



HAL
open science

L'utilisation des adhésifs universels dans l'omnipratique

Paul Noudeau

► **To cite this version:**

Paul Noudeau. L'utilisation des adhésifs universels dans l'omnipratique. Chirurgie. 2020. dumas-02978655

HAL Id: dumas-02978655

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02978655v1>

Submitted on 26 Oct 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.



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

THESE

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

Présentée et publiquement soutenue devant la

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

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

L'utilisation des adhésifs universels dans l'omnipratique

Présentée par

NOUDEAU Paul

Né le 05 mai 1993

A Miramas

Thèse soutenue le **Lundi 02 mars 2020**

Devant le jury composé de

Président : Professeur RUQUET Michel

Assesseurs : Docteur JACQUOT Bruno

Docteur GIRAUD Thomas

Docteur BALLESTER Benoît

THESE

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

Présentée et publiquement soutenue devant la

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

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

L'utilisation des adhésifs universels dans l'omnipratique

Présentée par

NOUDEAU Paul

Né le 05 mai 1993

A Miramas

Thèse soutenue le **Lundi 02 mars 2020**

Devant le jury composé de

Président : Professeur RUQUET Michel

Assesseurs : Docteur JACQUOT Bruno

Docteur GIRAUD Thomas

Docteur BALLESTER Benoît

ADMINISTRATION

Mise à jour : mars 2020

Doyens Honoraires

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

Doyen Assesseurs

Professeur	Bruno FOTI
Professeur	Michel RUQUET
Professeur	Anne RASKIN

Directeurs de Départements

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

Charges de missions

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

Responsable des Services Administratifs et Techniques

Madame	Katia LEONI
--------	-------------

LISTE DES ENSEIGNANTS

PROFESSEURS DES UNIVERSITES – PRATICIENS HOSPITALIERS DES CSERD

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

PROFESSEUR DES UNIVERSITES

ABOUT Imad ⁽⁶⁵⁾

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES – PRATICIENS HOSPITALIERS DES CSERD

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

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES ASSOCIES

BLANCHET Isabelle ⁽⁵⁶⁻⁰¹⁾
MENSE Chloé ⁽⁵⁸⁻⁰¹⁾

ASSISTANTS HOSPITALIERS ET UNIVERSITAIRES

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

ASSISTANTS DES UNIVERSITES ASSOCIES

HOUVENAEGHEL Brice (57-01)
LE FOURNIS Chloé (57-01)

Intitulés des sections CNU :

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

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

À Monsieur le Président du Jury,

Monsieur le Professeur Michel Ruquet,

Je vous remercie de l'honneur que vous me faites de présider ce Jury de thèse.

Je souhaite vous adresser l'expression de ma reconnaissance et de mon estime. Le professeur bienveillant et enthousiaste que vous êtes, a été pour moi source d'admiration.

Je suis heureux d'avoir partagé ces nombreuses années d'études avec vous.

Que ce travail soit le témoignage de ma reconnaissance et de mon plus profond respect.

À Monsieur le Directeur de thèse,

Monsieur le Docteur Bruno Jacquot,

Je vous remercie tout d'abord d'avoir accepté la direction de cette thèse. Je tiens à vous adresser mes sincères remerciements pour votre grande disponibilité et votre soutien tout au long ce travail. Sans vous, cette thèse n'aurait pas pu aboutir. Mon regret est de ne pas avoir davantage travaillé avec vous en clinique.

J'espère que ces quelques lignes seront à la hauteur de l'estime et de la gratitude que je souhaite vous témoigner.

À Monsieur le Docteur Thomas Giraud,

Merci de m'avoir fait l'honneur d'accepter de siéger dans ce jury de thèse. Je vous remercie très sincèrement pour la qualité de votre enseignement tout au long de mes études.

Veillez accepter l'expression de mon profond respect.

À Monsieur le Docteur Benoît Ballester,

Merci de m'avoir fait l'honneur d'accepter spontanément de faire partie de ce jury.
Merci pour votre disponibilité et votre implication tout au long de mon parcours.
Veuillez trouver dans cette thèse l'expression de toute mon estime et de ma gratitude.

Sommaire

1] Mécanismes de l'adhésion	1
1.1 Introduction	1
1.2 Substrat	1
1.3 Mordançage de l'émail	2
1.4 Mordançage de la dentine	2
2] Techniques adhésives	3
2.1 Total-Etch (= Mordançage Total) / Etch&Rinse (= Mordançage-rinçage, MR)	3
2.2 Self-Etch technique = auto-mordançant, SAM	3
2.3 Selective-Etch = Mordançage sélectif	4
3] Classification des adhésifs	5
3.1 Historique	5
3.2 Classification par génération	6
3.3 Classification par les mécanismes d'adhésion	7
4] Les adhésifs universels	9
4.1 Définition	9
4.2 Composition	9
4.2.1 Monomères fonctionnels.....	10
4.2.2 Monomères de structure (méthacryliques ou di-méthacryliques).....	10
4.2.3 Solvants.....	11
4.2.4 Initiateurs	11
4.2.5 Charges	11
4.3 Spécificité du monomère fonctionnel 10-MDP (10)	15
4.4 Adhésifs simplifiés et pH (incompatibilité intrinsèque)	15
4.5 Adhésifs simplifiés et membrane semi-perméable, hydrophilie (incompatibilité extrinsèque)	16
4.6 Les activateurs à polymérisation duale (DCA) et autres systèmes	18
4.7 L'ajout d'un « coat » (vernis) hydrophobe	19
5] Performances en laboratoire et en clinique	20
5.1 Adhérence émail	20
5.2 Adhérence dentine	20
5.3 Protocole d'utilisation des adhésifs universels d'après les études cliniques	21
5.4 Adhérence à différents substrats	21
6] Biocompatibilité et cytotoxicité	23
7] Protocole de collage, stratégie d'optimisation du collage	24
8] Conclusion	26
Bibliographie	I
Lexiques	I

1] Mécanismes de l'adhésion (1)

1.1 Introduction

La dentisterie adhésive a connu des progrès remarquables et constants au cours des dernières décennies, et a sans aucun doute révolutionné la pratique dentaire restauratrice.

Les adhésifs dentaires se sont développés en corrélation avec les composites dentaires. Les matériaux composites sont devenus disponibles pour la première fois en dentisterie dans les années 1970, et étaient initialement et principalement utilisés dans la région antérieure, où les obturations en amalgame étaient jugées inesthétiques. Dans les années 1990, ils ont commencé à remplacer l'amalgame comme matériau d'obturation antéro-postérieur et les restaurations composites ont amorcé une nouvelle ère de la dentisterie mini-invasive (MID). L'aspect rétentif des cavités d'obturations pour amalgame n'était plus nécessaire car la cavité à remplir devait seulement être aussi grande que le tissu déminéralisé à retirer. Ce développement des composites a été possible grâce au développement simultané d'adhésifs amélo-dentinaires cliniquement fiables. La nature de ces adhésifs et résines composites a perpétuellement évolué depuis.

Deux types basiques d'adhésion sont possibles :

- Micro-Mécanique : par la pénétration de résine adhésive à la subsurface de la dent.
- Chimique : par liaison chimique au composant inorganique (hydroxyapatite) ou au composant organique (collagène) de la structure dentaire. Quel que soit le type d'adhésif, une combinaison de ces deux éléments est généralement responsable du collage avec tous les adhésifs modernes

1.2 Substrat

Les systèmes adhésifs doivent établir une adhésion à la fois avec la restauration et les tissus durs dentaires. Les restaurations composites sont constituées d'une matrice hydrophobe dans laquelle différentes particules de charge sont intégrées. Les dents sont composées au niveau coronaire de deux substrats très différents : l'émail et la dentine. L'émail est essentiellement composé de 96 % d'hydroxyapatite, de phosphate de calcium cristallin et de 4 % de matière organique et d'eau, tandis que la dentine se compose de 70 % d'hydroxyapatite, 20 % de collagène et 10 % d'eau. L'émail est donc un substrat essentiellement sec, tandis que la dentine est fortement humide. Les adhésifs doivent donc posséder à la fois des propriétés hydrophobes et hydrophiles afin d'établir une liaison avec les substrats dentaires et avec la restauration.

1.3 Mordançage de l'émail

Buonocore (1955) a été le premier à démontrer l'efficacité de la technique de mordançage acide de l'émail. Ce mordançage augmente ainsi la surface développée, en laissant un faciès d'attaque amélaire décrit par Silverstone. Lors de la préparation les prismes d'émail sont coupés transversalement ou verticalement, et à la suite du mordançage il apparaît un faciès amélaire de type prismatique ou interprismatique favorable au micro-clavetage. Une résine fluide, qui pénètre par capillarité peut alors s'infiltrer dans les microporosités et macroporosités créées. L'infiltration des porosités amélaire par les monomères, aboutit aux microbrides et macrobrides de résines qui forment une sorte de Velcro®. Après polymérisation, ce Velcro® devient totalement imbriqué avec l'émail. L'acide phosphorique (H_3PO_4) à 37 % (pH < 1) est nécessaire, avec un temps de mordançage d'environ 30 secondes.

