

UNIVERSITÉ DE NANTES

UNITÉ DE FORMATION ET DE RECHERCHE D'ODONTOLOGIE

Année 2020

N° 3652

# LES FACTEURS DE RISQUE DU COLLAGE

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

*présentée  
et soutenue publiquement par*

**KOUYOUMDJIAN-BOURHIS Rachel**  
née le 19 mars 1978

*le 08/09/2020 devant le jury ci-dessous :*

Président : Monsieur le Professeur Yves AMOURIQ  
Assesseur : Madame le Docteur Fabienne JORDANA  
Assesseur : Madame le Docteur Catherine RICHARD

Directeur de thèse : Monsieur le Docteur François BODIC

<b>UNIVERSITE DE NANTES</b>	
<u>Président</u> <b>Pr LABOUX Olivier</b>	
	
<b>FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE</b>	
<u>Doyen</u> <b>Pr GIUMELLI Bernard</b>	
<u>Assesseurs</u> <b>Dr RENAUDIN Stéphane</b> <b>Pr SOUEIDAN Assem</b> <b>Pr WEISS Pierre</b>	
	
<b>PROFESSEURS DES UNIVERSITES</b> <b>PRATICIENS HOSPITALIERS DES C.S.E.R.D.</b>	
Mme ALLIOT-LICHT Brigitte	M. LESCLOUS Philippe
M. AMOURIQ Yves	Mme PEREZ Fabienne
M. BADRAN Zahi	M. SOUEIDAN Assem
M. GIUMELLI Bernard	M. WEISS Pierre
M. LE GUEHENNEC Laurent	
<b>PROFESSEURS DES UNIVERSITES</b>	
M. BOULER Jean-Michel	
<b>MAITRE DE CONFERENCES DES UNIVERSITES</b>	
Mme VINATIER Claire	
<b>PROFESSEURS EMERITES</b>	
M. JEAN Alain	
<b>ENSEIGNANTS ASSOCIES</b>	
M. GUIHARD Pierre (Professeur Associé)	Mme LOLAH Aoula (Assistant Associé)
<b>MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES</b> <b>PRATICIENS HOSPITALIERS DES C.S.E.R.D.</b>	<b>ASSISTANTS HOSPITALIERS UNIVERSITAIRES DES</b> <b>C.S.E.R.D.</b>
M. AMADOR DEL VALLE Gilles	M. ALLIOT Charles
Mme ARMENGOL Valérie	M. AUBEUX Davy
Mme BLERY Pauline	Mme ARRONDEAU Mathilde
M. BODIC François	Mme BARON Charlotte
Mme CLOITRE Alexandra	Mme BEURAIN-ASQUIER Mathilde
Mme DAJEAN-TRUTAUD Sylvie	M. BOUCHET Xavier
M. DENIS Frédéric	M. FREUCHET Erwan
Mme ENKEL Bénédicte	M. GUIAS Charles
M. GAUDIN Alexis	Mme HASCOET Emilie
M. HOORNAERT Alain	M. HIBON Charles
Mme HOUCHMAND-CUNY Madline	M. HUGUET Grégoire
Mme JORDANA Fabienne	M. KERIBIN Pierre
M. KIMAKHE Saïd	M. OUVRARD Pierre
M. LE BARS Pierre	M. RETHORE Gildas
Mme LOPEZ-CAZAUX Serena	M. SARKISSIAN Louis-Emmanuel
M. NIVET Marc-Henri	M. SERISIER Samuel
M. PRUD'HOMME Tony	
Mme RENARD Emmanuelle	
M. RENAUDIN Stéphane	
Mme ROY Elisabeth	
M. STRUILLOU Xavier	
M. VERNER Christian	
<b>PRATICIENS HOSPITALIERS</b>	
Mme DUPAS Cécile (Praticien Hospitalier)	Mme QUINSAT Victoire (Praticien Hospitalier Attaché)
Mme BRAY Estelle (Praticien Hospitalier Attaché)	Mme RICHARD Catherine (Praticien Hospitalier Attaché)
Mme LEROUXEL Emmanuelle (Praticien Hospitalier Attaché)	Mme HYON Isabelle (Praticien Hospitalier Contractuel)

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

**A Monsieur le Professeur Yves AMOURIQ**

Professeur des Universités

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

Docteur de l'Université de Nantes

Habilité à Diriger les Recherches

Département de Prothèses

Chef de Service d'Odontologie Restauratrice et Chirurgicale

**- NANTES -**

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

*Pour votre confiance, pour avoir su croire en mon projet, en mes capacités et en ma  
motivation,*

*Pour votre enseignement,*

*Veillez recevoir ma grande reconnaissance et l'expression de mon plus grand respect.*

**A Monsieur le Docteur François BODIC**

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

Docteur de l'Université de Nantes

Département de Prothèses

**- NANTES -**

*Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter la direction de ce travail.*

*Pour la richesse de vos enseignements théoriques et cliniques,*

*Pour vos conseils et votre disponibilité tout au long de mon cursus.*

*Veillez recevoir l'expression de mon plus grand respect et le témoignage de mes sincères  
remerciements.*

**A Madame le Docteur Fabienne JORDANA**

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

Docteur de l'Université de Bordeaux

Département de Sciences Anatomiques et Physiologiques, Occlusodontiques,  
Biomatériaux, Biophysique, Radiologie.

**- NANTES -**

*Pour m'avoir fait l'honneur de siéger dans ce jury.  
Pour la qualité de votre enseignement, votre patience et votre disponibilité.  
Veuillez accepter mes remerciements les plus sincères.*

**A Madame le Docteur Catherine RICHARD**

Praticien Hospitalier Attaché

Département d'Odontologie Conservatrice – Endodontie

**- NANTES -**

*Pour m'avoir fait l'honneur de siéger dans ce jury.*

*Pour votre écoute et votre bienveillance.*

*Veillez accepter mes remerciements les plus sincères.*

## Table des matières

<b>Introduction .....</b>	<b>11</b>
<b>1 Rappels sur le collage.....</b>	<b>11</b>
1.1 La structure de l'émail et adhésion.....	12
1.2 La structure de la dentine et adhésion.....	13
1.3 Les adhésifs amélo-dentinaires.....	14
1.3.1 MR3 .....	16
1.3.2 MR2 .....	17
1.3.3 SAM2 .....	17
1.3.4 SAM1 .....	18
<b>2 Les facteurs de risque du collage.....</b>	<b>18</b>
2.1 Risques liés à l'expérience du praticien .....	18
2.2 Risques mécaniques .....	19
2.2.1 Liés à l'occlusion .....	19
2.2.2 Les parafunctions – bruxisme .....	22
2.2.3 Liés à la vitalité de la dent .....	23
2.2.4 Liés à la structure dentaire (émail /dentine).....	24
2.2.4.1 La dentine sclérotique .....	24
2.2.4.2 Dentine affectée.....	26
2.2.4.3 Dentine sous amalgame .....	28
2.2.5 Liés aux traitements .....	29
2.2.5.1 Les prétraitements .....	29
2.2.5.1.1 La chlorhexidine .....	29
2.2.5.1.2 EDTA (Éthylènediaminetétraacétique) .....	30
2.2.5.1.3 EDTA / NAOCL / Acide phosphorique.....	31
2.2.5.2 Les traitements.....	31
2.2.5.2.1 Eugénol .....	31
2.2.5.2.2 Eclaircissement.....	33
2.2.5.2.3 Carisolv® (MediTeam, Göteborg, Suède).....	34
2.2.5.2.4 Les agents hémostatiques .....	35
2.2.6 Liés au protocole .....	36
2.2.6.1 Digue .....	37
2.2.6.2 Type de fraise .....	38

2.2.6.3	L'adhésif .....	39
2.2.6.3.1	Performances selon les modes opératoires.....	39
2.2.6.3.2	Compatibilité adhésif/résine.....	40
2.2.6.3.3	Temps de mordantage .....	42
2.2.6.3.4	Temps d'évaporation du solvant.....	42
2.2.6.4	Air Abrasion.....	42
2.2.6.5	IDS (Immediat Dentin Sealing).....	43
2.2.6.6	Photopolymérisation.....	45
2.2.6.6.1	Type de lampe.....	45
2.2.6.6.2	Technique de photopolymérisation .....	46
2.2.6.6.3	Temps de photopolymérisation .....	46
2.3	Risques biologiques.....	47
2.3.1	Sensibilités postopératoires .....	47
2.3.2	Reprise carieuse.....	48
2.3.3	Joint d'étanchéité.....	49
2.3.3.1	Point de vue biologique.....	49
2.3.3.2	Point de vue esthétique.....	50
<b>Conclusion.....</b>		<b>51</b>
<b>Annexes .....</b>		<b>52</b>
<b>Bibliographie .....</b>		<b>54</b>
<b>Figures et Tableaux.....</b>		<b>62</b>

## Introduction

La dentisterie adhésive représente une avancée considérable pour les praticiens et les patients. Elle permet de respecter le gradient thérapeutique qui consiste à préserver au mieux l'organe dentaire. Que ce soit par technique directe ou indirecte, l'objectif du traitement restaurateur dans le cadre du collage est l'intégration fonctionnelle, biologique mais aussi esthétique. Malgré son origine dans les années 50, le collage reste une pratique non homogène de par la diversité des praticiens, de leur formation et des différentes générations de colles existant sur le marché. Pendant les années 90 et tout au long de sa carrière, le dentiste Michel Degrange, explore les différentes opportunités que le collage offre la dentisterie. Il est à l'origine d'une des classifications des systèmes d'adhésifs.

Au fil du temps, de l'analyse et de la compréhension du système de cohésion, les différents scientifiques ont mis en évidence les contraintes qui permettent de se prémunir des éventuels échecs mécaniques, biologiques ou encore esthétiques.

Dans la pratique quotidienne, l'omnipraticien rencontre des situations cliniques pouvant compromettre la qualité du collage.

Dans cette thèse nous nous efforcerons d'identifier les facteurs de risque du collage liés aux substrats dentaires et aux éléments de liaison (adhésifs amélo-dentaires) afin d'obtenir les clés d'un collage réussi.

## 1 Rappels sur le collage

L'adhésion aux substrats dentaires est une quête qui débute dans les années 50. Cela commence par les résines acryliques ; celles-ci apportent quelques avantages par rapport aux ciments d'obturation classiquement utilisés. Mais la résine ne possède pas de potentiel adhésif à proprement parler. La qualité de joint est mauvaise, et la percolation qui engendre une agression pulpaire, ou encore la coloration du joint contraignent à faire évoluer cette technique. Ce constat encourage les recherches sur des nouvelles techniques basées sur l'adhésion.

Le collage dentaire est basé sur le principe d'adhésion et sur la notion d'ancrage micromécanique. L'adhésion est la résultante des interactions qui concourent à unir deux surfaces. La présence de pores et/ou la rugosité du substrat permettent un ancrage mécanique avec l'adhésif. Les différentes propriétés chimiques sont quant à elles à l'origine de créations des liaisons chimiques intermoléculaires avec la surface de la restauration. Sa viscosité basse permet de remplir les microporosités du substrat.

Pour comprendre le principe d'adhésion, il faut connaître l'histologie des tissus dentaires ainsi que les caractéristiques physico-chimiques des matériaux impliqués dans le collage.

### 1.1 La structure de l'émail et adhésion

L'émail est la structure qui recouvre la dent. Cette structure, la plus minéralisée du corps, est acellulaire, avasculaire et non innervée.

L'émail est constitué de 96% de phase minérale (combinaisons de phosphore et de calcium, présents dans l'émail sous forme de cristaux d'hydroxyapatite), les 4% restant correspondent à de la phase organique (glycoprotéines et polysaccharides) et de l'eau.

L'émail correspond à une juxtaposition de structures élémentaires, les prismes qui sont formés de cristaux d'hydroxyapatite. Ils sont individuellement entourés d'un espace étroit rempli de substance organique constituant la gaine du cristal. Ces cristaux prennent naissance à la jonction amélo-dentinaire puis rejoignent la surface de la couronne.

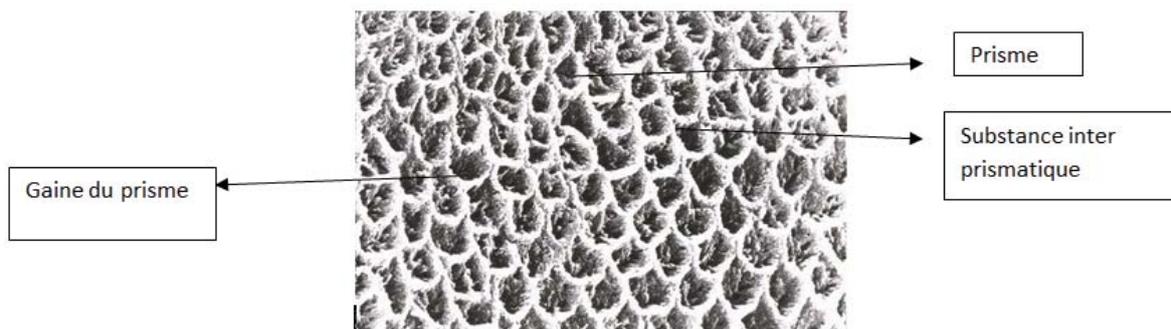


Figure 1: Microscopie électronique des prismes d'après le blog <http://denticlub.blogspot.com/>

En 1955, le Dr Buonocore (1) publie les principes du mordantage, c'est-à-dire, l'action acide sur la surface de l'émail, créant ici des rugosités.

Le résultat du mordantage dépend de l'acidité et du temps d'application de l'agent mordant. L'utilisation d'acide phosphorique concentré à 30-40%, élimine environ 10µm d'émail superficiel. La dissolution est plus importante au cœur des prismes de 10 à 20 µm, générant une surface cratériforme. Le microrelief ainsi créé permet à la résine de s'infiltrer entraînant une adhésion par liaison mécanique.(2)

L'adhésion à l'émail est maîtrisée depuis 1955 avec de fortes valeurs d'adhérence. En ce qui concerne la dentine, la maîtrise de l'adhésion n'est pas aussi simple.(3)

Protocole de préparation de l'émail au collage, inchangé depuis les années 50 : Application d'acide orthophosphorique à 37%, durant 30 secondes, rinçage abondant puis séchage.

## 1.2 La structure de la dentine et adhésion

La dentine, ou ivoire, est une matrice extracellulaire sécrétée par les odontoblastes qui se calcifie par l'accumulation d'hydroxyapatite. Elle se situe sous l'émail au niveau de la couronne et sous le cément au niveau de la racine.

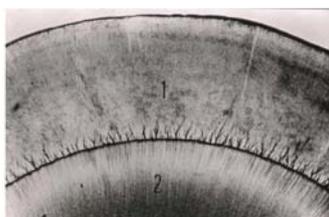


Figure 2: Email (1) - dentine (2) d'après webapps.fundp.ac.be

La dentine est composée de 50 % de phase minérale riche en carbonates de calcium, de 30 % de phase organique largement constituée de collagène de type 1 et de 20% de phase aqueuse. Les tubuli qui composent la dentine sont parcourus par de fins prolongements cytoplasmiques des odontoblastes allant de la jonction émail dentine ou du cément vers la pulpe. Ces derniers sont responsables de sa perméabilité, mais également de sa sensibilité.

De par sa structure, sa localisation et sa composition, la dentine représente une difficulté à réaliser un collage efficace. La phase aqueuse présente au sein des tubuli empêche la pénétration de l'adhésif permettant une adhésion mécanique. De plus, le lien avec la pulpe est une voie d'entrée des bactéries vers celle-ci.



Figure 3: D'après Collages et adhésion: la révolution silencieuse, Roulet et Degrange

Dans les années 80, le principe de l'adhésion à la dentine évolue : il se base sur l'interpénétration d'une résine au sein d'un réseau de collagène exposé par un mordantage acide préalable, formant ainsi la couche hybride.

Il existe différents types de dentine(4) ; leur structure différente de celle de la dentine saine doit être prise en compte lors du collage.

**Dentine infectée** : il s'agit du front bactérien avec une organisation des tubuli très altérée et naturellement la présence de nombreuses bactéries .

**Dentine affectée** : Front de déminéralisation partielle avec présence de quelques bactéries, présence de l'organisation de base de la dentine - collagène; zone reminéralisable à conserver notamment dans le cadre de la préservation de l'organe dentaire.

**Dentine sclérotique** : Barrière à la progression bactérienne, dentine plus dure que la dentine saine. La structure de ce type de dentine est caractérisée par une baisse voire une obturation de la lumière des tubuli.

Lors de l'instrumentation, la boue dentinaire ainsi créée à la surface dentinaire est un élément pouvant lui aussi compliquer le collage dentinaire. L'épaisseur de la couche de boue (hydroxyapatite et de collagène modifié) peut varier de 1 à 7  $\mu\text{m}$ . Elle obture les tubules dentinaires et empêche tout contact intime de matériau avec le substrat dentinaire. Le mordantage, application d'acide orthophosphorique, est l'étape indispensable pour dissoudre la boue dentinaire, éliminer une couche superficielle de dentine exposant la trame de collagène.



