



HAL
open science

Revue de la littérature sur les performances des adhésifs universels sur les dentines modifiées

Thibault Leclerc-Lamponi

► **To cite this version:**

Thibault Leclerc-Lamponi. Revue de la littérature sur les performances des adhésifs universels sur les dentines modifiées. Médecine humaine et pathologie. 2019. dumas-02515805

HAL Id: dumas-02515805

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02515805v1>

Submitted on 23 Mar 2020

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

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

UNIVERSITÉ NICE-SOPHIA ANTIPOLIS
FACULTÉ DE CHIRURGIE DENTAIRE
24 Avenue des Diabes Bleus, 06357 Nice Cedex 04

REVUE DE LA LITTÉRATURE SUR LES PERFORMANCES DES ADHÉSIFS UNIVERSELS
SUR LES DENTINES MODIFIÉES

Année 2019

Thèse n°42-57-19-45

THÈSE

Présentée et publiquement soutenue devant
la Faculté de Chirurgie Dentaire de Nice
Le vendredi 15 novembre 2019 par

Monsieur Thibault LECLERC-LAMPONI

Né le 23 01 1992 à Cannes

Pour obtenir le grade de :

DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE (Diplôme d'État)

Examineurs :

Madame le Professeur

Laurence LUPI

Président du jury

Madame le Professeur

Nathalie BRULAT-BOUCHARD

Directeur de thèse

Madame le Docteur

Clara JOSEPH

Assesseur

Monsieur le Docteur

Maximilien PARNOT

Assesseur

Monsieur le Docteur

Paul GAZAN

Membre invité

CORPS ENSEIGNANT

56^{ème} section : DEVELOPPEMENT, CROISSANCE ET PREVENTION

Sous-section 01 : ODONTOLOGIE PEDIATRIQUE ET ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE

Professeur des Universités : Mme MANIERE-EZVAN Armelle
Professeur des Universités : Mme MULLER-BOLLA Michèle
Maître de Conférences des Universités : Mme JOSEPH Clara
Maître de Conférences des Universités Associé : Mme OUEISS Arlette
Assistant Hospitalier Universitaire : Mme AIEM TORT-ALVAREZ Elody
Assistant Hospitalier Universitaire : Mr CAMIA Julien
Assistant Hospitalier Universitaire : Mme MASUCCI Caterina

Sous-section 02 : PREVENTION, EPIDEMIOLOGIE, ECONOMIE DE LA SANTE, ODONTOLOGIE LEGALE

Professeur des Universités : Mme LUPI Laurence
Maître de Conférences des Universités Associé : Mme BORSA Leslie
Assistant Hospitalier Universitaire : Mme FRENDU Marie
Assistant Hospitalier Universitaire : Mme MERIGO Elisabetta

57^{ème} section : CHIRURGIE ORALE ; PARODONTOLOGIE ; BIOLOGIE ORALE

Sous-section 01 : CHIRURGIE ORALE ; PARODONTOLOGIE ; BIOLOGIE ORALE

Professeur des Universités : Mme PRECHEUR-SABLAYROLLES Isabelle
Maître de Conférences des Universités : Mr BENHAMOU Yordan
Maître de Conférences des Universités : Mr COCHAIS Patrice
Maître de Conférences des Universités : Mme DRIDI Sophie Myriam
Maître de Conférences des Universités : Mme RAYBAUD Hélène
Maître de Conférences des Universités : Mme VINCENT-BUGNAS Séverine
Maître de Conférences des Universités : Mme VOHA Christine
Assistant Hospitalier Universitaire : Mr BORIE Gwenaël
Assistant Hospitalier Universitaire : Mr CHARBIT Mathieu
Assistant Hospitalier Universitaire : Mme FISTES Elene-Maria

58^{ème} section : REHABILITATION ORALE

Sous-section 01 : DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE, PROTHESES, FONCTION-DYSFONCTION, IMAGERIE, BIOMATERIAUX

Professeur des Universités : Mme BERTRAND Marie-France
Professeur des Universités : Mr BOLLA Marc
Professeur des Universités : Mme BRULAT-BOUCHARD Nathalie
Professeur des Universités : Mme LASSAUZAY Claire
Professeur des Universités : Mr MAHLER Patrick
Professeur des Universités : Mr MEDIONI Etienne
Professeur des Universités Emérite : Mr ROCCA Jean-Paul
Maître de Conférences des Universités : Mr ALLARD Yves
Maître de Conférences des Universités : Mr CEINOS Romain
Maître de Conférences des Universités : Mme EHRMANN Elodie
Maître de Conférences des Universités : Mr LAPLANCHE Olivier
Maître de Conférences des Universités : Mr LEFORESTIER Eric
Maître de Conférences des Universités : Mme POUYSSEGUR-ROUGIER Valérie
Assistant Hospitalier Universitaire : Mme ABID Sarah
Assistant Hospitalier Universitaire : Mme AZAN Cindy
Assistant Hospitalier Universitaire : Mme BECQUART Mathilde
Assistant Hospitalier Universitaire : Mme DEMARTY Laure
Assistant Hospitalier Universitaire : Mme GROSSI Vanina
Assistant Hospitalier Universitaire : Mr LAMBERT Gary
Assistant Hospitalier Universitaire : Mr LONJON Jean-Baptiste
Assistant Hospitalier Universitaire : Mr PARNOT Maximilien

REMERCIEMENTS

A Madame le Professeur Laurence LUPI

Docteur en Chirurgie Dentaire

Professeur des Universités - Praticien hospitalier

Je vous remercie de me faire l'honneur de présider le jury de ma thèse. Au cours de ces années d'étude, j'ai pu bénéficier de vos précieux conseils et de votre joie de vivre communicative. Je vous remercie de votre encadrement et de votre aide durant mon cursus. Veuillez trouver dans ce travail, l'expression de tout mon respect et de ma profonde estime.

A Madame le Professeur Nathalie BRULAT-BOUCHARD

Docteur en Chirurgie Dentaire

Professeur des Universités - Praticien hospitalier

Je vous remercie d'avoir accepté de diriger cette thèse sur ce sujet qui me tient à coeur. Je souhaite vous exprimer ma profonde gratitude pour votre gentillesse durant toutes ces années sur le plan professionnel et personnel. Je vous remercie également de la patience dont vous avez fait preuve lors de l'élaboration de ce travail. En espérant que cette thèse soit à la hauteur de vos attentes, soyez assurée de l'expression de ma plus grande gratitude et de tout mon respect.

A Madame le Docteur Clara JOSEPH

Docteur en Chirurgie Dentaire

Maitre de Conférence des Universités – Praticien Hospitalier

Je vous remercie de l'honneur que vous me faites en acceptant de siéger au sein de ce jury de thèse. Je vous suis très reconnaissant pour l'enseignement que vous m'avez transmis durant toutes ces années, en clinique, comme à la faculté. Votre implication, votre gentillesse et cette passion pour votre métier ont grandement participé à rendre ces études à la fois agréables et instructives. Veuillez recevoir l'assurance de ma gratitude et l'expression de mes profonds remerciements.

A Monsieur le Docteur Maximilien Parnot
Docteur en Chirurgie Dentaire
Assistant Hospitalo-Universitaire – Praticien Hospitalier

Je vous remercie d'avoir accepté de juger de mon travail. Votre enthousiasme, votre gentillesse, votre patience sont autant de qualités que j'ai pu apprécier durant toutes ces années. Je vous suis particulièrement reconnaissant pour votre soutien et votre implication en clinique qui m'ont permis de progresser dans le métier et dans la gestion de certains cas cliniques. Ce fut un immense plaisir d'avoir travaillé à vos côtés. Je vous prie de trouver dans ce travail l'expression de ma sincère gratitude.

A Monsieur le Docteur Paul GAZAN
Docteur en Chirurgie Dentaire
Assistant Hospitalo-Universitaire – Praticien Hospitalier

Je vous remercie d'avoir accepté mon invitation à cette soutenance de thèse. Votre implication et votre professionnalisme sont une inspiration pour moi. La pédagogie dont vous faites preuve est l'une de vos nombreuses qualités en tant qu'enseignant. Je suis honoré de vous avoir cotoyé durant ces années d'études que ce soit à la faculté ou en clinique. Je vous prie de trouver dans ce travail l'expression de toute ma gratitude et de mon profond respect.

PLAN

INTRODUCTION.....	7
COLLAGE ET ADHÉSIFS UNIVERSELS.....	8
1. Le collage.....	8
1.1. Définition.....	8
1.2. Introduction.....	8
2. Les adhésifs.....	9
2.1. Généralités.....	9
2.2. Classification.....	9
3. Les adhésifs universels.....	11
3.1. Définition.....	11
3.2. Les adhésifs universels.....	11
3.3. Composition et indications.....	16
3.3.1. Indications.....	16
3.3.2. Composition.....	17
3.3.2.1. Les solvants.....	18
3.3.2.2. Les monomères de résine acrylique.....	19
3.3.2.3. Le pH.....	24
3.3.3. Comparaison d'un adhésif universel à des adhésifs SAM1 et M&R2.....	25
RAPPELS SUR LA DENTINE.....	27
1. La dentine physiologique.....	27
1.1. La dentinogénèse.....	27
1.2. Composition de la dentine primaire.....	28
1.3. La perméabilité dentinaire.....	29
1.4. La senescence dentinaire.....	29
2. Les modifications du tissu dentinaire d'origine pathologique.....	31
2.1. La dentine cariée.....	31
2.1.1. La dentine infectée.....	32
2.1.2. La dentine affectée.....	32
2.1.3. La dentine sclérotique d'origine bactérienne.....	33
2.1.4. La dentine tertiaire.....	34
2.2. La dentine abrasée.....	35
2.3. La dentine érodée.....	37
2.4. La dentine corrodée sous amalgame.....	38
LE COLLAGE SUR LES DENTINES MODIFIÉES.....	40
1. Collage sur la dentine affectée.....	40
2. Collage sur la dentine sclérotique.....	40
3. Collage sur la dentine érodée.....	41
4. Collage sur la dentine corrodée.....	41
LE COLLAGE DES ADHÉSIFS UNIVERSELS SUR LA DENTINE SAINE.....	43
LA REVUE DE LA LITTÉRATURE.....	45
1. Matériel et méthodes.....	45
1.1. Stratégie de recherche.....	45
1.2. Critères d'inclusion / exclusion.....	45

2.	Résultats.....	46
2.1.	Résultats de la recherche	46
2.2.	Caractéristiques générales des études incluses dans la revue	47
2.2.1.	Adhésifs universels étudiés	47
2.2.2.	Dentines étudiées	47
2.2.3.	Nature des critères d'évaluation clinique et des tests utilisés	48
2.2.4.	Les tests <i>in vitro</i>	48
2.2.4.1.	Les tests en traction ou « tensile bond strength » (TBS)	48
2.2.4.2.	Les tests en cisaillement ou « shear bond strength » (SBS).....	49
2.2.4.3.	Test macroscopique ou microscopique	49
2.2.5.	Critères d'évaluation clinique	49
2.2.6.	Description générale des études	52
2.2.7.	Risque de biais	57
2.3.	Éléments particuliers révélés par les articles.....	58
2.3.1.	En faveur ou en défaveur de l'utilisation des adhésifs universels sur les dentines modifiées?	58
2.3.2.	Quel est le meilleur protocole adhésif : M&R ou SAM?.....	61
2.3.3.	Collage sur une dentine modifiée <i>VS</i> collage sur une dentine saine	63
2.3.4.	Résultats concernant le pH.....	67
2.3.5.	Résultats concernant le MDP (10-MDP)	68
3.	Discussion.....	70
3.1.	Le MDP	70
3.2.	L'interaction HEMA / MDP.....	73
3.3.	L'association copolymère d'acide polyalkénoïque / MDP	74
3.4.	Influence du pH	75
3.5.	Influence du solvant	76
3.6.	Collage sur une dentine sèche <i>VS</i> collage sur une dentine humide.....	76
3.7.	Perspectives d'avenir : le monomère fonctionnel fluoro-carboné.....	77
3.8.	Limites et recommandations.....	79
3.8.1.	Limites de cette revue	79
3.9.	Tests <i>in vitro</i>	79
3.9.1.	Critères d'évaluation clinique	81
	CONCLUSION.....	82
	BIBLIOGRAPHIE.....	84
	LISTE DES FIGURES.....	93
	LISTE DES TABLEAUX.....	95
	ANNEXES.....	96

INTRODUCTION

Le collage a été une révolution dans la dentisterie à un point tel qu'aujourd'hui, la plupart des restaurations directes et indirectes font appel à un protocole de collage pour leur mise en oeuvre.

Même si l'adhésion au tissu amélaire est maîtrisée depuis 1950 [1], il n'en est pas de même pour l'adhésion au tissu dentinaire qui reste, quant à elle, un défi majeur. En effet, en plus de sa structure hétérogène, ce tissu dentinaire va évoluer avec les années, mais aussi réagir et se modifier face aux multiples agressions que l'organe dentaire subit tout au long de la vie. En parallèle du défi que représente le collage sur la dentine en terme de performance et de reproductibilité, on observe une forte demande des praticiens pour rendre ces procédures adhésives plus simples et plus rapides.

C'est dans ce contexte que les adhésifs multimodaux, aussi appelés universels, ont vu le jour. Ces adhésifs universels ont pour but de réduire la complexité des procédures adhésives cliniques en réunissant plusieurs indications dans un même matériau. En effet, ils sont présentés comme permettant l'adhésion à différents substrats, dentaires ou prothétiques, tout en garantissant des résultats cliniques satisfaisants.

On observe une augmentation de leur utilisation depuis leur mise sur le marché. Cependant, l'indécision quant à la véracité des promesses des fabricants en terme de performances et de vieillissement nous conduit à évaluer leur fiabilité concernant le collage sur les différents substrats dentinaires modifiés (affectée, sclérotique, érodée et corrodée par une ancienne restauration amalgame).

Ce travail sera composé de plusieurs parties. Dans un premier temps, une description des adhésifs universels sera effectuée, suivie de rappels sur le tissu dentinaire (structure physiologique et modifications subit lors d'agressions). Une revue de la littérature sera ensuite entreprise afin d'étudier la qualité de l'adhésion et les performances de cette nouvelle catégorie de système adhésif sur les différentes dentines modifiées pour finalement synthétiser et conclure sur ce sujet.

COLLAGE ET ADHÉSIFS UNIVERSELS

1. Le collage

1.1. Définition

Le collage fait référence au fait de fixer, de faire adhérer quelque chose à quelque chose d'autre au moyen d'une colle ou d'un adhésif approprié. Quand on parle d'adhésif en dentisterie, deux mots sont très importants: l'adhérence et l'adhésion. L'adhésion représente l'ensemble des interactions physico-chimiques spécifiques contribuant à lier intimement deux corps, directement ou via un matériau intercalaire.

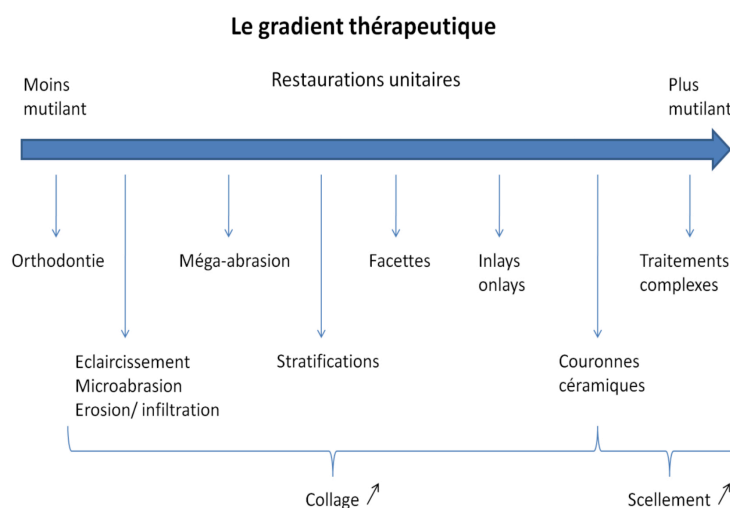
L'adhérence se définit par la force nécessaire afin de séparer les deux corps. Elle est mesurable et a pour unité le Pascal [1-2].

1.2. Introduction

En dentisterie il est question de collage dès les années 1950 grâce aux travaux de pionniers comme Buonocore [1]. Ce n'est que depuis une vingtaine d'années que la dentisterie adhésive connaît un véritable essor, marquant l'avènement d'une dentisterie plus conservatrice dont le maître mot est l'économie tissulaire [3-4-5].

De cette volonté d'économie tissulaire naît le concept de gradient thérapeutique (fig.1). La dentisterie restauratrice adhésive nous affranchit des rétentions macro-mécaniques, faites au détriment du tissu dentaire, qui contribuait à fragiliser les parois cavitaires.

Figure 1: le gradient thérapeutique.



Source : [3]

2. Les adhésifs

2.1. Généralités

Selon le professeur Degrange, les adhésifs amélo-dentaires sont des biomatériaux d'interface liant de façon étanche et adhérente un tissu dentaire minéralisé avec un matériau de restauration adéquat en fonction de l'indication clinique [2].

En tant que matériaux médicaux, ils doivent se soumettre à plusieurs impératifs et à un cahier des charges strict [2] :

- biocompatibilité et non toxicité.
- adhésion et étanchéité du joint empêchant ainsi une possible infiltration bactérienne.
- durabilité dans le temps et dans un milieu humide comme la cavité buccale.
- facilité de manipulation, de mise en œuvre et reproductibilité des résultats.

2.2. Classification

Depuis le brevet de Hagger en 1951 avec la commercialisation du Sevriton (résine acrylate) et l'étude de Kramer et Mac Lean publiée en 1952 [6] jusqu'à nos jours, pas moins de 7 générations d'adhésifs se sont succédées. La 4ème génération marque un véritable tournant dans l'approche du collage avec le mordantage simultané de l'émail et de la dentine [1].

Une classification rationnelle basée sur le mode de fonctionnement a été mise en place. Celle ci comprend deux groupes : les systèmes adhésifs en mode mordantage-rinçage ou etch-and-rinse ou M&R (mordantage total : M&Rt ou mordantage sélectif de l'émail : M&Rs) d'un côté, et de l'autre, les systèmes adhésifs en mode auto-mordançant ou self-etch ou SAM. Dans ces deux groupes se trouvent deux sous-groupes en fonction du nombre d'étapes cliniques nécessaires à leur application: M&R 3, M&R 2, SAM 2 et SAM 1 (fig.23) [2]. N'ayant pas la même composition, ces systèmes n'auront pas les mêmes propriétés ni les mêmes modalités de manipulation (tab.1).

Tableau 1 : résumé des modalités de manipulation des adhésifs ainsi que leurs avantages / inconvénients en fonction de leur stratégie d'adhésion.

	MORDANÇAGE-RINÇAGE		AUTO-MORDANÇAGE	
	3 temps (M&R3)	2 temps (M&R2)	2 temps (SAM2)	1 temps (SAM1)
Acide ortho-phosphorique	1-Mordancer l'émail (30s) puis la dentine (15s). 2- Rincer abondamment au moins 10s.		Les fabricants ne conseillent pas de mordancer cependant il est conseillé de faire un mordançage selectif de l'émail	
Primaire	3- Frotter activement la surface avec une mini brosse pendant au moins 15s. 4- Spray d'air : séchage à distance doux, puis fort pendant 5s (parois brillantes).	3- Frotter activement la surface avec une mini brosse pendant au moins 15s. 4- Séchage à distance doux, puis fort pendant 5s (parois brillantes).	1- Frotter activement la surface avec une mini brosse pendant au moins 15s. 2- Spray d'air : séchage à distance doux, puis fort pendant 5s (parois brillantes).	1- Frotter activement la surface avec une mini brosse pendant au moins 15s. 2- Séchage à distance doux, puis fort pendant 5s (parois brillantes).
Résine adhésive	5- Appliquer. 6- Spray d'air léger pour étaler.		3- Appliquer. 4- Spray d'air léger pour étaler.	
	7- Photo-polymérisation.	5- Photo-polymérisation.	5- Photo-polymérisation.	3- Photo-polymérisation.
Avantages	Référence en terme d'étude <i>in vivo</i> et <i>in vitro</i> .	Qualité de l'adhérence et de l'étanchéité.	Facilité de mise en œuvre. Moins de sensibilité.	
Inconvénients	« Wet bonding » nécessaire mais moins que M&R2. Praticien dépendant.	« Wet bonding » indispensable. Sensibilité si mauvaise infiltration de la résine.	Péremption rapide (surtout SAM1). Membrane semi perméable, hydrolyse dans le temps (surtout SAM1). Adhésion à l'émail faible si pas de mordançage.	

Source : JP Attal et G Tirlet. Académie du sourire. 2008

Récemment une nouvelle catégorie d'adhésifs a vu le jour : les adhésifs universels. Ces adhésifs ont été mis sur le marché, en 2011. Ils n'appartiennent pas à une génération à part entière car leur particularité est qu'ils peuvent être employés comme un M&R2 ou un SAM1. Il serait donc plus raisonnable de parler d'adhésifs multimodaux. Ils sont conditionnés en flacon unique comme des SAM1 mais sont plus hydrophobes, ce qui leur permet d'être aussi utilisés en M&R2 avec un mordançage total ou sélectif de l'émail [1]. Ces adhésifs multimodaux sont censés révolutionner le collage. Cependant, le recul clinique est encore limité.

3. Les adhésifs universels

3.1. Définition

Il n'existe pas de définition officielle. Si on se réfère aux descriptions de la plupart des fabricants, plusieurs critères reviennent fréquemment. Un adhésif universel doit :

- pouvoir être utilisé à la fois en mode M&R ou en SAM.
- être conditionné dans un seul flacon, sans mélange préalable.
- être utilisé pour les restaurations directes et indirectes.

Les adhésifs universels désignent donc un groupe hétérogène de systèmes adhésifs, n'ayant pas les mêmes indications [7]. Cette ambiguïté autour du cahier des charges précis d'un adhésif universel peut créer une certaine confusion. Par exemple, le fabricant Kerr commercialise deux adhésifs universels : l'Optibond Universal et l'Optibond eXTRa Universal. Cependant, l'Optibond eXTRa Universal n'est pas en conditionnement unique (primer et adhésif séparés) ce qui fait de lui un SAM2 et non pas un adhésif universel.

3.2. Les adhésifs universels

Il est important de préciser que les données ayant servi à cette étude ont été recueillies après la lecture de différents documents établis par les fabricants (annexe 1) :

- les Fiches de Données de Sécurité FDS (MSDS pour Material Safety Data Sheet) pour leur composition.
- les modes d'emploi (IFU pour Instruction For Use) pour leurs indications et modalités d'utilisation (annexe 1).
- les brochures commerciales apportant des informations complémentaires.




Après un travail de recherche sur des sites de vente d'adhésifs dentaires en France (GACD, Megadental, Henry Schein, dentalprive, dentalclick, dentaltix, sbr, medicalexpo, dental good deal, etc...), ainsi que sur les sites des fabricants eux-mêmes, une liste des adhésifs universels a été dressée (tab 2).

Tableau 2 : adhésifs universels par ordre alphabétique de leur fabricant.

Adhésifs, acronyme exclus	Fabricant	Photo	Critères d'inclusions des adhésifs universels
All Bond Universal ABU	Bisco		<ul style="list-style-type: none"> • SAM1 / M&R2. • Conditionnement unique et utilisation sans mélange (restauration directe). • Restaurations directes / indirectes.
One Coat 7.0 Universal OC7	Coltene		<ul style="list-style-type: none"> • SAM1 / M&R2. • Conditionnement unique et utilisation sans mélange (restauration directe). • Restaurations directes / indirectes.
Cyber Bond Adhesive <i>(Absence de mode d'emploi et de site internet)</i>	Cyber Tech		<ul style="list-style-type: none"> • SAM1 / M&R2 ? • Conditionnement unique et utilisation sans mélange (restauration directe) ? • Restaurations directes / indirectes ?
DE Bonding Universal <i>(Absence de mode d'emploi et de site internet)</i>	DE Healthcare Products		<ul style="list-style-type: none"> • SAM1 / M&R2 ? • Conditionnement unique et utilisation sans mélange (restauration directe) ? • Restaurations directes / indirectes ?
Prime and Bond Active PBA	Dentsply Sirona		<ul style="list-style-type: none"> • SAM1 / M&R2. • Conditionnement unique et utilisation sans mélange (restauration directe). • Restaurations directes / indirectes.
Prime and Bond Elect PBE <i>(disponible aux USA mais pas en France)</i>	Dentsply Sirona		<ul style="list-style-type: none"> • SAM1 / M&R2. • Conditionnement unique et utilisation sans mélange (restauration directe). • Restaurations directes / indirectes.
Xeno Sélect	Dentsply Sirona		<ul style="list-style-type: none"> • SAM1 / M&R2. • Conditionnement unique et utilisation sans mélange (restauration directe). • Restaurations directes / indirectes.

<p>Ambar Universal AU <i>(disponible en Amérique du Nord/Sud mais pas en France)</i></p>	<p>FGM</p>		<ul style="list-style-type: none"> • SAM1 / M&R2. • Conditionnement unique et utilisation sans mélange (restauration directe). • Restaurations directes / indirectes.
<p>G premio Bond GPB</p>	<p>GC</p>		<ul style="list-style-type: none"> • SAM1 / M&R2. • Conditionnement unique et utilisation sans mélange (restauration directe). • Restaurations directes / indirectes.
<p>Iperbond Ultra IBU</p>	<p>Itena</p>		<ul style="list-style-type: none"> • SAM1 / M&R2. • Conditionnement unique et utilisation sans mélange (restauration directe). • Restaurations directes / indirectes.
<p>Adhese Universal ADHU</p>	<p>Ivoclar Vivadent</p>		<ul style="list-style-type: none"> • SAM1 / M&R2. • Conditionnement unique et utilisation sans mélange (restauration directe). • Restaurations directes / indirectes.
<p>Tetric N-Bond Universal TNU <i>(disponible en Inde mais pas en France)</i></p>	<p>Ivoclar Vivadent</p>		<ul style="list-style-type: none"> • SAM1 / M&R2. • Conditionnement unique et utilisation sans mélange (restauration directe). • Restaurations directes / indirectes.
<p>Optibond eXTRa Universal</p>	<p>Kerr</p>		<ul style="list-style-type: none"> • SAM1 / M&R2. • Conditionnement unique et utilisation sans mélange (restauration directe). • Restaurations directes / indirectes.
<p>Optibond Universal OBU</p>	<p>Kerr</p>		<ul style="list-style-type: none"> • SAM1 / M&R2. • Conditionnement unique et utilisation sans mélange (restauration directe). • Restaurations directes / indirectes.

<p>Gluma Bond Universal GBU <i>(disponible en Inde ou aux USA mais pas en France)</i></p>	<p>Kulzer</p>		<ul style="list-style-type: none"> • SAM1 / M&R2. • Conditionnement unique et utilisation sans mélange (restauration directe). • Restaurations directes / indirectes.
<p>iBOND Universal IU</p>	<p>Kulzer</p>		<ul style="list-style-type: none"> • SAM1 / M&R2. • Conditionnement unique et utilisation sans mélange (restauration directe). • Restaurations directes / indirectes.
<p>Clearfil Universal Bond CUB</p>	<p>Kuraray</p>		<ul style="list-style-type: none"> • SAM1 / M&R2. • Conditionnement unique et utilisation sans mélange (restauration directe). • Restaurations directes / indirectes.
<p>Clearfil Universal Bond QUICK CUBQ</p>	<p>Kuraray</p>		<ul style="list-style-type: none"> • SAM1 / M&R2. • Conditionnement unique et utilisation sans mélange (restauration directe). • Restaurations directes / indirectes.
<p>Universal Adhesive UA</p>	<p>Proclinc</p>		<ul style="list-style-type: none"> • SAM1 / M&R2. • Conditionnement unique et utilisation sans mélange (restauration directe). • Restaurations directes / indirectes.
<p>Palfique Universal Bond</p>	<p>Tokuyama Dental</p>		<ul style="list-style-type: none"> • SAM1 / M&R2. • Conditionnement unique et utilisation sans mélange (restauration directe). • Restaurations directes / indirectes.
<p>Peak Universal Bond</p>	<p>Ultradent</p>		<ul style="list-style-type: none"> • SAM1 / M&R2. • Conditionnement unique et utilisation sans mélange (restauration directe). • Restaurations directes / indirectes.

<p>Futurabond M+ FM</p>	<p>Voco</p>		<ul style="list-style-type: none"> • SAM1 / M&R2. • Conditionnement unique et utilisation sans mélange (restauration directe). • Restaurations directes / indirectes.
<p>Futurabond U</p>	<p>Voco</p>		<ul style="list-style-type: none"> • SAM1 / M&R2. • Conditionnement unique et utilisation sans mélange (restauration directe). • Restaurations directes / indirectes.
<p>ScotchBond Universal ou Single Bond Universal SBU</p>	<p>3M ESPE</p>		<ul style="list-style-type: none"> • SAM1 / M&R2. • Conditionnement unique et utilisation sans mélange (restauration directe). • Restaurations directes / indirectes.

Source : auteur 2019

Les modalités d'utilisation de ces systèmes universels manquent parfois de précisions. Une certaine imprécision peut troubler le praticien dans leur utilisation. Par exemple, il ne faut pas confondre le Single Bond Universal (3M ESPE) avec le Single Bond (3M ESPE) qui est un M&R2.

Pour deux d'entre eux, DE Bonding Universal et Cyberbond Adhesive Universal, aucun site internet n'a été trouvé. Les modes d'emploi ne sont pas disponibles, et les fiches MSDS ont été trouvées sur le site du revendeur. Ces deux adhésifs seront exclus des futures équations de recherche.

Après lecture de chaque mode d'emploi, cinq adhésifs universels ne remplissent pas les trois conditions retenues précédemment:

- Conditionnement unique et sans mélange pour les restaurations directes :
 - Futurabond U (Voco) : avant application, il faut presser sur une zone particulière de l'unidose afin de mélanger deux liquides et ainsi le rendre opérationnel.
 - Palfique Universal Bond (Tokuyama Dental) : un mélange dans un récipient adéquat entre le Bond A et B est nécessaire avant application.
- La possibilité d'utilisation à la fois en SAM1 et en M&R2 :
 - Peak Universal Bond (Ultradent) : utilisation de Peak SE avant l'application de Peak Universal Bond comme pour le mode d'emploi d'un SAM2 et non d'un SAM1.
 - Optibond eXTRa Universal (Kerr) : utilisation d'un primaire avant application de l'adhésif qu'importe la stratégie adhésive choisie.
- Indication à la fois pour les restaurations directes et indirectes :
 - Xeno Select (Dentsply Sirona) : indiqué pour des restaurations directes et non indirectes.

Ces cinq adhésifs seront retirés de la future équation de recherche. Ce travail portera sur 17 adhésifs universels (en vert dans le tableau 2).

3.3. Composition et indications

Les indications et la composition de tous les adhésifs universels retenus sont résumées en annexe 2. TNU et ADHU (Ivoclar Vivadent) sont employés dans deux pays différents mais ils ont les mêmes MSDS et les mêmes modes d'emploi. Ils seront considérés comme un seul et même adhésif. Il en est de même pour IU et GBU (Kulzer) mais le manque d'information sur leur composition ne permet pas d'en être totalement sûrs. Ils seront donc étudiés comme deux adhésifs à part entière. Cette étude regroupera au final 16 adhésifs universels.

3.3.1. Indications

Ces adhésifs universels présentent de nombreuses différences au niveau de leurs indications (tab.3). A part le collage de restaurations directes et indirectes (une des trois conditions initiales), aucune autre indication n'est présente sur l'ensemble des 16 adhésifs prouvant une fois de plus l'hétérogénéité de ce groupe d'adhésifs.

L'emploi du mot scellement pour les restaurations indirectes dans plusieurs modes d'emploi peut aussi prêter à confusion car il s'agit d'un collage et non d'un scellement.

Certains fabricants recommandent l'utilisation « d'activateur », lorsque l'opérateur utilise une colle chémo-polymérisable ou duale, ou d'un primaire pour coller à la céramique ou au métal.

Tableau 3: indications des adhésifs universels retenus.

	Désensibilisation	Vernis pour CVI	Vernis pour amalgame	RMIPP par tenon endodontique	Collage orthodontique	Collage amalgame	Réparation de prothèse métal / céramique	Collage de sealants	IDS
ABU	✓	✓		✓	✓		✓		✓
OC7									✓
PBA	✓		✓	✓			✓		
PBE			✓	✓			✓		
AU				✓			✓		
GPB	✓			✓			✓		
IBU				✓					
ADHU ou TNU	✓			✓			✓		✓
OBU				✓		✓	✓		✓
GBU	✓			✓			✓	✓	✓
IU	✓			✓			✓	✓	✓
CUB	✓			✓			✓		✓
CUBQ	✓			✓			✓		✓
UA	✓			✓					✓
FM	✓	✓		✓					✓
SBU	✓	✓		✓				✓	✓

✓ : l'adhésif est utilisable dans cette indication

Source : auteur 2019

3.3.2. Composition

Il a été difficile de déchiffrer et d'analyser la composition chimique de ces adhésifs car les fabricants utilisent des termes descriptifs afin d'éviter la divulgation des composants lorsqu'il s'agit de molécules brevetées (Vitrebond de chez 3M ESPE). De plus, les données sur les modes d'emploi (quand elles y sont), les brochures et les fiches MSDS ne correspondent pas toujours.

La recherche sur la composition des adhésifs est également limitée (ou non publiée lorsqu'elle est effectuée par les fabricants eux-mêmes).

Néanmoins, tous les adhésifs, quels qu'ils soient, contiennent les même types de molécules [1] :

- des solvants organiques.
- des composants résineux (monomères de résines acryliques).
- des initiateurs de polymérisation (chémo- et/ou photo-).
- des charges (facultatives).

Seules leurs caractéristiques et leurs proportions varieront en fonction du système adhésif.

3.3.2.1. Les solvants

Les solvants ont un rôle majeur car ils doivent à la fois chasser l'eau contenue dans le réseau de collagène et s'évaporer en laissant derrière eux un substrat prêt à être imprégné de monomères [8].

Les adhésifs universels peuvent être utilisés en mode SAM. La présence d'eau dans leur composition est donc nécessaire pour fournir les protons H_3O^+ indispensables à la déminéralisation des tissus minéralisés [8]. Cependant, les données des fabricants de 4 adhésifs universels ne mentionnent pas la présence d'eau (FM, IBU, GPB et ABU).

Tableau 4 : répartition des différents solvants identifiés dans les adhésifs universels retenus.

	Ethanol	Acétone	Dicétone	Isopropanol
ABU	✓			
OC7	✓			
PBA				✓
PBE		✓	✓	
AU	✓			
GPB		✓		
IBU	✓			
ADHU ou TNU	✓			
OBU	✓	✓		
GBU		✓		
IU		✓		
CUB	✓			
CUBQ	✓			
UA	✓			
FM	✓			
SBU	✓			

✓ : l'adhésif contient ce solvant

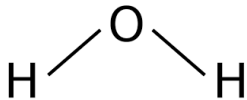
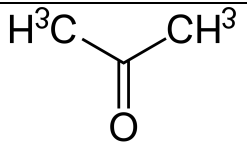
Source : auteur 2019

Hormis le PBA contenant de l'isopropanol, tous les autres adhésifs contiennent soit de l'éthanol soit de l'acétone (tab.4). OBU, quant à lui, contient les deux.

NB : L'eau a été retirée du tableau 4 car elle doit être présente dans tous les adhésifs universels.

Le rôle des solvants est de chasser l'eau de la surface dentinaire hydrophile, la rendant ainsi hydrophobe. Cette dernière pourra alors être infiltrée par les résines adhésives (hydrophobes). La volatilité des solvants est importante car la moindre trace de solvant non éliminée est susceptible de fragiliser la couche hybride.