1.4 Mordançage de la dentine

Ce mordançage élargit les canalicules dentinaires, élimine ou dissout la boue dentinaire et déminéralise la dentine inter-canaliculaire. La déminéralisation péri-canaliculaire et essentiellement inter-canaliculaire de la dentine, entraîne la formation d'une zone poreuse, avec des fibres de collagène exposées sur une épaisseur d'environ 5 à 10 μm . Cette zone de collagène poreuse et infiltrée secondairement est fondamentale pour obtenir une adhésion micro-mécanique efficace. Initialement, l'infiltration de la dentine a été un problème avec les premiers adhésifs qui étaient hydrophobes. Ils fonctionnaient efficacement sur l'émail, mais étaient incapable de pénétrer et de se lier à la dentine humide avec succès. Les résines hydrophiles modernes du primaire, pénètrent les surfaces dentinaires mordancées humides et forment une couche hybride. La couche hybride scelle la surface de la dentine puis est liée de manière covalente à la restauration composite lors de la polymérisation du premier apport de composite.

La couche hybride est un mélange de polymère et de collagène. Le principe fondamental de l'adhésion aux substrats dentaires est fondé sur le processus d'infiltration du réseau de collagène en remplaçant la partie minérale de la dentine par de la résine.

2] Techniques adhésives (1)

2.1 Total-Etch (= Mordançage Total) / Etch&Rinse (= Mordançage-rinçage, MR)

Le terme de Mordançage-total fait référence à la procédure par laquelle l'émail et la dentine sont mordancés ensemble avant la phase d'infiltration. Les adhésifs « Total-Etch » impliquent une étape de mordançage initiale avec de l'acide phosphorique qui conditionne la préparation. La technique « Total-Etch » est aussi souvent désignée comme synonyme de MR. L'acide phosphorique est rincé à l'eau en même temps que la boue dentinaire est éliminée, et les tissus dentaires exposés sont délicatement séchés. L'émail est généralement mordancé 30 secondes, plus longtemps que la dentine (15 sec). La discussion du « *How Wet is wet ?* » fait référence à la nécessité de ne pas trop sécher la dentine après le mordançage-rinçage. En effet la dentine doit rester humide et d'apparence légèrement brillante, afin que les fibres de collagène ne s'effondrent pas. Ce qui rendrait le réseau moins perméable aux monomères hydrophiles de l'adhésif et créerait une couche hybride faiblement imprégnée, conduisant potentiellement à une liaison affaiblie et des sensibilités postopératoires.

Pour cette raison, en plus des nombreuses étapes de la technique, les adhésifs à mordançage total sont souvent définis comme sensibles à la technique. Ils sont cependant cliniquement performants et incontestés.

2.2 Self-Etch technique = auto-mordançant, SAM

Les adhésifs auto-mordançants sont destinés à être utilisés sans étape de mordançage préalable. Les systèmes auto-mordançants contiennent des monomères hydrophiles acides qui mordangent et infiltrent en même temps l'émail et la dentine. Contrairement aux systèmes de mordançage total, le risque de déminéralisation excessive de la dentine est moindre, car les systèmes auto-mordançants ont un pH moins acide. L'étape potentiellement sensible de la technique MR consistant à sécher la dentine au juste degré après le mordançage, n'est plus requise ; ainsi le danger d'effondrement des fibrilles de collagène peut être exclu. Chacun de ces facteurs devrait réduire le risque de sensibilités postopératoires. Certains dentistes choisissent de mordancer l'émail à l'acide de manière sélective avant d'utiliser des adhésifs auto-mordançants.

2.3 Selective-Etch = Mordançage sélectif

Cette technique correspond à un mordançage conventionnel à l'acide phosphorique de l'émail périphérique d'une préparation sans traiter la dentine avant de rincer à l'eau. Après séchage la dentine est conditionnée à l'aide d'un adhésif SAM 2 ou SAM 1. La boue dentinaire est solubilisée mais pas éliminée et les surfaces ne sont pas rincées à l'eau après l'application d'un primaire. Cette méthode peut également être considérée comme une méthode de mordançage-rinçage amélaire associée à une méthode d'auto-mordançage de la dentine. Cette technique utilisée à l'origine avec les adhésifs anciens (type 3^{ème} génération) a connu un regain d'utilisation avec les adhésifs auto-mordançants et les nouveaux adhésifs universels.

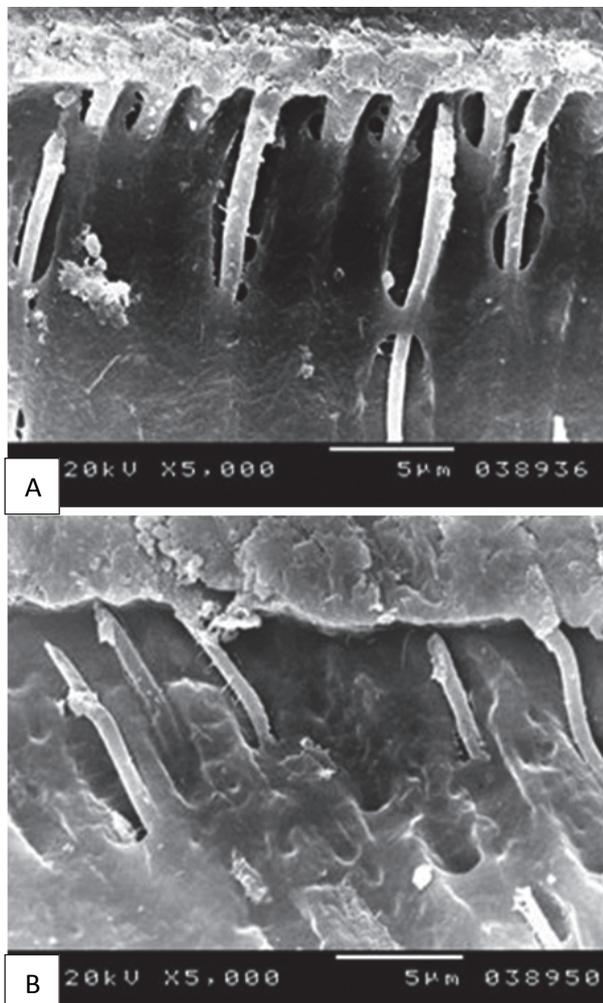


Figure 1 : Observation au Microscope électronique à Balayage de la couche hybride et des macro-bridges dans la dentine du Scotchbond Universal en utilisation (A) : MR, et en utilisation (B) : SAM (18)

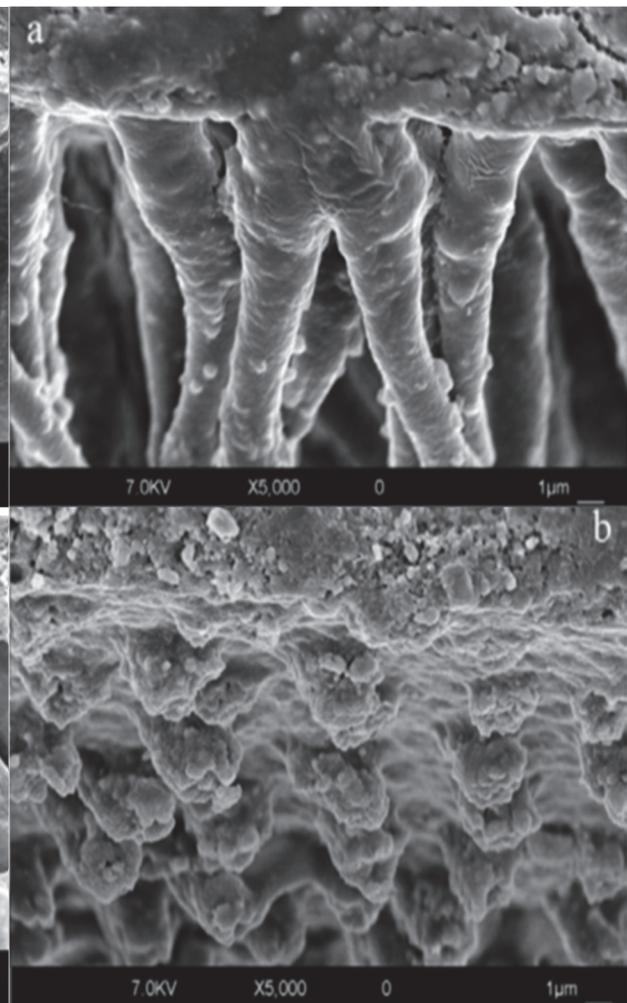
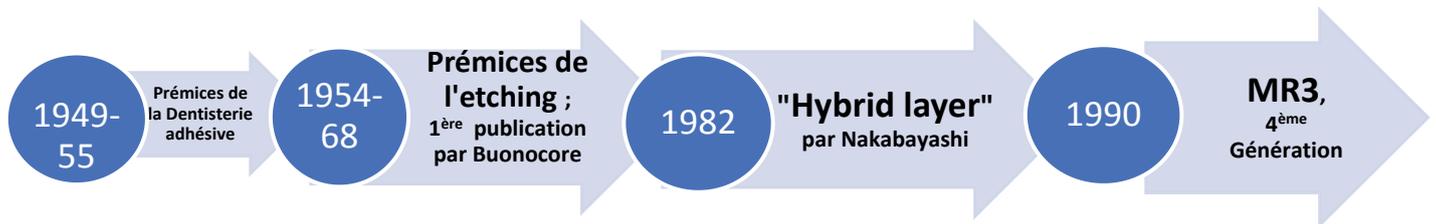


Figure 2 : Observation au Microscope électronique à Balayage de la couche hybride et des macro-bridges dans la dentine pour un adhésif en mode (a) :MR et (b) : SAM

3] Classification des adhésifs

3.1 Historique

Figure 3 : Représentation des faits marquants liés aux adhésifs dentaires



Afin de comprendre la situation actuelle en dentisterie adhésive, on peut se tourner vers le passé et tenter de comprendre les différentes générations d'adhésifs qui se sont développées. Le concept d'adhésion à l'émail et à la dentine a été étudié pour la première fois il y a plus de 50 ans par Buonocore. Extrapolant des techniques d'adhésion industrielle, Buonocore a postulé que les acides pouvaient être utilisés comme traitement de surface avant l'application de résines, et a découvert que le mordantage de l'émail avec de l'acide phosphorique augmentait la durée d'adhérence en milieu buccal. À la fin des années 1960, il a suggéré que c'était la formation de brides de résine dans les microporosités de l'émail mordancé qui était la principale responsable de l'adhérence. L'adhérence à la dentine se révèle plus insaisissable en raison de sa composition, de sa teneur en eau et de la boue dentinaire.

