science, Technology, Applications and Education*. janv

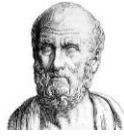
2011; 256-68.

21. Degrange M, Pourreyron L, Les systèmes adhésifs amélo-dentaires.pdf [Internet]. 2010 [cité 17 sept 2019]. Disponible sur : <http://campus.cerimes.fr/odontologie/enseignement/chap12/site/html/cours/pdf>
22. Wikipedia. (Hydroxyethyl)méthacrylate [Internet]. 2020 [cité 8 nov 2020]. Disponible sur: [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=\(Hydroxyethyl\)méthacrylate&oldid=9857079892](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=(Hydroxyethyl)méthacrylate&oldid=9857079892)
23. Sofan E, Sofan A, Palaia G, Tenore G, Romeo U, Migliau G. Classification review of dental adhesive systems: from the IV generation to the universal type. *Ann Stomatol (Roma)*. 3 juill 2017;8(1):1- 17.
24. Betancourt DE, Baldion PA, Castellanos JE. Resin-Dentin Bonding Interface: Mechanisms of Degradation and Strategies for Stabilization of the Hybrid Layer. *International Journal of Biomaterials*. 2019;(3):1-11
25. Tokuyama dental, Bond-Force-Relation-Technique\_fr.pdf [Internet]. [cité 3 avr 2020]. Disponible sur: [https://www.tokuyama.it/wp-content/uploads/2014/07/Bond-Force-Relation-Technique\\_fr.pdf](https://www.tokuyama.it/wp-content/uploads/2014/07/Bond-Force-Relation-Technique_fr.pdf)
26. Rechmann P, Bartolome N, Kinsel R, Vaderhobli R, Rechmann BMT. Bond strength of etch-and-rinse and self-etch adhesive systems to enamel and dentin irradiated with a novel CO2 9.3 µm short-pulsed laser for dental restorative procedures. *Lasers Med Sci*. 1 déc 2017;32(9):1981- 93.
27. Cardoso Ferreira J, Teixeira Pires P, Ribieiro de Melo P, Jorge Silva M. Etch-and-Rinse and Self-Etch Adhesives Behavior on Dentin. *Adhesives - Applications and properties* Nov 2016: 1-27.
28. Munck J, Van Landuyt K, Peumans M, Poitevin A, Lambrechts P, Braem M, et al. A Critical Review of the Durability of Adhesion to Tooth Tissue: Methods and Results. *Journal of dental research*. 1 mars 2005;84:118- 32.
29. Next Dentist. Les « adhésifs universels » [Internet]. 2019 [cité 21 avr 2020]. Disponible sur: <http://www.nextdentiste.com/les-adhesifs-universels/>
30. The Dentalist . Les Adhésifs Amélo-Dentaires [Internet]. 2016 [cité 17 sept 2019]. Disponible sur: <http://thedentalist.fr/les-adhesifs-amelo-dentaires/>
31. Chowdhury AFMA, Islam R, Alam A, Matsumoto M, Yamauti M, Carvalho RM, et al. Variable Smear Layer and Adhesive Application: The Pursuit of Clinical Relevance in Bond Strength Testing. *Int J Mol Sci*. 29 oct 2019;20(21).
32. Hashimoto M, Ohno H, Endo K, Kaga M, Sano H, Oguchi H. The effect of hybrid layer thickness on bond strength: demineralized dentin zone of the hybrid layer. *Dental Materials*. 1 nov 2000;16(6):406- 11.
33. Anchieta RB, Oliveira FG, Sundfeld RH, Rahal V, Machado LS, Alexandre RS, et al. Analysis of hybrid layer thickness, resin tag length and their correlation with microtensile bond strength using a total etch adhesive to intact dentin. *Acta Odontol Latinoam*. 2011;24(3):272- 8.
34. de Oliveira FG, Anchieta RB, Rahal V, de Alexandre RS, Machado LS, Sundfeld MLMM, et al. Correlation of the hybrid layer thickness and resin tags length with the bond strength of a self-etching adhesive system. *Acta Odontol Latinoam*. 2009;22(3):177- 81.
35. Wikipédia. Métalloprotéinase matricielle. [Internet]. 2020 [cité 22 avr 2020]. Disponible sur: [https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=M%C3%A9talloprot%C3%A9inase\\_matricielle&oldid=169854928](https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=M%C3%A9talloprot%C3%A9inase_matricielle&oldid=169854928)
36. Wikipédia. Matrix metallopeptidase. [Internet]. 2020 [cité 14 mai 2020]. Disponible sur: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Matrix metallopeptidase&oldid=951229039>
37. Tersariol IL, Geraldeli S, Minciotti CL, Nascimento FD, Pääkkönen V, Martins MT,