Tableau 5 : composition et propriétés des principaux solvants identifiés dans les adhésifs universels retenus.

Solvant	Formule chimique	Avantages	Inconvénients
Eau		Bonne ré humidification du réseau collagénique.	Peu volatile, temps d'évaporation long.
Acétone		Evacue aisément les excès d'eau même lors de « surhydratation ».	Très volatile, ne convenant pas à la dentine desséchée.
Ethanol	$\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—OH}$	Moins volatile que l'acétone mais plus que l'eau → convient bien à la dentine desséchée.	Sensible au degré d'humidité même s'il l'est beaucoup moins que l'acétone.

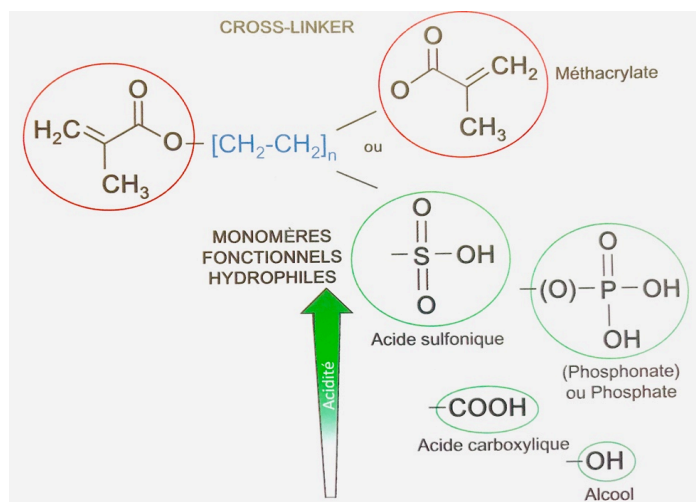
Source : [1]

3.3.2.2. Les monomères de résine acrylique

Les monomères de résine acrylique sont les « vrais » éléments adhésifs. Leur architecture est toujours la même M-C-X [1] :

- M → fonction méthacrylique pour la polymérisation.
- C → squelette central hydrophobe composé de chaînes carbonées $-(\text{CH}_2\text{-CH}_2)_n-$.
- X → selon la nature de cette extrémité, le monomère est dit soit fonctionnel soit réticulant (cross-linkers) (fig.2).

Figure 2 : composition générale d'un monomère réticulant ou fonctionnel.



Rouge : groupe méthacrylique ; vert : groupe fonctionnel ; bleu : chaîne carbonée hydrophobe.

Source : [1]

La manière dont les monomères sont nommés est très déroutante. Outre le nom chimique complet, un acronyme ou un nom commercial peut leur être attribué. Parfois, plusieurs synonymes existent pour le même monomère. De plus, certains fabricants omettent dans les fiches MSDS de mentionner la présence de certains de ces monomères.

3.3.2.2.1. Les monomères de réticulation ou cross-linkers

Les monomères de réticulation apportent une résistance mécanique au système adhésif en formant des polymères densément réticulés entre eux. Généralement hydrophobes, ils freineront l'absorption d'eau après le durcissement [1].

Tableau 6 : répartition des monomères de réticulation identifiés dans les adhésifs universels retenus.

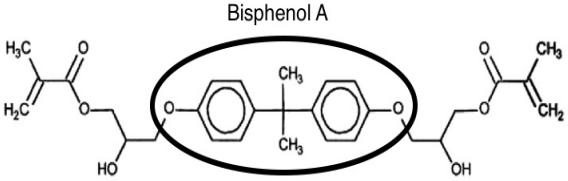
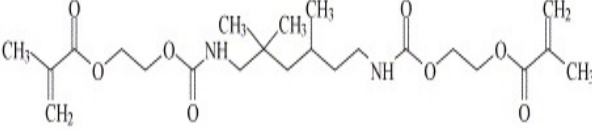
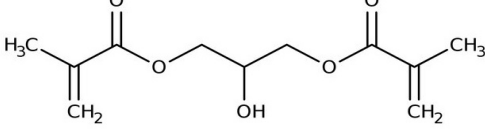
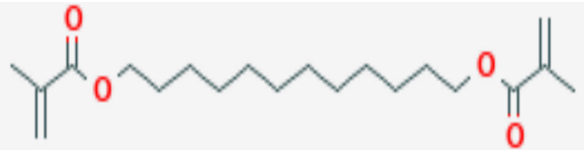
	Bis-GMA	UDMA	D3MA	GDMA
ABU	√			
OC7		√		
PBA				
PBE		√		
AU		√		
GPB				
IBU		√		
ADHU ou TNU	√		√	
OBU				√
GBU				
IU				
CUB	√			
CUBQ	√			
UA				
FM	√	√		
SBU	√			

√: l'adhésif contient ce monomère de réticulation

Source : auteur 2019

Les monomères Bis-GMA et d'UDMA sont les plus représentés. Moins fréquents, mais tout de même présents : le D3MA et le GDMA (tab.6). Les monomères cross-linkers sont souvent mélangés les uns aux autres dans des concentrations spécifiques afin d'exploiter au mieux leurs propriétés (tab.7) [1-9].

Tableau 7 : composition et propriétés des monomères réticulant identifiés dans les adhésifs universels retenus.

Monomères	Propriétés
	<p>Bis-GMA ou «résine Bowen»:</p> <ul style="list-style-type: none"> • contraction de prise plus faible et durcissement rapide. • monomère très rigide (deux cycles aromatiques volumineux) mais effet négatif sur le taux de conversion car les groupes méthacrylates polymérisables auront des difficultés à trouver un groupe méthacrylate conjugué. Le mélange d'autres monomères de poids moléculaire inférieur est donc nécessaire pour avoir un polymère de qualité mécanique supérieure.
	<p>UDMA:</p> <ul style="list-style-type: none"> • poids moléculaire comparable à celui du Bis-GMA. • propriétés de viscosité plus faibles que le Bis-GMA. • plus flexible que le Bis-GMA → rotation facile grâce aux liaisons éthers. • utilisé seul ou en association avec TEGDMA et /ou Bis-GMA.
	<p>GDMA:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Faible poids moléculaire.
	<p>D3MA ou DDDMA:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Long squelette hydrophobe → flexibilité et mobilité moléculaire. • poids moléculaire comparable au Bis-GMA. • Durcissement rapide.

Source : [1-9]

La biocompatibilité de ces monomères est sujette à controverse. Outre la cytotoxicité, certaines études ont indiqué des effets indésirables de Bis-GMA et de TEGDMA sur la fertilité des souris. L'UDMA est le moins toxique de ces monomères cross-linkers [9].

3.3.2.2.2. Les monomères fonctionnels

Ils sont les pierres angulaires des systèmes adhésifs car ce sont majoritairement sur leurs propriétés que reposent la nature et surtout la qualité de l'adhésif (tab.9). Cela est d'autant plus vrai pour les adhésifs universels car ils peuvent être à la fois utilisés en mode M&R et en mode SAM. Leurs monomères fonctionnels se doivent d'être un parfait mélange entre hydrophilie (bonne mouillabilité), acidité (démminéralisation des tissus) et hydrophobie (limite la réabsorption d'eau après durcissement).

Tableau 8 : répartition des monomères fonctionnels identifiés dans les adhésifs universels retenus.

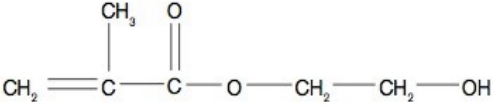
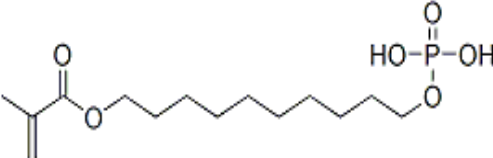
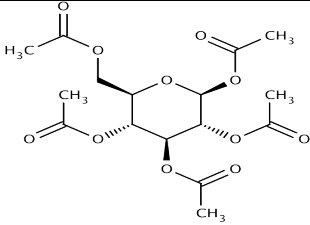
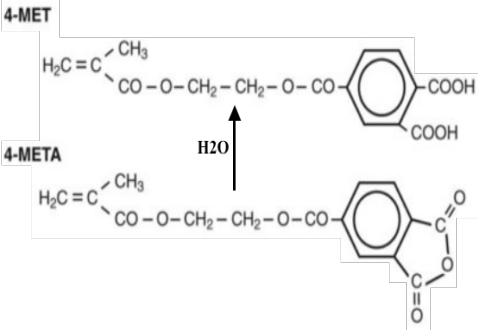
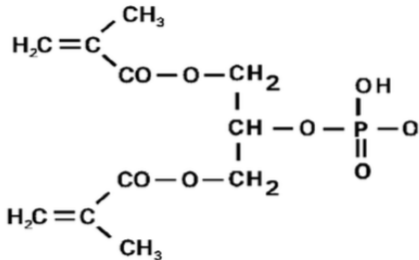
	HEMA	MDP	PENTA	4-META	GPDM	DMAEMA	MCAP	Vitrebond
ABU	✓	✓						
OC7	✓	✓						
PBA		✓	✓					
PBE			✓					
AU	✓	✓						
GPB		✓						
IBU	✓							
ADHU ou TNU	✓	✓				✓	✓	
OBU	✓				✓			
GBU		✓		✓				
IU		✓		✓				
CUB	✓	✓						
CUBQ	✓	✓						
UA	✓	✓						
FM	✓							
SBU	✓	✓						✓

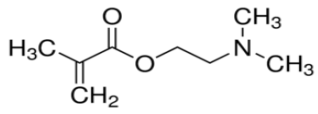
✓ : l'adhésif contient ce monomère fonctionnel

Source : auteur 2019

Le HEMA agit comme un solvant en augmentant la mouillabilité de la surface dentaire et en favorisant l'infiltration de la résine dans le réseau collagénique. Il ralentit également la séparation de phase dans le flacon [9]. Il est donc normal qu'il soit présent dans les compositions de la majorité des adhésifs universels. Parmi les monomères identifiés, nous avons une majorité de HEMA et de MDP (tab.8). MDP ne figure pas sur les fiches MSDS du GBU et du IU alors que leurs brochures le mentionnent, en plus du 4-META (tab.8). Le MDP, molécule découverte en 2004 par l'équipe de Van Meerbeek (breveté par Kuraray), va révolutionner l'adhésion des années 2010. L'adhésion n'est plus principalement due à une rétention micromécanique comme c'était le cas par le passé, mais se voit améliorée et renforcée par une liaison chimique ionique grâce au groupement fonctionnel phosphate du MDP. Concernant le MCAP et le Vitrebond, aucune information n'a été trouvée sur leur formule chimique. Leurs données ont été recueillies à la lecture des brochures des fabricants (tab.9).

Tableau 9 : composition et propriétés des monomères fonctionnels identifiés dans les adhésifs universels retenus.

Monomères	Propriétés
	<p>HEMA :</p> <ul style="list-style-type: none"> • monomère monofonctionnel. • biocompatibilité relativement bonne. • bonne solubilité dans les solvants (eau, acétone, éthanol). • améliore le mouillage et les forces de liaison à la dentine. • nature semblable à un solvant améliorant la stabilité des solutions hydrophiles. • contre productif en concentration élevée.
	<p>MDP ou 10-MDP :</p> <ul style="list-style-type: none"> • monomère acide → le groupe dihydrogénophosphate se dissocie dans l'eau pour former deux H⁺ (démérialisation). • monomère fonctionnel le plus hydrophobe → coefficient de partage de 4,1. • relativement stable à l'hydrolyse. • fortes liaisons ioniques avec l'hydroxyapatite → les sels de calcium formés sont peu solubles. • s'auto-assemblent chimiquement et ultra-structurellement en nano-couches.
	<p>PENTA :</p> <ul style="list-style-type: none"> • structure moléculaire complexe comportant à la fois des groupes polymérisables et fonctionnels. • à la fois monomère fonctionnel et réticulant.
	<p>4-MET :</p> <ul style="list-style-type: none"> • résultat de l'hydrolyse de 4-META (poudre) • monomère acide → propriétés déminéralisantes • améliore le mouillage, notamment des métaux. • bien soluble dans l'acétone, modérément soluble dans l'éthanol et difficilement soluble dans l'eau. • liaison ionique avec l'hydroxyapatite → moins intense que le MDP (sel de calcium peu stable)
	<p>GPDM :</p> <ul style="list-style-type: none"> • molécule courte → deux groupes méthacrylate hydrophobes et un groupe phosphate hydrophile. • grandes propriétés de mouillabilité et d'infiltration. • plus hydrophile que MDP. • peut créer un réseau de polymère plus fort que HEMA et MDP. • liaison ionique à l'hydroxyapatite aussi intense que 4-MET.

<u>Monomères</u>	<u>Propriétés</u>
	<p>DMAEMA :</p> <ul style="list-style-type: none"> • hydrosoluble. • co-initiateur de la camphoquinone grâce à son amine tertiaire.
<p style="text-align: center;">?</p>	<p>MCAP :</p> <ul style="list-style-type: none"> • polymère fonctionnel d'acide carboxylique → liaison ionique à l'hydroxyapatite.
<p style="text-align: center;">?</p>	<p>Vitrebond Copolymère :</p> <ul style="list-style-type: none"> • copolymère d'acide polyalkénoïque modifié par du méthacrylate. • développé pour l'élaboration des ciments verres ionomères modifiés par de la résine. • permettrait une liaison plus constante au tissu dentinaire dans des conditions humides et sèches.

Source : [1-9-10]

3.3.2.3. Le pH

Le pH des adhésifs universels décide de leur capacité de mordantage. Il peut être « moyen » (pH≈1,5), « doux » (pH≈2) ou « ultra-doux » (pH> 2,5). Les adhésifs ultra-doux peuvent être efficaces en ce qui concerne l'adhésion à la dentine mais pas aussi efficace en ce qui concerne l'adhésion à l'émail que les pH moyens ou doux.

Les fabricants ne révèlent les pH que de cinq adhésifs universels. Cependant, en recoupant les informations de plusieurs articles, il ne reste plus que l'IBU et l'OBU pour lesquels aucune information concernant leur pH n'est fournie (tab.10).

D'autre part, pour quatre d'entre eux, seule un intervalle dans lequel se trouve le pH nous est donné (ABU, AU, GBU et UA). De plus, l'intervalle donné pour UA est compris entre 2 et 3, ne permettant pas de conclure s'il est « doux » ou « ultra doux ».

Tableau 10 : pH des adhésifs universels retenus.

	Moyen	Doux	Ultra-doux
ABU			X
OC7			X
PBA			X
PBE			X
AU			X
GPB		X	
IBU	?	?	?
ADHU ou TNU			X
OBU	?	?	?
GBU	X		
IU	X		
CUB		X	
CUBQ		X	
UA		?	?
FM		X	
SBU			X

Les croix signifient que l'adhésif est dans cette catégorie

Source : auteur 2019

Il existe également une corrélation directe entre le pH des adhésifs et leur compatibilité avec des ciments et des composites à base de résine auto-polymérisable ou duale. D'une manière générale, plus l'adhésif est acide, moins il est compatible avec le mode auto-polymérisation des matériaux à polymérisation duale. Cela est principalement dû à la désactivation à l'acide des amines tertiaires aromatiques qui jouent un rôle crucial dans le durcissement chimique [7]. Pour résoudre ce problème, plusieurs adhésifs universels, lorsqu'ils sont utilisés conjointement avec des ciments à base de résine auto-polymérisables ou duale, nécessitent l'ajout d'un « activateur » distinct.

3.3.3. Comparaison d'un adhésif universel à des adhésifs SAM1 et M&R2

Les adhésifs universels doivent pouvoir être utilisés à la fois comme un SAM1 et un M&R2. Ils doivent avoir les propriétés de l'un et de l'autre sans que cela influe sur leurs performances.

Les adhésifs de chez 3M ESPE seront pris comme exemple pour cette comparaison (tab.11) :

- adhésif universel → SBU [11].
- SAM1 → Adper Easy Bond [12].
- M&R2 → Adper ScotchBond 1XT [13].

Tableau 11 : composition des adhésifs universels, SAM1 et M&R2 de chez 3M ESPE.

Adper™ Single Bond Plus Adhesive	Adper™ Easy Bond Self-Etch Adhesive	Scotchbond™ Universal Adhesive
	MHP Phosphate Monomer	MDP Phosphate Monomer
Dimethacrylate resins	Dimethacrylate resins	Dimethacrylate resins
HEMA	HEMA	HEMA
Vitrebond™ Copolymer	Vitrebond™ Copolymer	Vitrebond™ Copolymer
Filler	Filler	Filler
Ethanol	Ethanol	Ethanol
Water	Water	Water
Initiators	Initiators	Initiators
		Silane

Source : 3M ESPE, ScotchBond Universal, 2019.

Les compositions sont globalement les mêmes mais nous pouvons remarquer deux grandes différences :

- la présence de silane dans le SBU et pas dans les deux autres.
- la présence ou non d'un monomère fonctionnel → SBU possède le MDP, Adper Easy Bond possède le MHP et le Adper ScotchBond 1XT n'en possède pas.

Concernant le monomère acide, il est normal que l'Adper ScotchBond 1XT, étant un M&R2, n'en ait pas besoin. En revanche, pour Adper Easy Bond, la différence semble se faire sur les propriétés intrinsèques des monomères fonctionnels utilisés [11-12-13]. En effet, le 6-MHP possède, par exemple, une capacité mordançante plus élevée que le MDP (plus grande libération de protons), comme en témoigne son pH compris entre 0,8 et 1 (pH SBU : 2,7) [11-12-13].

La présence de silane est due à l'indication de traitement de surface en utilisation seule de SBU. Mais, cette particularité n'étant pas commune à tous les adhésifs universels, elle ne peut pas être considérée comme une différence majeure [11-12-13].

Bien que ces adhésifs aient pratiquement la même composition, cela ne veut pas dire que leurs composants sont présents dans les mêmes proportions.

De plus, le conditionnement tissulaire n'est pas le même pour un SAM ou pour un M&R. Le mordantage sélectif amélaire peut augmenter l'adhésion des SAM, alors que le mordantage de la dentine la réduit [14].

Concernant les indications comparées grâce aux données recueillies sur le site du fabricant (3M France), elles sont pratiquement identiques, ce qui est troublant car ces trois adhésifs n'ont pas la même composition ni le même protocole de collage.

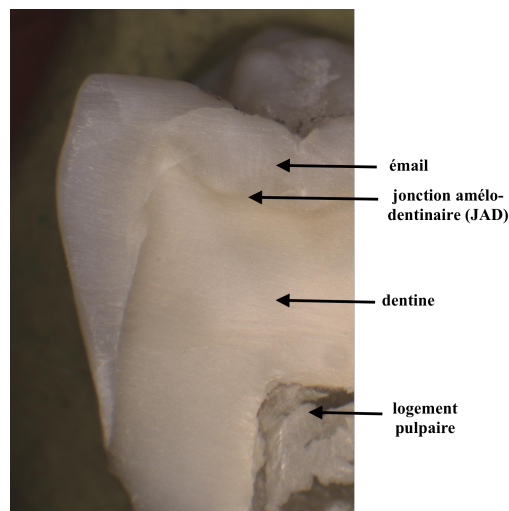
RAPPELS SUR LA DENTINE

L'organe dentaire est formé de plusieurs tissus : d'une part les tissus durs (l'émail, la dentine et le cément) et d'autre part les tissus mous (la pulpe et le desmodonte). Ce travail portera uniquement sur le tissu dentinaire.

1. La dentine physiologique

La dentine est le principal tissu constituant la dent. Elle est recouverte par l'émail au niveau coronaire et par le cément au niveau radiculaire. La dentine circonscrit la pulpe, avec laquelle elle entretient une relation par le biais des prolongements odontoblastiques situés dans les canalicules dentinaires (fig.3). Ainsi toutes les modifications environnementales affectent aussi bien la dentine que la pulpe. On parle du complexe pulpo-dentinaire [15].

Figure 3 : coupe anatomique d'une molaire saine.

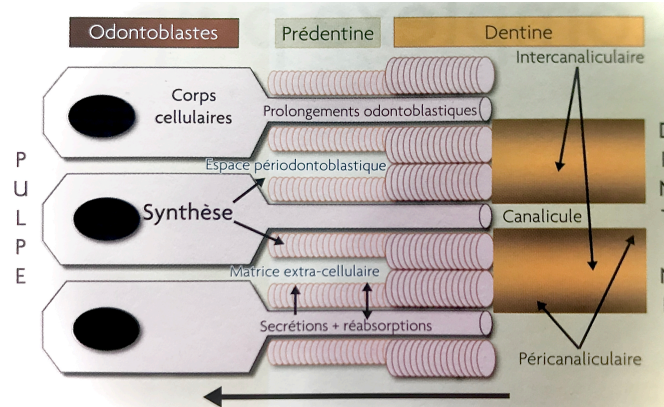


Source : auteur 2019

1.1. La dentinogénèse

Elle se fait simultanément à l'élaboration de l'émail. Des cellules des crêtes neurales migrent vers la périphérie du mésenchyme pour devenir des pré-odontoblastes. Simultanément aux pré-améloblastes, ces pré-odontoblastes se polarisent et acquièrent leur détermination phénotypique en devenant ainsi des odontoblastes sécréteurs post-mitotiques. La sécrétion de la dentine se fait au sein d'une couche de matrice dentinaire riche en collagène et en protéoglycanes. Cette couche est appelée « pré-dentine ». C'est une bande intermédiaire de 15 à 20 μm située entre les corps cellulaires et le front de minéralisation dentinaire (fig.4). Cette pré-dentine va par la suite se minéraliser pour donner la dentine primaire [15-16]. Les odontoblastes synthétisent donc la dentine de façon centripète (à l'inverse de l'élaboration de l'émail par les améloblastes).

Figure 4 : schéma expliquant le processus de dentinogénèse.



Flèches minces : sécrétion de prédentine ; flèches épaisses : recul des corps odontoblastiques.

Source : [15]

1.2. Composition de la dentine primaire

La dentine est un tissu minéralisé, avasculaire, innervé et perméable, pouvant être le siège de phénomènes douloureux en cas d'agression. La phase minérale est composée de cristaux d'hydroxyapatite riches en carbonate de magnésium. La matrice organique est composée de 90% de collagène (essentiellement de type I, et de 1 à 3% de type III et V) et de 10% de matrice non collagénique. Ces proportions évoluent avec l'âge [15].

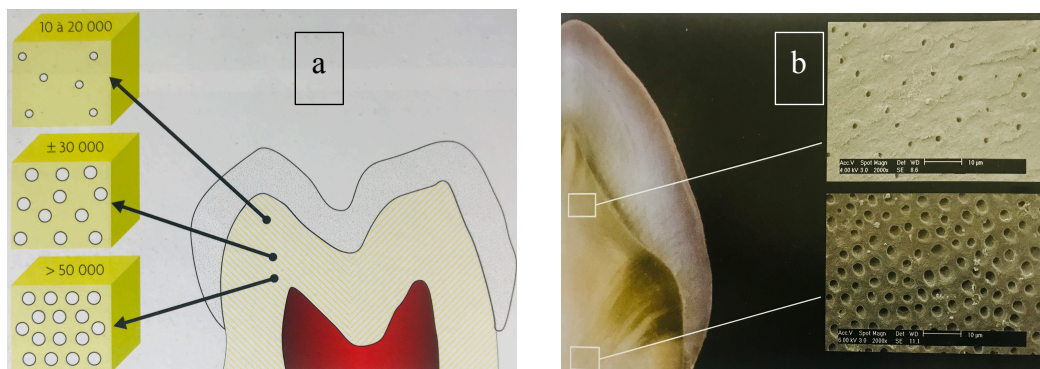
Les éléments non collagéniques figés dans la matrice minérale, se répartissent quant à eux en deux groupes : les protéines phosphorylées ou SIBLINGs (Small Integrin-Binding Ligand N-Linked Glycoproteins) et les protéines non phosphorylées. Parmi ces protéines non phosphorylées se trouvent des enzymes de clivage, dont les métalloprotéases matricielles (MMPs) [17]. Les fibrilles de collagène de la dentine contiennent des formes inactives de MMPs. Elles sont activées par des protéinases, par la chaleur ou par des agents acides lors des procédures de collage. Lors de la dissolution de la fraction minérale de la dentine (mode M&R ou mode SAM), les MMPs non incluses dans la résine sont relarguées. Elles vont ensuite s'activer et dégrader le collagène non recouvert de résine dans la couche hybride. Ces MMPs sont la cause principale de l'hydrolyse de l'interface adhésif / dentine [18-19-20].

1.3. La perméabilité dentinaire

La dentine, de part sa structure canaliculaire, est un tissu perméable. Cette perméabilité varie selon différents paramètres [15] :

- la densité des canalicules (fig.5). elle est variable et dépend de la zone considérée (densité plus faible au niveau des puits et sillons occlusaux qu'au niveau des cuspides). Elle diminue plus on s'éloigne de la pulpe.
- le diamètre des canalicules (fig.5). Il diminue à distance de la pulpe en raison de l'apposition de dentine péri-canaliculaire. Il passe de 0,5 μm en périphérie à 3 μm proche de la pulpe.
- les agressions extérieures contribuent à la minéralisation excessive des canalicules dentinaires. Cela diminue le diamètre des canalicules et aboutit à une sclérose dentinaire.

Figure 5 : schéma (a) et vue au microscope électronique (b) illustrant la densité et le diamètre moyen des canalicules dentinaires en fonction des zones de la couronne dentaire.



Source : [15]

De part leur diamètre et leur nombre réduit les canalicules odontoblastiques ne représentent que 4% de la surface dentinaire en périphérie alors qu'ils en représentent minimum 25% à proximité pulpaire. Cette notion de perméabilité dentinaire est fondamentale pour comprendre les défis que la dentine pose en terme d'adhésion [15].

1.4. La senescence dentinaire

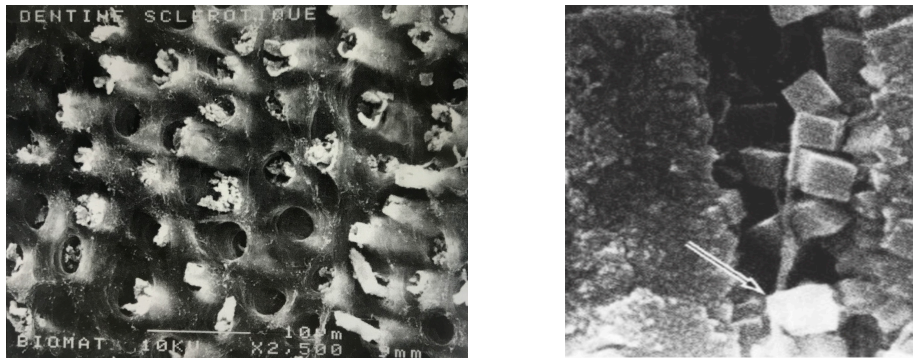
La dentinogénèse, phénomène continu se ralentissant après l'éruption de la dent, aboutit à deux choses [15-22]:

- à une diminution du diamètre des canalicules : l'apposition de dentine péri-canaliculaire réduit de façon centripète la lumière canaliculaire.
- à une diminution de la chambre pulpaire : une réduction non homothétique du volume pulpaire car les cornes pulpaires persistent tardivement.

Cette réduction du volume pulpaire s'accompagne d'un retrait des odontoblastes dont le nombre décroît probablement par apoptose, laissant ainsi des canalicules « vides » (caractéristique d'une dentine sénescence) [15-22].

Les canalicules non habités vont s'oblitérer par précipitation intra-canaliculaire de minéraux cristallins irréguliers composés de phosphates de calcium (fig.6). Cette sclérodentine devient moins perméable que la dentine « saine », même si cette oblitération est très hétérogène (fig.7).

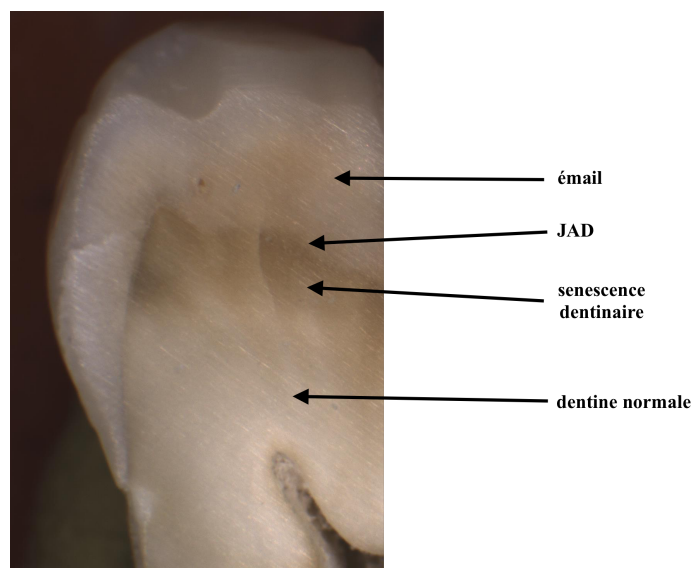
Figure 6 et 7: vue au microscope électronique d'une sclérose dentinaire et de précipités de cristallites dans un canalicule dentinaire.



Source fig.6 : Yoshiyama et al ; Source fig.7 : [15]

D'un point de vue clinique cette sclérodentine sénescence est plus translucide que la dentine saine car son degré de minéralisation est plus élevé. (fig.8).

Figure 8 : coupe anatomique d'une molaire sénescence.



Source : auteur 2019

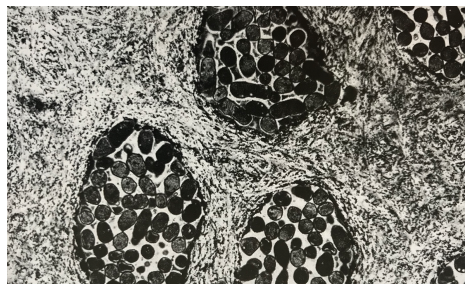
2. Les modifications du tissu dentinaire d'origine pathologique

2.1. La dentine cariée

La maladie carieuse est une maladie infectieuse multifactorielle, transmissible et chronique, caractérisée par la destruction localisée des tissus dentaires par les acides produits par la fermentation bactérienne des glucides alimentaires [22-23]. Une fois l'émail détruit, la biomasse bactérienne a accès directement à la dentine, et commence à la détruire (fig.9).

Entre la zone de pénétration bactérienne en surface et la dentine sclérotique en profondeur, se situe la zone de déminéralisation.

Figure 9 : colonisation bactérienne dans les canalicules dentinaires d'une dent cariée.



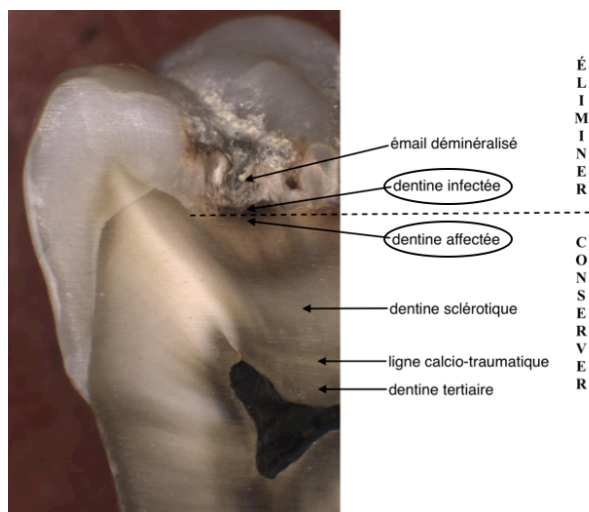
Source : [15]

À un stade cavitaire, elle revêt une teinte marron opaque et se divise en trois zones bien distinctes [15]:

- une zone de désintégration totale, nécrotique, tapissée de colonies bactériennes, contenant parfois des débris alimentaires.
- la dentine infectée, juste en dessous (fig.10).
- la dentine affectée, la plus interne (fig.10).

Sur la face interne de la dentine affectée se trouve la sclérodentine d'origine carieuse (fig10).

Figure 10 : coupe anatomique d'une molaire cariée : dentine cariée.



Source : auteur 2019

2.1.1. La dentine infectée

C'est une zone d'invasion bactérienne. Dès que la biomasse bactérienne est installée au contact de la dentine, la partie superficielle est décomposée par les acides et les enzymes protéolytiques. Cliniquement, cette dentine « ramollie », de consistance « cuir mâché », apparaît de couleur jaune brun, résultat des modifications du réseau collagénique et de l'action de colorants extrinsèques. La dégénérescence des fibrilles collagéniques et la disparition des réticulations conduisent à la dénaturation totale et irréversible du réseau collagénique. Une reminéralisation étant impossible, cette dentine infectée ne sera pas conservable et devra être totalement éliminée avant d'entamer la moindre restauration [15].

2.1.2. La dentine affectée

Cette dentine se trouve juste en dessous de la dentine infectée. C'est aussi une zone de déminéralisation mais non infectée, au niveau de laquelle ne se sont infiltrées que des bactéries pionnières [17]. On observe d'un point de vue histologique une diminution, et non une disparition, des réticulations ainsi qu'un réseau collagénique plus instable que la dentine saine. Cliniquement cette dentine est dure au sondage et, bien que moins colorée que l'infectée, elle revêt tout de même une couleur plus foncée que la dentine saine, faisant contraste avec la dentine sclérotique transparente sous jacente (fig.11). Le volume minéral perdu va être remplacé par de l'eau dont les proportions varient de 14 à 53 % (contre 10% pour la dentine saine). D'un point de vue mécanique, la dentine affectée est plus hydratée, plus molle et donc plus déformable que la dentine saine. Elle est aussi moins rigide (indice de Young inférieur à la dentine saine). La « surhydratation », l'instabilité de son réseau collagénique et l'obturation des canalicules par des dépôts minéraux vont entraver le collage sur celle-ci. Malgré cela, cette zone est reminéralisable. Elle doit donc être conservée lors du curetage de la lésion par le professionnel de santé [24].

Figure 11 : photo clinique de dentine affectée.

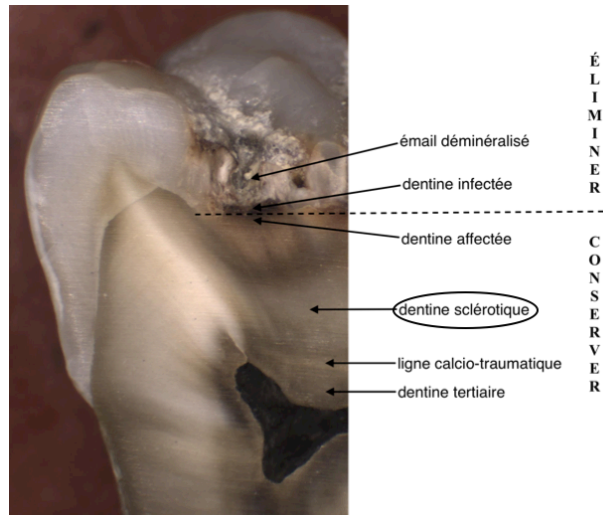


Source : [1]

2.1.3. La dentine sclérotique d'origine bactérienne

En réponse à l'attaque bactérienne, le complexe pulpo-dentinaire va se défendre. La sclérose dentinaire est un de ses moyens de défense. Elle apparaît sous le front de déminéralisation [15].

Figure 10 : coupe anatomique d'une molaire cariée (dentine sclérotique).