Les premiers adhésifs dentaires collaient essentiellement sur l'émail, avec peu ou pas d'adhérence à la dentine. Les adhésifs ont ensuite évolué étape par étape avec des changements de composition chimique, de mode d'application, de mécanisme d'adhésion, de technique et d'efficacité. Cette évolution a accompagné le développement de matériaux dentaires de plus en plus esthétiques, notamment les résines composites et la céramique.

La classification des adhésifs en catégories bien délimitée est presque impossible. Au fil des ans, les adhésifs ont été classés de manière variable en fonction de la génération, de la technique de mordantage, du nombre de flacons utilisés ou du nombre d'étapes nécessaires pour l'ensemble de la procédure de collage. Les auteurs d'articles ou les praticiens définissent souvent les générations différemment, ils peuvent ou non inclure le mordantage dans le calcul du nombre de flacons ou d'étapes impliquées. L'analyse comparative est sans aucun doute perturbée par ces différentes approches et dans leurs tentatives de classification et leurs différentes interprétations. Les paragraphes suivants et le tableau 1 tentent de clarifier la situation (1).

3.2 Classification par génération

Les adhésifs dentaires peuvent, dans une certaine mesure, être classés par ordre chronologique selon la génération (un système historique d'identification couramment utilisé par les fabricants d'adhésifs). La génération se réfère simplement au moment et dans quel ordre ce type d'adhésif a été développé par l'industrie dentaire, allant de la 1^{ère} génération dans les années 1960 aux adhésifs modernes de 8^{ème} génération.

Les adhésifs de première, deuxième et troisième génération ne sont plus utilisés. Ils procuraient des forces d'adhérence médiocres de 2 à 8 MPa et posaient en conséquence des problèmes d'étanchéité. Les fabricants produisent actuellement des produits dits de 8^e génération, mais les adhésifs de 4^e, 5^e, 6^e et 7^e générations restent populaires et offrent divers avantages en fonction de la situation clinique, des préférences et de l'expérience personnelle du clinicien. Les nouveaux adhésifs universels peuvent être appliqués soit en utilisant la technique de mordantage total, soit celle de mordantage sélectif ou d'auto-mordantage. Ainsi, on peut les définir à la fois comme une sous classe d'adhésifs SAM et à la fois comme une nouvelle génération : la 8^{ème}. Les différentes générations avec leur intervalle de temps approximatif sont présentées dans le tableau suivant (1).

Tableau 1 : Classification des adhésifs selon la génération, le mécanisme d'adhésion et le nombre d'étapes cliniques. D'après Tableau 1 Ivoclar Vivadent (1)

GENERATION	DATE	PROTOCOLE	Adhérence moyenne	CONSEQUENCES CLINIQUES
1 ^{er} Génération	1956		2 MPa	Faible adhérence dentine / Rétraction prise des composites Mordantage uniquement de l'émail
2 ^{ème} Génération	Fin 1970s		5 MPa	
3 ^{ème} Génération	1980	Mordantage sélectif Et primaire pour la dentine	12-15 MPa	Prise en compte de la boue dentinaire (Smear layer)
4 ^{ème} Génération	1990 –	MR3 = Mordantage-rinçage 2 flacons + 1 seringue	25 MPa	Couche hybride
5 ^{ème} Génération	Milieu 1990s	MR2 = Mordantage-rinçage 1 flacon + 1 seringue	25 MPa	Incompatibilité avec les résines auto / dual
6 ^{ème} Génération	Fin 1990s -	SAM 2 = 2 flacons auto-mordançant	20 MPa	Bonnes performances
7 ^{ème} Génération	2000 -	SAM 1 = 1 flacon auto-mordançant	25 MPa	Incompatibilité avec les résines auto / dual
8 ^{ème} Génération	2011 -	Universel = SAM ou MR = 1 flacon	>30 MPa ?	Simplification ?

3.3 Classification par les mécanismes d'adhésion

Bien que le système de classification générationnel soit utile pour examiner les adhésifs d'un point de vue historique, en ce qui concerne les adhésifs actuellement sur le marché (générations 4 à 7), il peut être plus utile de les classer en fonction de leur mode de fonctionnement et du nombre d'étapes de travail.

Les adhésifs dentaires modernes peuvent être classés en deux types : les adhésifs MR et les adhésifs SAM. (le terme « Etch and Rinse » est souvent utilisé comme synonyme pour les adhésifs « Total-Etch », bien qu'il couvre théoriquement les adhésifs à mordantage total et à mordantage sélectif.) Ces systèmes peuvent ensuite être sous-catégorisés en fonction du nombre d'étapes cliniques impliquées : par exemple, MR en trois étapes ou en deux étapes et SAM en deux étapes ou en une seule étape.

Le système MR se différencie par une étape de mordantage et de rinçage distincte avant les étapes d'amorçage « primaire » et de liaison « collage ». Le système de mordantage-rinçage et mordantage totale en trois étapes (utilisant des adhésifs de quatrième génération) suit l'approche conventionnelle « etch-rinse-prime-bond ». Le système de mordantage et de rinçage en deux étapes (utilisant des adhésifs de cinquième génération) combine le primaire et l'agent de liaison en une seule application.

Le système SAM élimine la phase de rinçage après le mordantage, en utilisant des monomères acides pour mordancer et préparer la dentine simultanément. Le système auto-mordançant en deux étapes (impliquant des adhésifs de sixième génération) utilise des monomères acides comme primaire auto-mordançant dans l'étape initiale et une résine adhésive dans la deuxième étape. Le système auto-mordançant en une étape (utilisant des adhésifs de septième génération, également appelés adhésifs tout-en-un) combine le primaire acide (auto-mordançant) avec la résine adhésive en une seule étape d'application. Cela permet une infiltration simultanée de la résine adhésive à la profondeur de déminéralisation, pouvant réduire la sensibilité postopératoire.

Les adhésifs universels diffèrent par leur universalité revendiquée. Mais d'une manière générale, ils combinent également le « primer » acide avec la résine adhésive en une seule étape et peuvent être utilisés avec toutes les techniques de mordantage et conviennent également à une utilisation avec des restaurations directes et indirectes (1).

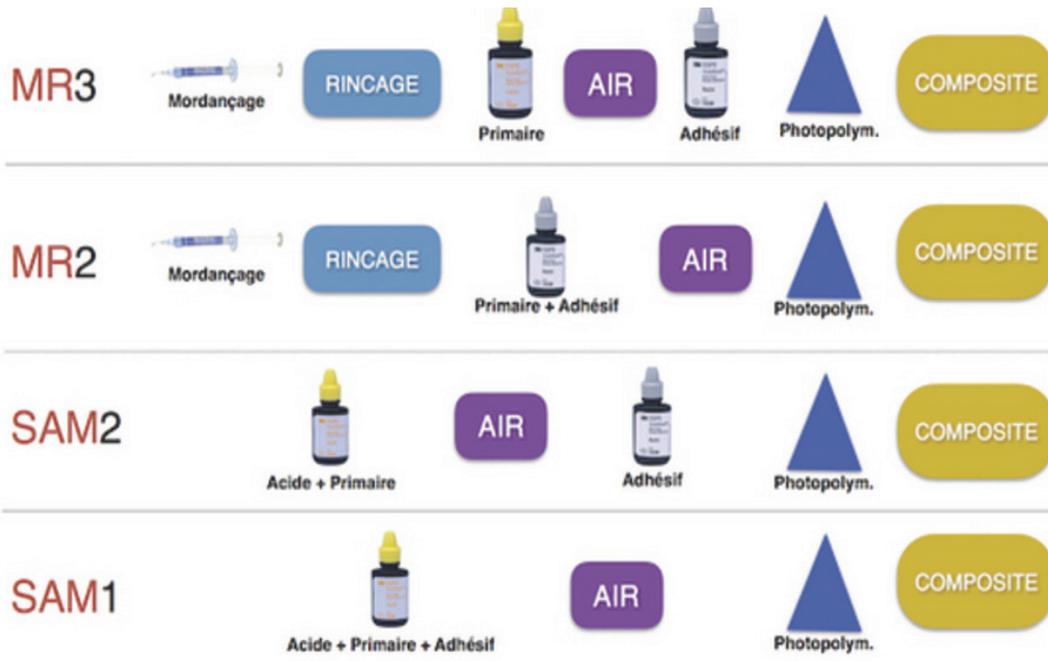


Figure 4 : Etape des protocoles adhésifs (2)

4] Les adhésifs universels

4.1 Définition

Il ne semble pas y avoir dans la littérature de définition précise de ce qu'est un adhésif universel mais il ne faut pas les confondre avec la 7^e génération du tout en un. Le début de leur commercialisation a eu lieu en 2011. Ils doivent répondre à des critères supplémentaires à ceux de la 7^e génération (3). Comme l'indique le tableau 2, il est important de noter que la signification du terme universel diffère d'un fabricant à l'autre. Universel se rapporte généralement à ces différents paramètres :

- Compatibilité avec les techniques de mordantage total et d'auto-mordantage.
- Compatibilité avec les restaurations directes et indirectes.
- Pouvoir de se lier à différents substrats.
- Pouvoir d'être utilisé avec des matériaux dual ou autopolymérisant sans l'utilisation d'un activateur séparé.
- Utilisation comme primaire pour les restaurations indirectes de type céramiques ou alliages métalliques (cela permet en théorie de ne pas avoir à passer par l'étape de silanisation, ce que nous observerons précisément au 5.4) (1).