Figure 4: boue dentinaire à la surface des tubuli (source internet)

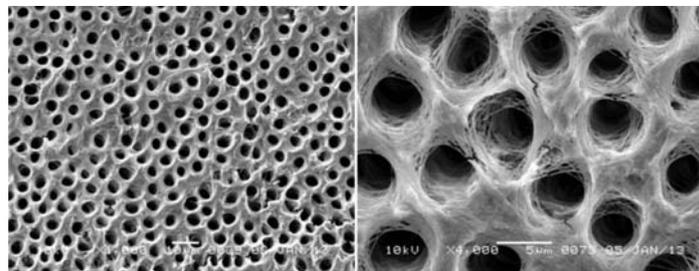


Figure 5: Tubuli après mordantage (source internet)

Protocole de préparation de la dentine au collage : Application d'acide orthophosphorique à 37%, durant 15 secondes, rinçage abondant puis séchage sans assécher

### 1.3 Les adhésifs amélo-dentaires

Les adhésifs amélo-dentaires (5) sont des biomatériaux d'interface. Ils forment les liens entre les tissus dentaires, les composites de restauration et les composites de collage. Ils doivent remplir certaines caractéristiques :

- Être biocompatible
- Assurer l'étanchéité
- Être durable
- Avoir une mise en œuvre simple et fiable

Entre 1970 et 1990, différents travaux seront menés afin d'améliorer la cohésion au niveau dentinaire. Ce n'est qu'à la 4<sup>ème</sup> génération d'adhésifs et avec la notion de mordantage total, que les restaurations adhésives gagnent en fiabilité. C'est la naissance de la couche hybride. Afin de rendre cette technique moins contraignante, de nouvelles générations voient le jour entre 1995 et les années 2000.

Pour comprendre leur mode d'action, une classification en fonction d'un nombre d'étapes est créée. (La classification de Degrange, 2004)

Les adhésifs sont classés en 2 grandes classes :

1. Adhésifs nécessitant un mordantage suivi d'un rinçage, en préalable à leur emploi (système mordantage total-M&R).
2. Adhésifs appliqués directement sur les surfaces dentaires sans aucun traitement préliminaire. (systèmes auto-mordant - SAM).

Ces classes peuvent être elles-mêmes divisées en 2 sous-classes selon les nombres d'étapes nécessaires :

1. 3 étapes et 2 étapes, pour les adhésifs classiques nécessitant un pré-mordantage respectivement MR3 (4<sup>ème</sup> génération) et MR2 (5<sup>ème</sup> génération).

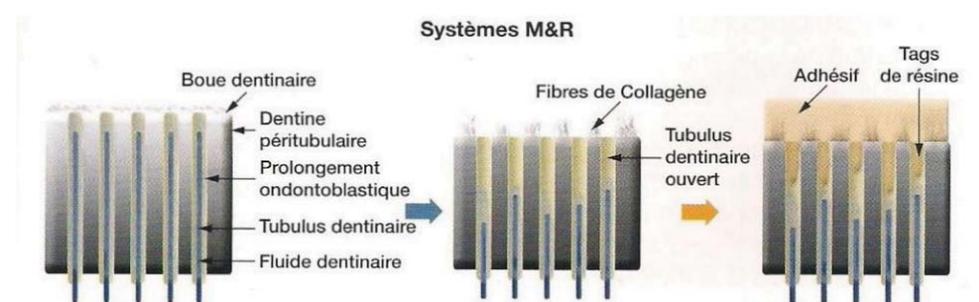


Figure 6: D'après Restaurations tout-céramique sur dents vitales

2. 2 étapes et 1 étape, pour les adhésifs auto-mordant respectivement SAM2 (6<sup>ème</sup> génération) et SAM1 (7<sup>ème</sup> génération).

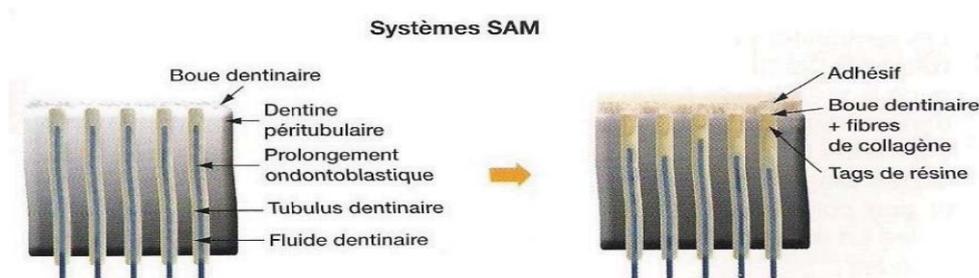


Figure 7: D'après Restaurations tout-céramique sur dents vitales

### 1.3.1 MR3

Ce système regroupe 3 produits/étapes :

- Le mordantage/rinçage : application d'une solution acide phosphorique. Cette étape élimine les boues dentinaires, ouvre les tubuli et déminéralise superficiellement les zones péri et inter tubulaires sur quelques  $\mu\text{m}$ .
- Le primer : liquide contenant de l'eau, des monomères hydrophiles (HEMA hydroxy-éthyl méthacrylate) et des solvants organiques. Cette étape permet de maintenir suffisamment poreux le réseau de collagène.
- La résine adhésive : elle doit pénétrer les tubules et s'infiltrer dans les canaux du réseau protéique inter et péri-tubulaire.

Protocole :



Figure 8: D'après Les adhésifs amélo-dentinaires , <http://the.dentalist.fr>

- Les Plus**
- Excellente adhésion à l'émail et la dentine
  - Pas d'effets secondaires
- Les Moins**
- Beaucoup de manipulations

Figure 9: D'après les systèmes adhésifs Dr. Bruno PELISSIER (6)

### 1.3.2 MR2

Ce système regroupe 2 étapes. La différence avec le MR3 vient de l'association du primer et de la résine adhésive. Ce flacon intègre des monomères hydrophobes, des monomères hydrophiles, des solvants (généralement alcool ou acétone), parfois des charges et des amorceurs de polymérisation. La suppression d'une étape rend la mise en œuvre plus simple que celle du MR3.

Protocole :



Figure 10: D'après Les adhésifs amélo-dentaires , <http://the.dentalist.fr>

**Les Plus**

- Très bonne adhésion à l'émail et la dentine
- Protocole assez simple

**Les Moins**

- Sensibilités postopératoires si séchage excessif de la dentine

Figure 11: D'après les systèmes adhésifs, Dr. Bruno PELISSIER (6)

Le séchage est pour le MR3 et le MR2 une étape critique..

### 1.3.3 SAM2

Ce système regroupe 2 étapes.

- L'application de l'acide et primaire. L'acide est une alternative à l'acide phosphorique. Il déminéralise et infiltre simultanément les tissus dentaires.
- L'application de la résine après séchage dont les composants sont en grande partie hydrophobes.

Protocole :

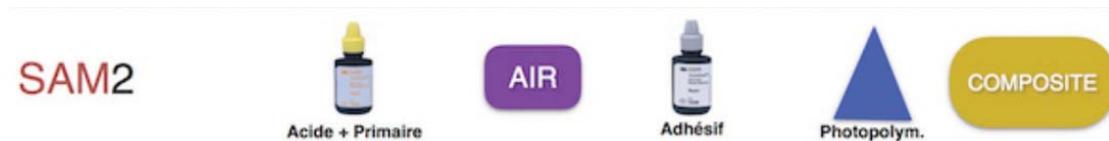


Figure 12: D'après Les adhésifs amélo-dentaires , <http://the.dentalist.fr>

**Les Plus**

- Pas de rinçage intermédiaire (saignement gingival)
- Excellente adhésion à la dentine
- Pas de sensibilités postopératoires

**Les Moins**

- Deux produits à appliquer
- Faible adhésion à l'émail non fraisé

Figure 13: D'après les systèmes adhésifs, Dr. Bruno PELISSIER (6)

### 1.3.4 SAM1

Ce système se fait en 1 étape. Les SAM1 combinent avec un seul produit les rôles de mordantage, primaire et adhésif. Cela simplifie la procédure clinique et limite potentiellement le risque d'erreur de manipulation. Ces produits associent nécessairement de l'eau, des monomères hydrophiles, des solvants et des monomères hydrophobes. La coexistence de ces constituants dans une solution homogène ne peut se faire que dans des limites critiques de composition.

Protocole :



Figure 14: D'après Les adhésifs amélo-dentaires , <http://the.dentalist.fr>

#### **Les Plus**

- Procédure extrêmement simple et rapide

#### **Les Moins**

- Adhésion modérée à l'émail et la dentine
- Moins stable que les M&R (chaleur, mélange)
- Pérennité du joint ?

Figure 15: D'après les systèmes adhésifs, Dr. Bruno PELISSIER (6)

Récemment, un nouvel adhésif est venu compléter la liste : l'adhésif universel ou dit de 8<sup>ème</sup> génération. Le fonctionnement est proche des SAM1 – tout en un.

Les données techniques de la colle et les données biologiques du substrat dentaire ou encore les aptitudes professionnelles du praticien influencent la qualité et la réalisation du collage. Ceux-ci représentent des facteurs de risque qui seront développés dans ce document.

## 2 Les facteurs de risque du collage

### 2.1 Risques liés à l'expérience du praticien

Hajtó, Marinescu, et Ahlers (7), analysent le taux de fracture de 4 000 inlays et onlays en céramique renforcée par de la leucite. Ceux-ci sont issus d'un centre d'usinage CFAO (Biodentis GmbH, Leipzig, Deutschland) et réalisés dans le cadre d'une activité d'omnipratique. Les conclusions de l'étude montrent un taux d'échec de 4,35 % après 18 mois ce qui correspond à un taux d'échec annuel de 2,9 %. Le taux d'échec chez les praticiens expérimentés est 3 fois plus faible.

De même, Frankenberger et coll. confirment ces résultats par une autre étude comparative du taux d'échec d'inlays céramiques, issus de l'activité de deux praticiens installés, diplômés de la même

université et utilisant des matériaux identiques : le taux d'échec varie de 1 à 10 entre les deux praticiens.(8)

Ainsi, ces résultats laissent à penser que le succès dans la réalisation des restaurations partielles en céramique est très opérateur-dépendant.

Les variations observées sont en lien direct avec le respect des règles fondamentales de mise en œuvre : toute entorse au protocole conduit à une augmentation significative du taux d'échec.

Selon Peutzfeldt & Asmussen (9), la formation et l'entraînement pratique des praticiens paraissent être une condition nécessaire à l'optimisation des joints collés en particulier.(5)

## 2.2 Risques mécaniques

### 2.2.1 Liés à l'occlusion

Les céramiques, de par leurs liaisons ioniques, ne supportent aucune déformation plastique. Une surcharge entraîne une fracture. Les céramiques résistent bien aux forces de compression mais peu aux forces de flexion selon différentes études cliniques, les fractures représentent l'échec le plus fréquent des restaurations céramiques dans le secteur latéral.(10) (11) (12) (13) (14)

#### Les types de fractures : (7)

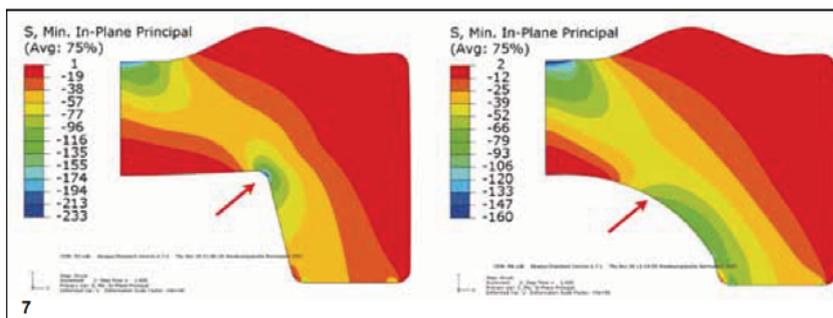
- Fracture au niveau proximal : la plus fréquente . Cela peut s'expliquer par le fait que cette partie est soumise à de nombreux contacts dynamiques. Lors de la dépose de la restauration, il apparaît que la pièce prothétique est désolidarisée de la paroi dentaire. En cause, la préparation de la dent ne respectant pas l'épaisseur minimale de céramique. De plus, l'usure de l'état de surface augmente les frottements entraînant des forces de cisaillement plus importantes.
- Fracture de la totalité de la boîte proximale : souvent entraînée par une sous préparation de l'isthme en largeur ou en épaisseur ou bien par des angles trop aigus.
- Fracture de cuspide de l'onlay (recouvrement cuspidien) : lors de la préparation de la dent, les angles vifs (arêtes) ou encore une forme concave peuvent créer des zones de tension au niveau de la face interne de la prothèse générant ainsi la fracture du recouvrement cuspidien.

- Fracture mésio-distale de la restauration et de la dent dépulpée (exclusivement) : liée à une surcharge ponctuelle concentrant les forces au niveau cervical. Dans la plupart des cas, la fracture occasionne la non conservabilité de la dent.

Ces fractures peuvent être contrôlées par l'adaptation des matériaux de restauration. En effet, les céramiques à base de disilicate de lithium (nom commercial : IPS e.max) présentent une résistance à la flexion de 360-400MPa ; tandis qu'on note des valeurs de l'ordre de 100MPa pour la céramique frittée et de 160 MPa pour la céramique renforcée par leucite (nom commercial : EMPRESS).(15) (16) (17) (18)

Elles peuvent aussi être réduites par le respect d'une préparation qui évite la naissance de tensions au sein des différents matériaux. (19)

**Principe n°1** : Réalisation de crêtes et angles arrondis entre l'isthme occlusal et la boîte proximale d'une part et d'autre part entre les parois latérales et le plancher occlusal ou proximal. (fig 16)



Pour une charge occlusale normale :  
A gauche : contrainte maximale de 233 N/mm  
A droite : contrainte maximale de 106 N/mm<sup>2</sup> après optimisation de la préparation cavitaire

Figure 16: Forces dans la céramique qui se produisent sous contrainte: charge la plus forte dans la zone de transition de la boîte (flèche rouge) avec préparation traditionnelle; répartition harmonieuse des forces avec des forces beaucoup plus faibles avec une préparation adaptée à la céramique, d'après la publication du Pr Gerwin Arnetzl (20)

**Principe n°2** : Respecter les épaisseurs minimales

Se référer aux recommandations des fabricants

Pour les préparations importantes : 1,5 mm de céramique au niveau occlusal, 1 mm au niveau périphérique.

Pour les préparations réduites : au moins 1 mm de céramique

Ces valeurs sont valables pour les céramiques renforcées au disilicate de lithium. Pour les autres céramiques, les épaisseurs devront être légèrement augmentées.

Dans le cadre des restaurations occlusales en secteur postérieur, des études ont montré une meilleure résistance à la rupture pour les céramiques renforcées au disilicate de lithium. L'utilisation d'une telle céramique offre la possibilité de réaliser des restaurations de 0,3 à 0,5 mm dans le cadre du collage

sur l'émail. Cette constatation ouvre des perspectives de traitements des pertes de substances occlusales des molaires tout en préservant l'organe dentaire. (21) (22) (23)

**Principe n°3** : Réalisation des formes de préparation respectant certaines contraintes architecturales

Inlays céramiques :

- parois latérales entre 6 et 10° (ou plus)
- Limites externes orthogonales à la surface dentaire (pas de biseau)

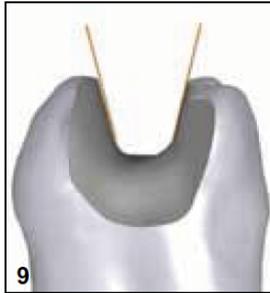


Figure 17: Divergences des parois, d'après Réalités Cliniques 2013, Hajtó et coll.

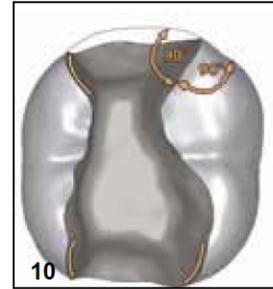


Figure 18: Orthogonalité des limites de préparations d'après Réalités Cliniques 2013, Hajtó et coll.

- Pas de contacts occlusaux statiques et /ou dynamiques au niveau des limites de préparation
- Espacement suffisant entre 2 dents contiguës pour optimiser la qualité de l'empreinte et faciliter l'élimination de la colle

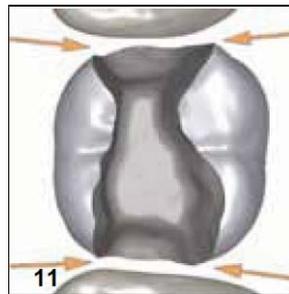


Figure 19 : Espacement suffisant par rapport aux dents contiguës d'après Réalités Cliniques 2013, Hajtó et coll.

- Les contres dépouilles sont comblées (pas de suppression des surplombs)



Figure 20: Surplombs non supprimés / contre-dépouilles comblées par restauration adhésive, d'après Réalités Cliniques 2013, Hajtó et coll.

- Formes douces privilégiées, pas de rainures ou autres moyens de rétention inutile

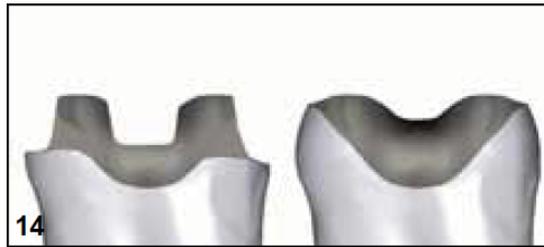


Figure 21: A gauche , sur-préparation inutile en collage/ à droite, préparation forme douce, d'après Réalités Cliniques 2013, Hajtó et coll.

- Réductions régulières privilégiées comme celle présentée à droite



Figure 22: A gauche : préparation incorrecte. A droite : préparation correcte. La zone des sillons vestibulaires et palatins est également réduite régulièrement d'après Réalités Cliniques 2013, Hajtó et coll.