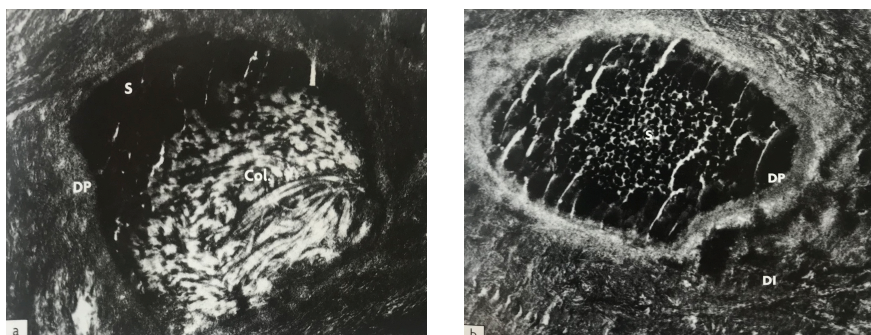


Source : auteur 2019

Les composants minéraux de la dentine sont dissous au cours de la progression de la carie. La plupart de ces minéraux sont perdus au fur et à mesure que la carie progresse. En revanche, si la progression est lente, ils se déposent sous forme de cristaux intra-canalculaires de phosphates de calcium sous différentes formes (fig.12).

Cette recristallisation conduit à une zone hautement minéralisée, sous-jacente à la partie déminéralisée de la lésion. Cette sclérodentine sous la lésion carieuse est parfois visible sur les radiographies cliniques. Ce type d'oblitération des canalicules réduit la perméabilité de la dentine [25].

Figure 12 : sclérose partielle (a) et totale (b) d'un canalicule dentaire d'une dent cariée vue au microscope électronique

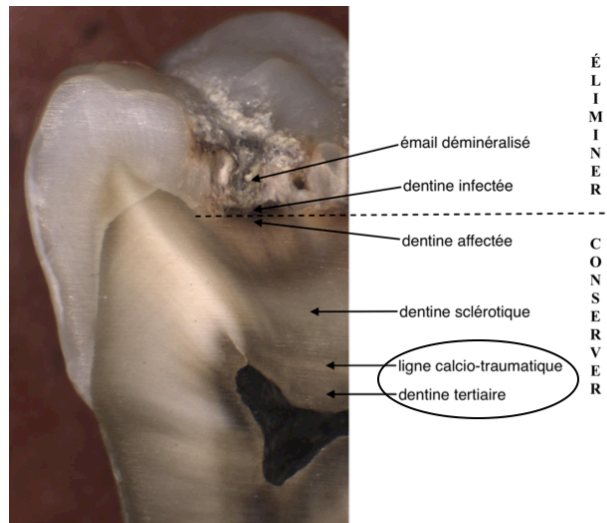


S : sclérose ; Di : dentine intercanaliculaire ; DP : dentine péricanaliculaire ; Col : collagène.

Source : [15]

2.1.4. La dentine tertiaire

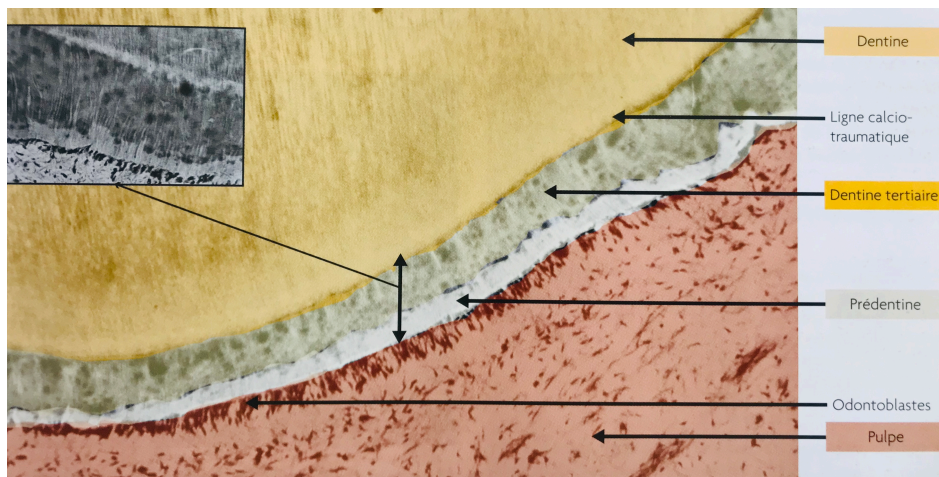
Figure 10 : coupe anatomique d'une molaire cariée : dentine tertiaire.



Source : auteur 2019

Le dépôt de cette dentine tertiaire est le résultat d'une augmentation de la synthèse de collagène de type I et de l'activité de la phosphatase alcaline. C'est une réaction de défense faisant suite à une agression. On observe une ligne calcio-traumatique séparant la dentine tertiaire de la secondaire. Cette ligne est plus ou moins marquée suivant le degré de l'agression subit par la pulpe (fig.13). Elle fait office de barrière isolant la pulpe de l'agression extérieure [15].

Figure 13 : dentine réactionnelle élaborée par les odontoblastes.



Source : [15]

Cette dentinogénèse cicatricielle peut aboutir à la formation de deux types de dentines tertiaires en fonction de l'intensité du stimulus [29] :

- la dentine réactionnelle:
 - en réponse à un stimulus modéré (carie superficielle ou à progression lente).
 - elle est sécrétée à un rythme lent par les odontoblastes post-mitotiques de première génération déjà présents et ayant survécu au stimulus.
 - elle est canaliculaire mais pas en continuité avec les canaux de la dentine secondaire (ligne calcio-traumatique).
- la dentine réparatrice :
 - en réponse à un stimulus sévère (carie profonde voir effraction pulpaire).
 - elle est sécrétée à un rythme soutenu par des néo-odontoblastes (cyto-différenciation des cellules *odontoblast-like*) venus remplacer les odontoblastes primaires détruits par la violence du stimulus.
 - elle est non canaliculaire avec de possibles inclusions cellulaires.

2.2. La dentine abrasée

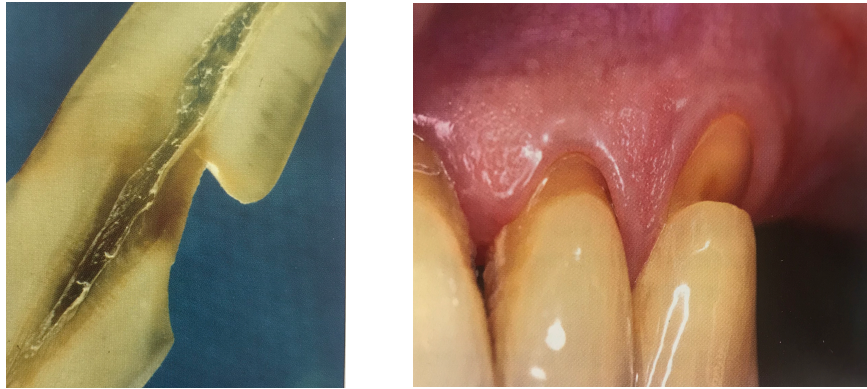
L'autre phénomène pathologique entraînant la formation d'une dentine sclérotique est mécanique, traumatique et d'origine non bactérienne : l'abrasion. C'est un processus souvent définit comme une usure à trois corps. L'abrasion est principalement due à une mauvaise utilisation de la brosse à dent avec une action trop forte et répétée. L'utilisation traumatique du fil de soie ou du cure-dent peuvent aussi en être la cause [26].

Il existe un cas particulier d'abrasion lié à la mastication : la démastication. Son étiologie est la consommation excessive d'aliments abrasifs.

L'abrasion touche une population majoritairement âgée. Cependant, le changement des habitudes alimentaires, et les styles de vie de plus en plus stressant entraînent une augmentation de ce phénomène chez les jeunes générations [26].

Cliniquement, cette abrasion se manifeste la plupart du temps par des lésions cervicales d'usure (LCU). A un stade avancé, ces LCU prennent une forme caractéristique d'encoche ou de « coup d'ongle » (fig.14 et 15). Elles peuvent être accompagnée par des sensibilités pulpaire mais le plus souvent, ce n'est pas le cas [26].

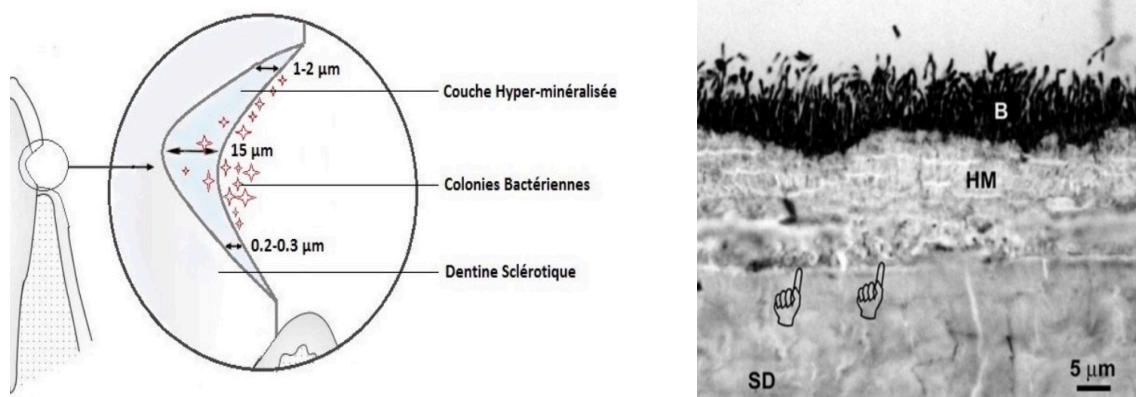
Figure 14 et 15 : coupe longitudinale (14) et photographie intra-buccale (15) d'une lésion cervicale abrasive.



Source : [26]

A la surface des LCU, les changements de pH sont dus à l'activité bactérienne, l'alimentation, la salive, à des maladies parodontales ou à des reflux gastro-oesophagiens (RGO). Ces changements de pH provoquent des cycles de déminéralisation / reminéralisation qui interviennent dans la formation d'une couche hyperminéralisée (fig.16 et 17). En effet, des cristallites vont précipiter sur le collagène dénaturé par la réaction des enzymes et des acides bactériens. Ces cristallites proviendraient de la concentration de minéraux dans la salive et sont composés principalement de phosphates de calcium [27-28].

Figure 16 et 17: schéma (14) et vue au microscope électronique (15) d'une lésion cervicale d'usure.



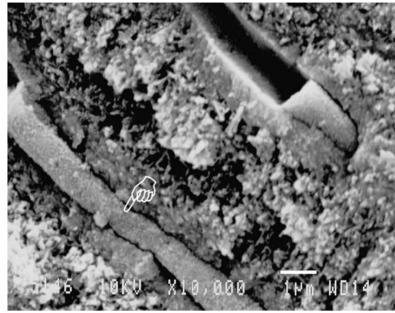
B : bactérie ; HM : couche hyperminéralisée ; SD : dentine sclérotique.

Source fig.16 : [28] ; Source fig.17 : [27]

En interne de la couche hyperminéralisée, des changements micro-structuraux se produisent. Cela conduit à une sclérose dentinaire dont les résultats sont :

- la réduction de la lumière canalaire par apposition de dentine péri-canaliculaire [21].
- l'oblitération complète ou partielle des canalicules par des dépôts intra-tubulaires de minéraux cristallins irréguliers. Ces dépôts correspondent à des précipitations de cristallites composées principalement de calcium, de phosphate et de magnésium [21]. Ces cristallites diminuent en taille et s'agglomèrent en colonne pour colmater les orifices tubulaires (fig.16) [27].

Figure 18 : oblitérations sclérotiques obturant les canalicules dentinaires.



Source : [27]

Contrairement à ce qu'il se passe dans la dentine sclérotique (cristallites fins et disposés de façon aléatoire), les minéraux de la couche hyperminéralisée ont une taille importante et vont se déposer en réseau ordonné, s'alignant longitudinalement [21].

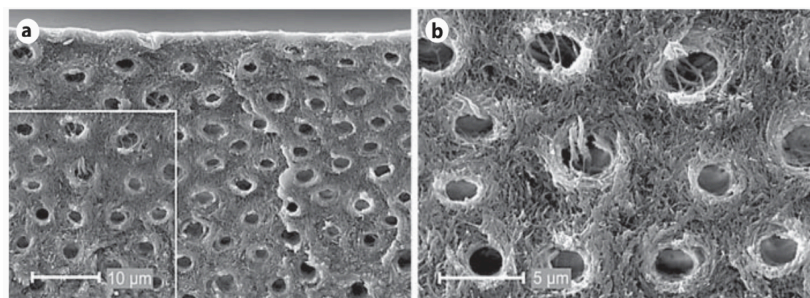
La présence de cette surface hyperminéralisée et de ces dépôts minéraux au sein des canalicules diminuent la perméabilité dentinaire, ce qui affectera par la suite le collage [21-28].

2.3. La dentine érodée

L'érosion est un phénomène chimique intrinsèque (RGO, anorexie,...) ou extrinsèque (boissons acides type sodas, alimentation acide, brossage au jus de citron,...) entraînant la dissolution des tissus durs de la dent. Elle n'est jamais d'origine bactérienne [26].

Lorsque la dentine est exposée à des solutions acides (à partir de $\text{pH} \approx 4$) une dissolution rapide de la portion minérale se produit, laissant une structure déminéralisée spongieuse (fig.19). Si l'exposition se prolonge, toujours *in vitro*, le taux de déminéralisation diminue. Selon Hara et al et Ganss et al, cela serait dû en partie aux propriétés tampon du collagène [32-33].

Figure 19 : vue au microscope électronique d'une dentine érodée avec de l'acide citrique ($\text{pH}=2,3$) pendant 120 minutes.



Source : [30]

La surface de la partie organique restante est très résistante aux impacts mécaniques comme le brossage (résistance à la traction de 7 à 19 MPa) [32-33]. Toutefois, les fibrilles de collagène se retrouvent mise à nues et sont plus sensibles à une dégradation hydrolytique [35-36-37].

Il est primordial de restaurer ces lésions par une infiltration de résine pour interrompre ce cycle de déminéralisation / dégradation des fibrilles de collagène et pour maintenir la rigidité de la matrice organique. En effet, la rigidité de la dentine décalcifiée augmente de manière réversible avec la déshydratation (alcool ou séchage à l'air) [32-33]. L'histologie complexe des lésions érosives au niveau dentinaire nécessite des recherches supplémentaires, notamment *in vivo*.

Cliniquement, l'érosion est souvent associée à une symptomatologie douloureuse dont la cause est une perméabilité dentinaire augmentée, essentiellement due à un mordançage continu. Cette sensibilité est déclenchée par une variation brutale de la pression osmotique intra-canalair.

Une couleur mate, jaunâtre est parfois présente. Cette couleur est due à la mise à nue de la dentine lors des stades avancés [26].

Dans la plupart des cas, l'attaque acide non bactérienne des tissus dentaires est aggravée par un phénomène abrasif évacuant les particules dissoutes. On appelle cela la tribo-érosion. [26].

2.4. La dentine corrodée sous amalgame

L'amalgame est un alliage métallique formé par la réaction entre le mercure et une poudre contenant principalement de l'argent (Ag), de l'étain (Sn), du cuivre (Cu) et du zinc (Zn) [38-39].

Dans la cavité buccale, la corrosion de l'amalgame est un processus naturel. Des réactions anodiques se produisent, entraînant une perte d'électrons et provoquant des modifications structurelles à l'interface amalgame / dent [38-39]. La corrosion est considérée comme la principale cause de fracture marginale des restaurations à l'amalgame. Cependant elle est aussi bénéfique. En effet, grâce aux dépôts de produits de corrosion, elle permet de réduire les hiatus entre la dent et la restauration au fil du temps [40]. De plus, la présence d'argent peut également inhiber l'infection bactérienne et modifier l'activité carieuse [41-42].

De nombreuses études ont été publiées sur la composition et la présence d'ions métalliques dans la dentine corrodée. Cependant aucun consensus n'a été clairement établi (tab.12).

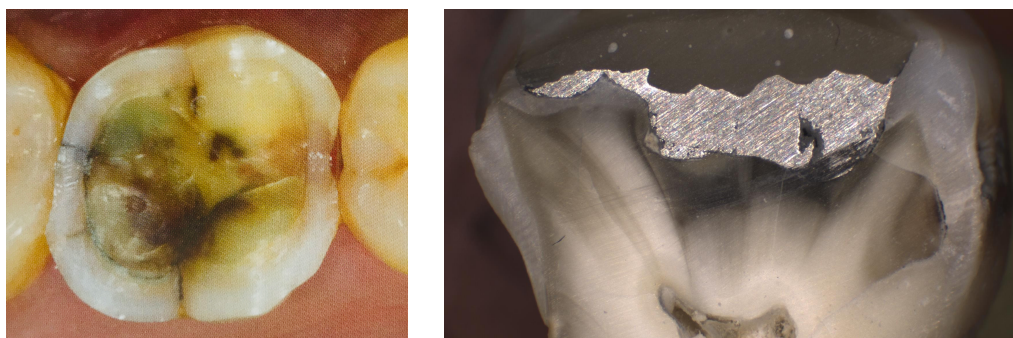
Tableau 12 : publications sur la présence de résidus d’amalgame dans la dentine corrodée.

Auteurs	Date de publication	Métaux dans la dentine		Méthode analytique
		Substantiel	Traces	
Massler et Barber	1953	Sn, Zn, Cu, Ag, Hg		Analyse spectrographique
Söremark et al	1968	Sn, Zn, Hg		Activation thermique par neutrons + analyse spectrométrique par rayons γ
Wei et Ingram	1969	Sn		Analyse à la microsonde électronique (analyse caractéristique aux rayons X)
Mateer et Reitz	1972	Sn	Ag, Hg	Microsonde Rayon X
Kurosaki et Fusayama	1973	Sn, Zn		Microsonde électronique
Van der Linden et Van Aken	1973	Sn, Zn		Microsonde électronique
Halse	1975	Sn, Zn		Microsonde électronique
Hals et Halse	1975	Sn, Zn		Microsonde électronique, images caractéristiques aux rayons X
Harnirattisai et al.	2007	Sn	Zn, Cu	Spectroscopie d'énergie dispersive

Source : [40]

Cliniquement, l’infiltration de ces produits de corrosion donne à la dentine corrodée une couleur grise / noire, voir légèrement verte (fig.20 et 21). Il est difficile de la différencier de la dentine affectée. Cette dentine n’est d’ailleurs pas forcément molle ou radio-opaque contrairement à l’amalgame [17].

Figure 20 et 21 : vue clinique (20) et coupe anatomique (21) d’une molaire teintée part une restauration à l’amalgame.



Source fig.20 : [17] ; source fig.21 : auteur et professeur Nathalie Brulat 2019

Histologiquement, l’architecture et la structure canaliculaire de la dentine semblent d’apparence normale. Massler et Barber ont néanmoins observé sous une résolution élevée, en 1953, des projections filamenteuses en forme de touffes noires dans les canalicules dentinaires. Ces projections filamenteuses ne peuvent pas être éliminées par un traitement acide [43].

Il a aussi été suggéré que les métaux composant un amalgame dentaire, et plus particulièrement l’étain (Sn), étaient capables de remplacer le calcium perdu dans la dentine déminéralisée sous l’amalgame [40].

Généralement, cette dentine corrodée coexiste avec une dentine affectée et/ou sclérotique modifiant l’interface et la qualité de l’adhésion.

LE COLLAGE SUR LES DENTINES MODIFIÉES

1. Collage sur la dentine affectée

On observe une diminution des valeurs d'adhérence sur la dentine affectée comparée à celles sur la dentine saine, et ce pour deux raisons :

- la boue dentinaire résultant de l'excavation du tissu carieux est plus épaisse que celle résultant du curetage d'une dentine saine car plus riche en éléments organiques. Cette épaisseur de débris organiques protège ainsi les débris minéraux sous-jacents de la dissolution acide lors du mordantage. Cette couche superficielle de collagène fait office de barrière, empêchant ainsi l'infiltration homogène de résine dans la dentine déminéralisée sous-jacente [30].
- La déminéralisation entraîne d'une part, un remplacement de la partie minérale par de l'eau (baisse de la résistance mécanique) [30], et d'autre part, un mordantage hétérogène. En effet, la dentine affectée sera plus susceptible au mordantage que la dentine saine alors que les dépôts calciques intra-canaliculaires seront eux résistants, empêchant ainsi la formation de brides de résine [44].

De plus, le taux de conversion des monomères adhésifs après mordantage est plus faible au sein d'une dentine affectée qu'au sein d'une dentine saine [46].

Tous ces facteurs ont pour conséquence une mauvaise infiltration résineuse altérant ainsi la qualité de la couche hybride. Ces zones déminéralisées non infiltrées seront plus vulnérables à la dégradation par les enzymes dentinaires endogènes comme les MMPs [45-44].

2. Collage sur la dentine sclérotique

Quelle que soit l'origine de cette sclérodentine, l'adhésion à celle-ci reste un challenge. Sa forte minéralisation intra-canaliculaire interfère à la fois avec la pénétration d'acide et avec l'infiltration ultérieure de résine. En effet, les valeurs d'adhérence sont inférieures de 20 à 40% à la dentine saine [47]. Cette hyperminéralisation empêche la formation de brides de résine, se répercutant ainsi sur l'épaisseur de la couche hybride [47] :

- plus mince dans la dentine sclérotique que dans la dentine normale.
- d'épaisseur variable, voir même absente à certains endroits, au sein d'une même dent.

Il ne semble pas exister de corrélation entre l'épaisseur de la couche hybride et la force de liaison. La raison de cette force de liaison plus faible dans la dentine sclérotique que dans la dentine saine serait l'absence de formation de brides de résine [48-49]. En revanche, la longueur des brides de résine rentre en compte lorsque l'on étudie la pérennité du joint de collage [48-49].

L'augmentation du temps de mordantage dans l'optique de dissoudre ces calcifications intra-canaliculaires est contre productive. En effet, on observe une persistance des dépôts calciques intra-canaliculaires et une déminéralisation en excès des zones inter et péri-canaliculaires. Cela aura pour conséquences une aggravation de l'inégalité d'épaisseur de la couche hybride ainsi qu'une plus grande vulnérabilité aux MMPs [50].

3. Collage sur la dentine érodée

Plusieurs études cliniques randomisées ont montré un taux d'échec plus élevé des restaurations en résine composite chez les patients atteints d'érosion dentaire par rapport à ceux ne souffrant pas d'érosion dentaire. Une des explications possibles serait l'adhérence plus faible à la dentine érodée par rapport à la dentine saine [51].

Le milieu buccal acide, à l'origine de l'érosion, a pour conséquence une augmentation de l'épaisseur de la couche déminéralisée dont la finalité est une mauvaise infiltration de la résine entre les fibrilles de collagène [51]. La couche plus épaisse de collagène exposé par l'érosion sera difficilement infiltrée par l'adhésif. Ceci est dû à l'effondrement des fibrilles de collagène déminéralisées et à leur teneur en eau plus élevée, empêchant ainsi la complète infiltration et la bonne polymérisation de l'adhésif [52]. La pénétration médiocre de la résine laisse des fibrilles de collagène « nues ». Elles seront sujettes à la dégradation hydrolytique et donc gravement affectées par le vieillissement [52].

4. Collage sur la dentine corrodée

L'exposition de l'amalgame à l'environnement oral entraîne des altérations de sa structure. L'une des conséquences majeures est l'infiltration de produits de corrosion dans la dentine de manière irréversible, impactant ainsi la future adhésion à celle-ci. En effet, Harnirattisai et al ont montré en 2007 que les forces de liaison à la dentine corrodée sont inférieures à celles de la dentine normale [53].

Les raisons de cette adhérence plus faible sont encore mal connues, mais il existe des hypothèses dont les plus vraisemblables sont [11-54]:

- une altération de la perméabilité dentinaire par la précipitation de produits de corrosion dans les canalicules ou par la précipitations de protéines plasmatiques dans le liquide dentinaire engendrée par ces mêmes produits de corrosion.
- la liaison d'éléments métalliques à la surface des fibrilles de collagène, affectant et modifiant ainsi la polymérisation du monomère de résine en l'initiant ou la retardant.
- les métaux lourds pourraient réduire la sensibilité de la boue dentinaire à l'attaque acide et ainsi réduire sa solubilité lors du mordantage.

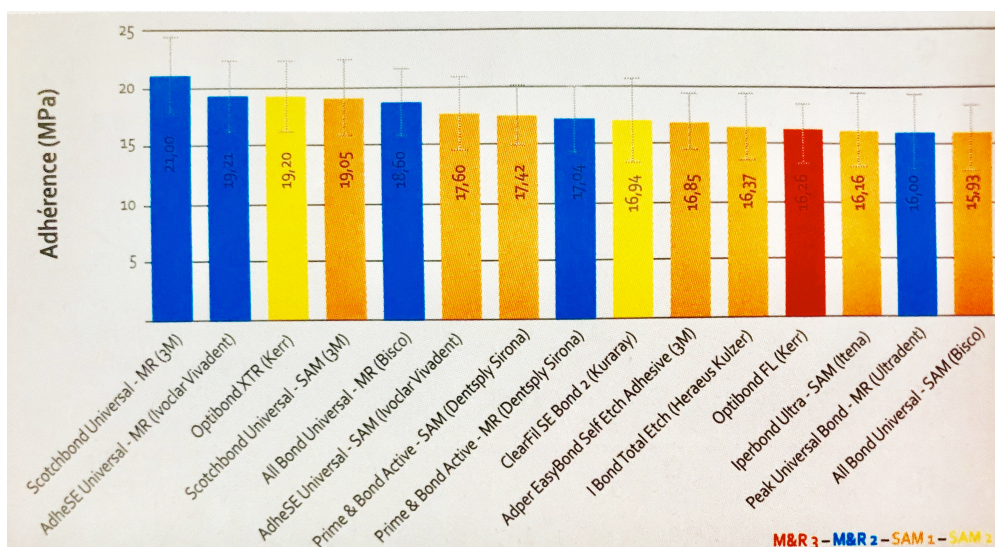
Malgré cela, cette modification ne semble pas affecter la couche hybride qui ne semble pas être différente de celle retrouvée dans la dentine normale [11-54].

LE COLLAGE DES ADHÉSIFS UNIVERSELS SUR LA DENTINE SAINÉ

Les études sur la dentine saine sont majoritairement des études *in vitro* car. Sauf dans des cas de lésions traumatiques et lors de certains cas de restaurations indirectes, la restauration d'une dent sous entend une pathologie. Néanmoins, ces études *in vitro* donnent un aperçu des performances adhésives.

Les Batailles de l'Adhésion, créées par le professeur Degrange, montrent que les adhésifs universels sont aujourd'hui très présents en tête de classement, rétrogradant l'OptiBond FL, lui qui a dominé ce classement durant plusieurs décennies (fig.22) [55].

Figure 22: classement en fonction des valeurs d'adhérence (MPa).



Source: Batailles de l'Adhésion (2019)

Concernant la stratégie adhésive utilisée, une revue systématique récente, regroupant 10 études *in vitro* sur la dentine, retient l'hypothèse selon laquelle les valeurs d'adhérence des adhésifs universels sont indépendantes du protocole adhésif choisi [56]. Chen et al (avant et après vieillissement par thermocyclage) et Marchesi et al (avant et après un an de conservation dans de la salive artificielle à 37°C) arrivent eux aussi à la même conclusion [57-58].

En revanche, les dernières Batailles de l'Adhésion (juin 2019) montrent des valeurs d'adhérence immédiate plus grandes en mode M&Rt qu'en mode SAM (fig.22) [55]. Jacker-Guh et al montrent aussi une supériorité du mode M&Rt pour les 4 adhésifs universels testés avant et après vieillissement par thermocyclage [59].

Une attaque supplémentaire à l'acide phosphorique sur la dentine, avant l'application d'un adhésif universel, entraîne une pénétration plus profonde et la formation d'une couche hybride plus épaisse, mais cela n'augmente pas de manière significative la force de liaison [57-58-60-61].

Contrairement aux indications des fabricants, lorsque le mode SAM est choisi, l'IAAD (Académie internationale de la dentisterie adhésive) recommande de procéder au mordantage sélectif des surfaces amélaire avec de l'acide phosphorique pour les adhésifs universels, transformant ainsi le protocole SAM en M&Rs [62].

Ces adhésifs ont un recul clinique limité. De plus, le collage sur dentine saine n'étant pas le reflet de la réalité clinique, il est nécessaire d'étudier le comportement de ces adhésifs universels sur les autres types de dentines. Cette étude portera donc sur les performances des adhésifs universels sur les dentines modifiées : sclérotique, affectée, érodée et corrodée. La dentine tertiaire étant concernée uniquement lors du collage juxta-pulpaire, elle ne sera pas incluse dans la recherche.

1. Matériel et méthodes

1.1. Stratégie de recherche

Pour cette revue de la littérature, la recherche a été faite sur les bases de données PubMed (PM), Web of Science Core Collection (WoS), Current Contents Connect (CCC), KCI-Korea Journal Database (KJ), MEDLINE (Med), Russian Science Citation Index (RS), Scielo Citation Index (Sci), Cochrane Library (CL) et Google Scholar (GS). Afin d'éviter les équations de recherche trop longues, la recherche a été effectuée par type de dentine (annexe 3). Google Scholar n'ayant pas de système d'équation de recherche, plusieurs recherches ont été faites afin de se rapprocher des résultats d'une équation de recherche.

1.2. Critères d'inclusion / exclusion

Les critères d'inclusion:

- traiter de dents humaines.
- comparer au moins un des adhésifs universels du tableau en annexe 2 en mode M&R et / ou en mode SAM.
- traiter de dentine érodée, sclérotique, affectée ou corrodée, et non modifiée.
- étude *in vivo* ou *in vitro* traitant au minimum de la résistance à la traction ou au cisaillement.

Les critères d'exclusion :

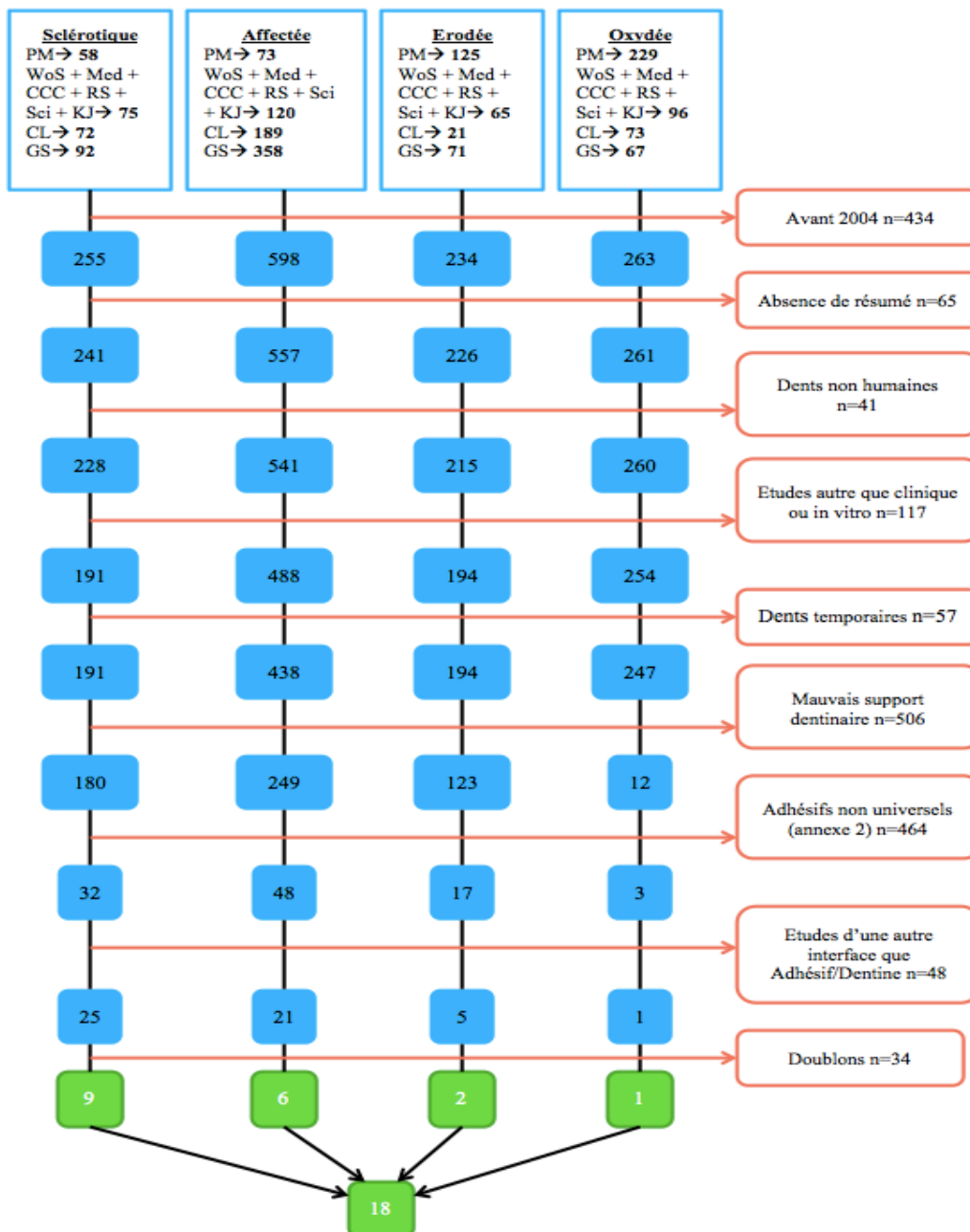
- article dans une autre langue que français ou anglais.
- article publié entre le 1/1/2004 et le 31/7/2019.
- article sans résumé.
- étude sur des dents non humaines.
- étude sur des dents lactéales.
- traiter d'une autre interface que celle dentine / adhésif.

2. Résultats

2.1. Résultats de la recherche

Cette recherche a donné 1784 articles au total. Après lecture des titres, des résumés et des articles le cas échéant, application des critères d'exclusion, et élimination des doublons, 18 articles ont été inclus dans cette revue de la littérature (fig.23). Le détail de ces articles se trouve en annexe 4.

Figure 23 : sélection des études en fonction des dentines.



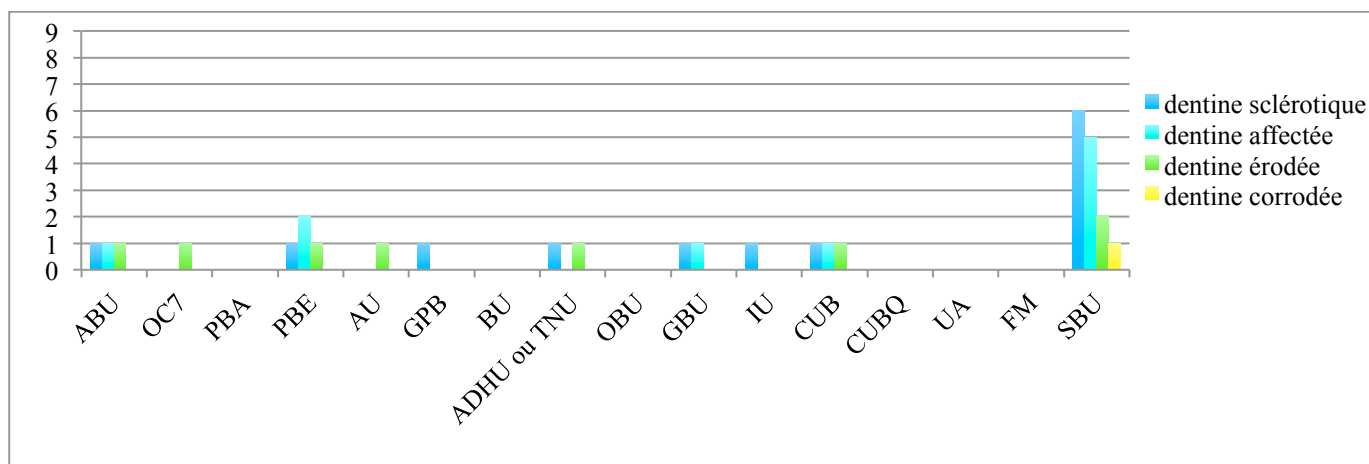
Source : auteur 2019

2.2. Caractéristiques générales des études incluses dans la revue

2.2.1. Adhésifs universels étudiés

Sur les 18 articles, 14 s'intéressent au SBU (fig.24). A part SBU, seuls 3 adhésifs sont utilisés sur les trois types de dentines : ABU, PBE et CUB. Concernant les autres adhésifs, 5 sont représentés dans un ou deux articles alors que les 6 autres ne sont pas représentés.