De plus, il a été admis par les industriels que les adhésifs universels devraient se présenter avec un conditionnement en un seul flacon sans mélange préalable. Si l'on se réfère à cette définition communément admise, il existe une certaine ambiguïté sur quelques produits commercialisés sous la catégorie des adhésifs universels.

Nous allons voir qu'il est difficile de classer les adhésifs universels dans une seule et même définition car actuellement les performances sont différentes d'un matériel à l'autre, avec pour objectif commun d'être le plus polyvalent possible et le plus simple d'utilisation d'où le terme d'universel.

De plus il est important de rappeler la classification en fonction du pouvoir acide des adhésifs auto-mordantants selon Van Meerbeek en 2003, qui est appliqué aux systèmes universels mais qui n'est plus totalement adapté (4) :

Strong (Fort) $\text{pH} < 1$, Intermediate Strong $\text{pH} 1,5$, Mild (Doux) $\text{pH} > 2$, Extra mild $\text{pH} > 2,5$

4.2 Composition

Ces adhésifs comportent essentiellement des monomères fonctionnels et des monomères de structure dans des solvants. (Figure 5).

4.2.1 Monomères fonctionnels

Les monomères fonctionnels ont au moins un groupe polymérisable et un groupe fonctionnel qui permet la mouillabilité et la déminéralisation du substrat.

Le 10-MDP est un ester de phosphate possédant un groupe méthacrylate hydrophobe à une extrémité qui permet l'adhésion avec les résines méthacrylates et les ciments, et à son autre extrémité, un groupe phosphate hydrophile permettant l'adhésion aux tissus dentaires, métaux et oxyde de zirconium. Il présente un coefficient de partage « logP » de 4,1 (cette valeur permet d'appréhender le caractère hydrophile ou hydrophobe d'un produit, figure 6) soit le plus hydrophobe des monomères fonctionnels utilisés. Cette tendance hydrophobe est due en grande partie à son long squelette carboné central (10 atomes de carbone) et il permettra de lutter contre la dégradation hydrolytique de l'interface adhésive au cours du temps (3). Cela lui permet aussi d'être stable en solution, ce qui est important en termes de durée de conservation (5).

Le GPDM (logP = 2) présent uniquement dans l'OptiBond eXTRa Universal et OptiBond Universal à la place du 10-MDP, possède aussi un groupe phosphate. Il rend la dentine traitée plus hydrophile, et la liaison entre l'hydroxyapatite (HAp) et GPDM est plus faible qu'avec le 10-MDP (6). Par ailleurs le 3D-SR de chez Tokuyama, le PENTA (logP= 2,6) et le MTU-6 sont aussi des monomères fonctionnels avec un groupe phosphate.

Le 4-META devenant après hydrolyse le 4-MET (logP = 1,7) chez GC, le MCAP, et le Vitrebond copolymère de 3MESPE possèdent un groupe carboxyle pouvant se lier chimiquement.

L'HEMA (caractère hydrophile, logP = 0,26) permet la mouillabilité et l'infiltration de l'adhésif dans la dentine par son groupe hydroxyle, il agit aussi pour ralentir la séparation de phase à l'intérieur du flacon et permet la miscibilité des composants entre eux (7). Néanmoins l'HEMA peut poser des problèmes de toxicité au niveau cutané, ainsi que sur l'étanchéité à long terme au niveau de l'interface, c'est pour cela qu'il ne faut pas dépasser les 10 % de concentration pour l'HEMA si on veut éviter les effets délétères (8). Seuls deux fabricants ont réussi à l'éliminer de leur composition (GC et Dentsply Sirona). Le GDMA possède 2 groupes hydroxyle.

4.2.2 Monomères de structure (méthacryliques ou di-méthacryliques)

Ils permettent de former après polymérisation une structure tridimensionnelle conférant de meilleures propriétés mécaniques, on les retrouve majoritairement dans les résines composites et ont un comportement plutôt hydrophobe. BIS-GMA (caractère intermédiaire, logP = 5,1), TEGDMA (caractère hydrophile, logP= 1,4), D3MA, UDMA.

4.2.3 Solvants

Ils augmentent la mouillabilité de l'adhésif, ils solubilisent et transportent les monomères dans le collagène. Les solvants principaux sont l'acétone, l'éthanol et l'eau, présents en différentes proportions souvent non précisées. L'eau est présente dans tous les adhésifs universels car elle est indispensable à l'ionisation des monomères acides, mais sera plus compliquée à « sécher / évaporer » comparativement à l'acétone. Ils peuvent être associés comme le sont l'acétone, l'éthanol et l'eau dans l'OptiBond eXTRa Universel et OptiBond Universel et l'Adhese Universal, sauf dans le Palfique Bond U où l'éthanol est remplacé par l'isopropanol. Les mélanges eau/éthanol sont le plus souvent employés comme solvants car ils sont moins volatils que l'acétone, afin d'éviter une évaporation rapide.

4.2.4 Initiateurs

Photo-initiateur : système camphroquinone, CQ

Initiateur chimique : aryl sulfinate (sel de sodium de l'acide sulfonique) qui est présent uniquement dans le Futurabond U et l'Optibond eXTRa U et U. Le Palfique Universal bond présente le seul système sans amine tertiaire que nous reverrons dans le paragraphe 4.6.

4.2.5 Charges

Elles permettent de modifier la viscosité et la résistance de l'adhésif après polymérisation mais les renseignements donnés par les fabricants sont pauvres.

La différence majeure entre les adhésifs universels va dépendre de la présence ou non de certains monomères et de certains solvants. Néanmoins les proportions de chaque composant ne sont bien souvent qu'approximative. Ceci va influencer sur le comportement et les performances de l'adhésif (7).

Figure 5 : Composition des adhésifs dentaires et comparaison des principaux monomères structurelles et fonctionnelles (28)

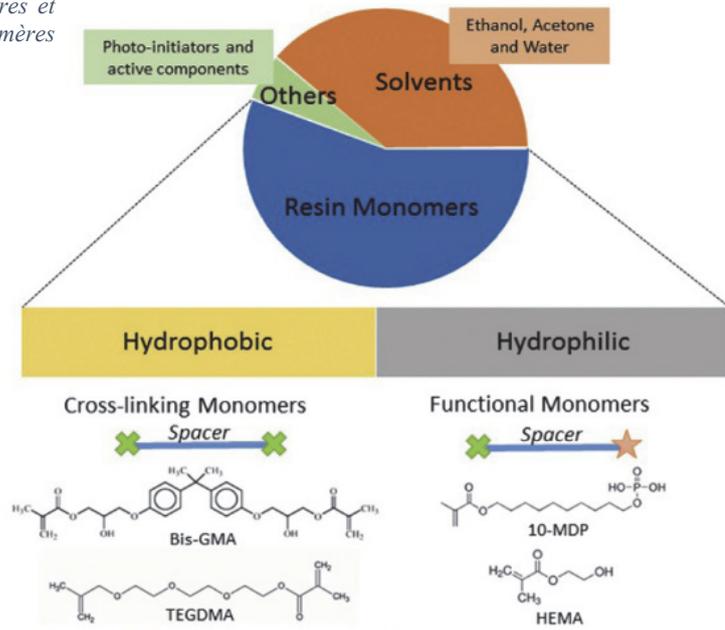


Figure 6 : Classement relatif des monomères en fonction de leur propriétés hydrophile / hydrophobe (13)

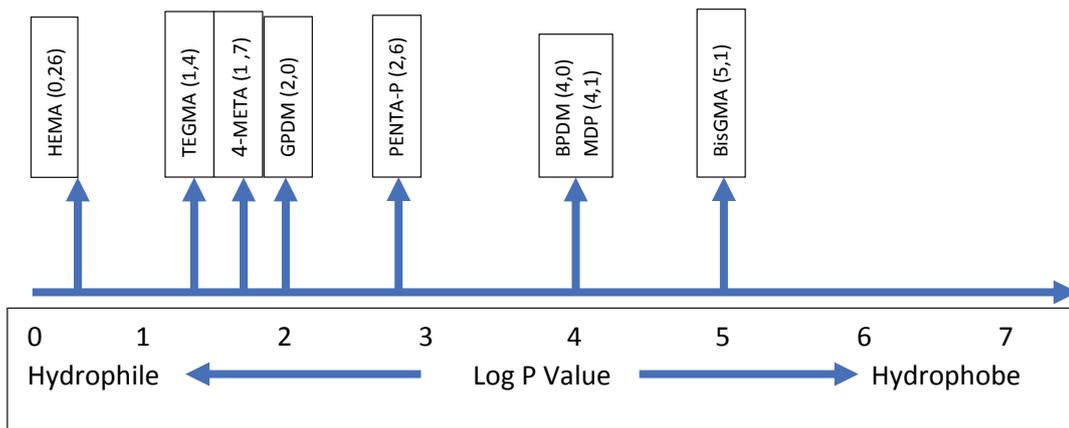


Tableau 2 : Composition générale des adhésifs universels (3,9,19) et données des fabricants