La fracture de la reconstitution n'est pas seulement liée à l'épaisseur de la céramique. La nature de la céramique joue un rôle prépondérant dans la survenue d'une fracture. Le substrat collé (émail ou dentine) et la nature du matériau d'assemblage devront être adaptés à la céramique. (24)

D'après le Dr Dietschi, la limite « dent/restauration » ne doit pas se trouver ni au niveau des contacts occlusaux ni sur la trajectoire dynamique. Les cuspidés d'appui ou guide devront être soit consolidées via la restauration soit éliminées et remplacées par la restauration.

### 2.2.2 Les parafonctions – bruxisme

Le bruxisme génère des forces occlusales très importantes et répétées sur les dents. Celles-ci provoquent des fissures ,la propagation de ces dernières et finalement des fractures par fatigue.

Lors des restaurations, le choix du matériau utilisé, l'optimisation des rapports occlusaux pourront concourir vers un traitement pérenne.

Concernant les rapports occlusaux, les forces obliques nocives pourront être limitées par des angles intercuspidiens ouverts.

Concernant le choix du matériau, celui-ci se fera en fonction des dents à restaurer. En effet, les dents en zone postérieure ou celles participant au guidage ne sont pas exposées aux mêmes contraintes.

Notons également que le caractère visco-élastique des polymères de collage absorberait une partie des contraintes mécaniques occlusales et qu'il serait donc intéressant de favoriser le collage plutôt que le scellement des pièces prothétiques chez les patients bruxomanes. (25)

Plusieurs études (23) (26) montrent que la zircone peut être soumise à des charges élevées. Cependant, le risque d'éclats de céramique lors d'une restauration zircone stratifiées empêche l'utilisation de ce type de restauration plus esthétique pour les patients souffrant de bruxisme notamment.

Un cas clinique (case report) réalisé par l'équipe Moreira et coll. (27) s'est basé sur le fait que la zircone pourrait être une alternative au métal pour les restaurations indirectes.

La solution de traitement retenue pour le cas clinique se base sur l'adaptation des matériaux en fonction des forces occlusales sans pour autant oublier l'aspect esthétique.

- Canines et les premières molaires : Prise en charge de la stabilité de l'occlusion.

Choix du matériau : couronne monolithique en zircone recouverte d'une couche de céramique sur les faces non fonctionnelles

- Incisives : facette en céramique stratifiée ou céramique pressée avec une préparation minimale
- Prémolaires et les deuxièmes molaires : céramique – disilicate de lithium

A la question , comment peut-on réaliser un collage pérenne pour un patient bruxomane ?, la réponse pourrait être d'adapter le choix de céramique et ainsi trouver un juste équilibre entre la nécessité de l'esthétique et la solidité de la restauration.

Pour assurer la pérennité du traitement, il a été préconisé la réalisation d'un protège-dents occlusal.

Lors de ce cas clinique, aucune complication biologique ou prothétique n'a été enregistrée pendant 4 ans.

### 2.2.3 Liés à la vitalité de la dent

La dent ayant subi un traitement endodontique est, de plus en plus souvent, restaurée par un collage.

Selon l'étude réalisée par Van Dijken et Hasselrot (28), il y aurait plus d'échec de collage sur les dents ayant subi un traitement endodontique. Cela pourrait être dû à une rétention (mécanique), moins grande que les dents vitales, due au délabrement des dents traitées endodontiquement. Cependant

un groupe de dents vitales présentant une atteinte très sévère donnait quand même des valeurs de collage plus importantes que sur des dents non vitales.

Selon Nieuwenhuysen et coll. (29), la non-vitalité de la dent pourrait être un facteur de risque et les échecs à long terme seraient plus élevés.

L'évolution des matériaux et l'utilisation croissante de la technique de collage tend à montrer (30) (31) que malgré sa déshydratation (9%), la dentine d'une dent dépulpée n'est pas plus fragile que la dentine d'une dent vitale. Le traitement endodontique affecterait la réussite du collage par les baisses de la résistance mécanique de la dent. La résistance biomécanique est réduite proportionnellement à la perte de substance coronaire.

Dans ce cadre, l'analyse de la dent résiduelle constitue donc l'un des facteurs de réussite du collage.

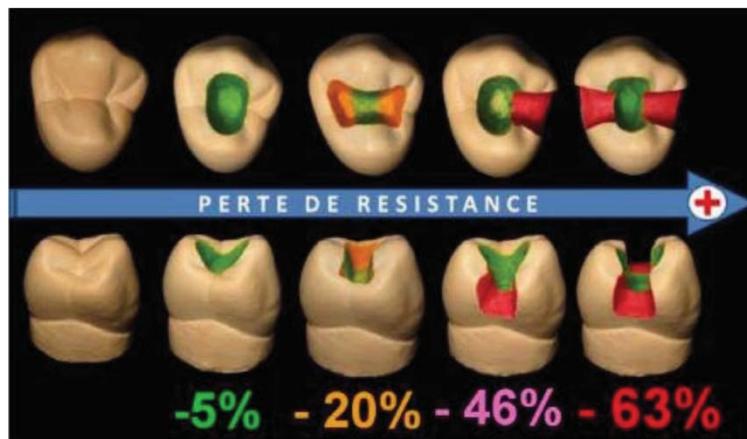


Figure 23: Évolution de la perte de résistance de la dent en fonction de la perte de substance (d'après Reeh et coll., 1989)

- parois et cuspidés indemnes de cracks et épais de au moins 1,5 à 2 mm conservés
- la préservation des crêtes marginales et du pont d'émail est un facteur capital afin de limiter la flexion cuspidienne et ainsi réduire le risque de fracture

## 2.2.4 Liés à la structure dentaire (émail /dentine)

### 2.2.4.1 La dentine sclérotique



Figure 24: Plaque de dentine sclérotique, d'après l'information dentaire n°25

La dentine sclérotique est composée :

- des tubules dentinaires plus ou moins oblitérés par une phase cristalline,
- d'autres tubules ne présentant pas de prolongements odontoblastiques,
- et d'une couche externe hyperminéralisée contenant du collagène dénaturé.

Cette dernière peut varier à l'intérieur même de la dentine sclérotique.

L'étude comparative menée par l'équipe Wang et coll. (32), confronte différents traitements de surface de la dentine sclérotique afin de savoir s'il existe un prétraitement permettant d'obtenir un collage le plus efficient possible.

L'étude porte sur 80 dents présentant de la dentine sclérotique et 40 dents présentant une dentine saine. Les prétraitements testés sont l'acide phosphorique 35%, l'EDTA 15% (Éthylènediaminetétraacétique), le NaOCl 5 à 10 % (Hypochlorite de Sodium). Les lésions sont restaurées avec un adhésif auto-mordant.

Il ressort de cette étude que, pour la dentine sclérotique, le collage suite aux prétraitements à l'acide phosphorique 35%, l'EDTA 15%, et l'acide phosphorique 35%+NaOCl 5 à 10 % est meilleur qu'avec tous les autres traitements. De plus, le prétraitement à l'acide phosphorique 35%+NaOCl 5 à 10 % permet d'obtenir un collage supérieur à celui sur la dentine saine.

L'observation à l'image électronique montre qu'à la suite de ce prétraitement la smear layer a diminué et le nombre de tubuli ouverts a augmenté.

Une autre étude menée par la même équipe (33), compare l'impact du type de fraise sur le collage à la dentine sclérotique.

L'étude porte sur 15 molaires présentant une usure occlusale. 3 types de fraise sont testées : la fraise à polir, la fraise diamantée (EX-26 Diamond), la fraise en carbure de tungstène (5# round).

Cette étude montre que le collage sur la surface préparée à la fraise diamantée est supérieur au collage des 2 autres groupes. De même, le collage du groupe de la fraise en carbure de tungstène est meilleur que pour le groupe utilisant la fraise à polir.

De plus, une revue de la littérature réalisée en 2017 par l'équipe Rocha et coll. (34), suggère que le traitement mécanique de la dentine sclérotique et l'application d'un adhésif par frottement pourraient améliorer les taux de rétention des restaurations composites en résine dans les lésions cervicales non carieuses.

L'équipe Sun et coll. (35) a étudié l'impact du laser sur la qualité du collage sur la dentine sclérotique. L'étude porte sur 200 dents d'origine animale. Une observation et une mesure de la rugosité de la surface a été réalisée au microscope électronique, ainsi que des tests de résistance avant et après un cycle thermique. Les traitements possibles sont répartis selon différents groupes, le groupe contrôle, le traitement par le système adhésif auto-mordant (Adper Easy One), le polissage de la surface puis l'utilisation de système adhésif auto-mordant, l'application de laser Er,CR : YSGG laser selon différentes puissances 1W, 2W, 3W, 4W, 5W, 6W suivi de l'application du système adhésif auto-mordant. Cette étude permet de conclure que le laser YSGG, ER,CR à une puissance de 4W améliore la qualité du collage en augmentant la rugosité de surface et le nombre de tubuli ouverts.

Luque-Martinez et coll. (36), ont testé les effets d'un prétraitement à l'EDTA sur la qualité du collage sur la dentine sclérotique. L'étude porte sur 28 dents d'origine animale. 20 dents sont réparties en 4 groupes testant les systèmes d'adhésif auto-mordant (Clearfil SE Bond, Adper SE Plus) seuls, puis en guise de prétraitement l'application d'EDTA ou d'eau distillée. Cette étude montre que l'EDTA a un impact favorable sur les forces de liaison lors du collage. L'application d'EDTA augmente les zones des tubuli ouverts.

#### 2.2.4.2 Dentine affectée

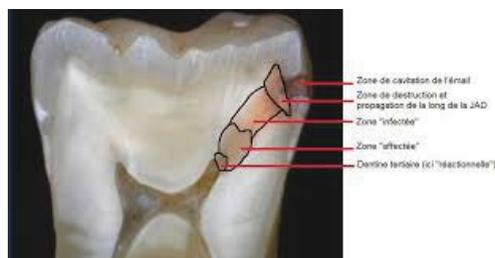


Figure 25: Coupe transversale montrant la cavitation de l'émail et 5 zones de caries dentinaires, d'après <https://www.dentaljuce.com/diagnosis-dental-caries-dentine-caries>

Lors du curetage carieux, il peut être nécessaire de laisser de la dentine affectée ; notamment, lorsque la carie est proche de la pulpe et que l'on souhaite préserver la vitalité pulpaire. Mais le collage sur la dentine affectée sera-t-il efficient ? et à quelles conditions ?

Xuan, Hou, et Lü (37) ont choisi de tester l'efficacité de différents adhésifs sur la dentine affectée. L'étude porte sur 28 molaires divisées en 4 groupes. Les adhésifs testés sont Adper Single Bond 2 (MR2), Clearfil SE Bond (SAM2), Clearfil S(3) Bond (SAM1), iBond GI (SAM1).

Les tests montrent que la force d'adhésion la plus importante sur la dentine affectée est l'adhésif MR2. Pour les adhésifs auto-mordant, le Clearfil SE Bond appliqué en 2 étapes possède la plus forte

liaison sur la dentine saine (uniquement) tandis que les 2 autres, Clearfil S(3) Bond et iBond GI, révèlent une force de liaison faible sur les 2 substrats.

Ce constat pousse l'équipe Yazici et coll. (38) à tester si l'action de l'acide phosphorique supplémentaire lors de l'utilisation de l'adhésif auto-mordant Clearfil SE Bond peut être une manière d'augmenter la force d'adhésion de la résine sur la dentine affectée.

Cette étude porte sur 2 groupes :

Le protocole du groupe 1 est celui préconisé par les fabricants de l'adhésif Clearfil SE Bond (pas de mordantage préalable). Un mordantage à l'acide phosphorique 37% est appliqué avant de réaliser le protocole fabricant pour le groupe 2.

Les résultats de cette étude montrent qu'il n'y a pas de différence significative lorsque la dentine subit un mordantage préalable à l'application de l'adhésif auto-mordant. Par contre, il a été montré une baisse de la force d'adhésion pour la dentine saine. (38)

Une revue systématique réalisée en 2018 par Isolan et coll. (39) compare l'efficacité de collage sur la dentine affectée par rapport à la dentine saine lors de l'utilisation d'adhésifs MR ou d'adhésifs auto-mordant. Les 40 études qui ont permis de faire cette méta-analyse montrent que la liaison sur une dentine saine est plus forte que sur une dentine affectée. S'agissant des adhésifs, ceux dont le protocole comprend un mordantage et un rinçage donnent des meilleurs résultats que les adhésifs auto-mordant.

Say et coll. (40) ont, quant à eux, évalué l'effet de l'adhésif dual sur la force d'adhésion à la dentine. Ils ont testé Optibond Solo Plus (adhésif photopolymérisable) ou Optibond Solo Plus + Activateur Dual-cure (adhésif dual). L'étude montre d'une part que la force de liaison à la dentine saine est plus importante que sur la dentine affectée quel que soit l'adhésif testé. D'autre part, il apparaît que l'adhésif dual réduit de manière notable la force d'adhésion à la dentine saine et à la dentine affectée. De plus, la technique de mordantage totale n'améliore pas l'adhésion à la dentine affectée par rapport à la technique d'auto-mordantage.

Aggarwal et coll. (41) ont testé l'application de l'éthanol sur la dentine affectée. Après l'étude de 24 molaires, l'équipe a conclu que l'éthanol améliorait les forces de liaison avec la dentine saine mais que par contre aucune amélioration n'avait été notée pour la dentine affectée.

Dans tous les cas, cette situation clinique ne pose pas de problème tant que les tissus (émail ou dentine) autour de la lésion sont sains. (42)

Cas particulier d'un coiffage direct :

Dans le cas d'un coiffage pulpaire, il ne s'agit pas de collage à proprement parlé. Mais il peut être intéressant d'expliquer l'adhésion du trisilicate de calcium sur la dentine affectée.

Meraji et coll. (43) ont testé la force d'adhésion de 3 matériaux de remplacement de la dentine : Retro MTA (Mineral Trioxyde Aggregate), Biodentine et Theracal LC.

- Le Retro MTA est une formulation d'agrégat de trioxyde minéral sans aucun additif pour améliorer ses caractéristiques.
- La biodentine est un matériau qui comprend des additifs et libère de manière plus importante des ions calcium.
- Le Theracal est à base de résine et libère ainsi moins d'ions calcium.

Dans la présente étude, le prétraitement de la dentine affectée avec du NaOCl a amélioré la force d'adhésion à la dentine affectée. (44)

En ce qui concerne la biodentine et le retro MTA, la force d'adhésion a augmenté avec le temps, tandis qu'aucun changement n'a été noté pour le Theracal.

Par contre, pour la dentine saine, le prétraitement a diminué le collage.

La force d'adhésion de ces matériaux à la dentine affectée est importante pour le succès du coiffage pulpaire car cela réduit le risque de caries secondaires, de sensibilité post-opératoire et de pathologies pulpaires éventuelles.

#### 2.2.4.3 Dentine sous amalgame

Lors de la dépose d'un amalgame, le tissu dentinaire qui apparaît, est un substrat modifié par l'oxydation de l'alliage. Nous ne développerons pas ici le mécanisme d'oxydation mais plutôt les conséquences sur le collage. De même, nous ne traiterons pas l'approche mécanique (fêlures, fragilité...) qui suit la dépose d'un amalgame volumineux. La dentine est un tissu poreux, perméable aux molécules issues de l'oxydation (quelques nanomètres). La couche colorée, noirâtre est le témoin de la corrosion électrochimique. On note la présence systématique d'étain, parfois de zinc ou encore de cuivre. Par ailleurs, la corrosion est source d'acidification via l'augmentation des protons et des chlorures. Celle-ci est à l'origine d'une déminéralisation du tissu dentinaire dès les premiers jours qui suivent la pose de l'amalgame. La déminéralisation engendre la libération de protéines collagéniques qui se lient aux ions issus de l'oxydation et forme la couche de substitution. Sous cette couche, les produits de corrosion pénètrent plus ou moins loin dans les canalicules selon l'ancienneté de la restauration.(45)



Figure 26: vue occlusale d'un amalgame  
(source internet)



Figure 27 : coupe transversale d'une  
dent montrant le tissu corrodé (source internet)

L'analyse des différents articles traitant de la force d'adhésion sur la dentine ayant subi une oxydation ne permet de dégager aucun consensus. En effet, une étude (46) de 2016 visant à prouver que la force de cohésion à la dentine corrodée est plus faible que la dentine saine conclut finalement qu'il n'y a pas de différence significative entre les deux types de dentine.

A l'inverse une étude réalisée en 2007 par Harnirattisai, Senawongse, et Tagami (47) montre que les deux adhésifs testés (Single Bond et Clearfil SE Bond) créent une adhésion plus importante à la dentine saine :

Il ressort de l'étude de 2016 (testant 5 types d'adhésifs) que le collage est plus performant avec un adhésif en 3 étapes (Optibond FL) et que l'adhésif Clearfil S3 Bond Plus (adhésif en 1 étape) fournit le moins performant des collages.

Cette différence de point de vue pourrait être due à la différence de préparation de la cavité après dépose de l'amalgame comme le suggère l'étude réalisée par Harnirattisai, Senawongse, et Tagami.

Il semble ressortir de ces études la nécessité d'avoir un protocole de préparation méticuleux et à adapter à la situation clinique (dentine corrodée proche pulpaire ou non, dent résiduelle..) : régularisation des contours amélaire en particulier à la jonction amélo-dentinaire et élimination contrôlée de la dentine oxydée. (45) (48)

## 2.2.5 Liés aux traitements

### 2.2.5.1 Les prétraitements

#### 2.2.5.1.1 La chlorhexidine

La chlorhexidine (CHX) est utilisée en dentisterie pour ses qualités vis-à-vis du biofilm et de la gingivite. C'est un agent antibactérien à large spectre bactériostatique à faible concentration et bactéricide à forte concentration.