Figure 24 : fréquence des adhésifs universels utilisés dans les articles en fonction du substrat dentinaire.



Source : auteur 2019

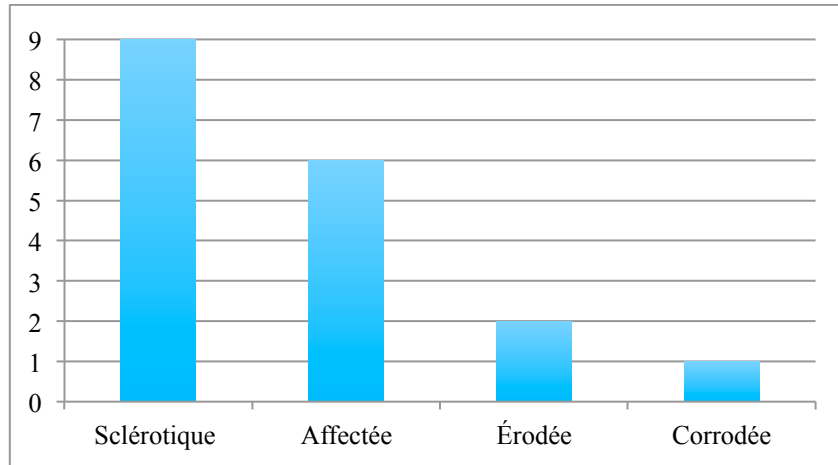
Cette omniprésence de SBU peut être expliquée par ses bonnes valeurs d'adhérence en M&R et en SAM, comme en témoigne les Batailles de l'Adhésion de juin 2019 (fig.22). Il a été l'un des premiers sur le marché et est considéré comme le Gold Standard des adhésifs universels actuels.

Il sera difficile d'analyser les résultats des adhésifs universels et d'apporter une conclusion fiable et reproductible concernant la relation entre leur composition et leurs performances. Les conclusions concerneront majoritairement l'adhésif universel SBU.

2.2.2. Dentines étudiées

Les articles sur la dentine affectée sont bien représentés, même s'il est étonnant qu'il y en ait moins que ceux sur la dentine sclérotique car la carie reste la première cause en restauration directe. Seuls deux articles traitent de la dentine érodée et, plus étonnant, seulement un article traite de l'adhésion des adhésif universel à une dentine corrodée par l'amalgame (fig.25).

Figure 25 : fréquences des différents substrats dentinaires étudiés dans les articles.



Source : auteur 2019

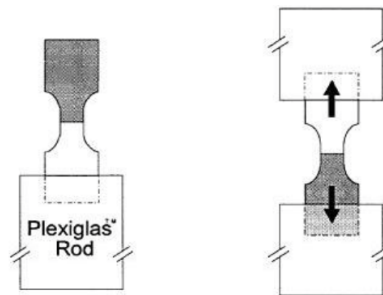
2.2.3. Nature des critères d'évaluation clinique et des tests utilisés

2.2.4. Les tests *in vitro*

2.2.4.1. Les tests en traction ou « tensile bond strength » (TBS)

Lors de ce test, l'échantillon est placé au milieu puis étiré aux deux extrémités par deux mors qui doivent être plus larges que la partie centrale afin que la rupture se fasse bien au centre de l'échantillon (fig.26).

Figure 26 : principe du test en traction.



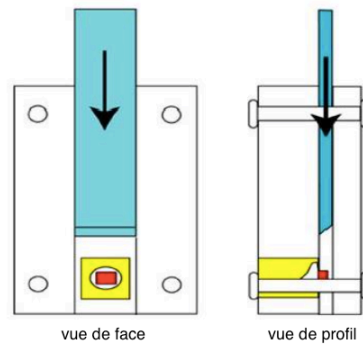
Source : Armstrong, Boyer et Keller, « Microtensile bond strength testing and failure analysis of two dentin adhesives », 1998.

La direction de la force de traction est parallèle à l'axe de l'échantillon et donc perpendiculaire au joint collé (composante chimique de l'adhésion particulièrement sollicitée). Ce test présente moins de biais que le test de cisaillement, même s'il présente quelques limites (difficultés d'alignement et tendance à une distribution inhomogène des stress à l'interface adhésive) [1-5]. Il permet de déterminer plusieurs propriétés dont le module d'élasticité [1-5].

2.2.4.2. Les tests en cisaillement ou « shear bond strength » (SBS)

Lors de ce test, une force tangentielle est appliquée (fig.27), par opposition au test de résistance à la traction (la composante mécanique de l'adhésion est particulièrement sollicitée) [1-5]. Ce test est idéal pour tester un collage ou une liaison céramo-métallique, mais il est difficile à réaliser car, le cisaillement pur n'existant pas, beaucoup de forces parasites difficilement contrôlables peuvent venir fausser les résultats [1-5].

Figure 27 : principe du test en cisaillement.



Source : Jacquot et Société francophone des biomatériaux dentaires, « Propriétés mécaniques des biomatériaux utilisés en odontologie », 2009.

2.2.4.3. Test macroscopique ou microscopique

La différence réside dans l'aire de collage. Celle d'un test macroscopique varie de 7 à 28 mm² alors que celle d'un test microscopique est inférieure à 2 mm² [63]. Concernant ces derniers, les échantillons sont donc dépendants les uns des autres, car venant d'une même dent [63].

La popularité des tests microscopiques vient de leur surface réduite permettant [1]:

- une distribution plus homogène, entraînant plus de fractures adhésives que de cohésives.
- de calculer les moyennes pour une seule dent.
- une plus grande facilité d'observation au microscope électronique.
- d'avoir des valeurs plus grandes. En effet, plus la surface de liaison est petite, plus les valeurs de résistance de la liaison sont élevées.

2.2.5. Critères d'évaluation clinique

Les chercheurs utilisent généralement les critères USPHS pour évaluer les restaurations lors d'essais cliniques mais de nouveaux critères d'évaluation des restaurations dentaires ont été publiés en 2007 (mis à jour en 2010) : les critères FDI. Les deux techniques sont faciles à appliquer mais les critères FDI sont plus sensibles aux petites variations dans les résultats que les critères USPHS [64-65].

Les critères USPHS se décomposent en : Alpha (cliniquement très bon), Bravo (cliniquement suffisant / satisfaisant), Charlie (cliniquement pauvre). Ces critères sont souvent modifiés pour s'adapter à l'étude (tab.13 et 14).

Tableau 13 : critères de notation USPHS pour l'évaluation clinique des restaurations en composite, modifiés par Cvar et Ryge.

Adaptation marginale	A	L'évaluateur n'accroche pas ou accroche légèrement lors de l'exploration, sans hiatus visible.
	B	L'évaluateur accroche lors de l'exploration, un hiatus est visible mais pas d'exposition de la dentine.
	C	L'évaluateur pénètre dans le hiatus lors de l'exploration et la jonction émail / dentine est visible.
Coloration marginale	A	Aucune décoloration marginale visible.
	B	Décoloration marginale visible mais n'ayant pas pénétré en direction de la pulpe.
	C	La décoloration a pénétré le hiatus en direction pulpaire.
Carie secondaire	A	Pas de carie.
	B	Carie présente en rapport avec la restauration.
Sensibilité au froid	1→10	0 n'indique aucune douleur et 10 indique la plus grande douleur imaginable.

Source : J.F. Cvar, G. Ryge, Reprint of criteria for the clinical evaluation of dental restorative materials. 1971, Clin. Oral Investig. 9 (2005) 215–232.

Tableau 14 : critères de notation USPHS pour l'évaluation clinique des restaurations en composite, modifiés selon Bittencourt et al.

	Coloration marginale	Rétention	Fracture
Alpha	Aucune décoloration le long de la marge.	En place.	Absente.
Bravo	Coloration légère et superficielle (réversible et généralement localisée).	Partiellement retenue.	Petit hiatus mais cliniquement acceptable.
Charlie	Coloration profonde ne pouvant pas être éliminée par polissage	Manquante.	Fracture due à la restauration.

Source : [86]

Les critères FDI, quant à eux, se décomposent en 5 options : cliniquement très bon, cliniquement bon, cliniquement suffisant / satisfaisant, cliniquement insatisfaisant et cliniquement mauvais (tab.15).

Tableau 15 : critères FDI utilisés pour l'évaluation clinique.

	<u>Propriétés esthétiques</u>	<u>Propriétés fonctionnelles</u>		<u>Propriétés biologiques</u>	
	<u>Coloration marginale</u>	<u>Fracture et rétention</u>	<u>Adaptation marginale</u>	<u>Sensibilité post-opératoire</u>	<u>Carie secondaire</u>
1. Cliniquement très bon.	1.1 Absence de coloration marginale.	2.1 Restauration retenue, absence de fracture / fissure.	3.1 Contours harmonieux sans lacune ni décoloration.	4.1 Aucune.	5.1 Pas de carie primaire ou secondaire.
2. Cliniquement bon (très bien corrigé après correction).	2.1 Coloration marginale mineure, facilement corrigée par polissage.	2.2 Petite fissure capillaire.	3.2.1 Écart marginal de 50 µm. 3.2.2 Petite fracture marginale corrigée par polissage.	4.2 Légères et succinctes.	5.2 Très petite déminéralisation localisée. Pas de traitement nécessaire.
3. Cliniquement suffisant / satisfaisant (mineur carence sans effet indésirable mais non réglable sans dommage pour la dent).	3.1 Coloration marginale modérée, acceptable esthétiquement.	2.3 Deux fissures ou plus. Plus larges et / ou en copeaux (n'affectant pas l'intégrité marginale).	3.3.1 Fissure >150 µm non corrigée par un simple polissage. 3.3.2 Petit hiatus concernant l'émail voir la dentine.	4.3.1 Prématurées / légèrement plus intenses. 4.3.2 Retardées / faibles sensibilités ; pas de plainte subjective ; pas de traitement nécessaire.	5.3 Zones déminéralisées plus larges ; uniquement prévention car dentine non exposée.
4. Cliniquement non satisfaisant (réparation pour raisons prophylactique).	4.1 Coloration marginale prononcée, intervention majeure nécessaire pour amélioration.	2.4 «Chipping» affectant la qualité de la marge entraînant ou non une perte de moins de la moitié de la restauration.	3.4.1 Hiatus >250 µm où la dentine / base de la restauration est exposée. 3.4.2 Fracture en écaille endommageant la marge. 3.4.3 Fracture notable d'une paroi d'émail ou de dentine.	4.4.1 Prématurées / très intenses. 4.4.2 Très retardées / faibles mais avec plaintes subjectives. 4.4.3 Sensibilité négative ; intervention nécessaire mais sans remplacement.	5.4 Carie cavitaire localisée et accessible pouvant être réparée.
5. Cliniquement pauvre (remplacement nécessaire).	5.1 Coloration marginale profonde non accessible.	2.5 Perte de restauration partielle (plus de la moitié) ou complète.	3.5 Manque <i>in situ</i> .	4.5 Très intenses ; pulpite aigue ou dent non vitale. Traitement endodontique et remplacement de la restauration nécessaire.	5.5 Carie secondaire profonde avec exposition de la dentine non accessible pour une simple réparation.

Source: [65]

2.2.6. Description générale des études

Les résultats des 18 articles retenus sont résumés de façon succincte et non exhaustive dans le tableau 16. Pour les données communiquées dans la colonne « résultats », seuls les résultats après vieillissement clinique ou *in vitro* le cas échéant, ont été pris en compte car considérées comme les valeurs les plus représentatives. Concernant les articles 5 et 6, seuls les résultats sans Chlorhexidine (pour l'article 5) et ceux sur dents permanentes (pour l'article 6) ont été analysés.

Tableau 16: synthèse des études analysées concernant les performances des adhésifs universels sur les différents types de dentine.

Numéro d'article	Auteurs de l'article	Date et pays	<i>In vivo</i> / <i>in vitro</i>	Echantillon (dents) / dentine	Adhésifs universels	Composite	Test appliqué	Vieillessement ou thermocyclage	Type de fracture (<i>in vitro</i>)	Résultats sur la dentine non saine (voir légende)
1	N. Shadman et al.	Iran 2015	<i>In vitro</i>	30 / affectée	SBU	Filetek Z-250 XT (3MESPE)	- Résistance au cisaillement (SBS) - Mode de fracture	Oui thermocyclage 500 cycles	Mixte / adhésive	M&R2 = (+) SAMI =
2	C. Müller et al.	Brésil 2017	<i>In vitro</i>	60 / affectée	SBU	Filetek Z-350 XT (3MESPE)	- Résistance au cisaillement (SBS) - Mode de fracture	Non	Adhésive	M&R2 = (=) SAMI = (=)
3	G.F. Nicoloso et al.	Brésil 2017	<i>In vitro</i>	48 / affectée	SBU	Composite hybride Z100, 3M ESPE	- Micro-résistance à la traction (μ TBS) - Mode de fracture	Non	Mixte / adhésive	M&R2 = (=) SAMI = (=)
4	J.F.M. De Lima et al.	Brésil 2018	<i>In vitro</i>	12 / affectée	PBE	TPH flow Spectra High Viscosity (Dentsply)	- Micro-résistance à la traction (μ TBS) - Mode de fracture	Non	Adhésive	M&R2 > SAMI
5	N.N. Çakır et al.	Turquie 2018	<i>In vivo</i>	200 / affectée	GBU CUB PBE ABU SBU	Filetek Z550 (3M ESPE)	Critères d'évaluation clinique de la FDI et l'USPHS)	Oui 24 mois <i>in vivo</i>		M&R2 = (=) SAMI = (=)
6	G.F. Nicoloso et al.	Brésil 2016	<i>In vitro</i>	24 (dents définitives) / affectée	SBU	Filetek Z100 (3M ESPE)	- Micro-résistance à la traction (μ TBS) - Mode de fracture	Non	Adhésive / mixte	M&R2 = (=) SAMI = (=)
7	N.C. Lawson et al.	USA 2015	<i>In vivo</i>	126 / sclérotique	SBU	Filetek supreme ultra universal restorative (3MESPE)	Critères d'évaluation clinique de l'USPHS)	Oui 24 mois <i>in vivo</i>		M&R2 = (+) SAMI =
8	R.F. Zanatta et al.	Brésil 2018	<i>In vivo</i>	152 / sclérotique	SBU	Filetek supreme ultra universal restorative (3MESPE)	Critères d'évaluation clinique de la FDI).	Oui 24 mois <i>in vivo</i>		M&R2 = (+) SAMI =

Numéro d'article	Auteurs de l'article	Date et pays	<i>In vivo</i> / <i>in vitro</i>	Echantillon (dents) / dentine	Adhésifs universels	Composite	Test appliqué	Vieillessement >1 ans ou thermocyclage	Type de fracture (<i>in vitro</i>)	Résultats sur la dentine non saine (voir légende)
9	FD. Oz et al.	Turquie 2018	<i>In vivo</i>	155 / sclérotique	GBU ABU	Tetric N-Ceram (Ivoclar-Vivadent)	Critères d'évaluation clinique de l'USPHS).	Oui 24 mois <i>in vivo</i>		M&R2 = M&R2 select = SAM1 – M&R2 = M&R2 select > SAM1 GLU=ABU
10	J. Perdigao et al.	Brésil 2014	<i>In vivo</i>	200 / sclérotique	SBU	Filtek supreme ultra universal restorative (3MESPE)	Critères d'évaluation clinique de l'USPHS et la FDI.	Oui 18 mois <i>in vivo</i>		M&R2 + (=) M&R2 select + (=) SAM1 + (=)
11	FD. Oz et al.	Turquie 2018	<i>In vivo</i>	99 / sclérotique	CUB IU GPB	G-aenial Universal Flo (GC)	Critères d'évaluation clinique de l'USPHS)	Oui 18 mois <i>in vivo</i>		M&R2 + CUB = IU = GPB
12	A. D. Loguercio et al.	Brésil 2017	<i>In vivo</i>	192 / sclérotique	TNU	Empress Direct (Ivoclar Vivadent)	Critères d'évaluation clinique de la FDI et l'USPHS)	Oui 18 mois <i>in vivo</i>		M&R2 + (=) SAM1 + (=)
13	VC. Ruschel et al.	Brésil 2018	<i>In vivo</i>	203 / sclérotique	SBU PBE	Kalore (GC)	Critères d'évaluation clinique de l'USPHS)	Oui 18 mois <i>in vivo</i>		M&R2 + (+) SAM1 + SAM1 → PBE > SBU M&R2 → PBE = SBU
14	A. D. Loguercio et al.	Brésil 2015	<i>In vivo</i>	200 / sclérotique	SBU	Filtek supreme ultra Universal restorative (3MESPE)	Critères d'évaluation clinique de la FDI et l'USPHS)	Oui 36 mois <i>in vivo</i>		M&R2 + (=) M&R2 select + (=) SAM1 + (=)

Numéro d'article	Auteurs de l'article	Date et pays	In vivo / in vitro	Echantillon (dents) / dentine	Adhésifs universels	Composite	Test appliqué	Vieillessement > 1 ans ou thermocyclage	Type de fracture (in vitro)	Résultats sur la dentine modifiée (voir légende)
15	A. Mena-Serrano et al.	Brésil 2013	In vivo	200 / sclérotique	SBU	Filtek supreme ultra Universal restorative (3MESPE)	Critères d'évaluation clinique de la FDI et l'USPHS)	Oui 6 mois in vivo		M&R2 + (=) M&R2 select + (=) SAM1 + (=)
16	F. Amsler et al.	Suisse 2017	In vitro	480 / érodée	SBU	Filtek Z-250 XT (3MESPE)	- Résistance au cisaillement (SBS) - Mode de fracture	Oui conservation dans de l'eau à 37°C pendant 12 mois	Adhésive / mixe	SAM1 +
17	F S F. Siqueira et al.	Brésil 2018	In vitro	304 / érodée	AU CUB PBE ABU SBU OC7 TNU	Filtek Z-350 XT (3MESPE)	- Micro-résistance à la traction (μTBS) - Mode de fracture - «Nanoleakage» (NL)	Non	Adhésive / mixe	SAM1 = M&R2 Résultats meilleurs pour les adhésifs universels avec MDP
18	J D Scholtanus	Pays-Bas 2016	In vitro	26 / corrodée	SBU	Clearfil PhotoPosterior (Kuraray Dental)	- Micro-résistance à la traction (μTBS)	Non	-SAM1 : adhésive 40% et cohésive dentine 40% -M&R2 : adhésive 60%.	SAM1 = (=) M&R2 = (=)

FDI : World Dental Federation / USPHS : United States Public Health Service / SAM1, M&R2 et M&R2 select : adhésif universel utilisé respectivement en mode SAM1, en mode M&R2 et en mode mordantage sélectif de l'émail sans mordantage de la dentine / SAM1, M&R2 ou M&R2 select suivi du symbole + ou - ou = : représentent respectivement des résultats positifs ou négatifs ou égaux des adhésifs universels comparés aux adhésifs témoins ou aux critères dévaluation clinique. / Symbole (+) ou (=) : représentent respectivement des résultats significativement meilleurs dans un mode adhésif plutôt qu'un autre (auto-mordant ou mordantage-rinçage) ou des résultats équivalents sans différence significative. / Symbole <, > ou => respectivement « inférieur à... », « supérieur à... » ou « égal à... ».

Source : auteur 2019

On observe une répartition géographique hétérogène : 11 études sur les 18 se sont déroulées au Brésil (65%).

Concernant la nature des études, 10 sont *in vivo* (56%) alors que 8 sont *in vitro* (44%) (les pourcentages sont arrondis). Cela aura un impact important sur la répartition des tests utilisés (fig.28).

En effet, les articles concernant la dentine affectée étant composés d'étude *in vivo* et *in vitro*, leurs résultats seront donc des critères cliniques mais aussi des données *in vitro* (μ TBS et SBS) (fig.28a).

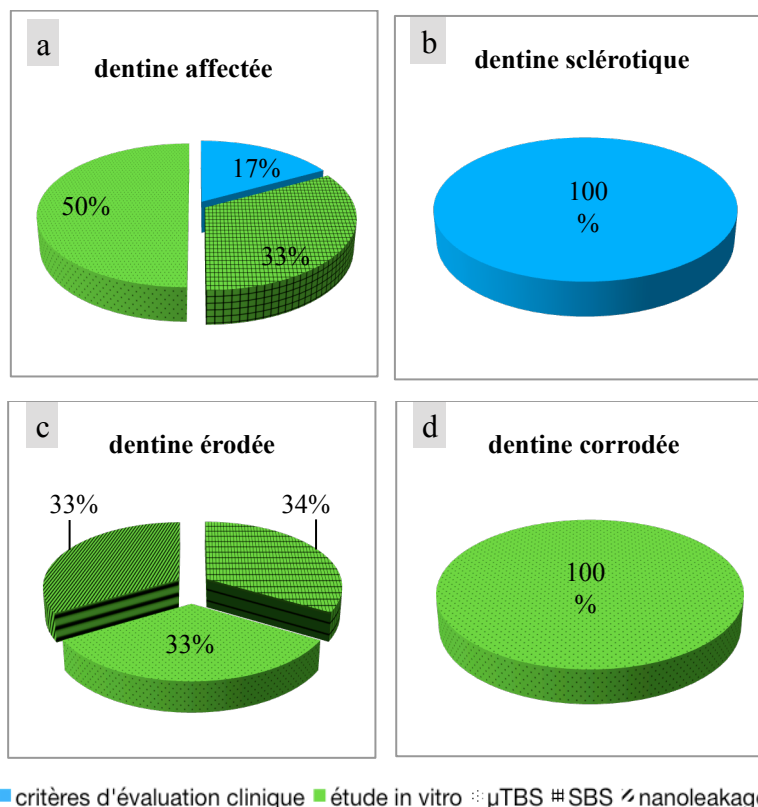
En revanche, tous les articles sur la dentine sclérotique (la moitié de la totalité des articles), sont des études *in vivo*, leurs résultats seront donc tous des critères cliniques (fig.28b).

Les deux articles concernant la dentine érodée sont quant à eux des études *in vitro*, leurs résultats seront donc uniquement des données *in vitro* (μ TBS, SBS et nanoleakage) (fig.28c).

Le pourcentage concernant la dentine corrodée est quant à lui anecdotique car ne prenant en compte qu'un article (fig.28d).

En raison du manque d'article sur les dentines érodée et corrodée, et du peu d'études *in vivo* sur la dentine affectée, il sera difficile d'émettre des conclusion généralisables à la pratique clinique pour ces trois dentines.

Figure 28 : répartition des tests appliqués dans les 18 articles en fonction du type de dentine.



Source : auteur 2019

Parmi les 11 études incluant un procédé de vieillissement, on note que :

- l'étude de l'article 5 (dentine affectée) ainsi que toutes les études sur dentine sclérotique (articles 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 et 15) subissent un vieillissement clinique.
- l'étude de l'article 1 subit un vieillissement par thermocyclage : 500 cycles.
- l'étude de l'article 16 subit un vieillissement *in vitro* (conservation dans de l'eau à 37°C pendant un an).

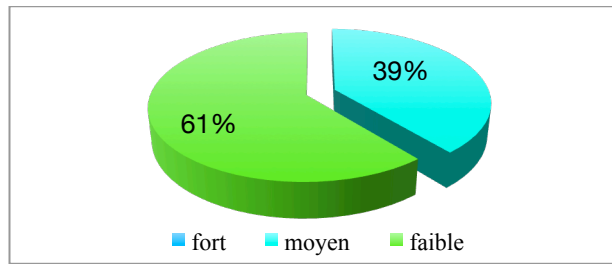
2.2.7. Risque de biais

Le risque de biais a été évalué selon les paramètres suivants: randomisation, présence de groupes contrôles (dentine saine (*in vitro*) / adhésif témoin), existence d'un protocole, mise en place d'un champ opératoire (*in vivo*) et aveuglement (patients / praticiens / évaluateurs). Si le paramètre était présent dans l'étude, celui ci recevait un « oui », sinon il recevait un « non ». Pour les articles recevant 1 à 2 « non », le risque est considéré comme faible, pour 3 ou 4, le risque est moyen et pour plus de 4, le risque de biais est fort. De plus, la valeur du « non » dans la colonne « champ opératoire » compte double afin de souligner l'importance de ce paramètre dans la reproductibilité des résultats obtenus (tab.17).

Tableau 17 et figure 29: analyse et représentation schématique du risque de biais.

Numéro d'article	Randomisation	Groupe contrôle : Dentine saine (<i>in vitro</i>) / adhésif témoin (type)	Protocole	Champ opératoire (<i>in vivo</i>)	Aveuglement : patients / praticiens / évaluateurs	Risque de biais
1	Oui	Oui / oui (M&R2)	Oui	X	X / non / non	Faible
2	Oui	Oui / oui (M&R2)	Oui	X	X / non / non	Faible
3	Oui	Oui / oui (M&R2 et SAM2)	Oui	X	X / non / non	Faible
4	Oui	Oui / non	Oui	X	X / non / non	Moyen
5	Oui	X / non	Oui	Oui	Oui / non / oui	Faible
6	Oui	Non / oui (M&R2 et SAM2)	Oui	X	X / non / non	Moyen
7	Oui	X / oui (M&R3)	Oui	Oui	Oui / non / oui	Faible
8	Oui	X / oui (M&R2 et SAM2)	Oui	Non	Oui / non / oui	Moyen
9	Oui	X / oui (M&R2)	Oui	Non	Oui / non / oui	Moyen
10	Oui	X / non	Oui	Oui	Oui / non / oui	Faible
11	Oui	X / non	Oui	Non	Oui / non / oui	Moyen
12	Oui	X / non	Oui	Oui	Oui / non / oui	Faible
13	Oui	X / non	Oui	Non	Oui / non / oui	Moyen
14	Oui	X / non	Oui	Oui	Oui / non / oui	Faible
15	Oui	X / non	Oui	Oui	Oui / non / oui	Faible
16	Oui	Oui / oui (SAM)	Oui	X	X / non / non	Faible
17	Oui	Oui / non	Oui	X	X / non / non	Moyen
18	Oui	Oui / oui (M&R3 SAM2)	Oui	X	X / non / non	Faible

X : non présent pour ce type d'étude / Risque de biais décroissant : faible < moyen < fort



Source : auteur 2019

Comme nous pouvons le constater, 61% des articles présentent un risque de biais faible, 39% un risque de biais moyen et aucun ne présente de risque fort (fig.29).

2.3. Éléments particuliers révélés par les articles

Pour cette partie, seuls les résultats statistiquement significatifs seront analysés. Les détails des études concernant leur nature (*in vivo* ou *in vitro*), le mode et la durée de vieillissement, la taille des échantillons ainsi que les types de résultats (SBS, μ TBS, nanoleakage ou évaluation clinique) sont disponibles dans le tableau 16.

2.3.1. En faveur ou en défaveur de l'utilisation des adhésifs universels sur les dentines modifiées ?

D'après l'analyse des résultats significatifs des études incluses dans cette revue (tab.16) :

- **1** étude est en **défaveur** de l'utilisation des adhésifs universels sur les dentines modifiées (article 8 concernant le collage en mode SAM sur dentine sclérotique).
- **15** études sont en **faveur** de l'utilisation des adhésifs universels sur les dentines modifiées (les résultats équivalents aux adhésifs témoins sont considérés comme en faveur de l'utilisation des adhésifs universels).
- **2** études (articles 4 et 17) ne donnent **pas de résultat sur la performance des adhésifs eux mêmes** (supériorité d'une stratégie d'adhésion par rapport à une autre ou comparaison d'adhésifs universels entre eux).

Les résultats des études en fonction de la présence d'un adhésifs témoins ou non et après vieillissement ou non sont résumés en annexe 5.

✦ Dentine affectée

- les résultats de toutes les études sont en faveur de l'utilisation des adhésifs universels sur la dentine affectée, vieillissement ou non, adhésif témoin ou non, et quel que soit le mode.
- Concernant les résultats significatifs des 4 études réalisées avec un ou plusieurs adhésifs témoins :
 - en mode M&Rt :
 - articles 1, 3, et 6 : SBU est équivalent au M&R2 Adper Single Bond 2 (3M ESPE).
 - article 11 : SBU est supérieur au M&R2 Prime&Bond NT (Dentsply).
 - en mode SAM :
 - article 1 : SBU est équivalent au M&R2 Adper Single Bond 2 (3M ESPE).
 - article 2 : SBU est supérieur au M&R2 Prime&Bond NT (Dentsply).
 - articles 3 et 6 : SBU est équivalent au SAM2 Clearfil SE Bond (Kuraray).

✦ Dentine sclérotique

- toutes les études sur dentine sclérotique se font après vieillissement :
 - en mode M&Rt : les résultats de toutes les études sont en faveur de l'utilisation des adhésifs universels sur la dentine sclérotique, adhésif témoin ou non.
 - en mode SAM : sur 8 articles, seuls les résultats de l'article 9 (avec un adhésif témoins) sont en défaveur de l'utilisation des adhésifs universels.
- Concernant les résultats significatifs des 3 études réalisées avec un ou plusieurs adhésifs témoins :
 - en M&Rt:
 - article 7 : SBU est supérieur au M&R3 ScotchBond Multi-Purpose (3M ESPE).
 - article 8 : SBU est équivalent au M&R2 Adper Single Bond 2 (3M ESPE).
 - article 9 : GBU et ABU sont équivalents au M&R2 Single Bond 2 (3M ESPE).
 - en mode SAM:
 - article 7 : SBU est équivalent au M&R3 ScotchBond Multi-Purpose (3M ESPE).
 - article 8 : SBU est équivalent au SAM2 Clearfil SE Bond (Kuraray).
 - article 9 : GBU et ABU sont inférieurs au M&R2 Single Bond 2 (3M ESPE).

✦ Dentine érodée

Seul l'article 16 évalue l'adhésion à la dentine érodée, mais uniquement en mode SAM. Après vieillissement, les résultats des tests en cisaillement montrent que SBU est statistiquement supérieur au SAM2 Clearfil SE Bond (Kuraray).

✦ Dentine corrodée (article 18)

- En mode M&Rt : SBU est équivalent au M&R3 Optibond FL (Kerr).
- En mode SAM : SBU est équivalent au SAM2 Clearfil SE Bond (Kuraray).

Au regard de ces résultats, que ce soit en mode M&Rt ou SAM, les adhésifs universels semblent être une alternative dans le collage des composites à la dentine affectée, sclérotique, érodée et corrodée. Cependant quelques réserves doivent être émises:

✪ Dentine affectée

- Manque d'études *in vivo*.
- Trop peu de résultats après vieillissement.

✪ Dentine sclérotique

- Toutes les études traitant de la dentine sclérotique sont *in vivo*. Elles font donc intervenir à la fois l'adhésion à la dentine mais aussi l'adhésion à l'émail.
- La présence non systématique d'adhésif témoin : il devrait toujours y avoir un adhésif témoin par protocole d'adhésion choisi.

✪ Dentine érodée et dentine corrodée

- Manque d'articles.
- Nécessité d'études *in vivo* avec adhésifs témoins et vieillissement.

En faveur ou en défaveur des adhésifs universels ?

- ✓ **Dentine affectée : les résultats sont en faveur de l'utilisation des adhésifs universels quel que soit le mode.**
- ✓ **Dentine sclérotique : les résultats sont en faveur de l'utilisation des adhésifs universels en mode M&Rt et SAM, malgré les résultats défavorables de l'article 9 en mode SAM.**
- ✓ **Dentine érodée : les résultats sont en faveur des adhésifs universels quel que soit le mode.**
- ✓ **Dentine corrodée : les résultats sont en faveur de l'utilisation des adhésifs universels quel que soit le mode.**

Remarques :

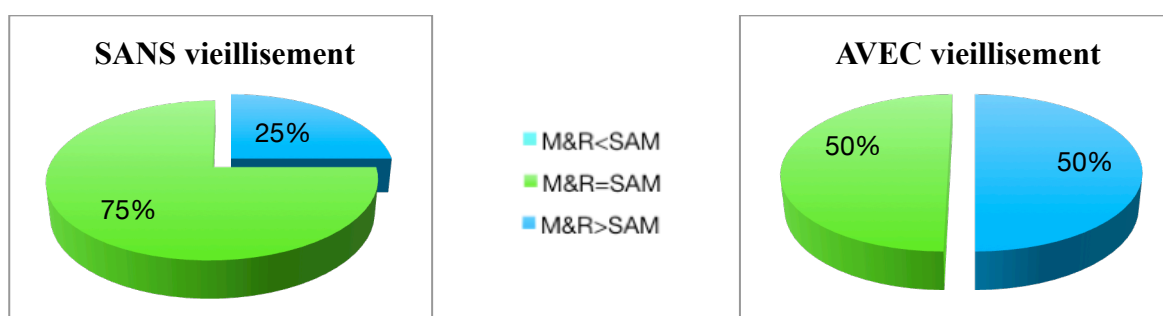
- ✓ **peu d'articles concernant les dentines érodée et corrodée et peu d'études *in vivo* concernant la dentine affectée.**
- ✓ **il manque des articles concernant d'autres adhésifs universels que SBU.**

2.3.2. Quel est le meilleur protocole adhésif : M&R ou SAM?

⊛ Dentine affectée

Toutes les études concernant la dentine affectée comparent les protocoles M&Rt et SAM mais seules les études des articles 7 et 11 le font après vieillissement : 500 cycles de thermocyclage pour l'article 7 et 18 mois *in vivo* pour l'article 11 (tab.16). Sur les 6 études, 5 sont *in vitro* et une étude est *in vivo*. Les résultats seront donc des valeurs d'adhérence (traction et cisaillement) ainsi qu'une évaluation de critères cliniques.

Figure 30 : comparaison des différents protocoles adhésifs sur dentine affectée AVEC vieillissement et SANS vieillissement.



Source : auteur 2019

Concernant les résultats significatifs des 6 études sur la dentine affectée (fig.30):

- sans vieillissement :
 - article 4 : les résultats montrent un avantage significatif pour le protocole M&Rt pour PBE.
 - articles 2, 3 et 6 : les résultats ne montrent pas de différence significative entre les protocoles pour SBU.
- après vieillissement :
 - article 1 : les résultats montrent un avantage significatif pour le protocole M&Rt pour SBU.
 - article 5 : les résultats ne montrent aucune différence significative entre les protocoles pour GBU, CUB, PBE, ABU et SBU.

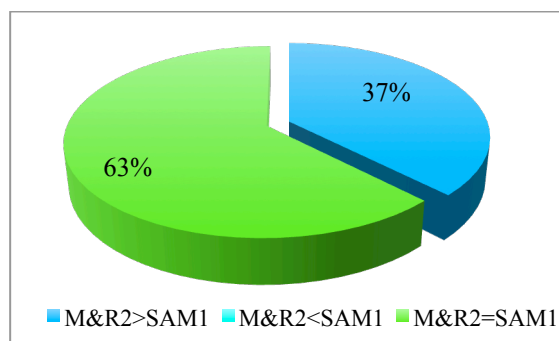
Concernant le collage à la dentine affectée à l'aide d'un adhésif universel, 67% des études ne montrent aucune différence significative entre les protocoles M&Rt et SAM, 33% d'entre elles montrent un avantage significatif pour le mode M&Rt et aucune sont en faveur du mode SAM.