ADHESIFS	MONOMERES		pH	SOLVANTS	ADDITIFS
	Fonctionnel	Structure			
G Premio Bond (GC) <i>procedure: 25s en SAM, 50s en MR, sélectif</i> Intermediate Strong	10-MDP (3-7 %), 4-MET, MDTP, GDMA Pas HEMA	BIS GMA, TEGMA	1,5	Acétone (10-30 %) Eau	Initiateurs, quantité élevée de charges : particule de SiO ₂ (Dioxyde de silicium)
Peak Universal (Ultradent Products) Intermediate Strong	Monomères non communiqué HEMA (<16 %)	Acide méthacrylique (< 6 %)	1,9	Ethanol (< 20 %) Eau	7,5 % de charges, Chlorhexidine diacétate 0,3 %
Futurabond U (Voco) 2 composants à mélanger avant application MILD	10-MDP modifié, HEMA	HEDMA, UDMA, urethane, BIS-GMA	2,3	Ethanol , Eau	Catalyseur (initiateur) : « Aryl sulfinate » ; Charges : SiO ₂
Clearfil Universal Bond Quick (Kuraray) MILD	10-MDP, HEMA (2,5-10 %) Monomère amide hydrophilique	Bis-GMA (10-25 %)	2,3	Ethanol (20 %), Eau	Initiateurs : (CQ), Sel de Sodium ; Accélérateur, Charge : SiO ₂ ; Silane
OptiBond eXTRa Universal / Univ. (Kerr) 2 flacons / 1 flacon Ultra -MILD	GPDM, GDMA, HEMA	Non Connue (NC)	2,4/3,4 <u>2,5/3,0</u>	Acétone , Ethanol , Eau	« Aryl sulfinate »
Adhese Universal (Ivoclar vivadent) <i>Tetric N-Bond Universal (autre pays)</i> Ultra -MILD	10-MDP, MCAP (2,5-10 %), HEMA (10-25 %)	BIS-GMA (10-25 %), D3MA (1-2,5 %)	2,5/ 3	Acétone , Ethanol , Eau	Initiateurs, Charges : SiO ₂
Prime & Bond active (Dentsply Sirona) Ultra -MILD	10-MDP, PENTA PAS HEMA	NC	2,5	Isopropanol, Eau	Initiateur, stabilisant
ScotchBond Universal (3M ESPE) <i>Single bond universal (autre pays)</i> Ultra -MILD	10-MDP (1-10 %), PAC (1-5 %), HEMA (15-25 %)	DMAEMA (5-15%) BIS-GMA(15-25%), EDMAB	2,7	Ethanol (10-15 %), Eau (10-15 %)	Initiateurs (CQ), Charge; Silane (5 -10%)
One Coat 7 Universal (Coltene Whaledent) Ultra -MILD	10-MDP, HEMA	UDMA	2,8	Ethanol , Eau	Photo-initiateurs (CQ)
Prelude ONE (Danville Materials) Ultra -MILD	10-MDP, HEMA	Résines diméthacrylate	2,8	Ethanol , Eau	Initiateurs
All-Bond Universal (Bisico) Ultra -MILD	10-MDP, HEMA	BIS-GMA, résines diméthacrylate	3,2	Ethanol , Eau	Initiateurs
Palfique Universal Bond (TokuyamaDental) Autopolymérisable 2 composants à mélanger avant application	3D-SR, MTU-6, HEMA	Bis-GMA TEGDMA	NC	Acétone , Isopropanol, Eau	Initiateur : Borate, peroxyde ; γ -MPTES (Silane)

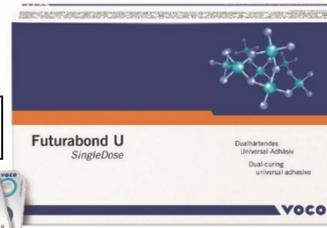
Figure 7 : Illustration des flacons d'adhésifs universels, (classé selon leur pH croissant de haut en bas)



G-premio Bond (GC)



Peak Universal (Ultradent)



Futurabond U (Voco)



Clearfil Universal Bond quick (Kuraray)



Adhese Univ. (Ivoclar)



Prime&Bond active (DentsplySirona)



Scotchbond Univ (3M)



One coat 7 Univ.(Coltene)



OptiBond Univ./eXTRa Univ.



Prelude One (Danville)



All-Bond (Bisco)

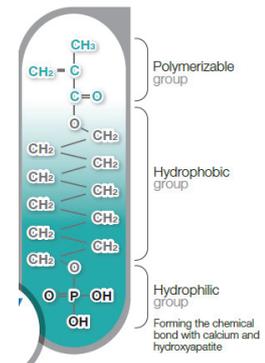


Palfique Univ bond (Tokuyama)



4.3 Spécificité du monomère fonctionnel 10-MDP (10)

Le monomère 10-MDP breveté en 1981 par Kuraray, est tombé dans le domaine public en 2011. Les monomères fonctionnels ont été classés en fonction de leur potentiel d'adhésion chimique et le 10-MDP a été identifié comme étant capable d'établir une interaction chimique très forte et stable avec l'hydroxyapatite. Les sels de MDP-Ca insolubles dans l'eau contribuent à la protection des fibres de collagène. Cependant, les impuretés et les autres monomères peuvent réduire les forces d'adhérence lors de l'utilisation de systèmes adhésifs. L'interaction chimique intense établie entre le MDP



et l'hydroxyapatite est attribuée à la dissolution superficielle de l'hydroxyapatite, induite par l'adsorption du MDP et au dépôt ultérieur de sels de MDP-Ca. Ces derniers ont une solubilité inférieure à celle des sels produits par d'autres monomères fonctionnels. Il possède de nombreuses caractéristiques importantes comme la capacité de se lier chimiquement aux métaux, à l'oxyde zirconium, aux tissus dentaires par la formation de sels de calcium insolubles. Cependant, des différences d'adhésion entre les systèmes adhésifs commerciaux sont observées en fonction à la fois du substrat dentaire et des autres composants inclus dans les formulations d'adhésifs. Certains adhésifs universels se sont révélés produire de mauvaises interfaces adhésives en étant moins concentrés en 10 MDP, ce qui suggère qu'une concentration et une pureté optimale de 10-MDP dans les adhésifs auto-mordant et les adhésifs universels sont impératives afin que le potentiel maximal de ce monomère fonctionnel soit atteint.

4.4 Adhésifs simplifiés et pH (incompatibilité intrinsèque)

Les adhésifs simplifiés posent de nombreux problèmes liés à leur pH et leur hydrophilie provoquant en particulier une incompatibilité entre l'adhésif acide et les résines composites autopolymérisables ou duales. La principale raison de l'incompatibilité est due au fait que l'amine tertiaire du système de polymérisation du composite est désactivée, par la réaction «acide-base» entre les monomères acides de la couche inhibée par l'oxygène de l'adhésif polymérisé et l'amine tertiaire de la résine composite.

La conséquence est l'absence de polymérisation au niveau de l'interface adhésif/composite. Cette interaction délétère à la qualité du joint adhésif / résine autopolymérisable ou duale se produit à la base avec la plupart des systèmes adhésifs MR2 et SAM1 qui contiennent un taux important de monomères fonctionnels hydrophiles et acides en surface (11).

Tableau 3 : Classement des adhésifs universels en fonction de leur pH

ULTRA-mild pH>2,5	pH=7 pH= 3,1 pH= 3 pH=2,8 pH=2,8 pH=2,8 pH= 2,8 pH=2,7	OptiBond eXTRa univ. Kerr All Bond univ. Bisco Zipbond. SDI Adhese Universal. Ivoclar vivadent One Coat 7. Coltene Prelude One. Danville Iperbond ultra. Itena Scotchbond universal. 3M
MILD pH≈ 2	pH=2,5 pH=2,4 pH=2,3 pH=2,3	Prime&bond active.Dentsply OptiBond Universal. Kerr Clearfil Universal bond quick Kuraray Futrabond U
Intermediately STRONG pH 1-2	pH=1,7 pH=1,5	Ibond Universal. Kulzer G-premio Bon.GC
STRONG pH<1	pH= 1 pH = Non connu	Peak Universal. Ultradent Palfique bond U. Tokuyama

A l'heure actuelle aucune étude spécifique sur la compatibilité des adhésifs universels n'est apparue, mais les adhésifs universels sont des SAM 1 avec leurs inconvénients. Pour pallier ce problème d'incompatibilité, on fera le choix d'un adhésif le moins acide possible (pH élevé) ; le choix de l'OptiBond eXTRa Universel est plutôt intéressant par son pH neutre après polymérisation. Une autre possibilité réside dans l'utilisation des Dual Cure Activator = activateur dual (DCAs). Cependant, cette interaction chimique défavorable n'est que partiellement responsable de l'incompatibilité. L'autre facteur responsable de compromettre l'adhésion est l'observation des adhésifs en une seule étape qui se comportent comme des membranes semi-perméables après la polymérisation (11).