En 2009, Breschi et coll. montrent que la chlorhexidine inhibe les métalloprotéinases tandis que l'adhésif active les MMP-2 (métalloprotéinase matricielle). (49)

Les métalloprotéinases contenues dans la dentine participent à la dentinogénèse et à la progression des caries.

La littérature propose deux approches : l'impact de la CHX sur la force d'adhésion à court terme et à long terme.

Plusieurs articles (50) (51) affirment que la force d'adhésion à court terme est diminuée lors de l'application de la CHX. Tandis que la méta analyse sortie en 2019 (52) qui étudie la force d'adhésion à long terme (supérieur à 6 mois) présente des résultats totalement différents.

L'application de CHX après le mordantage permettrait d'augmenter la durabilité de la liaison dentine adhésif. Il s'agit donc une amélioration de la force d'adhésion à long terme seulement.

Cela est expliqué par le fait que la CHX minimise la dégradation du collagène exposé au sein de couches hybrides incomplètement formées, contribuant ainsi à la stabilité à long terme de la couche hybride et à la force de liaison. (53) En effet, Lorsque la dentine est préparée avec l'adhésif, cela entraîne une désorganisation de fibres de collagène.

Cet effet dépend du temps, les résultats des études ne sont significatifs que dans les périodes de suivi de 6 mois ou plus.

On note que l'effet de la chlorhexidine n'a pas été influencé par le type d'adhésif.

Il est important de noter que la méta analyse se base en grande partie sur des études in vitro. Un article traitant d'une étude in vivo et in vitro réalisée par Gunaydin, Yazici, et Cehreli en 2016 (53) a conclu que la diminution de la force d'adhérence de la dentine des adhésifs (MR et auto-mordant) dans le temps peut être empêchée par l'application de chlorhexidine. D'après Shadman et coll. (54), la CHX prévient la baisse de l'adhésion sur le long terme.

#### 2.2.5.1.2 EDTA (Éthylènediaminetétraacétique)

Comme décrit précédemment pour la dentine sclérotique, des études ont été menées afin de connaître l'impact de l'EDTA à 17% sur la dentine sclérotique.

Une étude réalisée en 2017 (55) fait varier le protocole de l'application de l'EDTA et utilise des adhésifs universels (Scotchbond Universal Adhesive et Prime & Bond Elect)

Une autre étude réalisée en 2018 (36) compare deux prétraitements, d'une part l'EDTA, d'autre part l'eau distillée et utilise des adhésifs auto-mordant. (Clearfil SE Bond et Adper SE Plus)

Toutes deux concluent que l'EDTA améliore la force d'adhésion de la résine à la dentine lors de l'utilisation d'un adhésif auto-mordant ou universel lorsque que celui-ci est utilisé en mode auto-mordant.

#### 2.2.5.1.3 EDTA / NAOCL / Acide phosphorique

D'autres équipes (32) ont choisi d'associer l'action de plusieurs prétraitements et d'observer leurs impacts. Il s'agit cette fois encore de comprendre comment améliorer l'adhésion à la dentine sclérotique. Quatre-vingts dents (40 dents avec de la dentine sclérotique et 40 dents avec de la dentine saine) ont été collectées. Chaque groupe a été divisé en 8 sous-groupes. (1- eau distillée, 2- acide phosphorique 35% pendant 30s, 3- 5% NaOCl pendant 60 s, 4- gel EDTA 15% pendant 60 s 5- 15% gel EDTA pendant 60 s et 5% NaOCl solution 60 s, 6- gel EDTA 15% pendant 60 s et 10% NaOCl pendant 60 s, 7- acide phosphorique 35% pendant 30s et 5% NaOCl pendant 60 s, 8- 35% acide phosphorique pendant 30s et 10% NaOCl pendant 60 s)

L'étude conclut que l'application d'acide phosphorique + NaOCl (5 ou 10%) augmente les forces d'adhésion sur la dentine sclérotique en modifiant la microstructure de celle-ci. Alors que sans prétraitement, la force d'adhésion à la dentine saine est plus élevée.

Par contre, il est important de noter que certaines publications soulignent que la force d'adhésion sur la dentine saine est diminuée lors d'un prétraitement au NaOCl.

### 2.2.5.2 Les traitements

#### 2.2.5.2.1 Eugénol

Lors du traitement, il est souvent nécessaire de temporiser. Dans ce cadre, le dentiste est amené à poser un pansement à base d'oxyde de zinc/eugénol renforcé de résine par exemple ou bien à mettre en place une couronne provisoire scellée au ciment avec eugénol.

Cependant, l'eugénol est réputé pour inhiber la polymérisation de l'adhésif des résines composites. Selon les études menées par Deveaux et coll. (1999) (56) et Carvalho et coll. (2007) (57) sur l'IRM, il est déconseillé de l'utiliser avant le collage d'une restauration directe.

Yap et coll. montrent que l'IRM® (utilisé en restauration temporaire) préparé avec un ratio de Poudre: Liquide égal à 10:1 n'a pas d'impact sur l'étanchéité de la restauration en composite. Par contre,

lorsque le ratio est de 10:2, la force d'adhésion est significativement plus faible. Un prétraitement d'un tel ratio n'est pas conseillé cliniquement et pourrait engendrer une infiltration bactérienne. (58) (59)

Carvalho et coll. ont testé la force d'adhésion résine/dentine après application d'un ZOE sur la surface de collage. L'eugénol reste en place 24 heures puis le collage est effectué avec différents adhésifs (Single Bond, Clearfil SE, et iBond). Les tests de résistance sont réalisés 24 heures plus tard. L'application d'un oxyde de zinc eugénol (ZOE) pendant 24 heures entraîne une diminution de la force d'adhésion plus prononcée pour les adhésifs des systèmes auto-mordançant. Cependant, même si cette baisse est moins importante, la force d'adhésion est quand même affectée pour les systèmes d'adhésifs avec mordantage préalable. Cela pourrait être dû à l'élimination de la boue dentinaire lors du mordantage et rinçage.

En 2011, l'effet du temps d'exposition à l'eugénol sur la force d'adhésion est évalué par Silva et coll. (60) Ainsi, le matériau de restauration à base d'eugénol est laissé 24 heures, 7 jours et 14 jours. Un matériau ZOE laissé pendant 24 heures affecte la dentine et diminue la force d'adhésion de l'adhésif auto-mordançant. Lorsque la restauration temporaire est déposée après 7 jours ou 14 jours, il n'y a pas de différence significative, la force d'adhésion n'est pas diminuée. L'impact de l'eugénol sur la dentine diminue avec le temps d'exposition ainsi après 1 semaine la dentine recouvre ses propriétés initiales.

Donc, les ciments à base d'eugénol ne seraient pas formellement contre-indiqués si un délai de temporisation d'une semaine minimum est respecté avant le collage (diminution de la diffusion dentinaire d'eugénol au cours du temps) et si les résidus de ciment temporaire sont correctement supprimés par sablage. (61)

Selon certains auteurs, l'hybridation dentinaire immédiate empêcherait l'eugénol de pénétrer dans les tubuli dentinaires, ainsi ce dernier n'altérerait pas le futur collage. (62) (63)

Cadenaro et coll. (64) ont étudié les facteurs jouant un rôle dans la stabilité de l'interface dentine/adhésif et ont conclu que lorsque des matériaux à base d'eugénol sont utilisés avant l'application de composés de résine, le substrat dentaire contaminé doit être soigneusement nettoyé mécaniquement et en frottant la surface avec un détergent ou de l'alcool pour éliminer les restes huileux d'eugénol, afin d'empêcher l'inhibition de la polymérisation et la réduction de la force de liaison.

#### 2.2.5.2.2 Eclaircissement

L'éclaircissement ou « blanchiment dentaire » est de plus en plus demandé par les patients dans le cadre d'une réhabilitation esthétique. L'application de peroxyde d'hydrogène ou de peroxyde de carbamide modifie la structure de l'émail et de la dentine. Cette modification doit être prise en compte lors d'une restauration collée.(65)

Différentes études (66) (67) (68) ont montré que l'application d'agents de blanchiment avait un impact significatif sur le collage. Arumugam et coll.(69) montrent que l'application de peroxyde d'hydrogène ou de carbamide (10%-35%) affecte de manière négative la force d'adhésion du composite à l'émail ayant subi un mordantage si le collage est effectué immédiatement après le blanchiment.

L'explication pourrait être que l'oxygène résiduel (issu de l'agent blanchiment) bloque la liaison entre le groupe carboxylique de l'acide polyalkenoïque et l'hydroxyapatite. (70) D'autres (71) (72) pensent que le peroxyde d'hydrogène peut modifier la teneur en minéraux et protéines des couches superficielles de l'émail et ainsi réduire la force d'adhésion du composite.

La baisse d'adhésion peut être du également à des changements d'ultrastructure favorisés par les agents de blanchiment.

Il existe plusieurs moyens de restaurer la capacité d'adhésion de l'émail et / ou dentine à la résine.

Les molécules utilisées sont des antioxydants. Des études ont montré leurs capacités à neutraliser l'action des radicaux libres.

Nair et coll. (66) ont mené une étude in vitro comparant 3 traitements d'antioxydants : l'ascorbate de sodium 10%, la proanthocyanidine à 6,5% et l'aloë Vera. L'anti oxydant était appliqué pendant 10 minutes après le traitement par du peroxyde de carbamide lui-même posé pendant 30 minutes. Les résultats ont montré une amélioration des forces d'adhésion pour la proanthocyanidine à 6,5% suivie de l'ascorbate de sodium puis de l'aloë vera.

Rana et coll. (73) ont choisi d'évaluer l'ascorbate de sodium à 10%, le thé vert 5% et le thé blanc 5%. Il en ressort de la même manière que les antioxydants testés restaurent la capacité d'adhésion du substrat dentaire. Ils ne montrent pas de différence significative entre les 3 antioxydants testés.

Nari-Ratih et Widyastuti (74) n'ont relevé aucune différence significative entre les 4 antioxydants suivants : 10% d'ascorbate de sodium, 10% alpha-tocopherol, 10% de thé vert et 10% aloë vera. Ceux-ci semblent aussi efficaces dans la restauration d'un substrat dentaire adapté au collage.

Pour Bansal et coll. (75), parmi les groupes antioxydants, l'extrait de thé vert a montré une force de liaison significativement plus élevée que la proanthocyanidine, le tocophérol et l'ascorbate de sodium.

Karadas et Demirbuga (76) soulignent que l'adhésif avec mordantage se révèle plus efficace que le mode automordançant.

Par ailleurs, selon Cavalli et coll. (68), il est conseillé d'effectuer les procédures de collage 14 jours après le blanchiment. Topcu et coll. (77) et de Almeida et coll. (78) arrivent à la même conclusion quel que soit le type ou la concentration de l'agent de blanchiment.

Par ailleurs, Niat et coll. (79) en 2012 a montré que l'application d'agent desséchant comme l'utilisation d'acétone, avant de mettre en place la résine, permet d'obtenir une plus forte force de liaison après l'application d'un gel de peroxyde de carbamide à 15%. Ils notent également que les adhésifs à base d'acétone permettent une force de liaison plus importante que les adhésifs à base d'alcool.

En conclusion, les produits éclaircissants compromettent le collage d'une résine, de manière temporaire. Il est donc préférable de reporter la restauration utilisant une résine. La durée de ce report varie selon les études. Un consensus pourrait s'établir sur un délai de 14 jours.

#### 2.2.5.2.3 Carisolv® (MediTeam, Göteborg, Suède)

Carisolv® est une méthode d'éviction carieuse chimico-mécanique. Le gel permet de ramollir la carie infectée et de conserver au maximum les tissus sains.

Carisolv® agit de manière sélective sur la dentine infectée laissant en place la couche de dentine affectée (reminéralisable).

Carisolv® contient :

- de l'hypochlorite de sodium (0,5%)
- de l'hydroxyde de sodium et un mélange d'acides aminés (acide glutamique, la leucine et la lysine) avec de l'eau.

Carisolv® entraîne une chloration des acides aminés de la dentine cariée. L'action sur les liaisons hydrogènes du collagène de la dentine cariée permet d'éliminer le collagène dénaturé.

Banerjee (80) a montré que dans le cadre de l'utilisation du Carisolv®, un adhésif auto mordançant (Silorane adhesive) entraîne une meilleure adhésion que lors de l'utilisation d'un adhésif MR2 (Scotchbond 1XT).

Sirin Karaarslan et coll. (81) (2012) ont réalisé une étude comparant 3 techniques d'élimination de caries (fraise, laser Er: YAG, gel chimio-mécanique Carisolv®) et font varier les adhésifs (Clearfil® SE Bond, G-Bond® ou Adper® Single Bond 2)

L'équipe conclut que lorsque l'adhésif est un MR2, les techniques d'éviction carieuse ont un impact sur le collage. Alors que, dans les systèmes adhésifs auto-mordancants en une et deux étapes, les valeurs de force de liaison ne sont pas affectées de manière significative par les techniques d'élimination des caries.

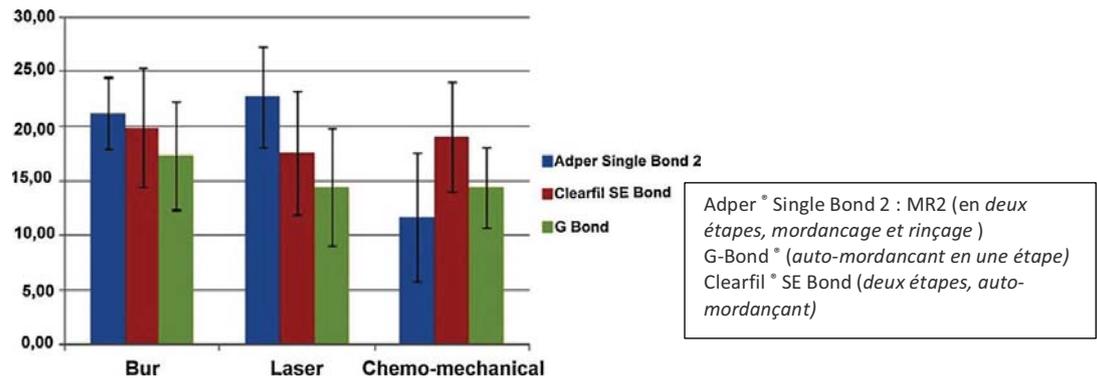


Figure 28: Représentation graphique des forces de liaison (MPa) (moyenne  $\pm$  SD) pour les différentes techniques d'élimination des caries et les systèmes adhésifs

D'après cette étude, l'utilisation d'un système auto-mordancant est préférable lors d'éviction carieuse par technique chimio-mécanique, similaire à Carisolv.

En 2014, Hamama, Yiu, et Burrow (82) ont évalué l'effet des méthodes d'éviction carieuse suivantes, chimio-mécanique à base d'enzyme, chimio-mécanique à base d'hypochlorite de sodium (carisolv) et mécanique (instruments rotatifs) sur le collage avec des adhésifs auto-mordancants 1 étape ou 2 étapes. Ils concluent que la force d'adhésion est affectée par le type d'adhésif (1/2 étapes) et par le type de dentine (affectée/saine).

Par conséquent, les praticiens peuvent opter pour des méthodes et des systèmes d'éviction carieuse appropriés pour chaque patient et chaque pratique.

#### 2.2.5.2.4 Les agents hémostatiques

Parmi les éléments pouvant compromettre le collage, le sang fait partie des facteurs de risque que le chirurgien-dentiste doit maîtriser. La digue est indispensable pour isoler la dent à restaurer ; mais lors de la préparation, il est possible de provoquer un saignement parfois difficile à arrêter. Le praticien peut être amené à utiliser un agent hémostatique avant la procédure de collage.

Ajami et coll. (83) (2013), ont analysé l'impact de l'agent hémostatique, le chlorure d'aluminium, sur le collage. L'étude porte sur 5 groupes : le groupe contrôle, agent hémostatique, agent hémostatique et eau, agent hémostatique et EDTA, et agent hémostatique et acide phosphorique.

Cette étude a montré que l'utilisation d'un adhésif auto-mordant engendrait une diminution de la force de liaison à la dentine lorsque celle-ci était contaminée par un agent hémostatique contenant AlCl<sub>3</sub> avant la procédure de collage

Table 2: Mean and standard deviations (SD) of shear bond strengths (in MPa) in the study groups		
Groups	Treatments	Mean ± SD
I	No treatment (control)	20.17 ± 1.61 <sup>a</sup>
II	Hemostatic agent	10.27 ± 0.88 <sup>b</sup>
III	Hemostatic agent + water	12.72 ± 1.21 <sup>c</sup>
IV	Hemostatic agent + EDTA	19.87 ± 1.20 <sup>a</sup>
V	Hemostatic agent + phosphoric acid	15.92 ± 0.98 <sup>d</sup>

Tableau 1: d'après effect of three different contamination removal methods on bond strength of a self-etching adhesive to dentin contaminated with an aluminum chloride hemostatic agent

La diminution de la force d'adhésion peut également être attribuée en partie aux minéraux, dépôts d'aluminium non liés sur la surface de la dentine et à la formation d'une couche de résidus; ce phénomène pourrait diminuer l'infiltration de l'adhésif dans la dentine. Il pourrait également expliquer l'augmentation des défaillances d'adhésif lorsque ce sont des adhésifs auto-mordant qui sont utilisés sur la surface de la dentine contaminée sans conditionnement préalable.

Selon les résultats de cette étude, le rinçage ou le conditionnement des surfaces dentinaires contaminées avant la procédure de collage a permis d'améliorer la force de liaison; cependant, il y avait encore une différence significative avec le cisaillement forces de liaison du groupe témoin. Seul le groupe avec l'EDTA n'avait pas une force d'adhésion significativement différente de celle du groupe témoin.