Ces conclusions concernent majoritairement des études *in vitro* et des études sans vieillissement, ces résultats ne sont donc pas transposables à la pratique clinique.

⊛ Dentine sclérotique

Sur les 9 articles concernant la dentine sclérotique, seul l'article 11 ne compare pas les modes M&Rt et SAM. Étant uniquement des études *in vivo*, les résultats seront donc des évaluations de critères cliniques.

Figure 31 : comparaison des différents protocoles adhésifs sur dentine sclérotique.



Source : auteur 2019

Concernant les résultats significatifs des 8 études cliniques sur la dentine sclérotique (fig.31) :

- ils ne montrent aucune différence significative (63%) entre les protocoles dans :
 - les articles 8, 10, 14 et 15 pour SBU.
 - l'article 12 pour TNU.
- ils montrent un avantage significatif du protocole M&Rt (37%) dans :
 - l'article 7 pour SBU.
 - l'article 9 pour GBU et ABU.
 - l'article 13 pour SBU et PBE.
- ils ne sont jamais en faveur du protocole SAM.

Sur la dentine sclérotique, 4 des 9 études comparent aussi le mode « mordançage sélectif de l'émail » (M&Rs) aux modes M&Rt et SAM :

- article 9 : les résultats sont équivalents au mode M&Rt mais significativement inférieurs au mode SAM pour SBU et GBU.
- articles 10, 14 et 15 : les résultats sont équivalents aux modes M&Rt et SAM pour SBU.

Seuls les résultats de l'article 9 mettent en évidence une infériorité significative des adhésifs universels en mode SAM par rapport aux modes M&Rt et M&Rs.

✿ Dentine érodée

Sur les deux articles traitant de la dentine érodée, seul l'article 17 compare les deux protocoles, et ce, sur 7 adhésifs universels différents (les autres adhésifs n'étant pas considérés comme universels) : AU, CUB, PBE, ABU, SBU, OC7 et TNU.

Les résultats de cet article ne montrent aucune différence significative entre les protocoles.

Cet article est certes le seul comparant les deux protocoles sur dentine érodée mais il le fait avec 7 adhésifs universels différents. Néanmoins cette étude étant réalisée *in vitro* et sans thermocyclage, ses résultats ne peuvent pas être considérés comme généralisables et exploitables en clinique.

✦ Dentine corrodée

Les résultats de l'article 18 ne montrent aucune différence significative entre les protocoles M&Rt et SAM pour SBU. Cependant, la majorité des faciès de rupture pour SBU en mode M&Rt sont de type adhésif alors que ceux du SBU en mode SAM sont autant de type adhésif que de type cohésif dans la dentine (tab.16). Cette étude étant *in vitro* et sans thermocyclage, ses résultats ne peuvent pas être considérés comme généralisables et exploitables en clinique.

Quel est le meilleur protocole adhésif : M&R ou SAM?

- ✓ **Dentine affectée** : les résultats du protocole M&Rt sont équivalents voir significativement supérieurs au protocole SAM.
- ✓ **Dentine sclérotique** : les résultats du protocole M&Rt sont équivalents voir significativement supérieurs au protocole SAM. Les résultats du protocole M&Rs sont équivalents au protocole M&Rt. Les résultats du protocole M&Rs sont équivalents voir supérieur au protocole SAM.
- ✓ **Dentine érodée** : les résultats du protocole M&Rt sont équivalents au protocole SAM.
- ✓ **Dentine corrodée** : les résultats du protocole M&Rt sont équivalents au protocole SAM.

Remarques :

- ✓ peu d'articles sur les dentines érodée et corrodée.
- ✓ peu d'études *in vivo* sur la dentine affectée.
- ✓ Des études *in vivo* plus longues sont nécessaires sur la dentine sclérotique.
- ✓ Des études concernant des adhésifs universels autres que SBU sont nécessaires.

2.3.3. Collage sur une dentine modifiée vs collage sur une dentine saine

Seuls 7 articles, sur les 18 sélectionnés, comparent les performances des adhésifs universels sur une dentine modifiée à ceux sur une dentine saine : les articles 1, 2, 3, et 4 sur dentine affectée, les articles 16 et 17 sur dentine érodée et l'article 18 sur dentine corrodée (tab.16).

Les études sur la dentine sclérotique, étant réalisées *in vivo*, ne seront pas présentées dans cette partie.

✦ Dentine affectée :

Seule l'article 1 présente des résultats après vieillissement. Ces résultats valident l'hypothèse nulle selon laquelle le type de dentine n'affecte pas les performances du collage du SBU quel que soit le protocole

utilisé. Un écart type plus grand est néanmoins observé en mode SAM, témoignant d'une moins bonne reproductibilité (tab.18).

Concernant les résultats des 3 études comparant le collage des adhésifs universels sur la dentine affectée et sur la dentine saine, sans vieillissement:

- article 4 : les résultats valident l'hypothèse nulle selon laquelle le type de dentine n'affecte pas les performances de collage de PBE, quel que soit le protocole utilisé.
- articles 2 et 3 : les valeurs d'adhérence de SBU sont significativement plus faibles sur la dentine affectée que sur la dentine saine, qu'importe le protocole de collage (tab.19).

Tableaux 18 et 19 : valeurs de résistance au cisaillement en MPa (moyenne ± écart type) et faciès de rupture.

Adhesive	Normal dentin					P	Caries-affected dentin				
	MPa	A	M	CC	CD		MPa	A	M	CC	CD
	(mean ± SD)	(%)	(%)	(%)	(%)		(mean ± SD)	(%)	(%)	(%)	(%)
SB2	20.16 ± 9.61*	70	30	0	0	0.32 (NS)	20.17 ± 9.53*	20	30	20	30
SBU-SE	18.93 ± 3.23**	80	0	0	2	0.91 (NS)	18.84 ± 7.83**	30	60	10	0
SBU-ER	26.88 ± 4.63***	10	60	10	20	0.44 (NS)	27.70 ± 5.71***	0	90	10	0

Tableau 18 : A: adhésive ; M: mixte ; CC: Cohésive composite ; CD: Cohésif dentine ; SB2: Single Bond 2 ; SBU-SE: SBU en mode SAM ; SBU-ER: SBU en mode M&Rt ; MPa: méga pascal ; NS: non significatif ; SD: écart type.

Source: article 1

	SBU ER	A M C	SBU SE	A M C	PBNT	A M C
Normal dentin	27.2 (5.7) ^{AA}	80 10 10	25.3 (4.5) ^{AA}	80 20 -	13.7 (3.3) ^{AB}	90 - 10
Caries-affected dentin	17.6 (7.1) ^{BA}	80 10 10	17.9 (5.7) ^{BA}	80 10 10	13.5 (6.3) ^{AA}	90 10 -

Tableau 19 : A: adhésive ; M: mixte ; CC: Cohésive composite ; CD: Cohésif dentine ; SB2: Single Bond 2 ; SBU-SE: SBU en mode SAM ; SBU-ER: SBU en mode M&Rt ; PBNT: Prime&Bond NT.

Source: article 2

Ces résultats inégaux d'un article à l'autre peuvent être dus à des variabilités dans les protocoles (adhésifs universels différents, vieillissement ou non, nombre de cycles, façon dont la dentine affectée est obtenue, ...). Aucune conclusion fiable ne peut être tirée de ces valeurs car il est difficile de comparer les résultats de deux études différentes

✪ Dentine érodée

L'article 16 porte sur la résistance au cisaillement de SBU, uniquement en mode SAM, après conservation dans de l'eau à 37°C pendant un an. Les résultats de cette étude montrent que les valeurs d'adhérence sont significativement plus faibles sur la dentine érodée que sur la dentine saine.

L'étude de l'article 17 porte sur la micro-résistance à la traction de 7 adhésifs universels, sans vieillissement, (AU, CUB, PBE, ABU, SBU, OC7 et TNU) en mode M&Rt et SAM:

- les valeurs d'adhérence sont significativement plus faibles sur la dentine érodée que sur la dentine saine, quel que soit le protocole utilisé et pour les 7 adhésifs universels (tab.20).
- les valeurs d'adhérence sont significativement plus faibles sur la dentine érodée avec de l'acide citrique que sur celle érodée avec du soda, quel que soit le protocole utilisé (tab.20).

Tableau 20: moyenne \pm écart type de la micro-résistance à la traction (μ TBS) sur une dentine saine et érodée (acide citrique / soda).

Adhesive	Sound dentin		Citric acid		Soft drink	
	SE	ER	SE	ER	SE	ER
ABU	36.0 \pm 4.9 ^{C,D}	39.6 \pm 4.6 ^C	21.1 \pm 5.1 ^F	18.9 \pm 4.6 ^F	26.8 \pm 4.1 ^E	28.5 \pm 5.6 ^{D,E}
AU	54.2 \pm 5.3 ^{A,B}	55.7 \pm 4.1 ^{A,B}	18.5 \pm 3.3 ^F	19.5 \pm 3.9 ^F	31.2 \pm 6.8 ^D	32.0 \pm 6.1 ^D
CUB	49.5 \pm 5.4 ^B	56.6 \pm 4.9 ^{A,B}	19.9 \pm 3.0 ^F	21.7 \pm 4.2 ^F	29.6 \pm 5.8 ^D	34.2 \pm 5.5 ^{C,D}
FBU	24.9 \pm 3.9 ^E	32.2 \pm 3.4 ^D	15.3 \pm 2.5 ^G	16.8 \pm 3.8 ^{F,G}	21.4 \pm 3.0 ^F	24.9 \pm 3.2 ^{E,F}
OC7	36.9 \pm 4.5 ^{C,D}	40.3 \pm 4.7 ^C	18.6 \pm 3.3 ^F	21.9 \pm 4.6 ^F	27.6 \pm 4.3 ^{D,E}	29.2 \pm 4.9 ^D
PUB	38.8 \pm 4.8 ^C	42.9 \pm 4.3 ^C	23.5 \pm 3.8 ^{E,F}	24.6 \pm 4.1 ^E	31.6 \pm 4.6 ^D	31.6 \pm 6.7 ^D
PBE	29.2 \pm 3.7 ^D	30.5 \pm 3.9 ^D	15.1 \pm 3.4 ^G	15.8 \pm 3.6 ^G	22.9 \pm 3.6 ^{E,F}	23.0 \pm 3.9 ^{E,F}
SBU	49.1 \pm 5.3 ^B	54.9 \pm 4.9 ^{A,B}	19.5 \pm 4.7 ^F	21.2 \pm 4.9 ^F	31.4 \pm 4.6 ^D	32.1 \pm 5.4 ^D
TNU	55.1 \pm 5.2 ^{A,B}	58.0 \pm 5.5 ^A	22.1 \pm 4.4 ^{E,F}	22.2 \pm 4.7 ^{E,F}	31.1 \pm 3.8 ^D	31.7 \pm 4.9 ^D
XEN	28.6 \pm 2.9 ^{D,E}	32.5 \pm 5.1 ^D	13.2 \pm 4.3 ^G	15.1 \pm 3.8 ^G	20.9 \pm 4.7 ^F	20.2 \pm 4.2 ^F

SE: mode SAM ; ER: mode M&Rt ; sound dentin: dentine saine ; citric acid: acide citrique ; soft drink: soda ; FBU: Futurabond U ; PUB : Peak Universal Bond ; XEN : Xeno Select ; les différentes petites lettres indiquent des différences statistiquement significatif (P<0,05).

Source: article 17

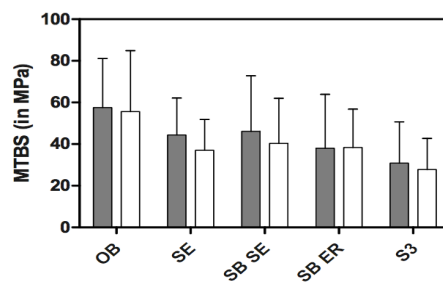
D'après ces deux articles, l'adhésion des adhésifs universels sur une dentine érodée semble moindre que sur une dentine saine, quel que soit le mode. Cependant, même si l'article 17 porte sur 7 adhésifs universels, les études restent *in vitro* et ne sont pas généralisables à la clinique.

✪ Dentine corrodée :

Seule l'article 18 est concerné et il porte sur la résistance à la microtraction de SBU sans vieillissement. Les résultats de cette étude nous montrent que :

- le type de dentine n'affecte pas les valeurs d'adhérence de SBU, quel que soit le protocole utilisé (fig.32).
- les écarts-types des valeurs d'adhérence à la dentine corrodée sont plus élevés, suggérant une liaison à celle ci moins prévisible (fig.32).
- la dentine corrodée présente plus de défaillances cohésives dans la dentine et de défaillances mixtes « adhésive / cohésive dentine » que la dentine saine qu'importe le mode (fig.33).

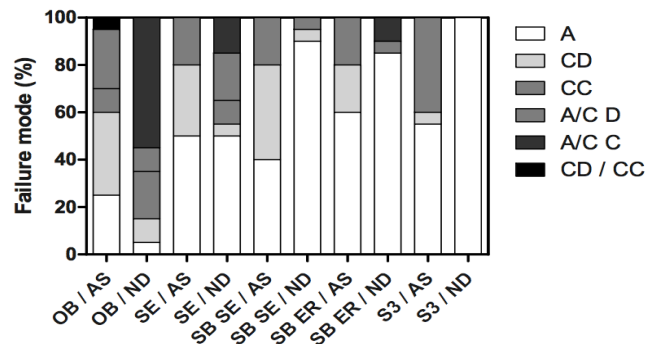
Figure 32 : valeurs moyennes de micro-résistance à la traction et écarts-types sur dentine corrodée (gris) et sur dentine normale (blanc).



OB : Optibond FL ; SE : Clearfil SE Bond ; SB SE : SBU en mode SAM ; SB ER : SBU en mode M&R ; S3 : Clearfil S3 Bond Plus.

Source : article 18

Figure 33 : Représentation graphique des modes de défaillance.



Adhésifs: OB: Optibond FL ; SE: Clearfil SE Bond ; SB SE: ScotchBond Universal SAM1, SB ER : ScotchBond Universal M&R2, S3 : Clearfil S3 Bond Plus.

Dentines: AS : dentine colorée à l'amalgame, ND : dentine normale.

Modes de défaillance: A : adhésif, CD : cohésif dentine, CC : cohésif composite, A/CD : adhésif/cohésif dentine, A/CC : adhésif/cohésif composite, CD/CD : cohésif dentine/cohésif composite.

Source : article 18

La différence de composition et d'ultrastructure de la dentine corrodée par rapport à la dentine saine pourrait expliquer ces faciès de rupture différents et ces écarts types plus élevés malgré des valeurs d'adhérence moyennes proches.

Collage sur une dentine modifiée VS collage sur une dentine saine.

- ✓ **Dentine affectée** : absence de conclusion fiable car les résultats sont inégaux.
- ✓ **Dentine érodée** : les résultats sont significativement plus faibles sur une dentine érodée que sur une dentine saine.
- ✓ **Dentine corrodée** : aucune différence significative entre les résultats sur une dentine corrodée et ceux sur une dentine saine.

Remarques : des études *in vivo*, avec vieillissement (>5ans) et comparant plusieurs adhésifs universels entre eux, et à un adhésif témoin, sont nécessaires.

2.3.4. Résultats concernant le pH

La seule étude concernant la dentine corrodée n'évalue l'adhésion que du SBU. Aucune comparaison avec d'autres adhésifs universels n'est faite. L'étude concernant la dentine corrodée ne sera donc pas présentée dans cette partie.

Les résultats des 5 études comparant le collage des adhésifs universels entre eux ne montrent aucune différence significative en fonction du pH:

- article 5 (dentine affectée) : les résultats de l'évaluation des critères cliniques après 24 mois ne montrent aucune différence significative entre PBE (pH : 2,5), SBU (pH : 2,7), CUB (pH : 2,3), ABU (pH : 3,2) et GBU ($1,6 < \text{pH} < 1,8$), quel que soit le mode.
- article 9 (dentine sclérotique) : les résultats de l'évaluation des critères cliniques après 24 mois ne montrent aucune différence significative entre GBU ($1,6 < \text{pH} < 1,8$) et ABU (pH : 3,2), quel que soit le mode de collage.
- article 11 (dentine sclérotique) : les résultats de l'évaluation des critères cliniques après 18 mois ne montrent aucune différence significative entre CUB (pH : 2,3), IU (pH : 1,8) et GPB (pH : 1,5), quel que soit le mode de collage.
- article 13 (dentine sclérotique) : les résultats de l'évaluation des critères cliniques après 18 mois montrent une différence significative entre PBE (pH : 2,5) et SBU (pH : 2,7), mais cela n'est pas dû au pH car ils sont pratiquement identique.
- article 17 (dentine érodée) : les valeurs d'adhérence montrent des différences significatives entre les adhésifs mais elles ne sont pas dues aux différents pH. En effet, ces différences sont causées par la présence ou non du MDP dans leur composition.

Influence du pH.

- ✓ **Dentine affectée et dentine sclérotique : pour ces deux types de dentine, aucune différence significative liée au pH des adhésifs universels n'a été révélée.**
- ✓ **Dentine érodée : aucune différence significative liée au pH des adhésifs universels n'a été révélée.**

Remarques : des études *in vivo*, avec un vieillissement d'au moins 5 ans et comparant plus d'adhésifs universels entre eux sont nécessaires

2.3.5. Résultats concernant le MDP (10-MDP)

Les adhésifs universels composés de MDP présentent des propriétés d'adhésion très satisfaisantes mais peu d'articles font la relation entre sa présence et ces performances.

Néanmoins, quelques articles mettent en avant le MDP:

- article 13 : les résultats significativement supérieurs de SBU comparés à PBE sur une dentine sclérotique, pourraient être dus à la présence de MDP dans SBU alors que le PBE contient du PENTA.
- article 17 : le MDP semble avoir un impact positif significatif sur les valeurs d'adhérence sur dentine érodée. En effet, Futurabond U, Xeno Select et PBE, dépourvus de MDP, présentent des valeurs de μ TBS les plus basses et les « nanoleakage » les plus élevés parmi tous les adhésifs (sur dentine saine et érodée) (tab.20 modifié). Néanmoins, ces résultats sont obtenus *in vitro* et sans vieillissement, donc non généralisables à la clinique.

Tableau 20 (modifié) : moyenne \pm écart type de la micro-résistance à la traction (μ TBS) sur une dentine saine et érodée (acide citrique / soda): adhésifs sans MDP / adhésifs universels avec MDP.

Adhesive	Sound dentin		Citric acid		Soft drink	
	SE	ER	SE	ER	SE	ER
ABU	36.0 \pm 4.9 ^{C,D}	39.6 \pm 4.6 ^C	21.1 \pm 5.1 ^F	18.9 \pm 4.6 ^F	26.8 \pm 4.1 ^E	28.5 \pm 5.6 ^{D,E}
AU	54.2 \pm 5.3 ^{A,B}	55.7 \pm 4.1 ^{A,B}	18.5 \pm 3.3 ^F	19.5 \pm 3.9 ^F	31.2 \pm 6.8 ^D	32.0 \pm 6.1 ^D
CUB	49.5 \pm 5.4 ^B	56.6 \pm 4.9 ^{A,B}	19.9 \pm 3.0 ^F	21.7 \pm 4.2 ^F	29.6 \pm 5.8 ^D	34.2 \pm 5.5 ^{C,D}
FBU	24.9 \pm 3.9 ^E	32.2 \pm 3.4 ^D	15.3 \pm 2.5 ^G	16.8 \pm 3.8 ^{F,G}	21.4 \pm 3.0 ^F	24.9 \pm 3.2 ^{E,F}
OC7	36.9 \pm 4.5 ^{C,D}	40.3 \pm 4.7 ^C	18.6 \pm 3.3 ^F	21.9 \pm 4.6 ^F	27.6 \pm 4.3 ^{D,E}	29.2 \pm 4.9 ^D
PUB	38.8 \pm 4.8 ^C	42.9 \pm 4.3 ^C	23.5 \pm 3.8 ^{E,F}	24.6 \pm 4.1 ^E	31.6 \pm 4.6 ^D	31.6 \pm 6.7 ^D
PBE	29.2 \pm 3.7 ^D	30.5 \pm 3.9 ^D	15.1 \pm 3.4 ^G	15.8 \pm 3.6 ^G	22.9 \pm 3.6 ^{E,F}	23.0 \pm 3.9 ^{E,F}
SBU	49.1 \pm 5.3 ^B	54.9 \pm 4.9 ^{A,B}	19.5 \pm 4.7 ^F	21.2 \pm 4.9 ^F	31.4 \pm 4.6 ^D	32.1 \pm 5.4 ^D
TNU	55.1 \pm 5.2 ^{A,B}	58.0 \pm 5.5 ^A	22.1 \pm 4.4 ^{E,F}	22.2 \pm 4.7 ^{E,F}	31.1 \pm 3.8 ^D	31.7 \pm 4.9 ^D
XEN	28.6 \pm 2.9 ^{D,E}	32.5 \pm 5.1 ^D	13.2 \pm 4.3 ^G	15.1 \pm 3.8 ^G	20.9 \pm 4.7 ^F	20.2 \pm 4.2 ^F

SE: mode SAM ; ER: mode M&Rt ; sound dentin: dentine saine ; citric acid: acide citrique ; soft drink: soda ; FBU: Futurabond U ; PUB : Peak Universal Bond ; XEN : Xeno Select ; les différentes petites lettres indiquent des différences statistiquement significatif (P<0,05).

Source: article 17

Cependant, quelques réserves doivent être émises :

- dans les articles 5 (*in vivo* sur la dentine affectée), 9 et 11 (*in vivo* sur la dentine sclérotique), plusieurs adhésifs universels contenant du MDP sont comparés à des adhésifs n'en contenant pas et aucune différence significative n'a été relevée.
- dans l'article 18, Optibond FL obtient les valeurs d'adhérence moyennes les plus élevées de l'étude, que ce soit sur dentine saine ou corrodée, alors qu'il est le seul adhésif ne contenant pas de MDP.

Résultats concernant le MDP (10-MDP)

- ✓ les résultats concernant le MDP sont en faveur de celui-ci pour ce qui est des performances immédiates.
- ✓ Plus d'études *in vivo*, avec vieillissement (>5ans) et comparant des adhésifs avec et sans cette molécule, sont nécessaires afin de corroborer ces résultats à long terme sur un plan clinique.

3. Discussion

3.1. Le MDP

Tout au long de ce travail, une molécule a été au centre de toutes les attentions : le MDP ou 10-MDP pour 10-méthacryloyloxydecyl dihydrogène phosphate.

En effet, il est présent dans la composition de 12 d'adhésifs universels étudiés (67%). Il serait à l'origine de leurs bonnes valeurs d'adhérence sur la dentine.

Lorsque l'adhésif contenant du MDP est appliqué sur la dentine en mode SAM les ions calcium (Ca^{2+}) libérés diffusent au sein de la couche hybride et, par la formation de sels de MDP-Ca, assemblent les molécules de MDP en nano-couches stables : c'est le processus de « nano-layering » [66-67-68]. Ce processus augmente la résistance mécanique de la couche hybride en favorisant la réticulation des fibres de collagène entre elles et la liaison de ce même collagène aux monomères adhésifs (fig.34 et 35a).

Figure 34: vue au microscope électronique de l'interface entre Clearfil SE Bond (Kuraray) et la dentine.

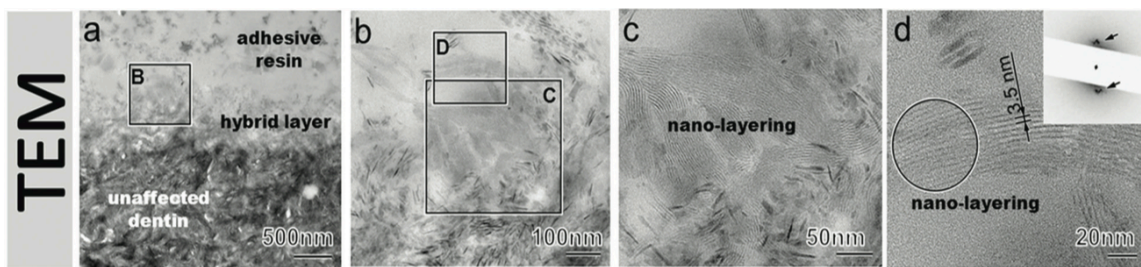
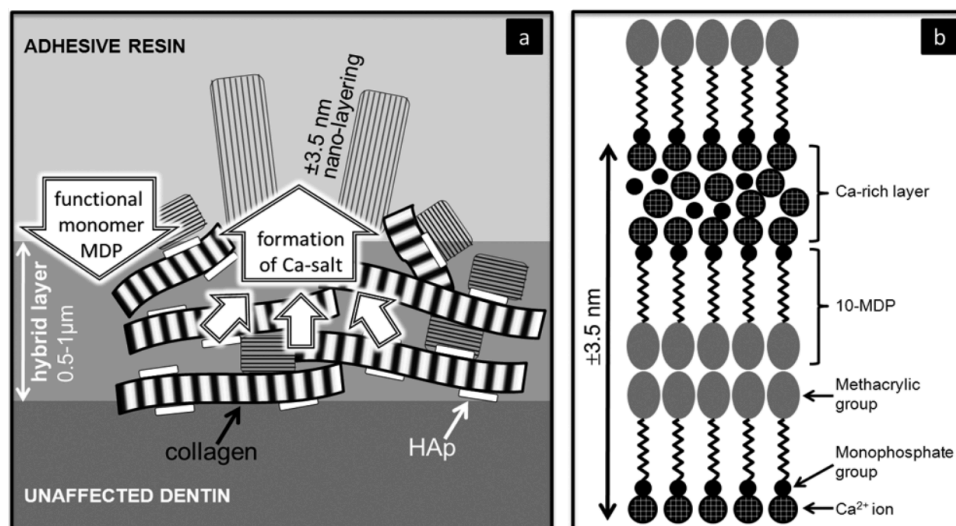


Figure 35: application d'un adhésif contenant du MDP sur la dentine (a) et processus de « nano-layering » (b).



Source des fig.32 et 33 : [66]

Chaque nanocouche est constituée de monomères de MDP orientés parallèlement dans le même sens, formant ainsi deux sous-couches, une interne et une externe (fig.35b) :

- le groupe méthacrylate est dirigé vers l'intérieur → copolymérisation mutuelle entre les deux monomères opposés [66].
- le groupe phosphate fonctionnel (hydrophile) est dirigé vers l'extérieur → il capture le calcium libéré par la dentine ou alors se lie directement à l'hydroxyapatite présente sur le collagène [66].

Cette liaison chimique entre la dentine et le MDP crée une interface stable même sans mordantage préalable. Cela est très utile en présence de dépôts minéraux dans les canalicules (dentine affectée et sclérotique) [67-68]. En effet, Oliveira et al [69] montrent dans une étude *in vitro* que les adhésifs à base de méthacrylamide nécessitent une préparation préalable avant leur application afin d'améliorer leur rétention. A l'inverse, l'adhésif à base de MDP peut être appliqué directement, sans préparation. Les auteurs suggèrent que cela est dû à la teneur plus élevée en calcium de la couche hyperminéralisée, devenant ainsi un atout pour le collage avec ces adhésifs [69]. Les débris minéraux joueraient alors le rôle de charges dans l'adhésif.

Concernant la liaison à la dentine affectée, aucune différence n'a été relevée entre les adhésifs contenant du MDP et ceux n'en contenant pas (articles 2 et 6). Ces différences de composition ne conduisent pas à des résultats significativement différents dans les évaluations immédiates. En revanche, à long terme, la présence de MDP peut conduire à des diminutions de la dégradation de l'interface dentine / adhésif.

Cette liaison chimique peut aussi devenir un réel atout pour le collage sur la dentine corrodée. Il a été suggéré que les métaux composant un amalgame dentaire, et plus particulièrement l'étain (Sn), sont capables de remplacer le calcium perdu dans la dentine affectée [70-71]. Dans l'étude de Flury et al, Clearfil SE Bond (contenant du MDP), a obtenu des valeurs de liaison supérieures à la dentine déminéralisée après traitement Etain / Fluor de celle-ci [52]. Ces résultats pourraient s'expliquer par le fait que des ions Sn^{2+} occupent des sites de liaison chargés négativement (tels des groupes phosphate) dans la matrice organique, rendant ainsi la structure collagénique moins polaire et plus accessible pour l'adhésif. De plus, les ions Sn^{2+} pourraient se substituer aux ions Ca^{2+} dans le sel de Ca-MDP et favoriser ainsi la liaison du MDP au collagène [52].

Un autre avantage des adhésifs universels contenant du MDP a été récemment proposé par Amsler et al : leur couche hybride serait moins sujette à la dégradation par les enzymes de clivage comme les MMPs. En effet, les sels de MDP-Ca étant stables dans le temps, la liaison du MDP à l'hydroxyapatite sera plus pérenne, protégeant ainsi les fibrilles de collagène de l'hydrolyse [72-75]. Cette propriété est intéressante lors du collage à la dentine érodée ou affectée car elles possèdent toutes les deux une teneur en eau élevée causée par leur déminéralisation.

Outres les articles composant cette revue, le succès du MDP a été largement rapporté dans les études *in vitro* [73-74] et *in vivo* [75]. En mode SAM les taux de rétention après 6 mois varient de 94 à 98% pour les

adhésifs avec MDP, contre 80% pour les adhésifs sans [76-77-78-79]. D'autres essais cliniques ont également montré des taux de réussite élevés après 3 à 5 ans [80-81]. Des études portant sur la résistance des interfaces adhésives à la biodégradation ont montré que le MDP améliorerait la stabilité de l'interface dentine / adhésif [82-83]. Cette constatation plaide en faveur de l'utilisation d'une approche SAM plutôt que d'une approche M&Rt sur la dentine saine [84].

Cependant les résultats de cette revue sur les dentines modifiées tendent à montrer le contraire, avec des résultats plutôt en faveur du mode M&Rt.

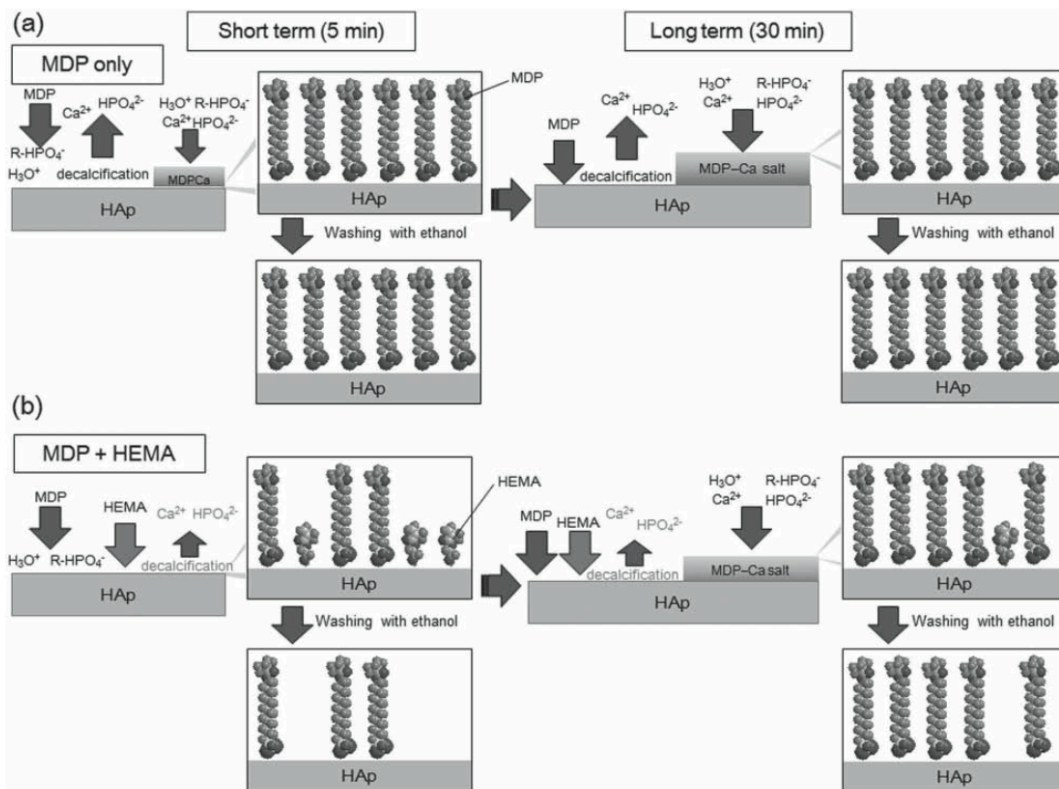
La qualité et la concentration du monomère fonctionnel de MDP en terme de pureté peuvent aussi affecter les performances du collage [85-86]. Malheureusement, on en sait peu sur la concentration et la pureté du MDP contenu dans les adhésifs universels disponibles dans le commerce.

Les interactions et la compétition avec d'autres molécules peuvent elles aussi être à l'origine d'une baisse d'efficacité du MDP. A l'inverse, il est également possible que certains adhésifs universels contenant du MDP contiennent en plus d'autres composants susceptibles de se lier chimiquement à la dentine, pouvant ainsi influencer positivement sur leurs performances adhésives. C'est le cas du SBU contenant un copolymère d'acide polyalkénoïque modifié par un méthacrylate (Vitrebond), ou du TNU contenant un polymère d'acide méthacrylate carboxylique (MCAP).

3.2. L'interaction HEMA / MDP

En plus d'augmenter la perméabilité à l'eau et le risque de dégradation hydrolytique de la couche hybride [87], une étude réalisée par Yoshida et al établit que la présence de HEMA influence négativement l'interaction du MDP avec l'hydroxyapatite de la dentine (fig.36) [88].

Figure 36 : interaction à court et long terme d'une solution de MDP seul (a) ou d'une solution combinée MDP-HEMA (b) avec l'hydroxyapatite (HAp).



Source : [88]

Une concentration moins importante de MDP adhérant à l'hydroxyapatite a été enregistrée pour la solution combinée MDP-HEMA (fig.36b) comparée à la solution de MDP seul (fig.36a). En cause le HEMA qui, en se liant également à l'hydroxyapatite, empêche le MDP d'interagir et donc de déminéraliser l'hydroxyapatite à court terme. Le MDP s'étant moins intensément lié à l'hydroxyapatite (moins intensément), il ne peut donc pas produire de « nano-layering » (fig.36b).

Cependant HEMA n'est pas fortement lié à l'hydroxyapatite. Il ne résiste pas au lavage à l'éthanol. A long terme, HEMA va se détacher de l'hydroxyapatite, laissant l'opportunité aux molécules de MDP de venir se lier à l'hydroxyapatite (fig.36b).

Une autre possibilité pourrait aussi expliquer l'influence négative de HEMA. Etant très hydrophile, il est possible qu'il se lie avec l'eau qui est alors moins disponible pour la déminéralisation de l'hydroxyapatite. Sans eau, aucun procédé de « nano-layering » n'est possible car le MDP se retrouve incapable de déminéraliser l'hydroxyapatite et donc de libérer des ions Ca^{2+} [66-67-88].

La compétition entre HEMA et MDP dépend aussi de la concentration de HEMA. Plus sa concentration est forte, plus celui-ci rentre en compétition avec MDP, entraînant ainsi une production de sels de Ca-MDP moins importante et moins de molécules de MDP liées à l'hydroxyapatite [66-67-88].

3.3. L'association copolymère d'acide polyalkénoïque / MDP

Le copolymère d'acide polyalkénoïque a été utilisé pour la première fois dans la composition du Vitrebond (3M ESPE) et est donc également connu sous le nom de copolymère de Vitrebond, ou VCP. A l'instar du MDP, il est lui aussi capable de se lier chimiquement à l'hydroxyapatite.