4.5 Adhésifs simplifiés et membrane semi-perméable, hydrophilie (incompatibilité extrinsèque) (11)

Un inconvénient des systèmes de résines hydrophiles est qu'ils attirent l'eau. Il est difficile d'évaporer l'eau de ces adhésifs simplifiés et, même si l'évaporation réussit, l'eau se diffuse rapidement de la dentine vers la résine adhésive. Cette adsorption d'eau plastifie le polymère et diminue les propriétés mécaniques. Bien que des diméthacrylates hydrophobes soient ajoutés à tous les adhésifs simplifiés pour produire des réseaux de polymères réticulés, les monomères hydrophiles ont tendance à s'agglomérer (cluster) avant la polymérisation, pour créer des domaines hydrophiles et des canaux microscopiques remplis d'eau appelés « arbres d'eau ». Ces arbres d'eau permettent le mouvement depuis l'eau de la dentine sous-jacente, au travers des couches hybrides et adhésives jusqu'à l'interface adhésif-composite (11).

De plus la couche polymérisée des adhésifs simplifiés est extrêmement hydrophile par l'intermédiaire des monomères fonctionnels phosphate et carboxyle qui sont acides et hydrophiles. Ils permettent ainsi la diffusion de l'eau à travers la couche adhésive polymérisée entre la dentine hydratée (source de l'eau) et la couche de composite non polymérisé (11).

L'examen des paramètres associés à l'eau de ces adhésifs a toutefois révélé que les éléments essentiels pour rendre la liaison résine-dentine plus résistante aux défis environnementaux et moins sensibles à la dégradation, sont restés globalement inchangés. Ainsi les paramètres de perméabilité interfaciale, d'adsorption de l'eau, et la capacité à préserver la résistance mécanique après vieillissement ne sont pas meilleurs et peuvent même être pires pour les adhésifs universels que les références établies par les anciennes classes d'adhésifs.

Peu d'études spécifiques aux adhésifs universels sont publiées. Le mode SAM comparé au mode MR permettrait le meilleur comportement sur le long terme (12 mois) c'est dire une moindre perméabilité de l'adhésif (12).

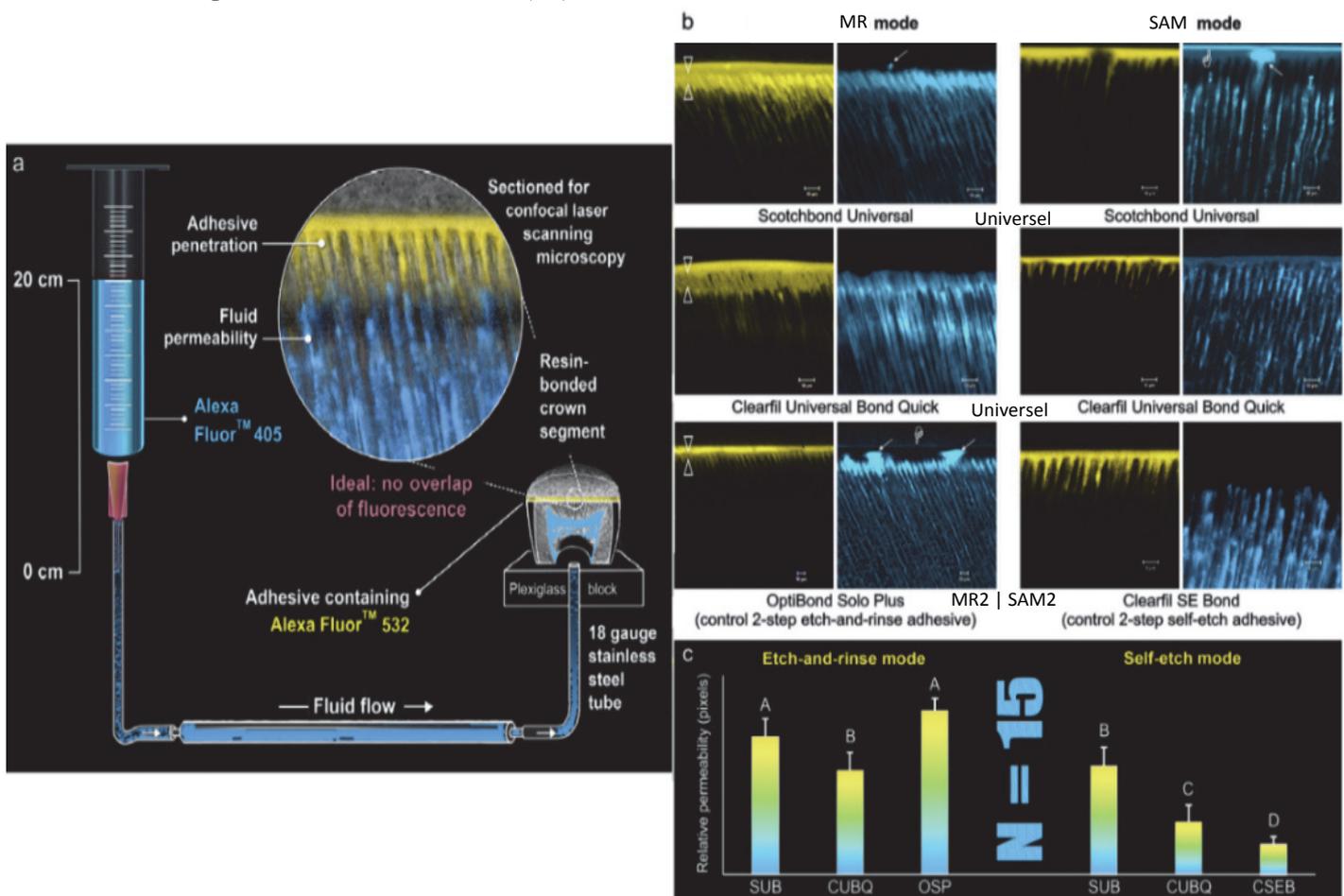


Figure 9 : Absorption d'eau des adhésifs (perméabilité) (12)

(a) : Protocole de test de perméabilité in-vitro

(b) : Observation du test de perméabilité de 2 adhésifs universels en mode MR et SAM versus des contrôles MR2 / SAM2

(c) : Perméabilité relative de 2 adhésifs universels en mode MR et SAM versus des contrôles MR2 / SAM2

4.6 Les activateurs à polymérisation duale (DCA) et autres systèmes

Les adhésifs universels sont en fait des adhésifs simplifiés de type SAM, et sont donc acides ou hydrophiles dans la couche inhibée avec les mêmes conséquences en pH et perméabilité. Ils présentent donc un risque d'incompatibilité des résines autopolymérisables ou duales. Une solution réside dans l'utilisation d'un DCA qui contient un initiateur spécifique (13).

Il existe un certain nombre de DCA associé aux adhésifs universels pour chaque fabricant.

<p>One Coat 7.0 Activator à mélanger avec l'adhésifs avant application Iperbond Ultra Activator idem Prime&Bond active Self Cure Activator non conseillé pour AU Futurabond M+ DCA conseillé pour le M+ car le U est a priori compatible Clearfil DC Activator G-Premio BOND Dual Cure Activator Scotchbond Universal Dual Cure Activator</p>
--

Tableau 4 : Les activateurs à double polymérisation (DCA)

Mais nous n'avons pas d'information sur les compositions précises des DCA sur les « Safety Data Sheet » des fabricants, de plus les dénominations des fabricants peuvent être trompeuses, une même dénomination pouvait définir autant un activateur à polymérisation dual qu'autopolymérisable.

Cet initiateur spécifique est le sel de sodium de l'acide aryle sulfonique, qui contribue à former des radicaux libres phényles ou aryle sulfonyles, assurant ainsi une autopolymérisation non perturbée (14). Le Sel de sodium d'acide aryle sulfonique est un activateur en flacon séparé ou un additif de certains adhésifs, soit sous la forme de sel de sodium d'acide p-toluenesulfinique soit sous la forme de sel de sodium d'acide benzènesulfonique (15). Seuls deux adhésifs universels OptiBond eXTRa Universel (dans le 2^{ème} flacon) et Futurabond U contiennent l'activateur (« aryl sulfinate ») permettant la compatibilité avec les résines auto et dual polymérisation.

Il existe aussi des systèmes sans amine tertiaire pour amorcer la réaction, comportant un initiateur et un accélérateur à base de borate qui, en milieu acide, donne un borane donnant lui-même des radicaux libres. C'est le mécanisme de polymérisation du Palfique Universal Bond en deux flacons qui est autopolymérisable.

All-bond U grâce à son pH de 3,2 est compatible, selon le fabricant, avec les résines autopolymérisables et duales sans activateur (13).

4.7 L'ajout d'un « coat » (vernis) hydrophobe

Le produit idéal d'après différents auteurs consisterait en l'application d'une couche supplémentaire de résine hydrophobe après photopolymérisation de l'adhésif universel. La conversion du SAM 1 en un SAM 2 peut également augmenter la force d'adhérence. Cette couche de résine supplémentaire diminue la quantité de monomères hydrophiles et, par conséquent, le schéma de dégradation *in vitro* et *in vivo* lié à l'hydrophilie acide (16). On peut résoudre le problème également avec l'application d'un composite fluide à la place de la couche de résine hydrophobe (11). Mais le « coat » le plus approprié et le moins hydrophile c'est l'Héliobond (Ivoclar Vivadent) qui contient uniquement du BisGMA et du TEGDMA.