- et al. Cysteine Cathepsins in Human Dentin-Pulp Complex. *Journal of Endodontics*. mars 2010;36(3):475- 81.
38. Wikipédia. Chlorhexidine. I [Internet]. 2020 [cité 23 avr 2020]. Disponible sur: <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Chlorhexidine&oldid=168143299>
  39. Balagopal S, Arjunkumar R. Chlorhexidine: The gold standard antiplaque agent. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. 1 déc 2013;5:270- 4.
  40. Jones CG. Chlorhexidine: is it still the gold standard? *Periodontology* 2000. 1997;15(1):55- 62.
  41. Matos AB, Trevelin LT, Silva BTF da, Francisconi-Dos-Rios LF, Siriani LK, Cardoso MV. Bonding efficiency and durability: current possibilities. *Braz oral res*. 28 août 2017
  42. Scaffa P, Vidal C, Barros N, Gesteira T, Carmona A, Breschi L, et al. Chlorhexidine Inhibits the Activity of Dental Cysteine Cathepsins. *Journal of dental research*. 27 janv 2012;91:420- 5.
  43. Breschi L, Mazzoni A, Nato F, Carrilho M, Visintini E, Tjäderhane L, et al. Chlorhexidine stabilizes the adhesive interface: A 2-year in vitro study. *Dental Materials*. avr 2010;26(4):320- 5.
  44. Abu Nawareg M, Elkassas D, Zidan A, Abuelenain D, Abu Haimed T, Hassan AH, et al. Is chlorhexidine-methacrylate as effective as chlorhexidine digluconate in preserving resin dentin interfaces? *J Dent*. févr 2016;45:7- 13.
  45. Wikipédia. Cross-link. [Internet]. 2020 [cité 24 avr 2020]. Disponible sur: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Cross-link&oldid=950470465>
  46. Biology Articles, Tutorials & Dictionary Online. Cross linking Definition and Examples - Biology Online Dictionary [Internet]. 2019 [cité 24 avr 2020]. Disponible sur: <https://www.biologyonline.com/dictionary/cross-linking>
  47. SBCT. Homobifunctional Crosslinkers [Internet]. [cité 23 mars 2020]. Disponible sur: [https://www.scbt.com/fr/browse/PRODUITS-CHIMIQUES-Crosslinkers-homobifunctional-crosslinkers/\\_/N-120yrdl](https://www.scbt.com/fr/browse/PRODUITS-CHIMIQUES-Crosslinkers-homobifunctional-crosslinkers/_/N-120yrdl)
  48. Sigmaaldrich. Homobifunctional Crosslinking Reagents - Crosslinking Reagents [Internet]. Sigma-Aldrich. [cité 23 mars 2020]. Disponible sur: <https://www.sigmaaldrich.com/life-science/molecular-biology/molecular-biology-products.html?TablePage=108655533>
  49. Hermanson GT. Homobifunctional Crosslinkers. In: Hermanson GT, éditeur. *Bioconjugate Techniques (Second Edition)* [Internet]. New York: Academic Press; 2008 [cité 24 avr 2020]. p. 234- 75. Disponible sur: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123705013000047>
  50. CovaChem, LLC. Heterobifunctional Crosslinkers [Internet]. [cité 24 mars 2020]. Disponible sur: <https://www.covachem.com/heterobifunctional-crosslinkers/>
  51. Hermanson GT. Heterobifunctional Crosslinkers. In: Hermanson GT, éditeur. *Bioconjugate Techniques (Second Edition)* [Internet]. New York: Academic Press; 2008 [cité 24 avr 2020]. p. 276- 335. Disponible sur: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123705013000059>
  52. Satar R, Jafri MA, Rasool M, Ansari SA, Satar R, Jafri MA, et al. Role of Glutaraldehyde in Imparting Stability to Immobilized  $\beta$ -Galactosidase Systems. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 2017
  53. Chen C, Mao C, Sun J, Chen Y, Wang W, Pan H, et al. Glutaraldehyde-induced remineralization improves the mechanical properties and biostability of dentin collagen. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl*. 1 oct 2016;67:657- 65.
  54. Wikipédia. 1-Éthyl-3-(3-diméthylaminopropyl)carbodiimide. [Internet]. 2018 [cité 24 avr 2020]. Disponible sur: [https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=1-%C3%89thyl-3-\(3-dim%C3%A9thylaminopropyl\)carbodiimide&oldid=152402473](https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=1-%C3%89thyl-3-(3-dim%C3%A9thylaminopropyl)carbodiimide&oldid=152402473)