Pour la stratégie M&Rt, des études cliniques ont montré une bonne performance des adhésifs contenant du VCP [89-90]. Cela peut être attribué, au moins partiellement, à sa liaison chimique avec le calcium de l'hydroxyapatite.

En mode SAM, plus de 50% des groupes carboxyles du copolymère d'acide polyalkénoïque sont capables de se lier à l'hydroxyapatite : les groupes carboxyliques remplacent les ions phosphates et établissent des liaisons ioniques avec le calcium [91-92].

Dans l'article 15, les bons résultats de SBU, comparé au Clearfil SE contenant plus de MDP, pourraient être dus à la présence du copolymère d'acide polyalkénoïque (absent dans la composition du Clearfil SE).

Associé à l'effet protecteur du sel de Ca-MDP et à l'emboîtement micromécanique submicronique à la surface de la dentine, la capacité de liaison chimique du MDP du VCP à l'hydroxyapatite vient elle aussi renforcer la capacité adhésif de SBU.

Toutefois ces résultats sont à relativiser car Munoz et al ont rapporté que le VCP pourrait entrer en concurrence avec le monomère MDP. En raison de son poids moléculaire élevé, il pourrait empêcher le rapprochement des monomères pendant la polymérisation, nuire à la liaison chimique du MDP avec la dentine et, à terme, mettre en péril la résistance de la liaison [93].

3.4. Influence du pH

L'acidité des adhésifs diffère, ce qui peut affecter les performances cliniques notamment lorsque la stratégie SAM est choisie.

En 2005, Pneumans et al révèlent que les adhésifs SAM « doux » donneraient de meilleurs résultats en terme d'adhésion à la dentine sclérotique (LCU), que les adhésifs SAM « fort » ($\text{pH} < 1$) [94]. A l'inverse, Söderholm et al (2013) et Tani et al (2002) signalent que les adhésifs SAM présentant des valeurs de pH différentes ne montraient aucune différence significative, supposant donc que l'efficacité de la liaison est principalement liée aux caractéristiques mécaniques propres aux adhésifs (monomères de résine acrylique) [95-96].

En mode SAM, la question du pH soulève certaines problématiques. En effet, la boue dentinaire et les phosphates de calcium, partiellement dissouts par les monomères acides ultra-doux, deviennent une barrière physique entrainant une mauvaise infiltration de la résine et une couche hybride moins épaisse. Même s'il est établi que l'adhérence à la dentine ne dépend pas de l'épaisseur de la couche hybride, une couche hybride trop fine ne sera pas assez résistante mécaniquement [96-97]. En revanche, un pH trop bas aura aussi un impact négatif sur la couche hybride. En effet, des monomères non polymérisés, acides et agressifs peuvent continuer à déminéraliser la dentine même après polymérisation, exposant ainsi la couche hybride à un plus grand risque d'hydrolyse [98]. Il semble tout de même que les adhésifs « doux » soient les plus prometteurs au regard de la qualité de l'adhésion dans le temps [84].

Selon Yoshihara, en association avec un monomère pouvant se lier chimiquement avec l'hydroxyapatite (MDP), le pH des adhésifs doux est suffisant pour empêcher la boue dentinaire d'interférer avec l'adhésion. En effet, les adhésifs doux interagissent suffisamment avec la dentine pour traiter la boue dentinaire et produire une couche hybride riche en calcium (support du « nano-layering ») sans pour autant mettre en péril la durabilité de la liaison à la dentine (fig.37) [99].

Figure 37 : illustration de l'intensité de l'interaction des adhésifs SAM avec la dentine.



Source : [99]

3.5. Influence du solvant

Parmi les facteurs affectant les performances cliniques des systèmes adhésifs, les composants de la résine adhésive, comme les solvants, peuvent jouer un rôle important.

Les propriétés physiques de l'acétone et de l'éthanol diffèrent, affectant les résultats à long terme des matériaux les utilisant [100]:

- lors du séchage à l'air, les systèmes à base d'acétone ne peuvent pas dilater à nouveau les fibrilles de collagène rétrécies, alors que ceux à base d'éthanol montrent une bonne ré-expansion du collagène et des forces de liaison plus élevées [101-102].
- la couche hybride des systèmes à base d'acétone serait plus mince après évaporation que ceux à base d'éthanol, entraînant une plus grande sensibilité à l'inhibition de la polymérisation de la résine adhésive par l'oxygène et, *in fine*, un plus grand risque de dégradation [103-104].
- l'éthanol faciliterait l'évaporation de l'eau en excès en formant des agrégats eau / éthanol, améliorant l'infiltration de la résine [9-105].

Les propriétés de l'éthanol, comparées à celles de l'acétone, semblent faire de lui un solvant de choix. L'étude clinique sur dentine sclérotique de Reis et al va également dans ce sens. En effet, après 36 mois, ils observent une plus grande perte des restaurations collées par un adhésif à base d'acétone que celles collées par un adhésif à base d'éthanol [81]. Cependant, les études de cette revue comparant différents adhésifs universels (articles 5, 9, 11, 13 et 17), ne montrent, aucune différence significative directement liée à la présence d'un solvant par rapport à un autre.

Les performances des adhésifs à base d'acétone peuvent néanmoins être améliorées. En effet, Reis et al montrent qu'une application prolongée d'un adhésif à base d'acétone conduirait à des forces de liaison, immédiates et à long terme, plus élevées, que s'il était appliqué selon le protocole recommandée [110].

Comme pour les monomères, la concentration de solvant affecte la force de liaison des systèmes adhésifs [111-112]. Dans l'article 5, à 18 mois, aucune différence significative n'a été détectée mais la faible concentration en éthanol de CUB (<20%) pourrait expliquer ses meilleurs résultats cliniques concernant l'adaptation et la coloration marginal, comparé à IU et GPB dont les concentrations d'éthanol sont comprises entre 25 et 50%.

3.6. Collage sur une dentine sèche vs collage sur une dentine humide

La littérature considère que l'humidité de la dentine est cruciale pour une bonne liaison à celle-ci. Cependant, le maintien de la dentine déminéralisée humide est difficile à réaliser en pratique clinique car le degré d'humidité idéal dépend du type de solvant contenu dans le système adhésive [113-114-115-116]. Les études des articles 14 et 15 ne montrent quant à elles aucune différence significative entre le collage sur dentine sclérotique sèche et celui sur dentine sclérotique humide. Il semblerait que SBU contienne

suffisamment d'eau pour réhydrater le réseau collagénique collabé, permettant ainsi sa ré-expansion, la réouverture des espaces inter-fibrillaires et l'infiltration de résine [102-114-117].

Néanmoins, une question se pose: quelle est la teneur en eau nécessaire pour permettre cette ré-expansion ? Selon Pashley et al. (2007) [118], 100% d'eau entraînerait une expansion à 100%, ce qui s'opposerait au collage.

Il est tout de même possible d'obtenir une liaison fiable avec la dentine déminéralisée séchée en mode M&Rt, mais il est fondamental d'appliquer activement le système adhésif [119- 120]. En effet, la pression mécanique comprimerait le réseau de collagène collapsé de telle manière que la solution adhésive serait aspirée dans le maillage de collagène lorsque la pression est réduite [121]. De plus, cette approche pourrait augmenter le taux d'échange et permettre une meilleure diffusion des monomères vers l'intérieur, tandis que les solvants diffuseraient vers l'extérieur. Cela pourrait signifier que garder la dentine humide ne présenterait pas d'avantages cliniques par rapport à la liaison à la dentine sèche [122].

Les résultats articles 14 et 15 sur la dentine sclérotique, suggèrent que ce mode d'application pourrait être une option intéressante dans le but de réduire la quantité d'eau emprisonnée dans la couche hybride. Cependant, d'autres études à long terme, et sur d'autres types de dentines, sont nécessaires afin de vérifier cette hypothèse.

3.7. Perspectives d'avenir : le monomère fonctionnel fluoro-carboné

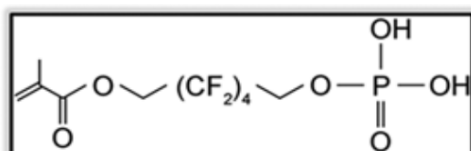
En général, les adhésifs qui contiennent du MDP ont montrés de bonnes performances de liaison en recherches clinique et au laboratoire [123].

Cependant, le MDP semble instable dans l'eau car il peut se dégrader en hydroxydécyl dihydrogénophosphate et méthacrylate [124-125].

Dans la recherche de monomères fonctionnels plus stables sur le plan hydrolytique, des monomères à base de phosphonate et d'acrylamide ont été synthétisés, mais n'ont jusqu'à présent pas permis d'égaliser l'efficacité du potentiel d'interaction chimique du MDP [68-125].

Les polymères fluorés sont connus pour leur grande résistance chimique à l'eau, à l'huile et à la chaleur, en raison de la forte liaison chimique entre le fluor et le carbone [126-127]. En raison de ces propriétés, un monomère fluoro-carboné, à savoir le 6-méthacryloxy-2,2,3,3,4,4,5,5-octafluorohexyl dihydrogène phosphate (MF8P), a été synthétisé (fig.38).

Figure 38 : le MF8P.

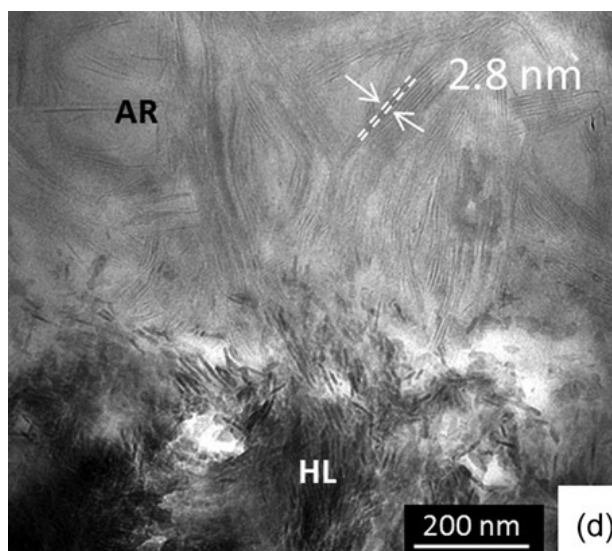


Source : [128]

Dans une étude de 2014, Yoshida [128] et al ont étudié le comportement de MF8P en le comparant aux résultats d'anciennes études sur le MDP :

- interaction chimique avec de l'hydroxyapatite (NMR ou Nuclear Magnetic Resonance) : le MF8P a été adsorbé sur l'hydroxyapatite en moins de 5 minutes, comme pour le MDP.
- interaction chimique avec la dentine (TF-XRD ou Tin Film-X Ray Disffraction) :
 - formation de sels de MF8P-Ca dans les 20 secondes, comme pour le MDP.
 - présence de 3 pics, caractéristiques du « nano-layering ». cela a été confirmé par microscope électronique (fig.39).
- taux de dissolution du sel de MF8P-Ca faible et non significativement différent du sel de MDP-Ca.

Figure 39 : interface adhésif / dentine après application du primaire MF8P expérimental.



HL : couche hybride ; AR : résine adhésive.

Source : [128]

Lorsqu'il est appliqué sur la dentine, la force de liaison du MF8P est similaire à celle du MDP. Yoshida et al ont aussi mesuré l'angle de contact d'une goutte d'eau sur une hydroxyapatite recouverte de MF8P ou de MDP. L'analyse de ces données a confirmé que le MF8P et le MDP étaient aussi hydrophobes l'un que l'autre en dépit de la taille plus courte de la molécule de MF8P (1,4 nm) qui la rend plus disponible. Ceci doit être attribué à la forte liaison F-C du squelette hydrophobe fluoro-carboné de MF8P [128].

À la vue de ces différents tests, il semblerait que le MF8P soit un bon candidat en tant que monomère fonctionnel pour les futures formulations adhesives. Il pourrait être utilisé en remplacement ou en association au MDP.

Le « nano-layering » porté par le groupe phosphate du MDP et de MF8P, offre une plus grande résistance à la biodégradation et semble être une voie de recherche prometteuse.

3.8. Limites et recommandations

3.8.1. Limites de cette revue

Cette revue a permis de constater les limites et l'hétérogénéité des articles (tab.16 et 17) :

- il y a trop peu d'études concernant la dentine érodée (2) et corrodée (1).
- le pourcentage d'étude *in vivo* est faible concernant la dentine affectée (1 étude sur 6) et nul concernant les dentines érodée et corrodée.
- seules 9 études, sur les 18, incluent des adhésifs témoins. Parmi elles, seulement 5 incluent autant d'adhésifs témoins qu'il y a de protocoles adhésifs étudiés.
- seules 12 études sur les 18 subissent un vieillissement (*in vivo* ou *in vitro*), dont 9 concernant uniquement la dentine sclérotique.
- seules 5 études sur 18 comparent plus de un adhésif universel.

Cette hétérogénéité nuit gravement à l'interprétation et au regroupement des résultats. Dans le futur, il sera nécessaire de mettre en place des études cliniques randomisées en double aveugle, à long terme (>5ans), et avec autant d'adhésifs témoins que de protocoles adhésifs étudiés. Cela vaut surtout pour la dentine affectée, érodée et corrodée.

Afin de comparer objectivement les performances des adhésifs universels il est nécessaire d'inclure dans les études plusieurs d'entre eux et non pas un seul comme c'est le cas dans 13 études sur 18 (dont 10 uniquement sur le SBU).

Enfin, seule une structure d'étude avec des adhésifs expérimentaux avec différentes quantités d'un seul composant est adaptée pour étudier véritablement le rôle d'un composant. La plupart des études ont jusqu'à présent testé des produits commerciaux, ce qui ne conduit qu'à des hypothèses concernant les propriétés de monomères particuliers.

3.9. Tests *in vitro*

Van Noort et al ont supposé en 1989 que les résultats des tests *in vitro* en traction et en cisaillement étaient plus une combinaison inconnue de facteurs géométriques et de propriétés mécaniques plutôt que le reflet des propriétés de l'interface elle même [129]. Ceci expliquant la dispersion des résultats obtenus d'une étude à l'autre.

Concernant le choix d'un test macro- ou microscopique, les avis divergent. D'après Heintze et Rousson, comparés aux tests microscopiques (notamment le μ TBS), les tests macroscopiques, en général, n'ont aucune valeur de prédictibilité clinique (distribution des contraintes plus hétérogène) [130]. A l'inverse, Placido et al

concluent que les résultats des test en μ SBS sont encore moins représentatives de la force d'adhérence en cisaillement que les tests macroscopiques [131].

Scherrer et al ont écrit une revue de littérature compilant et comparant les données de résistance des liaisons adhésives de 1998 à 2009 pour 6 adhésifs collés à la dentine à l'aide de 4 tests : les micro et macrotests de résistance à la traction et au cisaillement [63].

Cette étude a révélé plusieurs problèmes [63] :

- une dispersion élevée de la force de liaison quel que soit le test et l'adhésif utilisé. Elle serait due en partie à l'inclusion des défaillances cohésives et des défaillances préalables aux tests dans les analyses statistiques.
- des erreurs d'interprétation des faciès de rupture et des matériaux impliqués dans la fracture. En cause, un grossissement trop faible du microscope utilisé.
- souvent, les modes de défaillance «mixtes» signalés ne décrivent pas le pourcentage de défaillance cohésive et dans quel matériau. Un pourcentage élevé de défaillance cohésive aura un impact sur la dispersion des données.
- l'inclusion des spécimens défaillants, qu'ils aient échoué de manière cohésive, adhésive ou pré-test renforce la dispersion.

Afin de limiter les erreurs pouvant découler de ces remarques, des recommandations ont été suggérées [63] :

- utiliser les tests classiques (micro et macrotests en cisaillement / traction) en ayant une pleine connaissance des difficultés liées à l'interprétation de leurs résultats.
- éliminer tous les échantillons présentant une rupture cohésive (dans la dentine ou la résine composite) et les ruptures mixtes ayant plus de 10% de cohésive (évaluation microscopique approfondie nécessaire). Ils reflètent un mélange de propriétés mécaniques des différents matériaux impliqués (dentine, adhésif et résine de restauration).
- l'utilisation systématique des statistiques de Weibull pour évaluer les données. Les données en résultant sont plus pertinentes concernant la probabilité de défaillance en fonction du niveau de contrainte, ainsi que la fiabilité de la liaison.
- adopter une approche davantage axée sur la mécanique de la rupture lors de l'évaluation de l'interface collée.

Cela montre la nécessité d'aborder ces tests avec une prise de conscience de certaines lacunes actuelles, puis de s'efforcer à les éliminer ultérieurement.

3.9.1. Critères d'évaluation clinique

Bien que les critères USPHS soient suffisants dans les études à long terme, les critères FDI peuvent donner des résultats plus sensibles dans les études à court terme car ils ont plus d'options de note [64-65]. Cependant les chercheurs utilisent généralement les critères USPHS pour évaluer les restaurations lors d'essais cliniques. La plus grande sensibilité des critères FDI, concernant les différences entre les résultats, pourrait en être la cause.

Cette étude porte sur les performances des adhésifs universels sur la dentine. Cependant, lors des études *in vivo*, l'adhésion à l'émail est elle aussi mesurée, notamment à travers l'évaluation de l'adaptation et de la coloration marginale. Il ne peut pas être uniquement question d'adhésion à la dentine et cela sera toujours le cas pour une étude *in vivo*.

CONCLUSION

Les adhésifs universels font désormais partie intégrante du plateau technique du chirurgien dentiste. Cependant aucune définition reconnue n'a été donnée, ce qui en fait un groupe très hétérogène. Sur les 23 adhésifs universels répertoriés seuls 16 répondent à nos critères d'inclusion. Cependant, même au sein de notre groupe les indications cliniques ne sont pas toujours les mêmes d'un adhésif universel à l'autre.

Les principaux composants des adhésifs universels ont pu être dégagés mais leur identification et quantification précises ont été difficiles (solvants et monomères de résine acrylique). Il a tout de même été remarqué qu'un solvant et un monomère fonctionnel reviennent fréquemment dans la composition des ces adhésifs universels : l'éthanol et le MDP.

Le collage des adhésifs universels sur la dentine saine est satisfaisant, voir même supérieur aux adhésifs de référence comme le montre Les Batailles de l'Adhésion en juin 2019. Cependant les modifications cliniques et histologiques que subit la dentine saine en réponse aux agressions restent des obstacles à surmonter lors du collage.

Les résultats de cette revue de la littérature semblent en faveur de l'utilisation des adhésifs universels quel que soit le substrat dentinaire.

Un tiers des études sur la dentine sclérotique et sur la dentine affectée sont en faveur du mode M&Rt. Toutes les autres études ne montrent aucune différence significative entre les modes M&Rt et SAM, quel que soit le substrat dentinaire.

Le mode M&Rs n'est étudié que sur la dentine sclérotique. Il en ressort que ses résultats sont équivalents à ceux du mode M&Rt et équivalent voir supérieur à ceux du mode SAM.

Aucune influence du pH n'a été mise en évidence dans ce travail.

Les résultats concernant la présence du MDP sont en faveur de celui ci. Cependant, de nouvelle molécule au squelette fluoro-carboné plus hydrophobe que le MDP tel que le MF8P ouvrent de belles perspectives d'avenir quant à la protection contre l'hydrolyse. Les recherches sur le nano-layering doivent elles aussi être poursuivies afin d'améliorer cette liaison ionique.

Au niveau des solvants, l'association éthanol / eau offre elle aussi de belles perspectives quant à la gestion difficile de l'humidité dentinaire lors du collage. En effet dans les articles 14 et 15 (dentine sclérotique), aucune différence n'a été relevée concernant leur adhésion sur une dentine sèche ou sur une dentine humide.

Il est important de noter que le manque d'article concernant la dentine érodée et la dentine corrodée ne nous permet pas de généraliser ces résultats. De même, les résultats des études sur la dentine affectée étant majoritairement *in vitro*, ils devront être confirmés en clinique.

De plus, les études sur une dentine saine ne sont pas représentatives de la réalité clinique. Des études *in vivo* avec un vieillissement supérieur à 5 ans, contenant autant d'adhésifs témoins qu'il y a de modes d'adhésion étudiés, et portant sur plusieurs adhésifs universels, sont nécessaires sur ces dentines modifiées.

Ces adhésifs universels sont intéressants concernant l'adhésion aux dentines modifiées car ils allient ancrage micromécanique et chimique. De plus, le fait qu'ils soient multimodaux leur permet d'être à la fois utilisables en restauration directe et indirecte, simplifiant ainsi l'ergonomie de travail du praticien.

Cependant, plusieurs points restent à améliorer pour arriver au cahier des charges de l'adhésif parfait [55] :

- être véritablement universel et adhérer à toutes les surfaces sans traitement préalable.
- être totalement hydrophobe après polymérisation.
- être antimicrobien (comme l'amalgame).
- être reminéralisant (comme les ciments verres ionomères).
- être anti-enzymatique pour empêcher la dégradation hydrolytique.

BIBLIOGRAPHIE

1. ETIENNE O, ANCKENMANN L. Collage. In: Restaurations esthétiques en céramique collée. Edition CDP-JPIO.2016 31-88
2. DEGRANGES M. Les systèmes adhésifs amélo-dentinaire . Réal Clin 2005 ; 16 : 327-348
3. TIRLET G, ATTAL JP. Le gradient thérapeutique : un concept médical pour les traitements esthétiques. 2009. ID n° 41/42.
4. TURPIN YL, VULCAIN JM. Principes généraux de la préparation des dents en vue de leur restauration. EMC-Odontologie 1 (2005) 67–76.
5. HEMAMOUCHE A. Intérêt des adhésifs universels dans le collage aux céramiques dentaires . Sciences du Vivant [q-bio]. 2018. dumas-01784991
6. KRAMER IRH, MCLEAN JW. Alterations in the staining reactions of dentine resulting from a constituent of a new self-polymerizing resin. Br Dent J 1952;92:150-153.
7. GARY A. Universal Adhesives: The Next Evolution in Adhesive Dentistry ? CDEWorld - Continuing Dental Education 2015; Volume 36 numéro 1 : 15-26
8. ATLAN A. Rôle des solvants dans les systèmes adhésifs amélo-dentaires. BMC 2 ; 2017
9. VAN LANDUYT KL, SNAUWAERT J, DE MUNCK J, PEUMANS M, YOSHIDA Y, POITEVINA A, COUTINHOA E, SUZUKI K, LAMBRECHTS P, VAN MEERBEEK B. Systematic review of the chemical composition of contemporary dental adhesives. Biomaterials 28 (2007) 3757–3785
10. YOSHIHARA K, NAGAOKA N, HAYAKAWA S, OKIHARA T, YOSHIDA Y, VAN MEERBEEK B. Chemical interaction of glycerophosphate dimethacrylate (GPDM) with hydroxyapatite and dentin. Dental materials 34 (2 0 1 8) 1072–1081
11. <http://multimedia.3m.com/mws/media/754751O/scotchbond-universal-adhesive-technical-product-profile>
12. <http://multimedia.3m.com/mws/media/471975O/adper-easy-bond-brochure-france.pdf>
13. <http://multimedia.3m.com/mws/media/297942O/adper-scotchbond-1-xt-brochure-belgium-french.pdf>
14. YOSHIHARA K, HAYAKAWA S, NAGAOKA N, OKIHARA T, YOSHIDA Y, VAN MEERBEEK B. Etching Efficacy of Self-Etching Functional Monomers. J Dent Res 2018, Vol. 97(9) 1010–1016
15. LASFARGUES JJ, COLON P. Complexe pulpodentinaire. In: Odontologie conservatrice et restauratrice. Tome 1: une approche médicale globale. Edition CDP; 2009. 49-72 (JPIO; vol. 1).
16. PIETTE E, GOLDBERG M (eds). La dent normale et pathologique. Paris : De Boeck Université, 2001a : 55-72
17. ETIENNE O, ANCKENMANN L. Tissus durs de la dent. In: Restaurations esthétiques en céramique collée. Edition CDP-JPIO.2016 1-30
18. PERDIGÃO J, REIS A, LOGUERCIO AD. Dentin adhesion and MMPs: a comprehensive review. J Esthet Restor Dent. 2013 Aug;25(4):219-41

19. BOURD-BOITTIN K, FRIDMAN R, FANCHON S. Matrix metalloproteinase inhibition impairs the processing, formation and mineralization of dental tissues during mouse molar development. *Exp Cell Res* 2005;304:493–505.
20. SULKALA M, TERVAHARTIALA T, SORSA T. Matrix metalloproteinase-8 (MMP-8) is the major collagenase in human dentin. *Arch Oral Biol* 2007;52: 121–7.
21. VAN MEERBEEK B, BRAEM M, LAMBRECHTS P, VANHERLE G. Morphological characterization of the interface between resin and sclerotic dentine. *J Dent*. 1994 Jun;22(3):141–6.
22. KIDD EA, FEJERSKOV O. What Constitutes Dental Caries? Histopathology of Carious Enamel and Dentin Related to the Action of Cariogenic Biofilms. *J Dent Res* 2004 83: C35
23. SELWITZ RH, ISMAIL AI, PITTS NB. Dental caries. *Lancet*. 2007 Jan 6;369(9555):51-9.
24. ITO S, SAITO T, TAY FR, CARVALHO M, YOSHIYAMA M, PASHLEY DH. Water Content and Apparent Stiffness of Non-Caries Versus Caries-Affected Human Dentin. *J Biomed Mater Res B Appl Biomateriaux* 2005 ; 72 : 109-116
25. TAGAMI J, HOSODA H, BURROW MF, NAKAJIMA M. Effect of aging and caries on dentin permeability. *Proc Finn Dent Soc* 1992 ; 88 (suppl.1) : 149-154
26. LASFARGUES JJ, COLON P. Abrasion, érosion, attrition. In: *Odontologie conservatrice et restauratrice. Tome 1: une approche médicale globale*. Editions CDP; 2009. 221-255 (JPIO; vol. 1).
27. TAY FR, PASHLEY DH. Resin bonding to cervical sclerotic dentin: A review. *J Dent*. 2004 Mar ; 32(3):173–96.
28. KOULESHOVA N. La restauration esthétique des lésions cervicales non carieuses : nouvelle approche de dentisterie adhésive. *Chirurgie*. 2016. dumas-01342152
29. MJÖR IA. Dentin Permeability: The Basis for Understanding Pulp Reactions and Adhesive Technology. *Braz Dent J* (2009) 20(1): 3-16
30. LUSSI A, SCHLUETER N, RAKHMATULLINA E, GANSS C. Dental Erosion – An Overview with Emphasis on Chemical and Histopathological Aspects. *Caries Res* 2011;45(suppl 1):2–12
31. GANSS C, LUSSI A, SCHLUETER N. The histological features and physical properties of eroded dental hard tissues. *Monogr Oral Sci*. 2014;25:99-107
32. HARA AT, ANDO M, CURY JA, SERRA MC, C GONZALEZ-CABEZAS C, ZERO DT. Influence of the Organic Matrix on Root Dentine Erosion by Citric Aci. *Caries Res* 2005;39:134–138
33. GANSS C, HARDT M, BLAZEK D, KLIMEK J, SCHLUETER N. Effects of toothbrushing force on the mineral content and demineralized organic matrix of eroded dentine. *Eur J Oral Sci* 2009; 117: 255–260
34. GANSS C, SCHLUETER N, HARDT M, VON HINCKELDEY J, KLIMEK J. Effects of toothbrushing on eroded dentine. *Eur J Oral Sci* 2007; 115: 390–396
35. KLETERL GA, DAMEN JJ, EVERTS V, NIEHOF J, TEN CATE JM. The Influence of the Organic Matrix on Demineralization of Bovine Root Dentin in vitro. *J Dent Res* 73(9):1523-1529,September,1994

36. TONAMI KI, ERICSON D. Protein profile of pepsin-digested carious and sound human dentine. *Acta Odontol Scand*, 2005; 63: 17-20
37. SCHLUETER N, HARDT M, KLIMEK J, GANSS C. Influence of the digestive enzymes trypsin and pepsin in vitro on the progression of erosion in dentine. *Arch Oral Biol*. 2010 Apr;55(4):294-9
38. BRETT CM, ACCIARI A, GUASTALDI AC. Corrosion of dental amalgams - studies of individual phases . *Engineering Materials Vols. 230-232*. 2002:463-466.
39. BEN-AMAR A, CARDASH HS, JUDES H. The sealing of the tooth/amalgam interface by corrosion products. *J Oral Rehabil*. 1995;22(2):101-104.
40. SCHOLTANUS JD, OZCAN M, HUYSMANS MC. Penetration of amalgam constituents into dentine. *J Dent Res* 2009 ; 37 : 366-373
41. K SKJORLAND P, GJERMO P, ROLLA G. Effect of some polyvalent cations on plaque formation in vivo. *Scand.J. Dent. Res*. 1978;86: 103-107
42. AFSETH J, OPPERMAN RV, ROLLA G. The in vivo effect of glucose solutions containing Cu^{++} and Zn^{++} on the acidogenicity of dental plaque. *Acta Odontol Scand*, 1980, 38:4, 229-233
43. MASSLER M, BARBER TK. Action of amalgam on dentin. *J Am Dent Assoc*. 1953 Oct ; 47(4) : 415-22.
44. YOSHIYAMA M, TAY FR, DOI J, NISHITANI Y, YAMADA T, ITOU K. Bonding of self-etch and total-etch adhesives to carious dentin. *J Dent Res* 2002 ; 81 : 556-560
45. PINNA R, MAIOLI M, ERAMO S, MURA I, MILIA E. Carious affected dentin : its behaviour in adhesive bonding. *Aust Dent J* 2015 ; 60 : 276-293
46. SPENCER P, WANG Y, KATE JL, MISRA A. Physiochemical interactions at the dentin/adhesive interface using FTIR chemical imaging. *J Biomed Optics* 2005 ; 10 : 031104
47. EL-DIN AKN, MILLER B, GRIGGS J. Resin bonding to sclerotic, non carious, cervical lesions. *Volume 35, Number 7, 2004* : 529-540
48. KARAYA S, UNLU N, SAY EC, ÖZER F, SOYMAN M, TAGAMI J. Bond Strengths of Three Different Dentin Adhesive Systems to Sclerotic Dentin. *Dent Mater J* 2008 ; 27 : 471-479
49. VAN MEERBEEK B, CONN LJ, DUKE ES, EICK JD, ROBINSON SJ, GUERRERO D. Correlative transmission electron microscopy examination of nondemineralized and demineralized resin-dentin interfaces formed by two dentin adhesive systems. *J Dent Res* 1996 ; 75 ; 879-888
50. MENA-SERRANO AP, GARCIA EJ, PEREZ MM, MARTINS GC, GRANDE RH, LOGUERCIO AD, REIS A. Effect of the application time of phosphoric acid and self-etch adhesive systems to sclerotic dentin. *J Appl Oral Sci*.2013;21(2):196-202
51. ZIMMERLI B, DE MUNCK J, LUSSI A, LAMBRECHTS P, VAN MEERBEEK B. Long- term bonding to eroded dentin requires superficial bur preparation. *Clin Oral Investig* 2012;16:1451-1461.
52. FLURY S, KOCH T, PEUTZFELDT A, LUSSI A, GANSS C. The effect of a tin-containing fluoride mouth rinse on the bond between resin composite and erosively demineralised dentin. *Clin Oral Investig* 2013;17:217-225

53. HARNIRATTISAI C, SENAWONGSE P, TAGAMI J. Microtensile bond strengths of two adhesive resins to discolored dentin after amalgam removal. *J Dent Res* 2007;86:232-236.
54. SCHOLTANUS JD, VAN DER HOORN W, OZCAN M, HUYSMANS MC, ROETERS JF, KLEVERLAAN CJ. Staining of dentin from amalgam corrosion is induced by demineralization. *Am J Dent* 2013 ; 26 : 185-190
55. RAUX F. Faisons le point sur l'adhésion en 2019. *ID mag* 2019 ; 25 ; 24-27
56. ELKAFFAS AA, HAMAMA HH, MAHMOUD SH. Do universal adhesives promote bonding to dentin? A systematic review and meta-analysis. *Restor Dent Endod*. 2018 Aug;43(3):e29
57. CHEN C, NIU LN, XIE H, ZHANG ZY, ZHOU LQ, JIAO K, CHEN JH, PASHLEY DH, TAY FR. Bonding of universal adhesives to dentine – Old wine in new bottles? *J Dent* 2015;43:525–536.
58. MARCHESI G, FRASSETTO A, MAZZONI A, APOLONIO F, DIOLOSÀ M, LADENARO M, DI LENARDA R, PASHLEY DH, TAY F, BRESCHI L. Adhesive performance of a multi- mode adhesive system: 1-year in vitro study. *J Dent* 2014;42:603–612.
59. JACKER-GUHR S, SANDER J, LUEHRS AK. How “Universal” is Adhesion? Shear Bond Strength of Multi-mode Adhesives to Enamel and Dentin. *J Adhes Dent* 2019; 21: 87–95.
60. VAN LANDUYT KL, KANUMILLI P, DE MUNCK J, PEUMANS M, LAMBRECHTS P, VAN MEERBEEK B. Bond strength of a mild self-etch adhesive with and without prior acid-etching. *J Dent* 2006;34:77-85
61. WAGNER A, WENDLER M, PETSCHT A, BELLI R, LOHBAUER U. Bonding performance of universal adhesives in different etching modes. *J Dent* 2014;42:800-807.
62. PERDIGAO J, LOGUERCIO AD. Universal or multi-mode adhesives: why and how? *IAAD Working Instructions*. *J Adhes Dent* 2014;2:193–194.
63. SCHERRER SS, CESAR PF, SWAIN MV. Direct comparison of the bond strength results of the different test methods: A critical literature review. *Dent Mat* 26 (2010) e78–e93
64. HICKEL R, ROULET JF, BAYNE S, HEINTZE SD, MJOR IA, PETERS M, ROUSSON V, RANDALL R, SCHMALZ G, TYAS M, VANHERLE G. Recommendations for conducting controlled clinical studies of dental restorative materials. Science Committee Project 2/98—FDI World Dental Federation study design (Part I) and criteria for evaluation (Part II) of direct and indirect restorations including onlays and partial crowns *J Adh Dent* 2007;9(Supplement 1) 121-147.
65. HICKEL R, PESCHKE A, TYAS M, MJOR I, BAYNE S, PETERS M, HILLER KA, RANDALL R, VANHERLE G, HEINTZE SD. FDI World Dental Federation—Clinical criteria for the evaluation of direct and indirect restorations. Update and clinical examples. *J Adh Dent* 2010;12(4) 259-272.
66. YOSHIDA Y, YOSHIHARA K, NAGAOKA N, HAYAKAWA S, TORII Y, OGAWA T, OSAKA A, VAN MEERBEEK B. Self-assembled Nano-layering at the Adhesive interface. *J Dent Res* 2012;91:376-381.
67. YOSHIHARA K, YOSHIDA Y, HAYAKAWA S, NAGAOKA N, IRIE M, OGAWA T, VAN LANDUYT KL, OSAKA A, SUZUKI K, MINAGI S, VAN MEERBEEK B. Nanolayering of phosphoric acid ester monomer on enamel and dentin. *Acta Biomater* 2011;7:3187-3195.