Par ailleurs Zecin-deren et coll. montrent que l'utilisation de couches adhésives triples avec des systèmes adhésifs simplifiés peut être recommandée pour améliorer leurs performances. En raison des différences de composition des adhésifs SAMs et des adhésifs universels, le protocole d'application exact dépend du produit (17) et de son mode d'utilisation (18).

5] Performances en laboratoire et en clinique

5.1 Adhérence émail

De prime abord, le pH de tout adhésif auto-mordançant est limité en acidité (l'acide phosphorique en solution à 37 % a un $\text{pH} < 1$) pour dissoudre et mordancer l'émail. Un mordantage sélectif de l'émail avec de l'acide phosphorique est nécessaire pour avoir une adhésion micro-mécanique maximale (13). Au niveau de l'émail les adhésifs universels présentent de bonnes performances en application MR ainsi qu'une bonne stabilité dans les différents modes d'application (SAM / MR) surtout pour les adhésifs « Mild », selon le concept de rétention micro-mécanique (19). D'après Nagarkar et coll., l'application active de l'adhésif sur l'émail avec un mordantage séparé, augmente les propriétés à long terme (9).

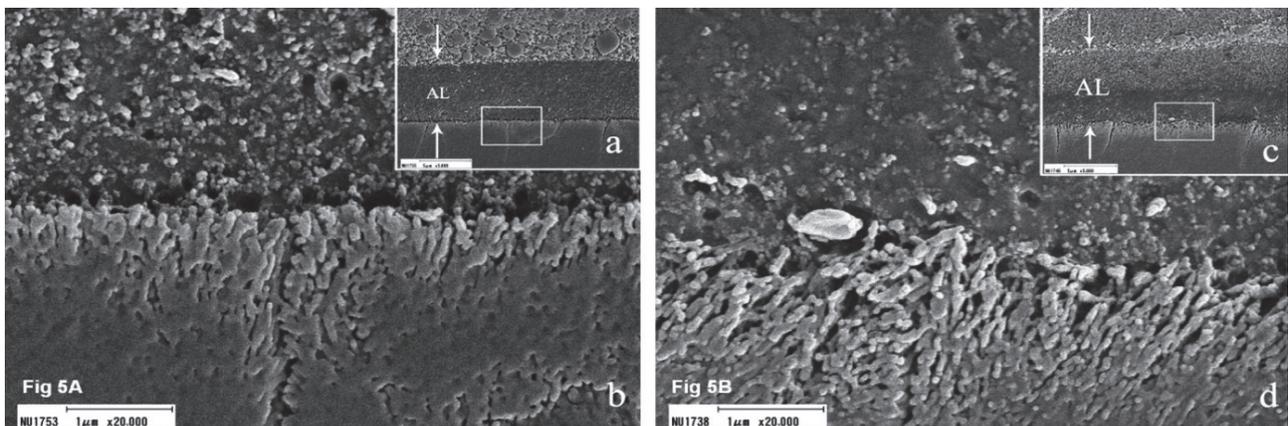


Figure 10 : Images représentatives au microscope électronique à balayage de l'interface adhésif-émail. AL: Couche adhésive
Grossissement * 20,000 ; Figure (a): Scotchbond Universal appliqué en MR. (b): Scotchbond Universal appliqué en SAM(20).

5.2 Adhérence dentine

Dans une méta-analyse de 2018, Elkaffas et coll. concluent que le protocole MR ou SAM n'influe pas significativement sur l'adhésion immédiate du Scotchbond Universal, 3M ESPE au niveau de la dentine (MR= 37MPa et SAM = 35 MPa) (20), avec le même résultat en 2014 par Wagner (21). Quatre études *in-vitro* trouvent le mode SAM sur la dentine plus stable sur le long terme. Le séchage de l'adhésif reste quant à lui très important en utilisation SAM sur la dentine (9). Au niveau de la dentine il y a énormément d'hétérogénéité au niveau des systèmes adhésifs simplifiés. Il est compliqué d'avoir une relation directe entre pH de l'adhésif et les performances de collage de ces adhésifs. Les preuves *in vitro* suggèrent que la force d'adhésion à la dentine des adhésifs universels dépendait de leur pH. Les performances d'adhésion *in-vitro* des adhésifs universels « Mild » pourraient être améliorées en utilisant le mordantage sélectif

mais ils semblent être aussi stables dans les techniques SAM et MR. Les adhésifs « Ultra mild » et « Intermediately strong » doivent être appliqués en SAM sur la dentine. Les adhésifs « Intermediately strong » présentent une diminution significative de la force d'adhésion après tout type de vieillissement *in-vitro* et quel que soit le support (substrat) (19).

5.3 Protocole d'utilisation des adhésifs universels d'après les études cliniques

Très peu d'essais cliniques randomisés ont évalué la performance clinique des adhésifs universels dans les LCNCs (Lésion Cervical Non Carieuses) et dans les cavités de classe II. Une revue de littérature avec méta-analyse a comparé huit essais cliniques sur les restaurations des LCNC. L'utilisation des adhésifs universels en mode MR ou SAM ne montre pas de différence pour l'adaptation marginale, l'absence de décoloration ou de coloration marginale, l'absence de caries secondaires et l'absence de sensibilité postopératoire. Cependant l'utilisation du mode MR résulte en un meilleur taux de rétention et moins de fractures (22). Nagarkar et coll. Concluent, malgré le nombre d'études cliniques insuffisant, que le mordantage sélectif pour les adhésifs universels est la technique de référence sur les dents permanentes, et d'autre part que pour les LCNC le mode MR peut être ajouté(9).

5.4 Adhérence à différents substrats

Les fabricants de la plupart des adhésifs universels déclarent qu'ils peuvent être utilisés non seulement pour le collage à la dentine et à l'émail, mais aussi comme primaire adhésifs spécifiques des substrats tels que la zircone, les métaux nobles et non nobles, les résines composites de laboratoire et les céramiques à base de silice (3).

Céramiques à base de silice (feldspathiques, leucite, disilicate de lithium) :

Lorsque qu'on applique *in vitro* le silane de manière séparé, on améliore le scellement marginal avec les adhésifs universels et une résistance au cisaillement plus élevée peut être obtenue pour la longévité de la réhabilitation. (9,23) Une application préalable de silane avant l'adhésif universel est nécessaire pour améliorer l'adhérence des résines composites aux céramiques feldspathiques (24).

Protocole collage : acide fluorhydrique 2,5 % - 10 % (13) + un primaire spécifique à base de silane sur l'intrados de la restauration indirecte ; et application de l'adhésifs universels en mode MR sur l'émail et auto-mordantant sur la dentine (9).

Céramique polycristalline : Zircone (ZrO_2 stabilisé par Y_2O_3)

Pour le collage de la zircone, quelques études démontrent que des adhésifs universels sont efficaces comme le sont les primaires spécifiques pour la zircone. Cependant deux études montrent une diminution importante de l'adhérence lors du stockage à l'eau (permet de simuler *in vitro* le vieillissement en milieu buccal) (9).

A l'heure actuelle, il existe trop peu d'études cliniques évaluant la performance des adhésifs universels sur la Zircone les céramiques ou les alliages (9). Mais Cuevas et coll. concluent très récemment que la capacité des adhésifs universels à obtenir une résistance d'adhésion adéquate et durable aux substrats indirects est limitée et dépend en grande partie du substrat sur lequel ils sont appliqués ; pour les vitrocéramiques et les alliages, l'utilisation d'un primaire spécifique permet d'augmenter la force d'adhérence par rapport aux adhésifs universels. La procédure clinique de collage des restaurations indirectes à base de zircone avec l'adhésif universel améliore la force d'adhérence comparée au primaire spécifique. Enfin les adhésifs universels obtiennent le même résultat que les primaires spécifiques pour les restaurations indirectes en résine composite (25).

6] Biocompatibilité et cytotoxicité

Il existe peu d'études et elles sont difficiles à reproduire selon des conditions similaires à la clinique. Des modèles 3D de diffusion dentinaire sont utilisés (avec des disques plus ou moins épais et poreux). En 2019, une revue systématique de Caldas et coll. au Brésil fait le point de 2009 à 2017 sur la cytotoxicité des adhésifs et adhésifs universels (26). Ils concluent que la standardisation de la perméabilité de la dentine humaine est nécessaire pour produire des résultats cohérents lors du test de barrière dentinaire. Le degré de conversion (DC) est un paramètre important dans les études de cytotoxicité qui est assez peu étudié. En ce sens, la relation entre la cytotoxicité des adhésifs testés et leur DC a été mesurée dans quatre études sélectionnées de la présente revue. Mais aucun consensus n'a pu être trouvé quant à la cytotoxicité des adhésifs et les résultats de DC. D'après Carrilho et coll. peu d'études sont concluantes et il n'existe pas de standardisation des méthodes permettant de comparer tous les adhésifs et protocoles actuels (10).

7] Protocole de collage, stratégie d'optimisation du collage

Les stratégies pour améliorer l'adhésion des adhésifs universels à la structure dentaire préconisées par les études de laboratoire en majorité, comprennent le contrôle du champ opératoire, l'utilisation d'inhibiteurs des MMPs, l'ajout d'une couche de résine hydrophobe supplémentaire, l'application de l'adhésif en mode actif et prolongé, l'application d'une double couche d'adhésif et l'évaporation prolongée de l'adhésif (9). Les résultats suggèrent que le DC des systèmes adhésifs testés est différent d'un produit à l'autre. L'application active de l'adhésif consiste à brosser l'adhésif lors de son application permettant ainsi une meilleure pénétration du monomère au travers de la boue dentinaire contribuant à une meilleure qualité d'interface adhésive. L'évaporation du solvant est aussi dépendante des caractéristiques du substrat et de l'uniformité des couches adhésives (10). Le protocole avec l'évaporation du solvant pendant dix secondes avec une seringue à air et vingt secondes de photopolymérisation donne des valeurs élevées de DC (27).