D'autre part, une revue de littérature (84) sur différents agents hémostatiques recommande de nettoyer correctement les surfaces. De plus, l'utilisation des systèmes d'adhésifs avec mordantage est conseillée.

### 2.2.6 Liés au protocole

Le respect du protocole est un facteur de succès important. Il est lié en grande partie au praticien, ses connaissances, sa formation, son expérience, sa rigueur. Le suivi du protocole conditionne en grande partie le succès du traitement et la pérennité de la restauration.

### 2.2.6.1 Digue

La mise en place d'une restauration adhésive doit être exempte d'humidité. En effet l'humidité, présente à 90% au niveau des molaires mandibulaires, diminue de 70% la force de collage entre la dent et la résine composite. Il y a donc la nécessité absolue de mettre en place le composite à l'abri de l'humidité. Pour cela, la mise en place d'un champ opératoire étanche est indispensable malgré une étape opératoire supplémentaire. (85)

La digue est un champ opératoire permettant au praticien de travailler dans un environnement contrôlé.

La digue permet d'isoler la dent sur laquelle le travail doit être effectué. Ainsi le praticien peut se concentrer sur son acte. Elle améliore la visibilité.

L'isolement créé par le champ opératoire constitue une barrière physique garantissant une asepsie pendant le soin. La contamination par la salive ou le sang représente un facteur de risque pour le collage car ceux-ci empêchent l'adhésion.

D'autre part, la digue assure la sécurité et le confort du patient empêchant l'inhalation de substances chimiques, instruments etc..(86)

En 2011, Aboushelib (87) a étudié l'influence de la salive sur le collage. Il utilise un adhésif auto-mordant et teste les échantillons ayant subi une contamination salivaire après la préparation de la cavité.

Les résultats montrent une nette détérioration de la force d'adhésion lorsque la surface à coller a été contaminée par la salive. Il préconise donc de poser la digue avant la restauration de la dent.

Nair, Hickel, et Ilie (88) ont réalisé une revue de littérature en 2017. Après l'étude de 54 articles, il en ressort que la contamination salivaire pendant la restauration est néfaste dans 64,6% des cas. La performance des adhésifs est très largement diminuée. Mais la difficulté de cette analyse réside dans le fait que les protocoles utilisés dans les différents articles ne sont pas identiques, créant donc un biais dans l'analyse. Une information ressort néanmoins de cette revue de littérature : les adhésifs MR2 (mordantage rinçage 2 étapes) sont moins imputés par la contamination salivaire que les autres.

Taneja, Kumari, et Bansal (89), en 2017, ont évalué la force de liaison des différents adhésifs après contamination par la salive et le sang à différentes étapes d'application (avant et après la polymérisation de l'adhésif). Les adhésifs testés sont des adhésifs de cinquième génération (OptiBond

Solo Plus Kerr- MR3), adhésifs de septième génération (OptiBond All-In-One Kerret – SAM1), adhésif de huitième génération (Futurabond DC Voco- SAM1).

Les résultats montrent que non seulement la salive et le sang réduisent la force d'adhésion mais que la contamination par le sang affecte de manière plus importante cette force. Pour réaliser un traitement réussi, la restauration doit être exempte de contamination. De plus, si celle-ci se fait après l'application de l'adhésif, l'impact est encore plus important.

### 2.2.6.2 Type de fraise

Lors de la préparation, suite à l'éviction d'une carie ou bien suite à la préparation d'une dent en vue d'une restauration indirecte, les praticiens peuvent utiliser plusieurs types de fraises, diamantées (différents grains), carbure de tungstène.

D'une part, celles-ci ont un impact sur la rugosité de la surface à coller. D'autre part lorsque la dent est taillée avec des instruments rotatifs, les débris de coupe sont retrouvés sur les surfaces d'émail et de dentine et forment une couche, la smear layer. La morphologie, la composition et l'épaisseur cette couche sont influencées par le type d'instruments rotatifs, la vitesse des pièces à main et la taille des grains utilisés. Or la smear layer a un impact sur les qualités d'adhésion entre la dent coupée et le matériau de restauration, ces facteurs doivent donc être considérés comme des paramètres affectant le collage.

En 2008, Ermis et coll. (90) ont testé l'impact de la taille des grains de fraises diamantées et différents protocoles d'adhésifs sur la force d'adhésion. La préparation était faite avec des fraises diamantées à grain moyen à grande vitesse (100 µm), à grain fin (30 µm) et une fraise diamantée à grain extra-fin (15 µm). Les adhésifs utilisés étaient Optibond FL(adhésif MR3), Adper Prompt L-Pop (adhésif auto-mordancant puissant 1 étape), Clearfil SE Bond (adhésif auto-mordancant doux en 2 étapes) ou Clearfil S3 Bond (adhésif auto-mordancant doux 1 étape)

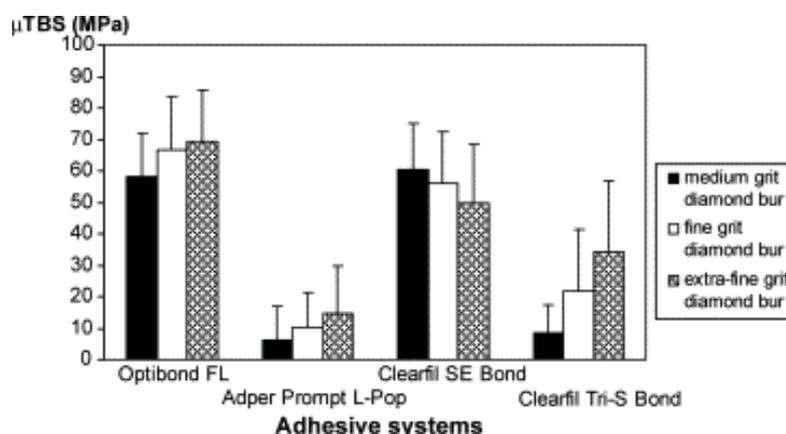


Figure 29: Force de liaison micro-traction en MPa, Bond strength of self-etch adhesives to dentin prepared with three different diamond burs 2008

Pour les adhésifs MR3 et les adhésifs auto-mordançant « puissants », l'efficacité du collage n'est pas affectée par le type de fraises diamantées utilisées.

Par contre, les valeurs d'adhésion restent très basses lors de l'utilisation du Adper Prompt L-Pop, adhésif auto-mordançant puissant 1 étape.

Pour les adhésifs auto-mordançant ultra-doux en une étape, l'efficacité du collage peut être considérablement améliorée en finissant la préparation de la cavité avec des fraises diamantées de grain plus fin.

En 2011, Ayad et coll. (91) ont eux aussi conclu, en cohérence avec l'étude précédente, que les forces d'adhésion sont élevées et homogènes lors de l'utilisation d'un système MR3 (optibond) malgré la différence de rugosité de la surface. Les autres adhésifs (auto-mordançant doux) réagissent globalement de la même manière à rugosité équivalente mais la force d'adhésion est améliorée lorsque les surfaces sont lisses.

### 2.2.6.3 L'adhésif

#### 2.2.6.3.1 Performances selon les modes opératoires

On sait que la qualité de cette adhésion varie également en fonction du système adhésif choisi, mordantage total, auto-mordançant ou mordantage sélectif. (24)

Les différentes générations :

Sarr et coll. en 2010 (92) ont testé 11 systèmes d'adhésif (2 MR3, 3 MR2, 2 SAM2, 4 SAM1) sur 55 molaires d'origine humaine. Les valeurs des forces d'adhésion varient entre 11 et 63MPa. La plus faible valeur est obtenue par l'adhésif auto-mordançant en 1 étape (AdperPrompt L-Pro) tandis que la plus forte adhésion revient à l'adhésif MR3 (OptiBond FL).

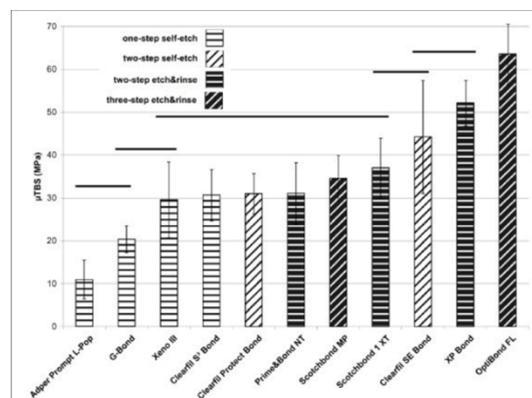


Figure 30: Graphique à barres présentant le  $\mu$ TBS en MPa

La procédure MR3 est considérée comme le Gold Standard.(93) Cependant, les adhésifs auto-mordant doux en deux étapes, dont la liaison est très performante semblent un compromis acceptable. En effet, tout en gardant une efficacité de collage optimale, ils permettent au praticien d'appliquer un protocole simplifié.

La composition des adhésifs peut aussi être à l'origine de difficultés de mise en œuvre. Les adhésifs de 5<sup>ème</sup> génération ou MR2 sont souvent employés par le praticien. Le primer et résine adhésifs sont appliqués en même temps (1 flacon) sur une surface humide. La difficulté est de trouver le bon degré d'humidité pour une pénétration optimale. L'excès d'eau (« sur mouillage ») entraîne l'inclusion de bulles d'eau à l'interface. Tandis que le défaut d'eau entraîne le collapsus du collagène et une infiltration très incomplète de l'adhésif. L'infiltration incomplète peut être à l'origine de défauts d'étanchéité source de sensibilités postopératoires, de colorations parasites des marges et, à terme, de caries récurrentes. (94)

### 2.2.6.3.2 Compatibilité adhésif/résine

Tableau 1: Compatibilité d'adhésifs testés au cours des TP de l'ADDA en association Le rôle favorable des activateurs est manifeste. Mélangés à des adhésifs qui ils permettent d'assurer une bonne liaison adhésif-composite.			à un composite « auto polymérisable ». s'avèrent incompatibles seuls,		
Compatibilité					
Bonne			Mauvaise		
	Moyenne				
All Bond 2 <sup>e</sup> (Bisico)	M&R3	Scotchbond One XT (3M/ESPE)	M&R2	Optibond Solo plus* (Kerr-Hawe)	M&R2
One Step Plus* (Bisico)	M&R2	Prime & Bond NT + activateur (Dentsply)	M&R2	Prime&Bond NT (Dentsply)	M&R2
Optibond Solo plus* + activateur (Kerr-Hawe)	M&R2	Clearfil SE Bond (Dental Emco)	SAM 2	One Coat SE (Coltène)	SAM 2
AdheSE* + activateur (Vivadent)	SAM 2	Contax (PRED)	SAM 2	AdheSE (Vivadent)	SAM 2
Contax + activateur (PRED)	SAM 2			Adper Prompts LP (3M/ESPE)	SAM 1
Quick Bond* + activateur (Itena)	SAM 2			I Bond (Heraeus)	SAM 1
Auto-Bond* (Apol)	SAM 1			Xeno 3 (Dentsply)	SAM 1
Hybrid Bond* (Générique International)	SAM 1				

Tableau 2: Compatibilité de différents adhésifs d'après l'information dentaire n°4

Certains systèmes adhésifs sont incompatibles avec les colles ou composites chimio-polymérisables, ou avec certains matériaux dual. L'activation photonique n'est pas terminée, ainsi à l'interface adhésif/composite, subsiste une zone de faible cohésion. Ceci a pour conséquence des décollements de reconstitutions corono-radicaux, de facettes et d'inlays. Cette incompatibilité est imputée à l'acidité de certains adhésifs, qu'il s'agisse de systèmes M & R ou de SAM.

Pour comprendre ce qui se passe, il faut connaître le principe de polymérisation des composites autopolymérisables :

- la présence d'oxygène à la surface de l'adhésif ou d'un composite photopolymérisé, inhibe la réaction de polymérisation laissant une fine couche non polymérisée.
- Les colles et composites auto-polymérisables se présentent toujours sous deux composants appelés « base » et « catalyseur ». Leur mélange entraîne le

durcissement du matériau. La réaction est amorcée par les radicaux libres issus du mélange base/catalyseur (réaction d'oxydo-réduction)

- Lors de l'application du composite sur la couche superficielle d'adhésif non polymérisée, des monomères libres de l'adhésif diffusent au sein de la colle.
- Dans le cas où ce sont des monomères acides, une réaction acide/base se fait avec l'amine tertiaire. Celle-ci n'est plus disponible pour amorcer la formation des radicaux libres qui, permettent l'amorçage de la polymérisation.
- Ainsi la polymérisation chimique est inhibée.

Pour y remédier, des adhésifs MR3 ou SAM2 peuvent être utilisés. Après le primer, l'application d'une couche de résine hydrophobe et peu perméable s'oppose à la diffusion des monomères acides que peut contenir leur primer. Cependant quelques SAM2 restent incompatibles.

La solution fiable est d'employer dans ces situations cliniques, soit un adhésif dual, soit un adhésif que l'on mélange avec un « accélérateur spécifique » (fourni par les fabricants). Cet activateur est le plus souvent un agent réducteur qui diminue l'épaisseur de la couche d'adhésif inhibée par l'oxygène. (baisse de la diffusion des protons dans le matériau auto-polymérisable). De plus, l'activateur a le pouvoir de réagir avec les monomères acides libres permettant de former d'autres types de radicaux libres pour assurer une bonne polymérisation chimique. (95)

Protocole pour vérifier la compatibilité :

1. Application sur un morceau de résine acrylique propre (ancienne prothèse amovible) à sa surface une couche de l'adhésif habituel à tester
2. Photopolymérisation
3. Application de colle ou de composite de reconstitution dual à tester sur la couche d'adhésif. (Pas d'irradiation du matériau pour simuler sa prise sans lumière)

Un système de préhension, tel un manche cannelé de micro-brosse, est planté dans le matériau. Il permettra, après prise, de tirer sur l'assemblage pour estimer la liaison adhésif-colle ou composite.

4. Attente du temps de prise en mode « auto » du matériau (4 à 5 minutes en moyenne).
5. Traction sur le manche pour connaître la compatibilité des deux matériaux.
  - a. Si le composite se décolle aisément du bloc de résine, l'adhésif est incompatible avec la prise en mode chimique du composite ou de la colle.

- b. En revanche, si le manche casse sans emporter le plot de composite, on pourra conclure à une bonne compatibilité entre les deux.

### 2.2.6.3.3 Temps de mordantage

Dans l'étude de Scheffel et coll. (96), des valeurs de force d'adhésion plus faibles ont été observées lorsque la dentine non cariée a été mordancée pendant cinq secondes, alors qu'aucune différence n'a été observée entre 10 et 15 secondes.

Par contre, il est important de noter que le « sur-mordantage » (au-delà de 15 secondes pour la dentine) pourrait avoir un effet délétère d'un point de vue mécanique comme d'un point de vue biologique. La déminéralisation de la dentine se fait sur une profondeur qui ne peut être infiltrée par le système adhésif et il existe alors une zone de dentine fragilisée sous la couche adhésive.

### 2.2.6.3.4 Temps d'évaporation du solvant

Il existe différentes études menées à ce sujet. Cependant, on ne retrouve pas d'homogénéité entre les protocoles de tests. Ainsi les résultats sont contradictoires. La seule recommandation est donc de respecter le protocole donné par le fabricant. (97) (98)

### 2.2.6.4 Air Abrasion

Le principe de l'air-abrasion est basé sur l'utilisation de particules abrasives mélangées à de l'air. La projection de ces particules permet de créer des microrugosités sur le substrat souhaité. Les particules abrasives sont soit de l'oxyde d'alumine soit du bicarbonate de sodium. La taille de l'alumine peut varier et pourra donc être adaptée au substrat.

D'Amario et coll. ont étudié le prétraitement par air abrasion de la dentine afin de comprendre l'impact sur les forces d'adhésion. Les quatre adhésifs testés sont OptiBond FL (FL), OptiBond Solo Plus (SO), Prime & Bond (PB) et Riva Bond LC (LC). Le groupe témoin ne subit aucun prétraitement tandis que les échantillons de l'autre groupe sont soumis à des particules d' $Al_2O_3$  de 50  $\mu m$  de diamètre. Les résultats obtenus montrent pour 3 des 4 adhésifs testés une différence significative des forces d'adhésion à la dentine. Les groupes ayant subi un prétraitement présentent des valeurs supérieures.

	C (control)	A (abraded)	p
FL	18.31 (6.72) <sup>A</sup>	35.51 (8.41) <sup>A</sup>	<0.001
SO	16.49 (4.61) <sup>A</sup>	32.60 (7.31) <sup>A</sup>	<0.001
PB	27.68 (4.98) <sup>A</sup>	33.36 (9.98) <sup>A</sup>	0.066
RB	14.47 (5.75) <sup>B</sup>	28.73 (7.06) <sup>A</sup>	<0.001

Tableau 3: Valeurs moyennes de force d'adhésion, d'après *Effect of Airborne Particle Abrasion on Microtensile Bond Strength of Total-Etch Adhesives to Human Dentin*

Cette étude conclut donc que le prétraitement par air abrasion permet d'augmenter les forces d'adhésion à la dentine lors de l'utilisation des adhésifs MR2 ou MR3.(99)

Une autre étude menée par Anja et coll.(100) sur l'influence du prétraitement par air abrasion sur la force d'adhésion lors de l'utilisation d'adhésif auto-mordant en 1 étape aboutit à des conclusions différentes. La surface exposée à l'oxyde d'alumine révèle bien les microrugosités pouvant augmenter la force d'adhésion. Cependant, les résultats ne montrent aucune différence entre le groupe témoin et le groupe ayant subi le prétraitement d'air abrasion. Cette étude conclut que d'autres facteurs entrent en jeu. Cela pourrait être dû au fait que les adhésifs auto-mordant doux, tels que celui utilisé dans la présente étude, n'exposent pas complètement le collagène pour la rétention micromécanique.