68. YOSHIHARA K, YOSHIDA Y, NAGAOKA N, FUKEGAWA D, HAYAKAWA S, MINE A, NAKAMURA M, MINAGI S, OSAKA A, SUZUKI K, VAN MEERBEEK B. Nano-controlled molecular interaction at adhesive interfaces for hard tissue reconstruction. *Acta Biomater* 2010;6:3573-3582.
69. OLIVEIRA B, UBALDINI A, BAESSO ML, ANDRADE L, LIMA SM, GIANNINI M. Chemical interaction and interface analysis of self-etch adhesives containing 10-MDP and methacrylamide with the dentin in noncarious cervical lesions. *Oper Dent* 2018;43(5):E253-E265.
70. BABCOCK FD, KING JC, JORDAN TH. The reaction of stannous fluoride and hydroxyapatite. *J Dent Res* 1978;57:933-938.
71. WEI SHY, KAQUELER JC, MASSLER M. Remineralization of carious dentin. *J Dent Res* 1968;47:381- 391.
72. AMSLER F, PEUTZFELDTA, LUSSI A, FLURY S. Long-Term Bond Strength of Self-Etch Adhesives to Normal and Artificially Eroded Dentin: Effect of Relative Humidity and Saliva Contamination. *J Adhes Dent* 2017; 19: 169–176.
73. MA, LUQUE I, HASS V, REIS A, LOGUERCIO AD, BOMBARDA NH. Immediate bonding properties of universal adhesives to dentine. *J Dent* 2013;41:404-411.
74. SATO K, HOSAKA K, TAKAHASHI M, IKEDA M, TIAN F, KOMADA W, NAKA- JIMA M, FOXTON R, NISHITANI Y, PASHLEY DH, TAGAMI J. Dentin bonding durability of two-step self-etch adhesives with improved of degree of conversion of adhesive resins. *J Adhes Dent* 2017;19:31-37.
75. PEUMANS M, DE MUNCK J, VAN LANDUYT KL, POITEVIN A, LAMBRECHTS P, VAN MEERBEEK B. Eight-year clinical evaluation of a 2-step self-etch adhesive with and without selective enamel etching. *Dent Mater* 2010;26:1176-1184.
76. SANTOS MJ, ARI N, STEELE S, COSTELLA J, BANTING D. Retention of tooth-colored restorations in non-carious cervical lesions—a systematic review. *Clin Oral Investig* 2014;18(5):1369–1381.
77. OSBORNE-SMITH KL, BURKE FJ, WILSON NH. The aetiology of the non-carious cervical lesion. *Int Dent J* 1999;49(3):139–143
78. AW TC, LEPE X, JOHNSON GH, MANCL LA. A three-year clinical evaluation of two-bottle versus one-bottle dentin adhesives. *J Am Dent Assoc* 2005;136(3):311–322.
79. PEUMANS M, DE MUNCK J, MINE A, VAN MEERBEEK B. Clinical effectiveness of contemporary adhesives for the restoration of non- carious cervical lesions. A systematic review. *Dent Mater* 2014;30(10): 1089–1103
80. CAN SAY E, YURDAGUVEN H, OZEL E, SOYMAN M. A randomized five-year clinical study of a two-step self-etch adhesive with or without selective enamel etching. *Dent Mater J* 2014;33(6):757–763.
81. REIS A, LOGUERCIO AD. A 36-month clinical evaluation of ethanol/water and acetone-based etch-and-rinse adhesives in non- carious cervical lesions. *Oper Dent* 2009;34(4):384–391.
82. INOUE S, KOSHIRO K, YOSHIDA Y, DE MUNCK J, NAGAKANE K, SUZUKI K. Hydrolytic stability of self-etch adhesives bonded to dentin. *J Dent Res* 2005;84:1160-1164.

83. ERHARDT MC, PISANI-PROENÇA J, OSORIO E, AGUILERA FS, TOLEDANO M, OSORIO R. Influence of laboratory degradation methods and bonding application parameters on microTBS of self-etch adhesives to dentin. *Am J Dent* 2011;24:103-108.
84. VAN MEERBEEK B, YOSHIHARA K, YOSHIDA Y, MINE A, DE MUNCK J, VAN LANDUYT KL. State of the art of self-etch adhesives. *Dent Mater* 2011;27:17-28.
85. MUNOZ MA, SEZINANDO A, LUQUE-MARTINEZ I, SZESZ AL, REIS A, LOGUER-CIO AD, BOMBARDA NH, PERDIGAO J. Influence of a hydrophobic resin coating on the bonding efficacy of three universal adhesives. *J Dent* 2014; 42:595-602.
86. YOSHIHARA K, NAGAOKA N, OKIHARA T, KUROBOSHI M, HAYAKAWA S, MARUO Y, NISHIGAWA G, DE MUNCK J, YOSHIDA Y, VAN MEERBEEK B. Functional monomer impurity affects adhesive performance. *Dent Mater* 2015;31: 1493-1501.
87. TAY FR, PASHLEY DH, SUH BI, CARVALHO RM, ITTHAGARUN A, Single-step adhesives are permeable membranes. *J. Dent.* 30 (2002) 371–382.
88. YOSHIDA Y, YOSHIHARA K, HAYAKAWA S, NAGAOKA N, OKIHARA T, MATSUMOTO T, MINAGI S, OSAKA A, VAN LANDUYT K, VAN MEERBEEK B. HEMA Inhibits Interfacial Nanolayering of the Functional Monomer MDP. *J Dent Res* 2012 Nov;91(11):1060-5.
89. BITTENCOURT D D, EZECELEVSKI IG, REIS A. An 18-months' evaluation of self-etch and etch & rinse adhesive in non-cariou cervical lesions. *Acta Odontol Scand* 2005;63:173–8.
90. KUBO S, KAWASAKI K, YOKOTA H, HAYASHI Y. Five-year clinical evaluation of two adhesive systems in non-cariou cervical lesions. *J Dent* 2006;34:97–105.
91. LIN A, MCINTYRE NS, DAVIDSON RD. Studies on the adhesion of glass-ionomer cements to dentin. *J Dent Res* 1992;71:1836–41.
92. YOSHIDA Y, VAN MEERBEEK B, NAKAYAMA Y. Evidence of chemical bonding at biomaterial-hard tissues interface. *J Dent Res* 2000;79:709–14.
93. MUNOZ M, LUQUE-MARTINEZ I, MALAQUIAS P, HASS V, REIS A, CAMPANHA N, LOGUERCIO AD. In vitro longevity of bonding properties of universal adhesives to dentin. *Operative Dentistry* 2015.40(3) 282-292.
94. PEUMANS M, KANUMILLI P, DE MUNCK J, VAN LANDUYT K, LAMBRECHTS P, VAN MEERBEEK B. Clinical effectiveness of contemporary adhesives: a systematic review of current clinical trials. *Dent Mater.* 2005;21(9):864- 81.
95. SODERHOLM KJ, OTTENGA M, NIMMO S. Four-year clinical evaluation of two self-etching dentin adhesives of different pH values used to restore non-retentive cervical lesions. *Am J Dent* 2013;26(1):28–32
96. TANI C, FINGER WJ. Effect of smear layer thickness on bond strength mediated by three all-in-one self-etching priming adhesives. *J Adhes Dent* 2002;4:283-9.
97. Tay FR, PASHLEY DH. Aggressiveness of contemporary self-etching systems. I: Depth of penetration beyond dentin smear layers. *Dent Mater.* 2001 Jul;17(4):296-308.

98. WANG Y, SPENCER P. Continuing etching of an all-in-one adhesive in wet dentin tubules. *J Dent Res* 2005;84:350-354.
99. YOSHIHARA K. Chapter 4 : Discussion and recommendations for future research. In : Nano-molecular interaction at the adhesive interface with hydroxyapatite and tooth tissue. Ku leuven ; 2014:83-111.
100. BAIL M, MALACARNE-ZANON J, SILVA SM, ANAUATE-NETTO A, NASCIMENTO FD, AMORE R, LEWGOY H, PASHLEY DH, CARRILHO MR. Effect of air-drying on the solvent evaporation, degree of conversion and water sorption/solubility of dental adhesive models. *J Mater Sci Mater Med* 2012;23(3):629–638.
101. PASHLEY DH, CARVALHO RM, TAY FR, AGEE KA, LEE KW. Solvation of dried dentin matrix by water and other polar solvents. *Am J Dent* 2002;15(2):97–102
102. REIS A, LOGUERCIO AD, AZEVEDO CL, DE CARVALHO RM, DA JULIO SM, GRANDE RH. Moisture spectrum of demineralized dentin for adhesive systems with different solvent bases. *J Adhes Dent* 2003;5(3):183–192
103. RUEGGEBERG FA, MARGESON DH. The effect of oxygen inhibition on an unfilled/filled composite system. *J Dent Res* 1990;69(10): 1652–1658.
104. CHO BH, DICKENS SH. Effects of the acetone content of single solution dentin bonding agents on the adhesive layer thickness and the microtensile bond strength. *Dent Mater* 2004;20(2):107–115
105. CHIBA A, ZHOU J, NAKAJIMA M, TAN J, TAGAMI J, SCHEFFEL DL, HEBLING J, AGEE KA, BRESCHI L, GREGOIRE G, JANG SS, TAY FR, PASHLEY DH. The effects of ethanol on the size-exclusion characteristics of type I dentin collagen to adhesive resin monomers. *Acta Biomater* 2016;33:235–241.
106. BURROW MF, TYAS MJ. Clinical evaluation of three adhesive systems for the restoration of non-carious cervical lesions. *Oper Dent* 2007;32(1):11–15.
107. GALLO JR, BURGESS JO, RIPPS AH, WALKER RS, IRELAND EJ, MERCANTE DE, DAVIDSON JM. Three-year clinical evaluation of a compomer and a resin composite as class V filling materials. *Oper Dent* 2005;30(3):275–281
108. LOGUERCIO AD, BITTENCOURT DD, BARATIERI LN, REIS A. A 36- month evaluation of self-etch and etch-and-rinse adhesives in noncarious cervical lesions. *J Am Dent Assoc* 2007;138(4):507–514.
109. SENGÜN A, UNLÜ N, OZER F, OZTURK B. OZTURK B. Bond strength of five current adhesives to caries-affected dentin. *J Oral Rehabil.* 2002 Aug;29(8):777-81.
110. REIS A, CARDOSO PC, VIEIRA LC, BARATIERI LN, GRANDE RH, LOGUERCIO AD. Effect of prolonged application times on the durability of resin- dentin bonds. *Dent Mater.* 2008 May;24(5):639-44.
111. PERDIGAO J, FRANKENBERGER R. Effect of solvent and rewetting time on dentin adhesion. *Quintessence Int* 2001;32(5):385–390

112. REIS AF, OLIVEIRA MT, GIANNINI M, DE GOES MF, RUEGGERBERG FA. The effect of organic solvents on one-bottle adhesives' bond strength to enamel and dentin. *Oper Dent* 2003;28(6):700–706
113. KANCA j. Resin bonding to wet substrate. 1. Bonding to dentin. *Quintessence Int.* 23 (1992) 39–41.
114. GWINNETT AJ. Moist versus dry dentin : its effect on shear bond strength, *Am. J. Dent.* 5 (1992) 127–129.
115. TAY FR, GWINNETT JA, WEI SH. Micromorphological spectrum from overdrying to overwetting acid-conditioned dentin in water-free acetone- based, single-bottle primer/adhesives, *Dent. Mater.* 12 (1996) 236–244.
116. ASHIMOTO M, OHNO H, KAGA M, SANO H, ENDO K, OGUCHI H. The extent to which resin can infiltrate dentin by acetone-based adhesives, *J. Dent. Res.* 81 (2002) 74–78.
117. MACIEL KT, CARVALHO RM, RINGLE RD, PRESTON CD, RUSSELL CM, PASHLEY DH. The effects of acetone, ethanol, HEMA, and air on the stiffness of human decalcified dentin matrix, *J. Dent. Res.* 75 (1996) 1851–1858.
118. PASHLEY DH, TAY FR, CARVALHO RM, RUEGGERBERG FA, AGEE KA, CARRILHO M, DONNELLY A, GARCÍA-GODOY F. From dry bonding to water-wet bonding to ethanol- wet bonding. A review of the interactions between dentin matrix and solvated resins using a macromodel of the hybrid layer, *Am. J. Dent.* 20 (2007) 7–20.
119. DAL-BIANCO K, PELLIZZARO A, PATZLAFT R, DE OLIVEIRA BAUER JR, LOGUERCIO AD. Effects of moisture degree and rubbing action on the immediate resin–dentin bond strength. *Dent. Mater.* 22 (2006) 1150–1156.
120. REIS A, PELLIZZARO A, DAL-BIANCO K, GOMES OM, PATZLAFF R, LOGUERCIO AD. Impact of adhesive application to wet and dry dentin on long-term resin– dentin bond strengths, *Oper. Dent.* 32 (2007) 380–387.
121. ZANDER-GRANDE C, FERREIRA SQ, DA COSTA TR, LOGUERCIO AD, REIS A, Application of etch-and-rinse adhesives on dry and rewet dentin under rubbing action: a 24-month clinical evaluation, *J. Am. Dent. Assoc.* 142 (2011) 828–835.
122. PERDIGAO J, CARMO APR, GERALDELI S. Eighteen-month clinical evaluation of two dentin adhesives applied on dry vs. moist dentin, *J. Adhes. Dent.* 7 (2005) 253–258.
123. VAN MEERBEEK B, PEUMANS M, POITEVIN A, MINE A, VAN ENDE A, NEVES A. Relationship between bond-strength tests and clinical outcomes. *Dent Mater* 2010;26:e100-e121.
124. AIDA M, ODAKI M, FUJITA K, KITAGAWA T, TESHIMA I, SUZUKI K. Degradation-stage effect of self-etching primer on dentin bond durability. *J Dent Res* 2009;88:443-448.
125. MOSZNER N, SALZ U, ZIMMERMANN J. Chemical aspects of self-etching enamel-dentin adhesives: a systematic review. *Dent Mater* 2005;21:895- 910.
126. LI K, WU P, HAN Z. Preparation and surface properties of fluorine- containing diblock copolymers. *Polymer* 2002;43:4079-4086.
127. DROBNY JG. Fluoropolymers in automotive applications. *Polym Adv Technol* 2002;18:117-121.

128. YOSHIHARA K, YOSHIDA Y, HAYAKAWA S, NAGAOKA N, KAMENOUE S, OKI-HARA T, OGAWA T, NAKAMURA M, OSAKA A, VAN MEERBEEK B. Novel fluoro-carbon functional monomer for dental bonding. *J Dent Res* 2014;93:189-194.
129. VAN NOORT R., NOROOZI S., HOWARD IC, CARDEW G. A critique of bond strength measurements. *J Dent* 1989 ; 17 : 61-67.
130. HEINTZE SD, ROUSSON V. Pooling of dentin microtensile bond strength data improves clinical correlation. *J Adhes Dent* 2011 ; 13 : 107-110.
131. PLACIDO E1, MEIRA JB, LIMA RG, MUENCH A, DE SOUZA RM, BALLESTER RY. Shear versus micro-shear bond strength test: a finite element stress analysis. *Dent Mater.* 2007 Sep;23(9):1086-92.

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : le gradient thérapeutique.

Figure 2 : composition générale d'un monomère réticulant ou fonctionnel.

Figure 3 : coupe anatomique d'une molaire saine.

Figure 4 : schéma expliquant le processus de dentinogénèse.

Figure 5 : schéma (a) et vue au microscope électronique (b) illustrant la densité et le diamètre moyen des canalicules dentinaires en fonction des zones de la couronne dentaire.

Figure 6 et 7 : vue au microscope électronique d'une sclérose dentinaire et de précipités de cristallites dans un canalicule dentinaire.

Figure 8 : coupe anatomique d'une molaire sénescence.

Figure 9 : colonisation bactérienne dans les canalicules dentinaires d'une dent cariée.

Figure 10 : coupe anatomique d'une molaire cariée : dentine cariée.

Figure 11 : photo clinique de dentine affectée.

Figure 10 : coupe anatomique d'une molaire cariée : dentine sclérotique.

Figure 12 : sclérose partielle (a) et totale (b) d'un canalicule dentinaire d'une dent cariée vue au microscope électronique.

Figure 10 : coupe anatomique d'une molaire cariée : dentine tertiaire.

Figure 13 : dentine réactionnelle élaborée par les odontoblastes.

Figure 14 et 15 : coupe longitudinale (14) et photographie intra-buccale (15) d'une lésion cervicale abrasive.

Figure 16 et 17 : schéma (16) et vue au microscope électronique (17) d'une lésion cervicale d'usure.

Figure 18 : oblitérations sclérotiques obturant les canalicules dentinaires.

Figure 19 : vue au microscope électronique d'une dentine érodée avec de l'acide citrique (pH=2,3) pendant 120 minutes.

Figure 20 et 21 : vue clinique (20) et coupe anatomique (21) d'une molaire teintée part une restauration à l'amalgame.

Figure 22 : classement en fonction des valeurs d'adhérence (MPa).

Figure 23 : sélection des études en fonction des dentines.

Figure 24 : fréquence des adhésifs universels utilisés dans les articles en fonction du substrat dentinaire.

Figure 25 : fréquences des différents substrats dentinaires étudiés dans les articles.

Figure 26 : principe du test en traction.

Figure 27 : principe du test en cisaillement.

Figure 28 : répartition des tests appliqués dans les 18 articles en fonction du type de dentine.

Figure 29 : analyse du risque de biais.

Figure 30 : comparaison des différents protocoles adhésifs sur dentine affectée AVEC vieillissement et SANS vieillissement.

Figure 31 : comparaison des différents protocoles adhésifs sur dentine sclérotique.

Figure 32 : valeurs moyennes de micro-résistance à la traction et écarts-types sur dentine corrodée (gris) et sur dentine normale (blanc).

Figure 33 : Représentation graphique des modes de défaillance.

Figure 34 : vue au microscope électronique de l'interface entre Clearfil SE Bond (Kuraray) et la dentine.

Figure 35 : application d'un adhésif contenant du MDP sur la dentine (a) et processus de «nano-layering» (b).

Figure 36 : interaction à court et long terme d'une solution de MDP seul (a) ou d'une solution combinée MDP-HEMA (b) avec l'hydroxyapatite (HAp).

Figure 37 : illustration de l'intensité de l'interaction des adhésifs SAM avec la dentine.

Figure 38 : le MF8P.

Figure 39 : interface adhésif / dentine après application du primaire MF8P expérimental.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : résumé des modalités de manipulation des adhésifs ainsi que leurs avantages/inconvénients en fonction de leur stratégie d'adhésion.

Tableau 2 : adhésifs universels par ordre alphabétique de leur fabricant.

Tableau 3 : indications des adhésifs universels retenus.

Tableau 4 : répartition des différents solvants identifiés dans les adhésifs universels retenus.

Tableau 5 : composition et propriétés des principaux solvants identifiés dans les adhésifs universels retenus.

Tableau 6 : répartition des monomères de réticulation identifiés dans les adhésifs universels retenus.

Tableau 7 : composition et propriétés des monomères réticulant identifiés dans les adhésifs universels retenus.

Tableau 8 : répartition des monomères fonctionnels identifiés dans les adhésifs universels retenus.

Tableau 9 : composition et propriétés des monomères fonctionnels identifiés dans les adhésifs universels retenus.

Tableau 10 : pH des adhésifs universels retenus.

Tableau 11 : composition des adhésifs Universel, SAM1 et M&R2 de chez 3M ESPE.

Tableau 12 : publications sur la présence de résidus d'amalgame dans la dentine corrodée.

Tableau 13 : Critères de notation du USPHS pour l'évaluation clinique des restaurations en composite modifiés par Cvar et Ryge.

Tableau 14 : Critères de notation du USPHS pour l'évaluation clinique des restaurations en composite modifiés selon Bittencourt et al.

Tableau 15 : critères FDI utilisés pour l'évaluation clinique.

Tableau 16 : synthèse des études analysées concernant les performances des adhésifs universels sur les différents types de dentine.

Tableau 17 : représentation schématique du risque de biais.

Tableaux 18 et 19 : valeurs de résistance au cisaillement en MPa (moyenne \pm écart type) et faciès de rupture.

Tableau 20 : moyenne \pm écart type de la micro-résistance à la traction (μ TBS) sur une dentine saine et érodée (acide citrique / soda).

Tableau 20 (modifié) : moyenne \pm écart type de la micro-résistance à la traction (μ TBS) sur une dentine saine et érodée (acide citrique / soda): adhésifs sans MDP / adhésifs universels avec MDP.

ANNEXES

Annexe 1

All Bond Universal

- FDS*: https://www.bisco.com/assets/1/22/All_Bond_Universal_SDS_INT_French4.pdf
- Mode d'emploi**: https://www.bisco.com/assets/1/22/All_Bond_Universal_French7.pdf
- Brochure: https://www.bisco.com/assets/1/22/All_Bond_Universal_Brochure2.pdf

One Coat 7.0 Universal

- FDS*: https://msds.coltene.com/portal/data/ca42366b/0/FR-FR/One%20Coat%207%20Universal_2_F-fr.pdf
- Mode d'emploi**: <https://www.coltene.com/pim/DOC/IFU/docifu30003713-12-18-ifu-onecoat7-universal-2sallaindv1.pdf>
- Brochure: <https://www.coltene.com/pim/DOC/BRO/docbro60019682-07-16-fr-oc7-unibrochuresfraindv1.pdf>

DE Bonding Universal

- FDS*: <https://www.megadental.fr/mwdownloads/download/link/id/7473/>
- Mode d'emploi** : non trouvé
- Brochure : non trouvée

Cyberbond Adhesive Universal

- FDS*: <https://www.henryschein.fr/MSDS/MSDS%20992-3672.pdf>
- Mode d'emploi**: non trouvé

Prime and bond Active

- FDS*: https://www.dentsplysirona.com/content/dam/dentsply/pim/manufactureur/Restorative/Direct_Restoration/Adhesives/Universal_Adhesives/PrimeBond_active/Prime%20and%20Bond%20active_MSDS_EN.pdf
- Mode d'emploi**: https://www.dentsply.de/gebrauchsanweisungen?ifufilename=primeandbondactive_IFU.pdf
- Brochure: https://www.dentsplysirona.com/content/dam/dentsply/pim/manufactureur/Restorative/Direct_Restoration/Adhesives/Universal_Adhesives/PrimeBond_active/PrimeBond%20active_Scientific%20Compendium_EN.pdf

Prime and Bond Elect

- FDS*: https://assets.dentsplysirona.com/flagship/en/explore/restorative/prime&bond_elect/PrimeBond%20Elect_MSDS.pdf
- Mode d'emploi**: https://assets.dentsplysirona.com/flagship/en/explore/restorative/prime&bond_elect/PrimeBond%20Elect_DFU.pdf
- Brochure: https://www.dentsplysirona.com/content/dam/flagship/en/explore/restorative/prime&bond_elect/PrimeBond%20Elect_Brochure.pdf

Xeno Select

- FDS*: https://www.dentsplysirona.com/content/dam/dentsply/pim/manufacture/Restorative/Direct_Restoration/Adhesives/Universal_Adhesives/Xeno_Select/Xeno-Select-MSDS-EN-y6v3jts-en-1405.pdf
- Mode d'emploi**: https://www.dentsply.de/gebrauchsanweisungen?ifufilename=XenoSelect_IFU.pdf

Ambar Universal :

- FDS*: <http://www.fgm.ind.br/site/wp-content/uploads/2016/03/MSDS-AMBAR-UNIVERSAL.pdf>
- Mode d'emploi**: <http://www.fgm.ind.br/site/wp-content/uploads/2016/03/Manual-Ambar-Universal.pdf>

G premio Bond

- FDS*: https://cdn.gceurope.com/v1/PID/gpremiobond/sds/SDS_G-Premio_Bond_FR.pdf
- Mode d'emploi**: https://cdn.gceurope.com/v1/PID/gpremiobond/ifu/IFU_G-Premio_BOND_W.pdf
- Brochure: https://cdn.gceurope.com/v1/PID/gpremiobond/leaflet/LFL_G-Premio_BOND_en.pdf

Iperbond Ultra

- FDS*: https://www.itena-clinical.com/fr/index.php?controller=attachment&id_attachment=380
- Mode d'emploi**: https://www.itena-clinical.com/fr/index.php?controller=attachment&id_attachment=286

Adhese Universal

- FDS*: http://downloads.ivoclarvivadent.com/zoology-website/media/document/24041/Adhese+Universal?__hstc=115751897.83a17856afe7776e2d9b4a6d

18ad51bc.1562081891343.1562081891343.1562090640651.2&_hssc=115751897.2.1562090640651&_hsfp=3414826002

- Mode d'emploi** : http://downloads.ivoclarvivadent.com/zoolu-website/media/document/24504/Adhese+Universal?_hstc=115751897.83a17856afe7776e2d9b4a6d18ad51bc.1562081891343.1562081891343.1562081891343.1&_hssc=115751897.8.1562081891344&_hsfp=3414826002
- Brochure: http://downloads.ivoclarvivadent.com/zoolu-website/media/document/24318/Adhese+Universal?_hstc=115751897.b6f402c0dc9a850b30266dedf73ce3b7.1563222135452.1563222135452.1563222135452.1&_hssc=115751897.9.1563222135453&_hsfp=3414826002

Tetric N-Bond Universal

- FDS*, mode d'emploi** et brochure : <https://www.ivoclarvivadent.in/en-in/p/dental-professional/tetric-n-bond-universal>

Optibond eXTRa Universal

- FDS* : <https://www.kerrdental.com/resource-center/optibond-extra-universal-adhesive-safety-data-sheet-sds>
- Mode d'emploi** : <https://www.kerrdental.com/resource-center/optibond-extra-universal-instructions-use-ifu>

Optibond Universal

- FDS* : <https://www.kerrdental.com/resource-center/optibond-universal-united-states>
- Mode d'emploi** : <https://www.kerrdental.com/resource-center/optibond-universal-instructions-use-ifu>
- Brochure: <https://www.kerrdental.com/resource-center/optibond-universal-product-brochure>

GLUMA Bond Universal

- FDS* : [https://msds.kulzer.com/msds/MSDS40823 - GLUMA_Bond_universal_\(CAN\)_3.pdf](https://msds.kulzer.com/msds/MSDS40823 - GLUMA_Bond_universal_(CAN)_3.pdf)
- Mode d'emploi** : https://www.kulzer.com/media/webmedia_local/downloads_new/gluma_5/gluma_bond_universal_1/GBA_GlumaBondUniversal_INT.pdf
- Brochure: https://www.kulzer.com/media/webmedia_local/downloads_new/gluma_5/gluma_universal_1/Gluma_Universal_Factsheet_GB.pdf

IBOND Universal

- FDS* : [http://msds.kulzer.com/msds/MSDS40784 - iBond_Universal_\(F\)_3.pdf](http://msds.kulzer.com/msds/MSDS40784 - iBond_Universal_(F)_3.pdf)

- Mode d'emploi**:
https://www.kulzer.fr/media/webmedia_local/downloads_new/ibond_8/ibond_universal_2/iBond_Universal_GBA.pdf
- Brochure:
https://www.kulzer.fr/media/webmedia_local/downloads_new/ibond_8/ibond_universal_2/iBOND_Universal_Information_Produit_FR_.pdf

Clearfil Universal Bond

- FDS*: <https://www.kuraraynoritake.eu/pub/media/pdfs/clearfil-universal-bond-safety-data-sheet-fr.pdf>
- Mode d'emploi**:
<https://www.kuraraynoritake.eu/pub/media/pdfs/clearfil-universal-bond-instructions-for-use-en-fr-es-it.pdf>
- Brochure: <https://www.kuraraynoritake.eu/pub/media/pdfs/clearfil-universal-bond-brochure-overview-en.pdf>

Clearfil Universal Bond Quick

- FDS*: <https://www.kuraraynoritake.eu/pub/media/pdfs/clearfil-universal-bond-quick-safety-data-sheet-fr.pdf>
- Mode d'emploi**:
<https://www.kuraraynoritake.eu/pub/media/pdfs/clearfil-universal-bond-quick-instructions-for-use-en-fr-es.pdf>
- Brochure: <https://www.kuraraynoritake.eu/pub/media/pdfs/clearfil-universal-bond-quick-brochure-en.pdf>

Universal adhesive

- FDS*: http://www.proclinic-products.com/media/fichas_tecnicas/78564_msds_es_.pdf
- Mode d'emploi**:
http://www.proclinic-products.com/media/fichas_tecnicas/78564_IS.pdf
- Brochure : http://www.proclinic-products.com/media/fichas_tecnicas/78564_ft_es_.pdf

Palfique Universal Bond

- FDS*:
 - o A: http://www.tokuyama-dental.com/tdc/pdf/msds/usa/55CLP_TOKUYAMA%20UNIVERSAL%20BOND%20A_US.pdf
 - o B: http://www.tokuyama-dental.com/tdc/pdf/msds/usa/56CLP_TOKUYAMA%20UNIVERSAL%20BOND%20B_US.pdf
- Mode d'emploi**:
http://www.tokuyama-dental.com/tdc/pdf/instructionmanual/PALFIQUE_UNIVERSAL_BOND_IFU.pdf

Peak Universal Bond

- FDS*: <https://www.ultradent.com/Resources/DownloadSds?url=000%2F820%2F471%2Fagile82047175.pdf&filename=Peak™%20Universal%20Bond%20SDS%20%28English%29>
- Mode d'emploi**: https://assets.ctfassets.net/wfptrcrbtkd0/b3472527-d1bd-429a-b131-fc4929f45940/531952e913921c524cb9d2e55a9c08fa/Peak_Universal_Bond_Peak_SE.pdf

Futurabond M+

- FDS*: https://www.voco.dental/fr/portaldata/1/resources/products/safety-data-sheets/fr/futurabond-m-plus_sds_fr.pdf
- Mode d'emploi**: https://www.voco.dental/fr/portaldata/1/resources/products/instructions-for-use/e1/futurabond-m-plus_ifu_e1.pdf

Futurabond U

- FDS*: https://www.voco.dental/fr/portaldata/1/resources/products/safety-data-sheets/fr/futurabond-u_sds_fr.pdf
- Mode d'emploi**: https://www.voco.dental/fr/portaldata/1/resources/products/instructions-for-use/e1/futurabond-u_ifu_e1.pdf

ScotchBond Universal ou Single Bond Universal

- FDS*: https://multimedia.3m.com/mws/mediawebserver?mwsId=SSSSSuUn_zu8lzgvMY_eNYtUmv7bM17zHvu9lxUb7SSSSSS--
- Mode d'emploi**: <https://multimedia.3m.com/mws/media/1650686O/scotchbond-universal-instructions-for-use-international.pdf>
- Brochure: <http://multimedia.3m.com/mws/media/754751O/scotchbond-universal-adhesive-technical-product-profile.pdf>

*équivalent du Material Safety Data Sheet (MSDS)

**les instructions d'utilisation ci-dessous sont fournies uniquement à des fins d'information. Les seules instructions officielles d'utilisation du produit restent celles dans l'emballage du produit.