55. PubChem. 1-Ethyl-3-(3-dimethylaminopropyl)carbodiimide [Internet]. [cité 11 sept 2020]. Disponible sur: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/15908>
56. Wikipedia. Proanthocyanidin [Internet]. 2020 [cité 24 avr 2020]. Disponible sur: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Proanthocyanidin&oldid=950879076>
57. Dos Santos PH, Karol S, Bedran-Russo AK. Long-term nano-mechanical properties of biomodified dentin-resin interface components. *J Biomech.* 3 juin 2011;44(9):1691-4.
58. Epasinghe DJ, Yiu CKY, Burrow MF, Hiraishi N, Tay FR. The inhibitory effect of proanthocyanidin on soluble and collagen-bound proteases. *Journal of Dentistry.* 1 sept 2013;41(9):832-9
59. Wikipedia. Genipin. [Internet]. 2020 [cité 24 avr 2020]. Disponible sur: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Genipin&oldid=950855882>
60. Nagaoka H, Nagaoka H, Walter R, Boushell L, Miguez P, Burton A, et al. Characterization of Genipin-Modified Dentin Collagen. *BioMed research international.* 25 mars 2014;2014:702821.
61. Bedran-Russo AKB, Pereira PNR, Duarte WR, Drummond JL, Yamauchi M. Application of crosslinkers to dentin collagen enhances the ultimate tensile strength. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials.* 2007;80B(1):268-72.
62. Wikipedia. EDTA. [Internet]. 2019 [cité 27 avr 2020]. Disponible sur: <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=EDTA&oldid=164596833>
63. Paolieri M. Ferdinand Münz: EDTA and 40 years of inventions. *Bulletin for the history of chemistry / Division of the History of Chemistry of the American Chemical Society.* 5 déc 2017;42:133-40.
64. Mohammadi Z, Shalavi S, Jafarzadeh H. Ethylenediaminetetraacetic acid in endodontics. *Eur J Dent.* sept 2013;7(Suppl 1):S135-42.
65. Le courrier du Dentiste. Système adhésif et composite : Répercussions sur l'organe dentinopulpaire [Internet]. [cité 30 mars 2020]. Disponible sur: <https://www.lecourrierdudentiste.com/dossiers-du-mois/systeme-adhesif-et-composite-repercussions-sur-lorgane-dentinopulpaire.html>
66. Sebold M, André CB, Ambrosano GMB, Nascimento FD, Giannini M. Bond strength and adhesive interface analysis using EDTA as a dentin conditioner. *International Journal of Adhesion and Adhesives.* 1 sept 2017;77:157-63.
67. Thompson JM, Agee K, Sidow SJ, McNally K, Lindsey K, Borke J, et al. Inhibition of endogenous dentin matrix metalloproteinases by ethylenediaminetetraacetic acid. *J Endod.* janv 2012;38(1):62-5.
68. Jacques P, Hebling J. Effect of dentin conditioners on the microtensile bond strength of a conventional and a self-etching primer adhesive system. *Dent Mater.* févr 2005;21(2):103-9.
69. Sauro S, Mannocci F, Toledano M, Osorio R, Pashley DH, Watson TF. EDTA or H3PO4/NaOCl dentine treatments may increase hybrid layers' resistance to degradation: a microtensile bond strength and confocal-microporosity study. *J Dent.* avr 2009;37(4):279-88.
70. Société chimique de France. Hypochlorite de sodium - [Internet]. [cité 31 mars 2020]. Disponible sur: <http://www.societechimiquedefrance.fr/Hypochlorite-de-sodium.html>
71. Wikipédia. Hypochlorite de sodium. [Internet]. 2020 [cité 28 avr 2020]. Disponible sur: [https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Hypochlorite\\_de\\_sodium&oldid=169696313](https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Hypochlorite_de_sodium&oldid=169696313)
72. Abuhaimed T, Abou Neel E. Sodium Hypochlorite Irrigation and Its Effect on Bond Strength to Dentin. *BioMed Research International.* 20 août 2017;2017:1-8.
73. Pioch T, Kobašlija S, Huseinbegović A, Müller K, Dörfer CE. The effect of NaOCl dentin treatment on nanoleakage formation. *Journal of Biomedical Materials Research.* 2001;56(4):578-83.