Ainsi, d'une étude à l'autre les conclusions diffèrent. Des recherches supplémentaires doivent évaluer l'efficacité sur le long terme de ce type de traitement de surface ainsi que leur impact sur l'efficacité d'autres systèmes adhésifs (SAM ou M&R).

Cependant, il est important de noter que l'emploi de l'air abrasion avant le protocole de collage, présente divers avantages:

- Nettoyage efficace des substrats (retrait des résidus de ciments temporaires, des débris organiques, plaque bactérienne ...)
- Création de microrugosités pour une meilleure rétention en regard de l'émail et augmentation de la surface de collage/énergie de surface en regard de la dentine.

#### 2.2.6.5 IDS (Immediat Dentin Sealing)

Dans le cadre des restaurations indirectes, la préparation de la dent est effectuée en amont de la pose de la prothèse. Entre l'exposition de la dentine lors de la préparation dentaire et la mise en place de la prothèse d'usage, la surface dentinaire est susceptible d'être contaminée par différents polluants : la salive, les bactéries et leurs produits, et les ciments provisoires. Ceux-ci peuvent être à l'origine d'une diminution du collage. (101)

En effet, seule la dentine fraîchement coupée constitue un substrat idéal.

Le scellement dentinaire immédiat est l'application d'un adhésif sur une dentine fraîchement préparée afin de créer une couche hybride. La couche hybride réunit les tubuli dentinaires et les fibres de collagène d'une part, et les matériaux de collage d'autre part.

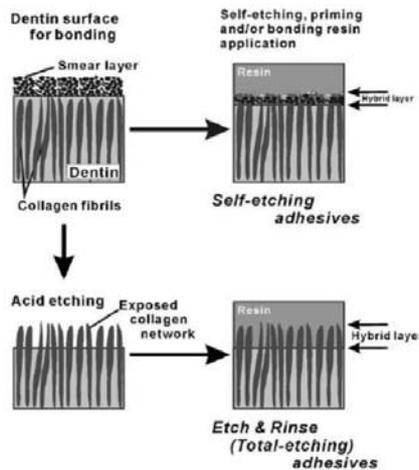


Figure 31: Illustration de la structure de la couche hybride suite à l'utilisation d'un système automordançant et d'un système à mordançage total  
 Hashimoto M, Nagano F, Endo K, Ohno H. A review: Biodegradation of resin–dentin

Parmi les différents adhésifs qui existent (MR2, MR3, SAM1, SAM2) , certains seront plus adaptés pour la réalisation d'une couche hybride efficace.

Les systèmes auto-mordançant permettent de s'affranchir de la difficulté d'avoir une surface dentinaire ni trop humide ni déshydratée.

Selon Duarte S Jr, de Freitas CRB, Saad JRCSadan A., la force de liaison des SAM 1 est statistiquement inférieure à celle des MR 2. Par ailleurs, l'étude menée par Choi et Cho (102), montre que la force d'adhésion lors de l'utilisation du MR 2 est statistiquement similaire à celle obtenue par le groupe qui a subi un scellement dentinaire différé.

D'autres études permettent de conclure que les SAM2 et les MR3 sont les adhésifs de choix pour la création d'une couche hybride. Les MR3 restent le Gold Standard. Les adhésifs SAM 1 sont à proscrire pour l'IDS et les MR2 peuvent être utilisés dans certaines conditions.(93)

La réalisation de l'IDS doit suivre un protocole strict afin de ne pas impacter d'autres étapes, notamment la prise d'empreinte. En effet, lors de la photopolymérisation, une couche superficielle non polymérisée pourrait entraîner des phénomènes de tirages lors de l'empreinte. Cette couche non polymérisée inhibe elle-même la polymérisation du matériau à empreinte.

Le protocole clinique(93) :

- mise en place du champ opératoire ;
- préparation dentaire ;
- mordançage de la surface dentinaire ;
- rinçage et séchage doux de la surface dentinaire par flux d'air négatif ;

- application du primer à la micro-brosse sur la surface dentinaire uniquement ;
- évaporation du solvant ;
- application de l'adhésif à la micro-brosse et à la sonde parodontale sur la surface dentinaire uniquement
- photopolymérisation ;
- comblement des contre-dépouilles avec un composite flow ;
- photopolymérisation ;
- application d'un gel de glycérine (blocage de l'air) et photopolymérisation ;
- élimination du gel de glycérine à l'aide d'un spray air/eau ;
- application de ponce à la pâte à polir à l'aide d'une cupule en caoutchouc montée sur contre-angle à faible vitesse ;
- à l'issue de ces étapes, retrait de l'adhésif éventuellement appliqué accidentellement sur l'émail à la fraise diamantée. Réexposition éventuelle de la surface amélaire ;
- empreinte

Ainsi, la couche hybride isole la surface dentinaire de différents polluants : contamination bactérienne en cas de perte de la restauration provisoire, contamination par ciments de scellement sous la restauration provisoire.

#### 2.2.6.6 Photopolymérisation

La photopolymérisation (103), (64) est considérée à tort comme une étape non déterminante dans le succès du collage des restaurations. Dans de nombreux cas, c'est le système amélo-dentinaire qui est mis en cause lors des échecs des restaurations directes. Pourtant la technique, la lampe, le temps de photopolymérisation peuvent être à l'origine de ces échecs. En cas de mauvaise photopolymérisation, les propriétés du composite sont altérées ; cela peut provoquer une rupture de l'interface dent/restauration, une instabilité colorimétrique et des phénomènes de solubilisation et d'absorption hydrique de la résine composite.

##### 2.2.6.6.1 Type de lampe

Il existe différentes lampes sur le marché, lampes à plasma, lampes halogène, et lampes à LED. Pour chaque lampe, un temps de photopolymérisation est recommandé.

Des études montrent que la polymérisation rapide et dont l'irradiance est élevée a un impact sur l'interface dent/composite. La contraction lors de la photopolymérisation serait à l'origine du défaut. Une polymérisation progressive permettrait donc d'éviter les contraintes brutales, minimisant ainsi le risque de créer un hiatus.



Figure 32: Coupe de dent montrant le hiatus créé par une polymérisation rapide, à irradiance élevée dès le début, JSOP n°7

D'après la littérature, il semble que les lampes halogènes et à LED génèrent un degré de conversion à une profondeur de 2mm, alors que les lampes à plasma sont déconseillées en raison de la polymérisation rapide générant un hiatus. D'autre part, il est important d'entretenir les lampes. Un entretien qui fait défaut aura un impact négatif sur la photopolymérisation.

#### 2.2.6.6.2 Technique de photopolymérisation

La technique est un facteur opérateur dépendant, difficile à évaluer. Cependant, comme vu ci-dessus, il est impossible de polymériser bien et vite.

Pour une qualité de joint optimal, il est conseillé de réaliser une photopolymérisation progressive. De plus, le composite devra être polymérisé de manière progressive par couches successives de 2mm d'épaisseur environ. La lampe est placée de manière à guider les vecteurs de polymérisation.

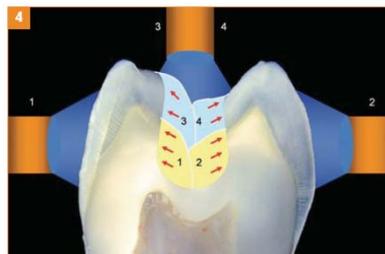


Figure 33: schéma de polymérisation progressive JSOP n°7

#### 2.2.6.6.3 Temps de photopolymérisation

Reis et coll. (104) (2010) et Ferreira et coll. (105) (2011) ont étudié les effets engendrés par l'augmentation de la photopolymérisation sur la forces d'adhésion des films d'adhésifs.

Les adhésifs testés sont des MR (Adper Single Bond 2 and One Step Plus). Les temps de photopolymérisation sont de 10, 20 puis 40 secondes à 600mW/cm<sup>2</sup>. Le groupe dont les échantillons ont été polymérisés pendant 40 secondes montre une force d'adhésion plus importante et une moindre dégradation. La quantité de solvant et de monomères résiduels sont statistiquement plus faibles dans ce même groupe. Cela pourrait expliquer l'augmentation de forces d'adhésion.

Des temps d'exposition plus longs que ceux recommandés pourraient améliorer les degrés de conversion et les liaisons immédiates résine/dentine.

## 2.3 Risques biologiques

### 2.3.1 Sensibilités postopératoires

Les sensibilités postopératoires représentent un facteur de risque important.

L'origine des mécanismes physiopathologiques des sensibilités postopératoires est expliquée par l'hypothèse hydrodynamique de Brännström. Le fluide dentinaire à l'intérieur des canalicules subit des mouvements qui peuvent, lors d'une restauration, provoquer un changement de pression à travers la dentine. Cette pression pourrait être à l'origine des sensibilités postopératoires.(94)

*« Si un certain nombre d'études in vitro ont mis en évidence un potentiel cytotoxique des adhésifs (Camps et coll.. 1997, Bouillaguet et coll.. 1998), leur comportement in vivo apparaît au contraire favorable à la cicatrisation pulpaire, à la double condition qu'ils ne soient pas employés comme matériaux de coiffage direct et qu'ils assurent une interface étanche à la pénétration des fluides buccaux et des bactéries qu'ils contiennent (Demarco et coll. 2001, Mjör 2002). »(5)*

Les douleurs postopératoires peuvent être supprimées en respectant le protocole :

- Appliquer le composite par couche oblique de 2 mm ou une application horizontale en berceau diminue le stress et les contractions de polymérisation.
- Eviter les lampes lasers ou à plasma qui offrent des polymérisations très intenses et courtes.
- Mettre en place un composite fluide en fond de cavité (pas d'incorporation de bulles d'air).
- Créer un point de contact aux formes et volumes adéquats. (24)

Les systèmes auto-mordant (5) semblent réduire très sensiblement le risque de sensibilité postopératoire. Ces systèmes n'éliminent pas la boue dentinaire contrairement aux MR. Elle est imprégnée par l'adhésif. La perméabilité dentinaire est réduite par les bouchons de boue à l'orifice des tubules . Le risque de mouvements hydrodynamiques au sein de tubuli devient très faible.

*« L'obturation tubulaire efficace est la raison principale qui explique le taux réduit de sensibilités postopératoires observées en clinique avec les SAM (Opdam et coll. 1998, Peumans et coll. 2005) » (5)*

Les sensibilités postopératoires ne sont pas prévisibles. Le praticien doit rassurer le patient et hiérarchiser les procédures cliniques pour supprimer les douleurs :

1. Vérifier les contacts occlusaux présents sur la restauration ; risque d'une surcharge occlusale.
2. Puis laisser quelques jours d'observation.

Certaines sensibilités s'estompent spontanément au bout de 2 à 4 jours. Ces dernières sont alors le reflet d'un traumatisme réversible du complexe pulpo-dentinaire lié à la procédure de restauration.

Si les signes ne disparaissent pas :

1. Tenter alors de re-étanchéfier la restauration.

protocole de re-étanchéification :

- a. Appliquer le gel de mordantage d'acide phosphorique à 35 % pendant 30 s au niveau du joint dent/restauration. Ce gel permet l'élimination des protéines salivaires adsorbées à la surface dentaire et résineuse ainsi que la déminéralisation superficielle de l'émail dentaire.
- b. Appliquer un système adhésif amélo-dentinaire sur la zone préalablement préparée puis polymérisation de l'adhésif. Si on observe de gros défauts au niveau du joint dent/restauration un composite fluide pourra être appliqué au niveau de ces zones.
- c. S'assurer de la non perturbation de l'occlusion avec cette procédure de collage.

Si les sensibilités persistent, il faut alors envisager la dépose de la restauration. La mise en place de biodentine pourra être intéressante.

### 2.3.2 Reprise carieuse

Comme vu précédemment, la polymérisation peut générer des contraintes brutales et suffisamment intenses pour casser le joint d'étanchéité au contact des parois cavitaires laissant apparaître un hiatus. Celui-ci peut être à l'origine de sensibilités dentaires, de phénomènes de percolation, d'infiltration bactérienne et de récurrence de lésion carieuse. (4)



Figure 34: Joint dent/composite défectueux d'après JSOPn°7



Figure 35: Récidive d'une lésion carieuse d'après JSOPn°7

Le composite est aujourd'hui le choix numéro 1 pour la reconstitution de la dent. En effet, ses propriétés mécaniques qui lui confèrent une usure proche de celle de l'émail ainsi que sa biocompatibilité vis-à-vis des tissus dentaires résiduels en font un matériau de qualité.

Cependant, la rétraction de polymérisation peut entraîner une altération du joint dent/composite provoquant ainsi des sensibilités postopératoires, des reprises de caries et donc à un échec de la restauration. (4)

### 2.3.3 Joint d'étanchéité

#### 2.3.3.1 Point de vue biologique

Le joint d'étanchéité a un rôle primordial dans la longévité de la restauration. Cela est d'autant plus important lorsque la rétention de la restauration est minimale et n'est finalement assurée que par le collage en lui-même. On pourrait penser que l'échelle du micromètre (taille d'une bactérie) est suffisante pour protéger le joint de l'infiltration mais la pénétration des fluides et donc la génération de sensibilités postopératoires contraint à réaliser une étanchéité de l'ordre du nanomètre.

Par ailleurs, la compatibilité adhésif/résine, par la présence d'eau au niveau de l'interface, le séchage insuffisant ou trop brutal lors de l'utilisation de SAM1 et SAM2, peuvent être à l'origine d'une qualité de joint médiocre. Ainsi, l'expérience et la formation du praticien sont une des clés de succès de cette étape.

Dans le secteur postérieur en particulier, l'utilisation des SAM est répandue en raison de l'application simplifiée qu'offrent ces systèmes d'adhésif. Cependant, un mordantage préalable des marges de l'émail est nécessaire afin de garantir une étanchéité minimale. Pour garantir une liaison fiable et durable à l'émail, la composition de l'acide phosphorique doit être comprise entre 20 et 40%. (5)

En effet, la simplification de la procédure adhésive ne peut se faire sans conséquence à plus ou moins long terme sur la qualité du joint dent-restauration. (5)

La mauvaise qualité de joint d'étanchéité peut être liée au caractère hydrophile de l'adhésif. Les adhésifs trop hydrophiles peuvent entraîner une absorption et une diffusion de l'eau des tissus dentaires se concentrant ainsi à la jonction entre l'adhésif et la résine. (95)

Enfin, l'épaisseur du joint de collage doit être considérée comme un facteur de risque majeur. En effet Kramer en 2000 (106) (107) a montré que les défauts de continuité marginale sont proportionnels à l'épaisseur du joint. Il note aussi que plus le volume du matériau de collage est important, plus le retrait de polymérisation peut avoir un impact négatif sur l'étanchéité marginale.

### 2.3.3.2 Point de vue esthétique

Comme décrit précédemment, l'étanchéité d'une restauration correspond à l'herméticité du joint de la restauration. Elle permet d'éviter une contamination bactérienne potentiellement source de douleurs chroniques ou de lésions carieuses.

Cependant, les joints d'étanchéité peuvent être colorés par le passage de fluides. Une coloration inesthétique peut apparaître au niveau de la jonction restauration/tissus dentaires.(108)

La restauration adhésive est globalement meilleure sur l'émail que sur la dentine, ceci étant dû à la structure même de l'émail qui est plus minéralisée. L'idéal est d'avoir au minimum 0,5mm d'émail périphérique et au moins 1mm de hauteur pour optimiser l'étanchéité de la restauration.(4)

## Conclusion

L'analyse probablement non exhaustive des différentes données extraites pour réaliser ce travail de thèse montre la quantité et la complexité des facteurs influençant la réussite d'un collage.

Un certain nombre de conclusion paraît se dégager à l'évidence.

A l'inverse, sur de nombreux sujets aucun consensus ne fait jour. En effet, les protocoles utilisés pour les études diffèrent ou ne semblent pas être totalement comparables. Les expériences de résistance au cisaillement ou à la traction ne rentrent pas non plus dans une démarche stricte : machines utilisées, conditions environnementales... Les analyses expérimentales utilisent dans la plupart des cas des dents d'origine humaines ayant subi des tests in vitro. Très peu d'expériences sont réalisées in vivo, et on peut donc légitimement se poser la question de la reproductibilité en vraie vie de ces protocoles.

La confrontation des résultats de ces études est délicate et d'un point de vue méthodologique sûrement discutable.