Annexe 2

Adhésifs universels	Indications	Compositions chimique	pH
All Bond Universal	<ul style="list-style-type: none"> ❖ <u>Restaurations directes :</u> <ul style="list-style-type: none"> ➤ toutes les restaurations directes (résines composites, ciments verres ionomères modifiés par adjonction de résine, etc...). ➤ désensibilisation. ➤ scellement des surfaces dentaires. ➤ vernis de protection pour les restaurations aux ciments verres ionomères. ➤ reconstitutions corono-radiculaires par Matériau Inséré en Phase Plastique (RMIPP) par tenon endodontique et reconstitutions de moignon. ➤ collage orthodontique. ❖ <u>Restaurations indirectes :</u> <ul style="list-style-type: none"> ➤ toutes les restaurations indirectes (alliages métalliques, céramiques vitreuses, zircone / alumine, etc...). ❖ <u>Réparations :</u> <ul style="list-style-type: none"> ➤ réparations Intra-orales (céramique fracturée, ajout aux restaurations directes, etc...). 	<ul style="list-style-type: none"> • MDP (10-Méthacryloyloxydecyl Dihydrogène phosphate) • HEMA (Méthacrylate 2-hydroxyéthyle) • Bis-GMA (Bisphénol A glycidyl méthacrylate) • Éthanol 	3,1 < pH < 3,2
One Coat 7.0 Universal	<ul style="list-style-type: none"> ❖ <u>Restaurations directes :</u> <ul style="list-style-type: none"> ➤ obturation en technique directe avec des composites ou compomères. ➤ scellement de la dentine. ➤ collage de composite sur céramique, métal, amalgame et composite. ❖ <u>Restaurations indirectes :</u> <ul style="list-style-type: none"> ➤ collage des restaurations indirectes (inlays, onlays, facettes et couronnes) composites ou céramiques. 	<ul style="list-style-type: none"> • MDP • HEMA • UDMA (Uréthane diméthacrylate) • Photoamorceurs • Éthanol • Eau 	2,8
Prime and Bond Active	<ul style="list-style-type: none"> ❖ <u>Restaurations directes :</u> <ul style="list-style-type: none"> ➤ restauration directe en composite et compomères photopolymérisables. ➤ vernis cavitaire pour une restauration à l'amalgame. ➤ désensibilisation de la dentine exposée. ➤ RMIPP par tenon endodontique scellé avec Calibra® Ceram. ➤ RMIPP par tenon endodontique à base de composite à polymérisation duale ou chémopolymérisable en association avec Dentsply Sirona Self Cure 	<ul style="list-style-type: none"> • MDP • PENTA (Dipentaerythritol pentaacrylate phosphate) • Acrylate bi et multifonctionnelle • Bisacrylamide 1 	2,5

	<p>Activator.</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ <u>Restaurations indirectes :</u> <ul style="list-style-type: none"> ➤ restauration indirecte scellée avec Calibra® Ceram. ➤ facette collée avec une résine composite photopolymérisée. ➤ traitement de surface du zirconium, du métal et de matériau composite. ➤ scellement des restaurations indirectes en utilisant un adhésif dual ou résine composite auto-adhésive en association avec Dentsply Sirona Self Cure Activator. ❖ <u>Réparations :</u> <ul style="list-style-type: none"> ➤ réparations de composite, céramique et amalgame. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bisacrylamide 2 • 4-(diméthylamino) benzonitrile • Initiateur • Stabilisateurs • Isopropanol • Eau 	
Prime and Bond Elect	<ul style="list-style-type: none"> ❖ <u>Restaurations directes :</u> <ul style="list-style-type: none"> ➤ restauration directe photopolymérisable en composite et compomère. ➤ vernis de protection des cavités pour amalgame. ➤ RMIPP par pivot endodontique en résine photopolymérisable ou chémopolymérisable / duale avec activateur. ➤ restaurations directes à polymérisation duale ou chémopolymérisable avec un activateur. ❖ <u>Restaurations indirectes :</u> <ul style="list-style-type: none"> ➤ restaurations indirectes en résine photopolymérisable. ➤ facettes, couronnes et bridge en résine à polymérisation duale et chémopolymérisable avec activateur. ❖ <u>Réparations :</u> <ul style="list-style-type: none"> ➤ réparation de céramiques, composites et amalgames. 	<ul style="list-style-type: none"> • PENTA • UDMA • Résines mono, diméthacrylates et triméthacrylates • agents stabilisateurs • Fluorhydrate d'amine de cétyle • oxyde de phosphine organique (photo initiateur) • dicétone • acétone • eau 	2,5
Ambar Universal	<ul style="list-style-type: none"> ❖ <u>Restaurations directes :</u> <ul style="list-style-type: none"> ➤ toutes les classes de restaurations directes avec des composites photopolymérisables. ➤ RMIPP. ❖ <u>Restaurations indirectes :</u> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Cémentation adhésive (avec ciment à base de résine) de pièces prothétiques. ❖ <u>Réparations :</u> <ul style="list-style-type: none"> ➤ réparations adhésives en céramique et composites. 	<ul style="list-style-type: none"> • MDP • HEMA • UDMA • Monomères hydrophiles méthacrylés • Monomères Acides Méthacrylés ultra pure • 4-diméthylamino benzoate d'éthyle • Tensioactifs • Dioxyde de silicium 	2,6<pH <3

		silanisé <ul style="list-style-type: none"> • Camphorquinone (photo-initiateur) • Fluorure de sodium • Éthanol • Eau 	
G premio Bond	<ul style="list-style-type: none"> ❖ <u>Restaurations directes :</u> <ul style="list-style-type: none"> ➤ collage direct des composites et des compomères photopolymérisables à la structure de la dent. ➤ traitement des hypersensibilités dentaires. ➤ collage des matériaux composites à prise duale pour RMIPP. ❖ <u>Restaurations indirectes :</u> <ul style="list-style-type: none"> ➤ scellement (cavités ou piliers) pour restaurations indirectes. ❖ <u>Réparations :</u> <ul style="list-style-type: none"> ➤ réparation en bouche des restaurations composites et des restaurations à base de métal ou à base de zircone / alumine. ➤ réparation en bouche des restaurations céramiques en combinaison avec un silane. 	<ul style="list-style-type: none"> • MDP • 2-hydroxy-1,3 diméthacryloxypropane • diméthacrylates • TPO (oxyde de diphenyl(2,4,6-triméthylbenzoyl) phosphine) photo initiateurs • BHT (2,6-di-tert-butyl-p-crésol) inhibiteur • Acétone 	2,1
Iperbond Ultra	<ul style="list-style-type: none"> ❖ <u>Restaurations directes :</u> <ul style="list-style-type: none"> ➤ collage des composites et compomères à l'émail et à la dentine. ➤ scellement dentinaire. ➤ collage des composites à la céramique, aux composites, au métal et à l'amalgame. ❖ <u>Restaurations indirectes :</u> <ul style="list-style-type: none"> ➤ collage des restaurations céramiques et composites à l'émail et à la dentine. 	<ul style="list-style-type: none"> • HEMA • UDMA • Photo-initiateurs • Oxyde de silicium • Éthanol 	Non révélé
Adhese Universal ou Tetric N-Bond Universal	<ul style="list-style-type: none"> ❖ <u>Restaurations directes :</u> <ul style="list-style-type: none"> ➤ restaurations directes en composites et compomères photopolymérisables. ➤ RMIPP par tenon endodontique à l'aide de composites chémpolymérisable, photopolymérisables et duale. ➤ désensibilisation des zones cervicales hypersensibles. ➤ scellement dentinaire immédiat des dents préparées avant le collage provisoire / définitif des restaurations indirectes. ❖ <u>Restaurations indirectes :</u> 	<ul style="list-style-type: none"> • MDP, MCAP (méthacrylate d'acide phosphorique ester) • HEMA • DMAEMA (méthacrylate de 2-diméthylaminoéthyle) • Bis-GMA • D3MA (1,10-décandiol diméthacrylate) 	2,5

	<ul style="list-style-type: none"> ➤ collage des restaurations indirectes avec des composites de collage photopolymérisables et à polymérisation duale. ❖ <u>Réparations :</u> <ul style="list-style-type: none"> ➤ réparation de restaurations en composite et compomères fracturés. 	<ul style="list-style-type: none"> • Camphorquinone (dl-Quinone camphrée) (Photo-initiateur) • Stabilisant • Dioxyde de silicium • Éthanol • Eau 	
Optibond Universal	<ul style="list-style-type: none"> ❖ <u>Restaurations directes :</u> <ul style="list-style-type: none"> ➤ restaurations en composites et compomères photopolymérisables. ➤ amalgames collés. ➤ RMIPP photopolymérisable ou dual par tenon endodontiques. ➤ technique d'hybridation en temporisation avant pose des restaurations indirectes. ❖ <u>Restaurations indirectes :</u> <ul style="list-style-type: none"> ➤ facettes, inlays, onlays, couronnes et bridges céramiques, composites et métalliques. ➤ primaire des substrats / restaurations métal, céramiques et composites. ❖ <u>Réparations :</u> <ul style="list-style-type: none"> ➤ réparations composites / céramiques / métal. 	<ul style="list-style-type: none"> • OptiBond GPDM Monomère (Glycérol Phosphate Diméthacrylate) • HEMA • GDMA (Glycérol Diméthacrylate) • Acétone • Éthanol • Eau 	Non révélé
GLUMA Bond Universal	<ul style="list-style-type: none"> ❖ <u>Restaurations directes :</u> <ul style="list-style-type: none"> ➤ collage de restaurations directes de toutes les classes de cavités (selon Black) en matériaux composites / compomères à base de méthacrylates photopolymérisables, chémozpolymérisable ou duale. ➤ collage de matériaux de reconstitution coronaire (RMIPP) photopolymérisables, à polymérisation duale ou chémozpolymérisable. ➤ scellement de zones dentaires hypersensibles. ➤ étanchéification de cavités avant des reconstitutions à l'amalgame ou scellement temporaire de restaurations indirectes ➤ collage de matériaux de scellement de sillons (sealants). ❖ <u>Restaurations indirectes :</u> <ul style="list-style-type: none"> ➤ scellement de restaurations indirectes (couronnes, inlays, onlays, facettes) avec des ciments résineux adhésifs photopolymérisables, à polymérisation duale 	<ul style="list-style-type: none"> • MDP • 4-META (4-méthacryloxyéthyl trimellitic acid anhydride) • Acétone • Eau 	1,6 < pH < 1,8

	<p>ou chémpolymérisable.</p> <p>❖ <u>Réparations :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ réparation en bouche de restaurations en composites et compomères, de céramiques cosmétiques, de restaurations toute céramique ou en métal. 		
iBOND Universal	<p>❖ <u>Restaurations directes :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ collage de restaurations directes de toutes les classes de cavités (selon Black) en matériaux composites / compomères à base de méthacrylate photopolymérisables, à polymérisation duale ou chémpolymérisable. ➤ collage de matériaux de reconstitution coronaire (RMIPP) photopolymérisables, à polymérisation duale ou chémpolymérisable. ➤ scellement de zones dentaires hypersensibles. ➤ étanchéification de cavités avant des reconstitutions à l'amalgame ou scellement temporaire de restaurations indirectes ➤ collage de matériaux de scellement de sillons (sealants). <p>❖ <u>Restaurations indirectes :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ scellement de restaurations indirectes (couronnes, inlays, onlays, facettes) avec des ciments résineux adhésifs photopolymérisables, à polymérisation duale ou chémpolymérisable . <p>❖ <u>Réparations :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ réparation en bouche de restaurations en composite et compomère, de céramique cosmétique, de restaurations tout céramique ou en métal. 	<ul style="list-style-type: none"> • MDP • 4-META (4-méthacryloxyethyl trimellitic acid anhydride) • Acétone • Eau 	1,8
Clearfil Universal Bond	<p>❖ <u>Restaurations directes :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ restaurations directes à l'aide d'une résine composite photopolymérisable. ➤ scellements cavitaires pour le prétraitement de restaurations indirectes. ➤ traitement de surfaces exposées de la racine. ➤ traitement de l'hypersensibilité dentaire. ➤ scellement de tenons et reconstitutions coronaires (RMIPP). <p>❖ <u>Restaurations indirectes :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ scellement d'inlays, d'onlays, de couronnes, de bridges et de facettes. <p>❖ <u>Réparations :</u></p>	<ul style="list-style-type: none"> • MDP • HEMA • Bis-GMA • Diméthacrylate aliphatique hydrophile • Silice colloïdale • Agent adhésif au silane • Accélérateurs • Camphoquinone (Photo-Initiateurs) 	2,3

	<ul style="list-style-type: none"> ➤ restauration intra orale de prothèses facturées. 	<ul style="list-style-type: none"> • Éthanol • Eau 	
Clearfil Universal Bond QUICK	<ul style="list-style-type: none"> ❖ <u>Restaurations directes :</u> <ul style="list-style-type: none"> ➤ restaurations directes à l'aide d'une résine composite photopolymérisable. ➤ scellements cavitaires pour le prétraitement de restaurations indirectes. ➤ traitement de surfaces exposées de la racine. ➤ traitement de l'hypersensibilité dentaire ➤ scellement de tenons et reconstitutions coronaires (RMIPP). ❖ <u>Restaurations indirectes:</u> <ul style="list-style-type: none"> ➤ scellement de restaurations indirectes. ❖ <u>Réparations:</u> <ul style="list-style-type: none"> ➤ restauration intra orale de prothèses fracturées. 	<ul style="list-style-type: none"> • MDP • HEMA • Bis-GMA • Monomères amides hydrophiles • Silice colloïdale • Agent adhésif au silane • NaF (Fluorure de sodium) (facteur de coupleur silane) • Camphorquinone • Éthanol • Eau 	2,3
Universal Adhesive	<ul style="list-style-type: none"> ❖ <u>Restaurations directes :</u> <ul style="list-style-type: none"> ➤ restaurations directe en composite et compomères photopolymérisable. ➤ reconstitutions de moignons en technique directe à l'aide de composites chémpolymérisable, photopolymérisables et à polymérisation duale (RMIPP). ➤ réparation de restaurations en composite et compomère fracturés photopolymérisables et à polymérisation duale. ➤ scellement dentinaire immédiat des dents préparées. ➤ désensibilisation des zones cervicales hypersensibles. ❖ <u>Restaurations indirectes :</u> <ul style="list-style-type: none"> ➤ collage des restaurations indirectes avec des composites de collage. 	<ul style="list-style-type: none"> • HEMA • MDP • Méthacrylate modifié • Photo-amorceur • Stabilisateurs • Éthanol • Eau 	2<pH< 3
Futurabond M+	<ul style="list-style-type: none"> ❖ <u>Restaurations directes :</u> <ul style="list-style-type: none"> ➤ adhésif pour les restaurations directes de toutes les classes de cavités avec des matériaux composites / compomères / Ormocer® photopolymérisables ou composites de fixation duale ou chémpolymérisable (en combinaison avec Futurabond M+ DCA). ➤ RMIPP par tenon radiculaire à base de matériaux composites photopolymérisables ou composites de 	<ul style="list-style-type: none"> • HEMA • UDMA • Bis-GMA • Monomère adhésif acidifié • Catalyseur • Ethanol 	2,3

	<p>fixation duale ou chémo-polymérisable (en combinaison avec Futurabond M+ DCA).</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ traitement de collets hypersensibles. ➤ vernis protecteur pour obturations à base de ciment verre ionomères. ➤ scellement de cavités avant les restaurations en amalgame. ➤ scellement de cavités et de préparations de moignons avant le scellement provisoire de restaurations indirectes. <p>❖ <u>Restaurations indirectes :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ adhésif pour les restaurations indirectes avec composites de fixation photopolymérisables ou composites de fixation duale chémo-polymérisable (en combinaison avec Futurabond M+ DCA). <p>❖ <u>Réparations :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ réparation intra-buccale d'obturations à base de composite, de compomère ou d'Ormocer®, de revêtements en céramique et de restaurations tout-céramique sans primer supplémentaire. 		
<p>ScotchBond Universal ou Single Bond Universal</p>	<p>❖ <u>Restaurations directes :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ tout type d'obturations réalisées avec des matériaux d'obturation composites ou compomères photopolymérisables. ➤ vernis protecteur pour les obturations à base de verre ionomère. ➤ collage de sealants. ➤ scellement par hybridation des cavités avant le collage des restaurations en amalgame et scellement provisoire des restaurations indirectes. ➤ désensibilisation dentaire ➤ RMIPP en composite photopolymérisable ou de matériaux pour reconstitution de moignons à prise duale ou chémo-polymérisables en combinaison avec ScotchBond Universal DCA. <p>❖ <u>Restaurations indirectes :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ collage de restaurations indirectes (inlay, onlay, facettes) en combinaison avec Relyx Veneer Cement pour les facettes et Relyx Ultimate pour les inlays et onlays. <p>❖ <u>Réparations :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ réparation d'obturations directes composites ou 	<ul style="list-style-type: none"> • MDP • HEMA • Vitrebond copolymère (copolymère d'acide polyalkénoïque modifié par du méthacrylate) • Bis-GMA • 2-diméthyl-aminoéthyl méthacrylate • P205 • Bornane-2, 3-dione • Acide de 2-propénoïque, 2-méthyle • Acide propène-2-oïque, méthyl-2, ester de (triméthoxysilyl)-3-propyle • ODMAB (4-Diméthylaminobenzoat 	<p>2,7</p>

	<p>compomères.</p> <p>➤ réparation intra-buccale de restaurations indirectes composite, céramo-métallique et céramiques.</p>	<p>e d'éthyle) co-initiateur</p> <ul style="list-style-type: none"> • Camphorquinone (photo-initiateur) • BHT (inhibiteur) • Silane • Éthanol • Eau 	
--	--	--	--

Annexe 3

PubMed :

❖ Dentine sclérotique:

((((((((((((((((((((((ambar universal) OR universal bond) OR gluma bond universal) OR tetric n bond universal) OR scotchbond universal) OR all bond universal) OR one coat 7 universal) OR prime and bond active) OR prime&bond active) OR prime and bond elect) OR prime&bond elect) OR g premio bond) OR iperbond ultra) OR adhese universal) OR optibond universal) OR ibond universal) OR clearfil universal bond) OR clearfil universal bond quick) OR universal adhesive) OR futurabond m+) OR single bond) AND (((((((sclerotic dentin[Title/Abstract]) OR hypermineralized dentin*[Title/Abstract]) OR noncarious cervical lesion*[Title/Abstract]) OR non carious cervical lesion*[Title/Abstract]) OR NCCL[Title/Abstract]) OR NCCLs[Title/Abstract]) OR dentine sclérotique[Title/Abstract])

❖ Dentine affectée:

((((((((((((((((((((((ambar universal) OR universal bond) OR gluma bond universal) OR tetric n bond universal) OR scotchbond universal) OR all bond universal) OR one coat 7 universal) OR prime and bond active) OR prime&bond active) OR prime and bond elect) OR prime&bond elect) OR g premio bond) OR hyperbond ultra) OR adhese universal) OR optibond universal) OR ibond universal) OR clearfil universal bond) OR clearfil universal bond quick) OR universal adhesive) OR futurabond m) OR single bond) AND (((((affected dentin*[Title/Abstract]) OR carious dentin*[Title/Abstract]) OR caries dentin*[Title/Abstract]) OR dentine affectée*[Title/Abstract])

❖ Dentine érodée:

((((((((((((((((((((((ambar universal) OR universal bond) OR gluma bond universal) OR tetric n bond universal) OR scotchbond universal) OR all bond universal) OR one coat 7 universal) OR (prime and bond active)) OR prime&bond active) OR (prime and bond elect)) OR prime&bond elect) OR g premio bond) OR iperbond ultra) OR adhese universal) OR optibond universal) OR ibond universal) OR clearfil universal bond) OR clearfil universal bond quick) OR universal adhesive) OR futurabond m+) OR single bond) AND (((((eroded dentin*[Title/Abstract]) OR eroded tooth[Title/Abstract]) OR erosion[Title/Abstract]) OR erosive[Title/Abstract]) OR dentine érodée[Title/Abstract])

❖ Dentine oxydée sous l'amalgame

((((((((((((((((((((((ambar universal) OR universal bond) OR gluma bond universal) OR tetric n bond universal) OR scotchbond universal) OR all bond universal) OR one coat 7 universal) OR prime and bond active) OR prime&bond active) OR prime and bond elect) OR prime&bond elect) OR g premio bond) OR iperbond ultra) OR adhese universal) OR optibond universal) OR ibond universal) OR clearfil universal bond) OR clearfil universal bond quick) OR universal adhesive) OR futurabond m+) OR single bond) AND (((stain* dentin*[Title/Abstract]) OR amalgam[Title/Abstract]) OR corrosion dentin* [Title/Abstract]) OR discolored dentin*[Title/Abstract])

MEDLINE®, Web of Science Core Collection, Current Contents Connect, SciELO Citation Index, KCI-Korean Journal Database, Russian Science Citation Index:

❖ Dentine sclérotique:

(TS=(ambar universal) OR TS=(gluma bond universal) OR TS=(tetric n bond universal) OR TS=(universal adhesive) OR TS=(single bond) OR TS=(futurabond m+) OR TS=(universal bond) OR TS=(scotchbond universal) OR TS=(all bond universal) OR TS=(one coat 7 universal) OR TS=(prime and bond active) OR TS=(prime and bond elect) OR TS=(prime&bond active) OR TS=(prime&bond elect) OR TS=(g premio bond) OR TS=(adhese universal) OR TS=(optibond universal) OR TS=(ibond universal) OR TS=(clearfil universal bond) OR TS=(clearfil universal bond quick)) AND (TI=(sclerotic dentin*) OR TI=(hypermineralized dentin*) OR TI=(noncarious cervical lesion*) OR TI=(non carious cervical lesion*) OR TI=(NCCLs) OR TS=(NCCL) OR TI=(dentine sclérotique))

❖ Dentine affectée:

(TS=(ambar universal) OR TS=(gluma bond universal) OR TS=(tetric n bond universal) OR TS=(universal adhesive) OR TS=(single bond) OR TS=(futurabond m+) OR TS=(universal bond) OR TS=(scotchbond universal) OR TS=(all bond universal) OR TS=(one coat 7 universal) OR TS=(prime and bond active) OR TS=(prime and bond elect) OR TS=(prime&bond active) OR TS=(prime&bond elect) OR TS=(g premio bond) OR TS=(adhese universal) OR TS=(optibond universal) OR TS=(ibond universal) OR TS=(clearfil universal bond) OR TS=(clearfil universal bond quick)) AND (TI=(affected dentin*) OR TI=(carious dentin*) OR TI=(caries dentin*) OR TI=(dentine affectée*))

❖ Dentine érodée :

(TS=(ambar universal) OR TS=(gluma bond universal) OR TS=(tetric n bond universal) OR TS=(universal adhesive) OR TS=(single bond) OR TS=(futurabond m+) OR TS=(universal bond) OR TS=(scotchbond universal) OR TS=(all bond universal) OR TS=(one coat 7 universal) OR TS=(prime and bond active) OR TS=(prime and bond elect) OR TS=(prime&bond active) OR TS=(prime&bond elect) OR TS=(g premio bond) OR TS=(adhese universal) OR TS=(optibond universal) OR TS=(ibond universal) OR TS=(clearfil universal bond) OR TS=(clearfil universal bond quick)) AND (TI=(eroded dentin*) OR TI=(eroded tooth) OR TI=(erosion) OR TI=(dentine érodée) OR TI=(erosive))

❖ Dentine oxydée sous l'amalgame :

(TS=(ambar universal) OR TS=(gluma bond universal) OR TS=(tetric n bond universal) OR TS=(universal adhesive) OR TS=(single bond) OR TS=(futurabond m+) OR TS=(universal bond) OR TS=(scotchbond universal) OR TS=(all bond universal) OR TS=(one coat 7 universal) OR TS=(prime and bond active) OR TS=(prime and bond elect) OR TS=(prime&bond active) OR TS=(prime&bond elect) OR TS=(g premio bond) OR TS=(adhese universal) OR TS=(optibond universal) OR TS=(ibond universal) OR TS=(clearfil universal bond) OR TS=(clearfil universal

bond quick)) AND (TI=(amalgam) OR TI=(stain* dentin*) OR TI=(discolored dentin*) OR TI=(corrosion dentin*))

Cochrane library

❖ Dentine sclérotique :

((ambar universal) OR (gluma bond universal) OR (tetric n bond universal) OR (universal adhesive) OR (single bond) OR (futurabond m) OR (universal bond) OR (scotchbond universal) OR (all bond universal) OR (one coat 7 universal) OR (prime and bond active) OR (prime and bond elect) OR (g premio bond) OR (adhese universal) OR (optibond universal) OR (ibond universal) OR (clearfil universal bond) OR (clearfil universal bond quick)) AND ((sclerotic dentin*):ti,ab,kw OR (hypermineralized dentin*):ti,ab,kw OR (noncarious cervical lesion*):ti,ab,kw OR (non carious cervical lesion*):ti,ab,kw OR (NCCLs):ti,ab,kw OR (NCCL):ti,ab,kw OR (dentine sclérotique):ti,ab,kw)

❖ Dentine affectée :

((ambar universal) OR (gluma bond universal) OR (tetric n bond universal) OR (universal adhesive) OR (single bond) OR (futurabond m) OR (universal bond) OR (scotchbond universal) OR (all bond universal) OR (one coat 7 universal) OR (prime and bond active) OR (prime and bond elect) OR (g premio bond) OR (adhese universal) OR (optibond universal) OR (ibond universal) OR (clearfil universal bond) OR (clearfil universal bond quick)) AND ((affected dentin*):ti,ab,kw OR (cariou dentin*):ti,ab,kw OR (caries dentin*):ti,ab,kw OR (dentine affectée*):ti,ab,kw OR (dentine affectée*):ti,ab,kw)

❖ Dentine érodée :

((ambar universal) OR (gluma bond universal) OR (tetric n bond universal) OR (universal adhesive) OR (single bond) OR (futurabond m) OR (universal bond) OR (scotchbond universal) OR (all bond universal) OR (one coat 7 universal) OR (prime and bond active) OR (prime and bond elect) OR (g premio bond) OR (adhese universal) OR (optibond universal) OR (ibond universal) OR (clearfil universal bond) OR (clearfil universal bond quick)) AND ((eroded dentin*):ti,ab,kw OR (eroded tooth):ti,ab,kw OR (erosion):ti,ab,kw OR (dentine érodée):ti,ab,kw OR (erosive):ti,ab,kw)

❖ Dentine oxydée sous amalgame :

((ambar universal) OR (gluma bond universal) OR (tetric n bond universal) OR (universal adhesive) OR (single bond) OR (futurabond m) OR (universal bond) OR (scotchbond universal) OR (all bond universal) OR (one coat 7 universal) OR (prime and bond active) OR (prime and bond elect) OR (g premio bond) OR (adhese universal) OR (optibond universal) OR (ibond universal) OR (clearfil universal bond) OR (clearfil universal bond quick)) AND ((amalgam):ti,ab,kw OR (stain* dentin*):ti,ab,kw OR (discolored dentin*):ti,ab,kw OR (corrosion dentin*):ti,ab,kw)

Concernant les recherches sur Google Scholar, l'impossibilité de faire des équations de recherche nous a forcé à faire plusieurs petites recherches afin d'obtenir approximativement le même résultat qu'avec une équation :

- ❖ Dentine sclérotique : « allintitle: bond sclerotic dentin », « allintitle: bond sclerotic dentine », « allintitle: adhesive sclerotic dentin », « allintitle: adhesive sclerotic dentine », « allintitle: bond NCCL dentin », « allintitle: bond NCCL dentine », « allintitle: adhesive NCCL dentine », « allintitle: adhesive NCCL dentin », « allintitle: bond non carious dentin », « allintitle: bond non carious dentine », « allintitle: adhesive non carious dentine », « allintitle: adhésive non carious dentin », « allintitle: bond noncarious dentin », « allintitle: bond noncarious dentine », « allintitle: adhesive noncarious dentine », « allintitle: adhésive noncarious dentin », « allintitle: bond hypermineralized dentin », « allintitle: bond hypermineralized dentine », « allintitle: adhesive hypermineralized dentine », et enfin, « allintitle: adhésive hypermineralized dentin ».
- ❖ Dentine affectée : « allintitle: bond affected dentin », « allintitle: bond affected dentine », « allintitle: adhesive affected dentin », « allintitle: adhesive affected dentine », « allintitle: bond carious dentin », « allintitle: bond carious dentine », « allintitle: adhesive carious dentine », et enfin, « allintitle: adhesive carious dentin ».
- ❖ Dentine érodée : « allintitle: bond eroded dentin », « allintitle: bond eroded dentine », « allintitle: adhesive eroded dentin », « allintitle: adhesive eroded dentine », « allintitle: bond eroded tooth », « allintitle: adhesive eroded tooth », et enfin, « allintitle: adhesive erosion », « allintitle: bond erosion ».
- ❖ Dentine oxydée sous amalgame : : « allintitle: bond amalgam dentin », « allintitle: bond amalgam dentine », « allintitle: adhesive amalgam dentin », « allintitle: adhesive amalgam dentine », « allintitle: bond stained dentin », « allintitle: bond stained dentine », « allintitle: adhesive stained dentine », « allintitle: adhesive stained dentin », « allintitle: bond discolored dentin », « allintitle: bond discolored dentine », « allintitle: adhesive discolored dentine », et enfin, « allintitle: adhésive discolored dentin ».

Annexe 4

N°	Auteurs	Titre	Reference	Objectifs
1	N SHADMAN, S FARZIN-EBRAHIMI, E MORRTAZAVI-LAHIJANI, A GHADERI	Shear bond strength of different adhesive systems to normal and caries-affected dentin.	J Adhes Dent. 2012 Jun ; 14(3) : 245-50.	Evaluer la force de liaison en cisaillement de différents systèmes adhésifs sur une dentine normale (ND) et une dentine affectée par la carie (CAD) sur les dents permanentes.
2	MÜLLER C, DA ROSA GC, TEIXEIRA GS, KREJCI I, BORTOLOTTO T, SUSIN AH.	Effect of caries-affected dentin on one-step universal and multi-step etch-and-rinse adhesives' bond strength.	Rev Odontol UNESP. 2017 Sept-Oct ; 46(5) : 273-277.	Evaluation de l'influence d'une dentine affectée sur les performances d'un adhesive universel et d'un adhesive M&R.
3	NICOLOSO GF, ANTONIAZZI BF, LENZI TL, SOARES FZM, DE OLIVEIRA ROCHA R.	The bonding performance of a universal adhesive to artificially-created caries-affected dentin.	J Adhes Dent 2017 ; 19 : 317-321.	Évaluer les performances de collage d'un adhésif universel sur une dentine saine et sur une dentine artificiellement affectée comparé à des adhésifs SAM et M&R.
4	DE LIMA JFM, 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 Oct-Dec ; 12(4) : 553-558.	Evaluer l'effet du mode d'adhésion et de la Chlorhexidine sur la résistance mécanique d'un adhésif universel à des dentines saines et affectées.
5	ÇAKIR NN et DEMIRBUGA S.	The effect of five different universal adhesives on the clinical success of class I restorations: 24-month clinical follow-up.	Clin Oral Investig. 2019 Jun ; 23(6) : 2767-2776.	Evaluer la performance clinique sur 24 mois des adhésifs universels sur la restauration de lésions carieuses de classe I.
6	NICOLOSO GF, ANTONIAZZI BF, LENZI TL, SOARES FZM, DE OLIVEIRA ROCHA R.	Is there a best protocol to optimize bond strength of a universal adhesive to artificially induced caries-affected primary or permanent dentin?	J Adhes Dent. 2016 ; 18(5) : 441-446.	Déterminer le meilleur protocole d'un adhésif universel pour optimiser la force de liaison à la dentine affectée pour les dents lactéales et permanente.
7	LAWSON NC, ROBLES A, FU CC, LIN CP, SAWLANI K, BURGESS JO.	Two-year clinical trial of a universal adhesive in total-etch and self-etch mode in non-carious cervical lesions.	J Dent 43 (2015) 1229-1234.	Evaluation des performances clinique de SBU selon les protocoles SAM ou M&R à celles de ScotchBond Multi-Purpose Adhesive sur des lésions cervicales non carieuses de classe V.

N°	Auteurs	Titre	Reference	Objectifs
8	ZANATTA RF, SILVA TM, ESPER MALR, BRESCIANI E, GONÇALVES SEP, CANEPPELE TMF.	Bonding performance of simplified adhesive systems in noncarious cervical lesions at 2-year follow-up: a double-blind randomized clinical trial.	Op Dent, 2019, 44(5) : 476-487.	Évaluer les performances de collage d'un adhésif universel utilisé selon les protocoles SAM ou M&R dans les lésions cervicales non carieuses (NCCL) puis les comparer aux techniques de référence respectives.
9	OZ FD, ERGIN E, CANATAN S.	Twenty-four-month clinical performance of different universal adhesives in etch-and-rinse, selective etching and self-etch application modes in NCCL-a randomized controlled clinical trial.	J Appl Oral Sci. 2019 ; 27.	Évaluer les performances de deux adhésifs universels selon les protocoles d'auto mordançant ou de mordantage-rinçage comparé à un adhesive mordantage rinçage pour la restauration de lésions cervicales non carieuses (NCCL).
10	PERDIGAO J, KOSE C, MENA-SERRANO AP, DE PAULA E, TAY Y, REIS A, LOGUERCIO AD.	A new universal simplified adhesive: 18-Month clinical evaluation.	Oper Dent, 2014, 39-2, 113-127.	Évaluer les performances de SBU après 18 mois d'étude clinique dans des lésions cervicales non carieuse (NCCL) selon les critères d'évaluation FDI et USPHS.
11	OZ FD, KUTUK ZB, OZTURK C, SOLEIMANI R, GURGAN S.	A 18-month clinical evaluation of three different universal adhesives used with a universal flowable composite resin in the restoration of non-carious cervical lesions.	Clin Oral Investig. 2019 Mar ;23 (3) : 1443-1452.	Évaluer et comparer les performances de trois différents adhésifs universels en utilisant une résine composite « flow » pour la restauration de lésions cervicales non carieuses (NCCL) sur une période de 18 mois.
12	LOGUERCIO AD, LUQUE-MARTINEZ I, FUENTES S, REIS A, MUNOZ M.	Effect of dentin roughness on the adhesive performance in non-carious cervical lesions: A double-blind randomized clinical trial.	J Dent. 2018 Feb;69:60-69.	Évaluer l'influence de la rugosité de la dentine sur le comportement clinique d'un nouvel adhésif universel selon les protocoles SAM et M&R comparé à un adhesive M&R, pour la restauration de lésions cervicales non carieuses (NCCLs).
13	RUSCHEL VC, SHIBATA S, STOLF SC, CHUNG Y, BARATIERI N, HEYMANN HO, WALTER R.	Eighteen-month clinical study of universal adhesives in noncarious cervical lesions.	Oper Dent, 2018, 43-3, 241-249.	Évaluer les performances cliniques de SBU et PBE dans la restauration de lésions cervicales non carieuses (NCCLs).

N°	Auteurs	Titre	Reference	Objectifs
14	LOGUERCIO AD, DE PAULA E, HASS V, LUQUE-MARTINEZ I, REIS A, PERDIGAO J.	A new universal simplified adhesive: 36-Month randomized double-blind clinical trial.	J Dent. 2015 Sep;43(9):1083-1092.	Évaluer la performance clinique sur 36 mois de l'adhésif SBU dans les lésions cervicales non carieuses (NCCL) selon les critères d'évaluation de l'USPHS et de la FDI
15	MENA-SERRANO AP, KOSE C, DE PAULA E, TAY Y, REIS A, LOGUERCIO AD, PERDIGAO J.	A new universal simplified adhesive: 6 month clinical evaluation.	J Esthet Restor Dent. 2013 Feb ; 25 (1) : 55–69 .	Évaluer la performance clinique sur 6 mois de l'adhésif SBU dans les lésions cervicales non carieuses (NCCL) selon les critères d'évaluation de l'USPHS et de la FDI
16	AMSLER F, PEUTZFELDTA, LUSSI A, FLURY S.	Long-term bond strength of self-etch adhesives to normal and artificially eroded dentin: effect of relative humidity and saliva contamination.	J Adhes Dent 2017; 19: 169–176.	Etudier les effets de l'humidité et de la contamination salivaire sur la résistance à court et à long terme de deux adhésifs SAM à la dentine normale et érodée artificiellement.
17	SIQUEIRA FSF, CARDENAS AM, OCAMPO JB, HASS V, BANDECA MC, GOMES JC, REIS A, LOGUERCIO AD.	Bonding performance of universal adhesives to eroded dentin.	J Adhes Dent 2018; 20: 121–132.	Évaluer la micro-résistance à la traction (μ TBS) et le « nanoleakage » (NL) de plusieurs adhésifs universels sur dentine érodée (acide citrique ou soda), selon les protocoles SAM ou M&R.
18	SCHOLTANUS JD, KLEVERLAAN CJ, FEILZER AJ.	Microtensile bond strength to amalgam-stained dentin using different adhesive strategies.	To be submitted.	Déterminer la micro-résistance à la traction de quatre stratégies adhésives différentes sur la dentine corrodée par l'amalgame.

Annexe 5

Résumé des tendances concernant les résultats des études en fonction de la présence d'un adhésifs témoins ou non et, après vieillissement ou non. Les cases grisées signifient qu'aucun article n'est concerné (par exemple : aucun article ne traite de l'adhésion sur dentine corrodée après vieillissement).

SANS vieillissement/ TC		AVEC adhésif témoin	SANS adhésif témoin	
Dentine affectée	En faveur du système adhésif	M&R	3	
		SAM	3	
	En défaveur du système adhésif	M&R	0	
		SAM	0	
Dentine sclérotique	En faveur du système adhésif	M&R		1
		SAM		1
	En défaveur du système adhésif	M&R		0
		SAM		0
Dentine érodée				
Dentine corrodée	En faveur du système adhésif	M&R	1	
		SAM	1	
	En défaveur du système adhésif	M&R	0	
		SAM	0	

Source : auteur 2019

APRÈS vieillissement/ TC		AVEC adhésif témoin	SANS adhésif témoin	
Dentine affectée	En faveur du système adhésif	M&R	1	1
		SAM	1	1
	En défaveur du système adhésif	M&R ou SAM : 0		
Dentine sclérotique	En faveur du système adhésif	M&R	3	5
		SAM	2	4
	En défaveur du système adhésif	M&R	0	0
		SAM	1	0
Dentine érodée	En faveur du système adhésif	M&R		
		SAM	1	
	En défaveur du système adhésif	M&R		
		SAM	0	
Dentine corrodée				

Source : auteur 2019

Serment d'Hippocrate

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

Je promets et je jure, au nom de l'Être Suprême, d'être fidèle aux lois de l'Honneur et de la probité dans l'exercice de La Médecine Dentaire.

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

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

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

Je garderai le respect absolu de la vie humaine dès sa conception.

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

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

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

Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères si j'y manque.

Approbation – Improbation

Les opinions émises par les dissertations présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, sans aucune approbation ou improbation de la Faculté de Chirurgie Dentaire (1).

Lu et approuvé,

Vu,
Nice, le

Le Président du jury,

Le Doyen de la Faculté de
Chirurgie Dentaire de l'UNS

Professeur Laurence LUPI

Professeur Laurence LUPI

(1) Les exemplaires destinés à la bibliothèque doivent être obligatoirement signés par le Doyen et par le Président du Jury.

REVUE DE LA LITTÉRATURE SUR LES PERFORMANCES DES ADHÉSIFS UNIVERSELS
SUR LES DENTINES MODIFIÉES

Thèse : Chirurgie Dentaire, Nice, 2019, n°42-57-19-45

Directeur de thèse : Pr BRULAT-BOUCHARD Nathalie

Mots-clés : adhésifs universels – collage – dentine – sclérotique – affectée – érodée – corrodée – MDP

Résumé :

En parallèle du défi que représente le collage sur la dentine en terme de performance et de reproductibilité, on observe une forte demande des praticiens pour rendre ces procédures adhésives plus simples et plus rapides. C'est dans ce contexte que les adhésifs multimodaux, aussi appelés universels, ont vu le jour. Ils sont présentés comme permettant l'adhésion à différents substrats, dentaires ou prothétiques, tout en garantissant des résultats cliniques satisfaisants. Cependant, l'indécision quant à la véracité des promesses des fabricants en terme de performances et de vieillissement nous conduit à évaluer leur fiabilité concernant le collage sur les différents substrats dentinaires modifiés (affectée, sclérotique, érodée et corrodée par une ancienne restauration amalgame).

Dans un premier temps, une description des adhésifs universels et ainsi que des défis que représente le collage sur ces dentines modifiés est effectuée. Une revue de la littérature est ensuite proposée afin d'étudier les performances de cette nouvelle catégorie de système adhésif sur les différentes dentines modifiées.