74. Uceda-Gómez N, Reis A, Carrilho MR de O, Loguercio AD, Rodriguez Filho LE. Effect of sodium hypochlorite on the bond strength of an adhesive system to superficial and deep dentin. *J Appl Oral Sci.* sept 2003;11(3):223- 8.



## 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.





BAUTRANT RAPHAËL - Le traitement de la couche pré-hybride en dentisterie adhésive

Th. : Chir. dent. : Marseille : Aix –Marseille Université : 2020

Rubrique de classement : Odontologie Conservatrice

Résumé :

Pour s'assurer de la pérennité d'une restauration, un traitement adapté de la couche hybride est indispensable. Cette couche, issue de la pénétration d'une résine adhésive au sein du réseau collagénique dentinaire partiellement déminéralisée, est à l'origine de l'adhésion entre le substrat dentinaire et la résine composite.

Au fil des années, de nombreux auteurs se sont intéressés à différentes techniques physico-chimiques capable de rendre la couche hybride plus solide et plus pérenne dans le temps.

Dans la littérature les propositions sont nombreuses avec l'utilisation de la chlorhexidine, d'agents crosslinkers, de l'EDTA ou encore de l'hypochlorite de sodium.

Dans ce travail, il sera question de chercher à synthétiser les différentes techniques qui ont été testées dans le but de voir celles qui seraient utiles et facilement réalisable en cabinet d'omnipraticque, dans l'objectif de rendre le travail du chirurgien-dentiste plus efficace.

Mots clés :

Couche hybride – Adhésif – Chlorhexidine – Crosslinker – EDTA – Hypochlorite de Sodium

BAUTRANT RAPHAËL : The treatment of the pre-hybrid layer in adhesive dentistry

Abstract :

To ensure the durability of a restoration, the hybrid layer must be treated appropriately. This layer, which results from the penetration of an adhesive resin into the collagen network of a partially demineralized dentine, is responsible for the adhesion between the dentine substrate and the composite resin.

Over the years, many authors have become involved in various physico-chemical techniques capable of making the hydride layer stronger and durable over time. In the literature there are numerous proposals with the use of chlorhexidine, cross-linking agents, EDTA or sodium hypochlorite.

In this work, we will try to synthesize the different approaches that have been tested in order to see which ones would be useful and easily feasible in general practice, with the aim of making the work of the dental surgeon more efficient.

MeSH :

Hybrid layer – Adhesive – Chlorhexidine – Crosslinker – EDTA – Sodium Hypochlorite