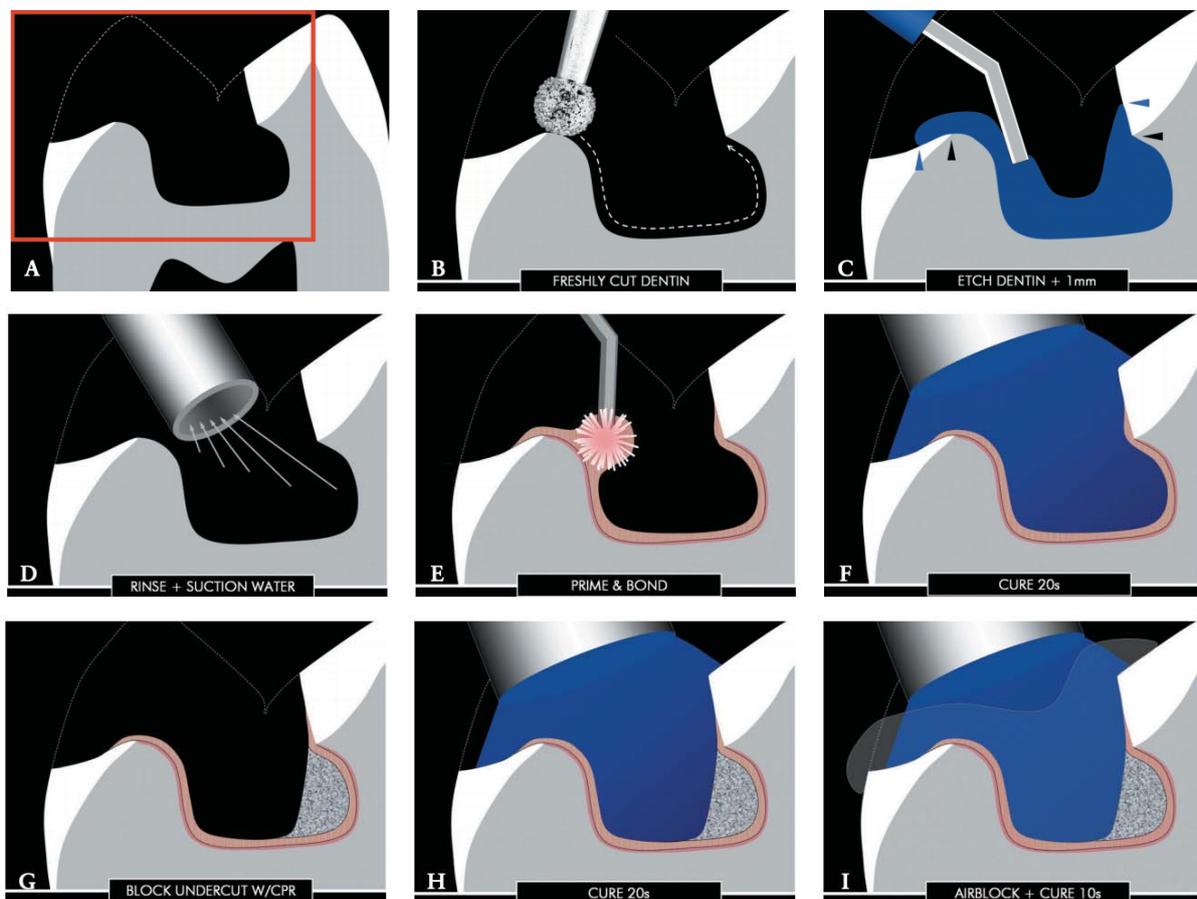
Enfin, le collage est aujourd'hui l'objet d'un engouement fort de la part des chercheurs , le nombre d'articles sur le sujet est très important et témoigne d'une évolution constante dans le domaine.

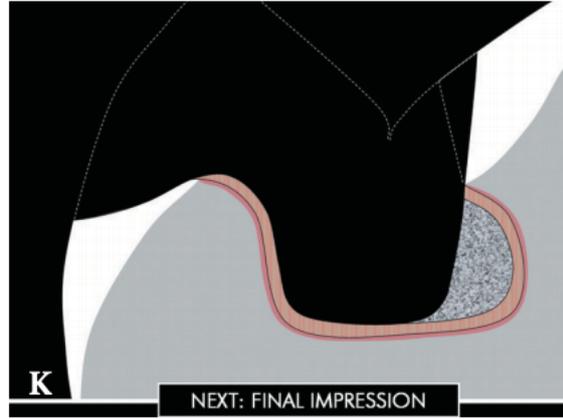
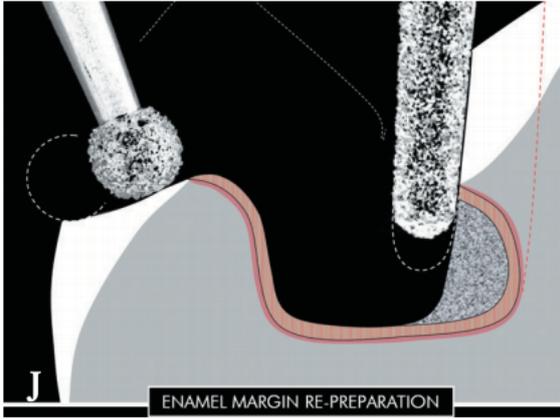
Les praticiens auront la tâche de s'informer et de se former régulièrement pour garder une pratique quotidienne en cohésion avec les données récentes issues de la science.

## Annexes

10 conseils pour un collage efficace:

- 1. Le soir, mettre son adhésif au frais pour éviter la dégradation du produit ( surtout les SAM 1).
- 2. Agiter le flacon avant usage pour l'homogénéiser.
- 3. Suivre rigoureusement les indications du fabricant ( étapes et durée d'application ).
- 4. Surveiller les dates limites.
- 5. Mordançage pas plus de 15 secondes.
- 6. Conserver une dentine humide pour les M&R.
- 7. Frotter fermement l'adhésif sur les parois.
- 8. Séchage vigoureux pour les SAM.
- 9. La dentine traitée doit être uniformément brillante.
- 10. Toujours polymériser l'adhésif.(109)





## Bibliographie

1. Buonocore MG. A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *J Dent Res.* déc 1955;34(6):849-53.
2. Lopes GC, Thys DG, Klaus P, Oliveira GMS, Widmer N. Enamel acid etching: a review. *Compend Contin Educ Dent* janv 2007;28(1):18-24; quiz 25, 42.
3. Raux F. Faisons le point sur l'adhésion en 2019. *Inf Dent.* 2019;101 (25):24-27
4. Deuet H. Traitement des lésions carieuses profondes par un curetage partiel. [Thèse de Doctorat d'Université, Droit et Santé]. Lille: Faculté de Chirurgie Dentaire; 2017.
5. Degrange, Pourreyron. Les systèmes adhésifs amélo-dentinaires. :29. [en ligne] <http://campus.cerimes.fr/odontologie/enseignement/chap12/site/html/cours.pdf>
6. Pélissier B. Les Systèmes Adhésifs. [en ligne] <http://websitereunion-sante.com/>
7. Hajtó J, Marinescu C, Ahlers O. Inlays et onlays en céramique : critères de succès. *Réal Clin.* 2013;24(4):99-104.
8. Frankenberger R, Reinelt C, Petschelt A, Krämer N. Operator vs. material influence on clinical outcome of bonded ceramic inlays. *Dent Mater* août 2009;25(8):960-8.
9. Peutzfeldt A, Asmussen E. Adhesive systems: effect on bond strength of incorrect use. *J Adhes Dent.* 2002;4(3):233-42.
10. Bergman MA. The clinical performance of ceramic inlays: a review. *Aust Dent J.* sept 1999;44(3):157-68.
11. El-Mowafy O, Brochu J-F. Longevity and clinical performance of IPS-Empress ceramic restorations. A literature review. *J Can Dent Assoc.* avr 2002;68(4):233-7.
12. Hayashi M, Tsuchitani Y, Kawamura Y, Miura M, Takeshige F, Ebisu S. Eight-year clinical evaluation of fired ceramic inlays. *Oper Dent.* déc 2000;25(6):473-81.
13. Krämer N, Frankenberger R. Clinical performance of bonded leucite-reinforced glass ceramic inlays and onlays after eight years. *Dent Mater.* mars 2005;21(3):262-71.
14. Schulz P, Johansson A, Arvidson K. A retrospective study of Mirage ceramic inlays over up to 9 years. *Int J Prosthodont.* oct 2003;16(5):510-4.
15. Taskonak B, Sertgöz A. Two-year clinical evaluation of lithia-disilicate-based all-ceramic crowns and fixed partial dentures. *Dent Mater.* nov 2006;22(11):1008-13.
16. Guess PC, Zavanelli RA, Silva NRFA, Bonfante EA, Coelho PG, Thompson VP. Monolithic CAD/CAM lithium disilicate versus veneered Y-TZP crowns: comparison of failure modes and reliability after fatigue. *Int J Prosthodont.* oct 2010;23(5):434-42.

17. Marquardt P, Strub JR. Survival rates of IPS empress 2 all-ceramic crowns and fixed partial dentures: results of a 5-year prospective clinical study. *Quintessence Int.* (Berlin) avr 2006;37(4):253-9.
18. Valenti M, Valenti A. Retrospective survival analysis of 261 lithium disilicate crowns in a private general practice. *Quintessence Int.* (Berlin) août 2009;40(7):573-9.
19. Ahlers MO, Mörig G, Blunck U, Hajtó J, Pröbster L, Frankenberger R. Guidelines for the preparation of CAD/CAM ceramic inlays and partial crowns. *Int J Comput Dent.* 2009;12(4):309-25.
20. Arnetzl G. Präparationstechnik für die Vollkeramik – die Materialbeschaffenheit als Grundlage für die Präparationsform. *ZMK* 2008; 24: 284-292.
21. Heck K, Paterno H, Lederer A, Litzemberger F, Hickel R, Kunzelmann K-H. Fatigue resistance of ultrathin CAD/CAM ceramic and nanoceramic composite occlusal veneers. *Dent Mater.* 2019;35(10):1370-7.
22. Al-Akhali M, Chaar MS, Elsayed A, Samran A, Kern M. Fracture resistance of ceramic and polymer-based occlusal veneer restorations. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2017;74:245-50.
23. von Maltzahn NF, El Meniawy OI, Breitenbuecher N, Kohorst P, Stiesch M, Eisenburger M. Fracture strength of ceramic posterior occlusal veneers for functional rehabilitation of an abrasive dentition. *Int J Prosthodont.* oct 2018;31(5):451-2.
24. Khoder E, Barsby A. Échecs en dentisterie adhésive : causes et prévention. *Inf Dent.* 2015;97(19)
25. Garrido-Delorme M. Considérations prothétiques chez le patient bruxomane. [Thèse de Doctorat d'Université, Sciences d'Odontologie]. Bordeaux: Collège des Sciences de la Santé; 2014.
26. Manicone PF, Rossi Iommetti P, Raffaelli L. An overview of zirconia ceramics: basic properties and clinical applications. *J Dent.* nov 2007;35(11):819-26.
27. Moreira A, Freitas F, Marques D, Caramês J. Aesthetic rehabilitation of a patient with bruxism using ceramic veneers and overlays combined with four-point monolithic zirconia crowns for occlusal stabilization: a 4-year follow-up. *Case Rep Dent.* août 2019;2019:1640563. Published 2019 Aug 20. doi:10.1155/2019/1640563
28. Van Dijken JWV, Hasselrot L. A prospective 15-year evaluation of extensive dentin-enamel-bonded pressed ceramic coverages. *Dent Mater.* sept 2010;26(9):929-39.
29. Van Nieuwenhuysen J-P, D'Hoore W, Carvalho J, Qvist V. Long-term evaluation of extensive restorations in permanent teeth. *J Dent.* août 2003;31(6):395-405.
30. Bonnafous D. Les restaurations partielles collées dans le traitement de molaires déulpées. *Fil Dent.* avr 2018;(138):32-36

31. Dietschi D, Duc O, Krejci I, Sadan A. Biomechanical considerations for the restoration of endodontically treated teeth: a systematic review of the literature.--Part 1. Composition and micro- and macrostructure alterations. *Quintessence Int.* (Berlin)1985. oct 2007;38(9):733-43.
32. Wang J, Song W, Zhu L, Wei X. A comparative study of the microtensile bond strength and microstructural differences between sclerotic and Normal dentine after surface pretreatment. *BMC Oral Health.* oct 2019;19(1):216.
33. Wang X, Qiu L, Li Z, Sun H. [Effect of different surface managements on micro-tensile bond strength of non -carious sclerotic dentin to resin]. *Shanghai Kou Qiang Yi Xue* déc 2013;22(6):662-6.
34. Rocha AC, Da Rosa W, Cocco AR, Da Silva AF, Piva E, Lund R-G. Influence of surface treatment on composite adhesion in noncarious cervical lesions: systematic review and meta-analysis. *Oper Dent.* oct 2018;43(5):508-19.
35. Sun X, Ban J, Sha X, Wang W, Jiao Y, Wang W, et al. Effect of Er,Cr:YSGG laser at different output powers on the micromorphology and the bond property of non-carious sclerotic dentin to resin composites. *PloS One.* 2015;10(11):e0142311.
36. Luque-Martinez IV, Muñoz MA, Hass V, Sutil E, Reis A, Loguercio AD. EDTA conditioning increases the long-term microtensile bond strength to sclerotic dentin mediated by self-etch adhesives. *J Adhes Dent.* 2018;20(5):397-403.
37. Xuan W, Hou B, Lü Y. Bond strength of different adhesives to normal and caries-affected dentins. *Chin Med J (Engl).* févr 2010;123(3):332-6.
38. Yazici AR, Akca T, Ozgünaltay G, Dayangaç B. Bond strength of a self-etching adhesive system to caries-affected dentin. *Oper Dent.* avr 2004;29(2):176-81.
39. Isolan CP, Sarkis-Onofre R, Lima GS, Moraes RR. Bonding to sound and caries-affected dentin: a systematic review and meta-analysis. *J Adhes Dent.* 2018;20(1):7-18.
40. Say EC, Nakajima M, Senawongse P, Soyman M, Ozer F, Tagami J. Bonding to sound vs caries-affected dentin using photo- and dual-cure adhesives. *Oper Dent.* févr 2005;30(1):90-8.
41. Aggarwal V, Singla M, Sharma R, Miglani S, Bhasin SS. Effects of simplified ethanol-wet bonding technique on immediate bond strength with normal versus caries-affected dentin. *J Conserv Dent.* oct 2016;19(5):419-23.
42. Yoshiyama M, Tay FR, Doi J, Nishitani Y, Yamada T, Itou K, et al. Bonding of self-etch and total-etch adhesives to carious dentin. *J Dent Res.* août 2002;81(8):556-60.
43. Meraji N, Nekoofar MH, Yazdi KA, Sharifian MR, Fakhari N, Camilleri J. Bonding to caries affected dentine. *Dent Mater.* 2018;34(9):e236-45.

44. Taniguchi G, Nakajima M, Hosaka K, Iwamoto N, Ikeda M, Foxton RM, et al. Improving the effect of NaOCl pretreatment on bonding to caries-affected dentin using self-etch adhesives. *J Dent.* oct 2009;37(10):769-75.
45. Chemla F, Epailard A, Decup F. Remplacement des restaurations à l'amalgame : approche systématique de préparation tissulaire. *Clinic.* 2017;(38); 105-112
46. Scholtanus JD. [Is amalgam stained dentin a proper substrate for bonding resin composite?]. *Ned Tijdschr Tandheelkd.* 2016;123(6):313-5.
47. Harnirattisai C, Senawongse P, Tagami J. Microtensile bond strengths of two adhesive resins to discolored dentin after amalgam removal. *J Dent Res.* mars 2007;86(3):232-6.
48. Ghavamnasiri M, Eslami S, Ameri H, Chasteen JE, Majidinia S, Moghadam FV. Effect of amalgam corrosion products in non-discolored dentin on the bond strength of replaced composite resin. *J Conserv Dent.* févr 2015;18(1):25-9.
49. 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. *Dent Mater.* avr 2010;26(4):320-5.
50. Macedo de Lima JF, Wajngarten D, Islam F, Clifford J, Botta AC. Effect of adhesive mode and chlorhexidine on microtensile strength of universal bonding agent to sound and caries-affected dentins. *Eur J Dent.* 2018;12(4):553-8.
51. Lenzi TL, Tedesco TK, Soares FZM, Loguercio AD, Rocha R de O. Chlorhexidine does not increase immediate bond strength of etch-and-rinse adhesive to caries-affected dentin of primary and permanent teeth. *Braz Dent J.* 2012;23(4):438-42.
52. Hamdan-Nassar T, Bellot-Arcís C, Paredes-Gallardo V, García-Sanz V, Pascual-Moscardó A, Almerich-Silla JM, et al. Effect of 2% Chlorhexidine following acid etching on microtensile bond strength of resin restorations: a meta-analysis. *Med Kaunas Lith.* déc 2019;55(12).
53. Gunaydin Z, Yazici AR, Cehreli ZC. *In Vivo* and *in vitro* effects of chlorhexidine pretreatment on immediate and aged dentin bond strengths. *Oper Dent.* juin 2016;41(3):258-67.
54. Shadman N, Farzin-Ebrahimi S, Mortazavi-Lahijani E, Jalali Z. Effect of chlorhexidine on the durability of a new universal adhesive system. *J Clin Exp Dent.* sept 2018;10(9):e921-6.
55. Martini EC, Parreiras SO, Gutierrez MF, Loguercio AD, Reis A. Effect of different protocols in preconditioning with EDTA in sclerotic dentin and enamel before universal adhesives applied in self-etch mode. *Oper Dent.* juin 2017;42(3):284-96.
56. Deveaux E, Hildelbert P, Neut C, Romond C. Bacterial microleakage of Cavit, IRM, TERM, and Fermit: a 21-day in vitro study. *J Endod.* oct 1999;25(10):653-9.

57. **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; discussion 153.**
58. **Yap AUJ, Shah KC, Loh ET, Sim SS, Tan CC. Influence of ZOE temporary restorations on microleakage in composite restorations. Oper Dent. avr 2002;27(2):142-6.**
59. **Yap AU, Shah KC, Loh ET, Sim SS, Tan CC. Influence of eugenol-containing temporary restorations on bond strength of composite to dentin. Oper Dent. déc 2001;26(6):556-61.**
60. **Silva JPL, Queiroz DM, Azevedo LH, Leal LC, Rodrigues JL, Lima AF, et al. Effect of eugenol exposure time and post-removal delay on the bond strength of a self-etching adhesive to dentin. Oper Dent. févr 2011;36(1):66-71.**
61. **Ghigo A. Quand et comment conserver la vitalité pulpaire dans le cadre d'une couronne périphérique. [Thèse de Doctorat d'Université, Santé]. Nice: Université de Nice-Sophia Antipolis Faculté de Chirurgie Dentaire; 2017.**
62. **Micouleau P. Reconstitutions partielles indirectes antérieures et postérieures et leur temporisation. [Thèse de Doctorat d'Université, Santé]. Toulouse: Université de Toulouse III- Paul Sabatier Faculté de Chirurgie Dentaire; 2018.**
63. **Etienne O, Anckenmann L, Serfaty R, Toledano C, Flaus G. Restaurations esthétiques en céramique collée. Edition CdP ; 2016.**
64. **Cadenaro M, Maravic T, Comba A, Mazzoni A, Fanfoni L, Hilton T, et al. The role of polymerization in adhesive dentistry. Dent Mater. 2019;35(1):e1-22.**
65. **Aguir N, Jemâa M, Jalouli E, Khattech M, Bhourri L. Particularités du collage aux dents qui ont subi un éclaircissement. Actual Odontos-tomatol. janv 2018;287:2.**
66. **Nair R, Bandhe S, Ganorkar OK, Saha S, Sial S, Nair A. A comparative evaluation of the three different antioxidant treatments on the bond strength of composite resin to bleached enamel: An *in vitro* study. J Conserv Dent. févr 2019;22(1):82-6.**
67. **Hansen JR, Frick KJ, Walker MP. Effect of 35% sodium ascorbate treatment on microtensile bond strength after nonvital bleaching. J Endod. oct 2014;40(10):1668-70.**
68. **Cavalli V, Sebold M, Shinohara MS, Pereira PNR, Giannini M. Dentin bond strength and nanoleakage of the adhesive interface after intracoronary bleaching. Microsc Res Tech. avr 2018;81(4):428-36.**
69. **Arumugam MT, Nesamani R, Kittappa K, Sanjeev K, Sekar M. Effect of various antioxidants on the shear bond strength of composite resin to bleached enamel: An *in vitro* study. J Conserv Dent. janv 2014;17(1):22-6.**

70. Danesh-Sani SA, Esmaili M. Effect of 10% sodium ascorbate hydrogel and delayed bonding on shear bond strength of composite resin and resin-modified glass ionomer to bleached enamel. *J Conserv Dent.* juil 2011;14(3):241-6.
71. Perdigão J, Francci C, Swift EJ, Ambrose WW, Lopes M. Ultra-morphological study of the interaction of dental adhesives with carbamide peroxide-bleached enamel. *Am J Dent.* déc 1998;11(6):291-301.
72. García-Godoy F, Dodge WW, Donohue M, O'Quinn JA. Composite resin bond strength after enamel bleaching. *Oper Dent.* août 1993;18(4):144-7.
73. Rana R, Kaushik M, Sharma R, Reddy P, Mehra N. Comparative evaluation of effects of natural antioxidants on the shear bond strength of composite resin to bleached enamel. *Indian J Dent Res.* févr 2019;30(1):112-6.
74. Nari-Ratih D, Widyastuti A. Effect of antioxidants on the shear bond strength of composite resin to enamel following extra-coronal bleaching. *J Clin Exp Dent.* févr 2019;11(2):e126-32.
75. Bansal M, Kaur P, Cyriac AR, Kadian N, Jaiswal P, Rathee K. Impact of different antioxidants on the bond strength of resinbased composite on bleached enamel. -An *in vitro* study. *J Contemp Dent Pract.* janv 2019;20(1):64-70.
76. Karadas M, Demirbuga S. Influence of a short-time antioxidant application on the dentin bond strength after intracoronal bleaching. *Microsc Res Tech.* oct 2019;82(10):1720-7.
77. Topcu FT, Erdemir U, Ozel E, Tiryaki M, Oktay EA, Yildiz E. Influence of bleaching regimen and time elapsed on microtensile bond strength of resin composite to enamel. *Contemp Clin Dent.* sept 2017;8(3):451-8.
78. de Almeida A-A-L, Lima D-M, Pereira AF-V, Sousa SF-C, Alves C-M-C. Influence of delay between dental bleaching with 35% hydrogen peroxide and orthodontic brackets on the bond strength at the enamel/adhesive interface. *J Clin Exp Dent.* mai 2019;11(5):e447-51.
79. Niat AB, Yazdi FM, Koohestanian N. Effects of drying agents on bond strength of etch-and-rinse adhesive systems to enamel immediately after bleaching. *J Adhes Dent.* déc 2012;14(6):511-6.
80. Banerjee A, Kellow S, Mannocci F, Cook RJ, Watson TF. An *in vitro* evaluation of microtensile bond strengths of two adhesive bonding agents to residual dentine after caries removal using three excavation techniques. *J Dent.* juin 2010;38(6):480-9.
81. Sirin Karaarslan E, Yildiz E, Cebe MA, Yegin Z, Ozturk B. Evaluation of micro-tensile bond strength of caries-affected human dentine after three different caries removal techniques. *J Dent.* oct 2012;40(10):793-801.

82. Hamama HHH, Yiu CKY, Burrow MF. Effect of chemomechanical caries removal on bonding of self-etching adhesives to caries-affected dentin. *J Adhes Dent.* déc 2014;16(6):507-16.
83. Ajami AA, Kahnamoii MA, Kimyai S, Oskoe SS, Pournaghi-Azar F, Bahari M, et al. Effect of three different contamination removal methods on bond strength of a self-etching adhesive to dentin contaminated with an aluminum chloride hemostatic agent. *J Contemp Dent Pract.* janv 2013;14(1):26-33.
84. Tarighi P, Khoroushi M. A review on common chemical hemostatic agents in restorative dentistry. *Dent Res J.* 2014;11(4):423-8.
85. Terry DA. An essential component to adhesive dentistry: the rubber dam. *Pract Proced Aesthetic Dent.* mars 2005;17(2):106, 108.
86. Gardon N. Le champ opératoire en endodontie (et ailleurs) : L'élément primordial du succès. *Dent Tribune DT study Club* mai 2016;4(1):24-27.
87. Aboushelib MN. Clinical performance of self-etching adhesives with saliva contamination. *J Adhes Dent.* oct 2011;13(5):489-93.
88. Nair P, Hickel R, Ilie N. Adverse effects of salivary contamination for adhesives in restorative dentistry. A literature review. *Am J Dent.* juin 2017;30(3):156-64.
89. Taneja S, Kumari M, Bansal S. Effect of saliva and blood contamination on the shear bond strength of fifth-, seventh-, and eighth-generation bonding agents: An *in vitro* study. *J Conserv Dent.* juin 2017;20(3):157-60.
90. Ermis RB, De Munck J, Cardoso MV, Coutinho E, Van Landuyt KL, Poitevin A, et al. Bond strength of self-etch adhesives to dentin prepared with three different diamond burs. *Dent Mater.* juil 2008;24(7):978-85.
91. Ayad MF, Maghrabi AA, Saif RE, García-Godoy F. Influence of tooth preparation burs on the roughness and bond strength of adhesives to human dentin surfaces. *Am J Dent.* juin 2011;24(3):176-82.
92. Sarr M, Kane AW, Vreven J, Mine A, Van Landuyt KL, Peumans M, et al. Microtensile bond strength and interfacial characterization of 11 contemporary adhesives bonded to bur-cut dentin. *Oper Dent.* févr 2010;35(1):94-104.
93. Pietton R, Drossart M. Le scellement immédiat de la dentine : intérêt et protocole clinique. *Clinic.* 2016;37:467-474
94. Lehmann N. STOP aux sensibilités post-opératoires sous les restaurations : séance interactive. *Dent Tribune.* nov 2017;9(11):38-40.
95. Raux F, Degrange M. Les adhésifs sont-ils tous compatibles avec les colles et composites auto-polymérisables ? *inf dent.* 2007;89(4):149-153.

96. Scheffel DLS, Ricci HA, de Souza Costa CA, Pashley DH, Hebling J. Effect of reducing acid etching time on bond strength to noncarious and caries-affected primary and permanent dentin. *Pediatr Dent*. 2013;35(7):199-204.
97. Luque-Martinez IV, Perdigão J, Muñoz MA, Sezinando A, Reis A, Loguercio AD. Effects of solvent evaporation time on immediate adhesive properties of universal adhesives to dentin. *Dent Mater*. oct 2014;30(10):1126-35.
98. de Sousa Júnior JA, Carregosa Santana ML, de Figueiredo FED, Faria-E-Silva AL. Effects of solvent volatilization time on the bond strength of etch-and-rinse adhesive to dentin using conventional or deproteinization bonding techniques. *Restor Dent Endod*. août 2015;40(3):202-8.
99. D’Amario M, Piccioni C, Di Carlo S, De Angelis F, Caruso S, Capogreco M. Effect of airborne particle abrasion on microtensile bond strength of total-etch adhesives to human dentin. *BioMed Res Int*. 2017;2017:2432536.
100. Anja B, Walter D, Nicoletta C, Marco F, Pezelj Ribarić S, Ivana M. Influence of air abrasion and sonic technique on microtensile bond strength of one-step self-etch adhesive on human dentin. *Sci World J*. 2015;2015:368745.
101. Magne P. Immediate dentin sealing: a fundamental procedure for indirect bonded restorations. *J Esthet Restor Dent*. 2005;17(3):144-54; discussion 155.
102. Choi Y-S, Cho I-H. An effect of immediate dentin sealing on the shear bond strength of resin cement to porcelain restoration. *J Adv Prosthodont*. juin 2010;2(2):39-45.
103. Lehmann N. La photopolymérisation, facteur de succès de la restauration composite *Journal de la Société d'Odontologie de Paris* juil 2007;(7):12
104. Reis A, Ferreira SQ, Costa TRF, Klein-Júnior CA, Meier MM, Loguercio AD. Effects of increased exposure times of simplified etch-and-rinse adhesives on the degradation of resin-dentin bonds and quality of the polymer network. *Eur J Oral Sci*. oct 2010;118(5):502-9.
105. Ferreira SQ, Costa TR, Klein-Júnior CA, Accorinte M de, Meier MM, Loguercio AD, et al. Improvement of exposure times: effects on adhesive properties and resin-dentin bond strengths of etch-and-rinse adhesives. *J Adhes Dent*. juin 2011;13(3):235-41.
106. Krämer N, Frankenberger R. Leucite-reinforced glass ceramic inlays after six years: wear of luting composites. *Oper Dent*. déc 2000;25(6):466-72.
107. Krämer N, Lohbauer U, Frankenberger R. Adhesive luting of indirect restorations. *Am J Dent*. nov 2000;13(Spec. Issue):60D-76D.
108. Bolla P, Colon P, Leforestier D. Cahier des charges des matériaux de restauration utilisés en technique directe. *Société Francophone des Biomateriaux Dentaires*.
109. Weisrock G. Les Adhésifs: Données Actuelles. 2015 [en ligne] <https://fr.slideshare.net/AbdeldjalilGadra/les-adhsifs>

## Figures et Tableaux

Figure 1: Microscope électronique des prismes d'après le blog <a href="http://denticclub.blogspot.com/">http://denticclub.blogspot.com/</a>	12
Figure 2: Email (1) - dentine (2) d'après <a href="http://webapps.fundp.ac.be">webapps.fundp.ac.be</a>	13
Figure 3: D'après Collages et adhésion: la révolution silencieuse, Roulet et Degrange	13
Figure 4: boue dentinaire à la surface des tubuli (source internet)	14
Figure 5: Tubuli après mordançage (source internet)	14
Figure 6: D'après Restaurations tout-céramique sur dents vitales	15
Figure 7: D'après Restaurations tout-céramique sur dents vitales	15
Figure 8: D'après Les adhésifs amélo-dentaires , <a href="http://the dentist.fr">http://the dentist.fr</a>	16
Figure 9: D'après les systèmes adhésifs Dr. Bruno PELISSIER (6)	16
Figure 10: D'après Les adhésifs amélo-dentaires , <a href="http://the dentist.fr">http://the dentist.fr</a>	17
Figure 11: D'après les systèmes adhésifs, Dr. Bruno PELISSIER (6)	17
Figure 12: D'après Les adhésifs amélo-dentaires , <a href="http://the dentist.fr">http://the dentist.fr</a>	17
Figure 13: D'après les systèmes adhésifs, Dr. Bruno PELISSIER (6)	17
Figure 14: D'après Les adhésifs amélo-dentaires , <a href="http://the dentist.fr">http://the dentist.fr</a>	18
Figure 15: D'après les systèmes adhésifs, Dr. Bruno PELISSIER (6)	18
Figure 16: Forces dans la céramique qui se produisent sous contrainte: charge la plus forte dans la zone de transition de la boîte (flèche rouge) avec préparation traditionnelle; répartition harmonieuse des forces avec des forces beaucoup plus faibles avec une préparation adaptée à la céramique, d'après la publication du Pr Gerwin Arnetz (20)	20
Figure 17: Divergences des parois, d'après Réalités Cliniques 2013, Hajtó et coll.	21
Figure 18: Orthogonalité des limites de préparations d'après Réalités Cliniques 2013, Hajtó et coll.	21
Figure 19 : Espacement suffisant par rapport aux dents contiguës d'après Réalités Cliniques 2013, Hajtó et coll.	21
Figure 20: Surplombs non supprimés / contre-dépouilles comblées par restauration adhésive, d'après Réalités Cliniques 2013, Hajtó et coll.	21
Figure 21: A gauche , sur-préparation inutile en collage/ à droite, préparation forme douce, d'après Réalités Cliniques 2013, Hajtó et coll.	22
Figure 22: A gauche : préparation incorrecte. A droite : préparation correcte. La zone des sillons vestibulaires et palatins est également réduite régulièrement d'après Réalités Cliniques 2013, Hajtó et coll.	22
Figure 23: Évolution de la perte de résistance de la dent en fonction de la perte de substance (d'après Reeh et coll., 1989)	24
Figure 24: Plage de dentine sclérotique, d'après l'information dentaire n°25	24
Figure 25: Coupe transversale montrant la cavitation de l'émail et 5 zones de caries dentinaires, d'après <a href="https://www.dentaljuce.com/diagnosis-dental-caries-dentine-caries">https://www.dentaljuce.com/diagnosis-dental-caries-dentine-caries</a>	26
Figure 26: vue occlusale d'un amalgame (source internet)	29
Figure 27 : coupe transversale d'une dent montrant le tissu corrodé (source internet)	29
Figure 28: Représentation graphique des forces de liaison (MPa) (moyenne $\pm$ SD) pour les différentes techniques d'élimination des caries et les systèmes adhésifs	35
Figure 29: Force de liaison micro-traction en MPa, Bond strength of self-etch adhesives to dentin prepared with three different diamond burs 2008	38
Figure 30: Graphique à barres présentant le $\mu$ TBS en MPa	39
Figure 31: Illustration de la structure de la couche hybride suite à l'utilisation d'un système automordançant et d'un système à mordançage total	44
Figure 32: Coupe de dent montrant le hiatus créé par une polymérisation rapide, à irradiance élevée dès le début, JSOP n°7	46
Figure 33: schéma de polymérisation progressive JSOP n°7	46
Figure 34: Joint dent/composite défectueux d'après JSOPn°7	48
Figure 35: Récidive d'une lésion carieuse d'après JSOPn°7	48

<i>Tableau 1: d'après effect of three different contamination removal methods on bond stengh of a self-etching adhesive to dentin contaminated with an aluminum chloride hemostatic agent</i>	36
<i>Tableau 2: Compatibilité de différents adhésifs d'après l'information dentaire n°4</i>	40
<i>Tableau 3: Valeurs moyennes de force d'adhésion, d'après Effect of Airborne Particle Abrasion on Microtensile Bond Strength of Total-Etch Adhesives to Human Dentin</i>	42

**BOURHIS – KOUYOUMDJIAN (Rachel)** – Les facteurs de risque du collage.- 62 f ; ill. ; tabl. ; 109 ref. ; 30 cm (Thèse : Chir. Dent. : Nantes : 2020)

**RESUME EN FRANCAIS:**

Le collage en application odontologique a commencé à être utilisé depuis 60 ans, et ces applications sont de pratique courante depuis 20 ans environ..

Il permet de remplacer les techniques classiques et comporte de nombreux avantages, mais présente aussi des limites et des risques. L'objet de ce travail de thèse est de faire une revue bibliographique des différentes indications du collage, des bonnes pratiques et des pièges à éviter.

**RESUME EN ANGLAIS:**

Bonding in odontology practice is known since 60 years, but has been widely diffused for the last 20 years.

It replaces classical technics ad has many advantages. It also has limits and risks. The purpose of this work is to analyse by systematic litterature review the indications, good clinical practices and the traps to be avoided.

**RUBRIQUE DE CLASSEMENT :** Odontologie restauratrice

**MOTS CLE MESH :**

Collage dentaire – Dental bonding

Restaurations dentaires permanentes – Dental restoration, permanent

Céramiques – Ceramics

Facettes dentaires – Dental Veneers ?

Adhésifs – Adhesives

Pour les mots clés voir HeTOP : <https://www.hetop.eu/hetop/fr/?q=&home>

**JURY :**

Président : Professeur AMOURIQ Y.

Directeur : Docteur BODIC F.

Assesseur : Docteur JORDANA F.

Assesseur : Docteur RICHARD C.

**ADRESSE DE L'AUTEUR :**

16 rue Claude Bernard 44100 Nantes

rachelbourhis@gmail.com