La synthèse de ces informations est dans un tableau réalisé en 2017 par l'équipe de Bredan-Russo et coll. appliqué aux adhésifs et adapté aux adhésifs universels (28).

Tableau 5 : Stratégie d'optimisation du collage ainsi que les techniques appliquées aux adhésifs universels

STRATEGIE	OBJECTIF	TECHNIQUE
Contrôle du champ opératoire	Prévient la contamination de la structure dentaire préparée (Salive, sang).	Utilisation optimale de la digue dentaire.
Abrasion de l'émail	Exposition des prismes d'émail, augmentant l'efficacité et la durabilité du collage.	Biseautage des angles cavosuperficiels des préparations en utilisant des fraises diamantées, surtout pour les LCNC.
Mordançage sélectif	Augmente la force d'adhérence et réduit les micro-infiltrations.	Application de l'acide phosphorique sur l'émail et rinçage avant l'application d'un adhésif simplifié (Universel).
Technique de collage humide	Prépare la dentine pour la couche hybride.	Retirer l'excès d'eau avec des mini-éponges de la dentine mordancée ; utilisation en mode SAM pour les adhésifs universels. (29,30)
Inhibiteurs des MMPs	Inhibe l'activation des enzymes endogènes responsables de la dégradation des fibrilles de collagènes.	Chlorhexidine à 2 % utilisée en primaire additionnel sur la dentine ou directement dans le Peak universel.
Évaporation du solvant amélioré	Retire les solvants de l'interface adhésive.	Séchage à l'air de la couche adhésive avant polymérisation.
La couche hydrophobe	Réduit l'adsorption de l'eau et stabilise la couche hybride dans le temps.	Application d'une couche de résine hydrophobe ou placement immédiat d'une résine fluide.
L'imprégnation de la dentine	Améliore l'imprégnation des monomères de résines dans les canalicules.	Augmentation du temps d'application de la résine adhésive avec une technique de brossage vigoureux.
Polymérisation prolongée	Augmente la polymérisation (Degré de conversion) et réduit la perméabilité.	Temps de polymérisation utilisé au-delà des recommandations du fabricant (20s à 40 s, à 60s)

8] Conclusion

Les adhésifs universels sont définitivement différents d'un produit à l'autre sur de nombreux points. Il est impossible de faire un classement global selon la performance de chacun. Le protocole de mordantage sélectif de l'émail est applicable à tous et permet une augmentation des performances à long terme et surtout le respect des protocoles de chaque adhésif universel est nécessaire (Temps de séchage, application active, temps de polymérisation...)

Il y a plus de choix d'indications avec les adhésifs universels, un nombre de produits réduit et une prise en main facilitée. D'un point de vue marketing, ces changements sont importants, nécessaires et même inévitables pour répondre aux goûts des consommateurs et maintenir la compétitivité des produits (12). Les adhésifs universels sont plus ou moins adaptés à toutes les situations selon les industriels, et ils tendent tous vers une utilisation en flacon unique et universelle. Une fois le protocole de l'adhésif choisi respecté, le praticien peut avoir recours à des solutions complémentaires en fonction du besoin de coller à divers substrats : céramique feldspathiques, vitrocéramiques, zircone, ou pour résoudre l'incompatibilité avec les adhésifs autopolymérisant. L'absence de données à long terme concernant les performances cliniques des adhésifs universels compliquent cependant la prise de décision clinique (9). Malgré la volonté de simplifier le protocole de collage, une très bonne connaissance des différents composants de l'adhésif est indispensable pour améliorer la mise en œuvre et en conséquence la longévité des restaurations directes en résine composite (31).

Bibliographie

1. Todd J-C, Braziulis E. Document scientifique, Adhese universel. 2015.
2. Les Adhésifs Amélo-Dentinaires. The Dentalist [Internet]. 2016.
3. Alex G. Universal adhesives : the next evolution in adhesive dentistry? *Compend Contin Educ Dent.* 2015 ;36(1):15-26; quiz 28, 40.
4. Van Meerbeek B, Munck JD, Yoshida Y, Inoue S, Vargas M, Vijay P, et al. Adhesion to Enamel and Dentin: Current Status and Future Challenges. *Oper Dent.* 2003;28(3):215-35.
5. Fukegawa D, Hayakawa S, Yoshida Y, Suzuki K, Osaka A, Van Meerbeek B. Chemical interaction of phosphoric acid ester with hydroxyapatite. *J Dent Res.* 2006 Oct;85(10):941-4.
6. Van Meerbeek B, Yoshihara K, Yoshida Y, Mine A, State of the art of self-etch adhesives. *Dent Mater.* 2011;27(1):17-28.
7. Migliau G. Classification review of dental adhesive systems: from the IV^o generation to the universal type. *Ann Stomatol (Roma).* 2017;8(1):1.
8. Van Landuyt KL, Snauwaert J, Peumans M, De Munck J, Lambrechts P, Van Meerbeek B. The role of HEMA in one-step self-etch adhesives. *Dent Mater.* 2008;24(10):1412-9.
9. Nagarkar S, Theis-Mahon N, Perdigão J. Universal dental adhesives: Current status, laboratory testing, and clinical performance. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2019;107(6):2121-2131.
10. Carrilho E, Cardoso M, Marques Ferreira M, Marto CM, Paula A, Coelho AS. 10-MDP Based Dental Adhesives: Adhesive Interface Characterization and Adhesive Stability-A Systematic Review. *Materials (Basel).* 2019 Mar 7;12(5).
11. Tay FR, Pashley DH. Have dentin adhesives become too hydrophilic? *J Can Dent Assoc.* 2003;69(11):726-31.
12. Pucci CR, Gu L-S, Zhang H, Song Q, Xia VW, Davis LB, et al. Water-associated attributes in the contemporary dentin bonding milieu. *J Dent.* 2018; 74:79-89.
13. Byoung Suh. Principles of adhesion dentistry - Byoung Suh [Livre]. 2013.
14. Suh BI, Feng L, Pashley DH, Tay FR. Factors contributing to the incompatibility between simplified-step adhesives and chemically-cured or dual-cured composites. Part III. Effect of acidic resin monomers. *J Adhes Dent.* 2003;5(4):267-82.
15. Kwon T-Y, Bagheri R, Kim YK, Kim K-H, Burrow MF. Cure mechanisms in materials for use in esthetic dentistry: Cure mechanisms in dentistry. *J Investig Clin Dent.* 2012 ;3(1):3-16.
16. Muñoz MA, Sezinando A, Luque-Martinez I, Szesz AL, Reis A, Loguercio AD, et al. Influence of a hydrophobic resin coating on the bonding efficacy of three universal adhesives. *J Dent.* 2014;42(5):595-602.
17. Zecin-Deren A, Sokolowski J, Szczesio-Wlodarczyk A, Piwonski I, Lukomska-Szymanska M, Lapinska B. Multi-Layer Application of Self-Etch and Universal Adhesives and the Effect on Dentin Bond Strength. *Molecules.* 2019 Jan 18;24(2)

18. Ahmed MH, De Munck J, Van Landuyt K, Peumans M, Yoshihara K, Van Meerbeek B. Do Universal Adhesives Benefit from an Extra Bonding Layer? *J Adhes Dent.* 2019;21(2):117-132.
19. Cuevas-Suárez CE, da Rosa WL de O, Lund RG, da Silva AF, Piva E. Bonding Performance of Universal Adhesives: An Updated Systematic Review and Meta-Analysis. *J Adhes Dent.* 2019;21(1):7-26.
20. Elkaffas AA, Hamama HHH, Mahmoud SH. Do universal adhesives promote bonding to dentin? A systematic review and meta-analysis. *Restor Dent Endod.* 2018;43(3):e29.
21. Wagner A, Wendler M, Petschelt A, Belli R, Lohbauer U. Bonding performance of universal adhesives in different etching modes. *J Dent.* 2014;42(7):800-7.
22. Arbildo, Heber et al. Comparison of the clinical effect of the adhesive strategies of universal adhesives in the treatment of non-cariou cervical lesions. Systematic review and meta-analysis. *Journal of Oral Research*, [S.l.], v. 7, n. 5, p. 210-222, 2018. ISSN 0719-2479.
23. Melo LA, Moura ID, Almeida EO, Junior AC, Dias TG, Leite FP. Efficacy of prostheses bonding using silane incorporated to universal adhesives or applied separately: A systematic review. *J Indian Prosthodont Soc.* 2019;19(1):3-8.
24. Suárez-Moya DA, Cruz-González AC, Calvo-Ramírez JN. Interaction of a universal adhesive with different surface treatments with feldspathic ceramics. *Saudi Dent J.* 2019;31(3):350-4.
25. Cuevas-Suárez CE, Luiz de Oliveira da Rosa W, Vitti RP, da Silva AF, Piva E. Bonding Strength of Universal Adhesives to Indirect Substrates: A Meta-Analysis of In Vitro Studies. *J Prosthodont.* 2020; jopr.13147.
26. Caldas IP, Alves GG, Barbosa IB, Scelza P, de Noronha F, Scelza MZ. In vitro cytotoxicity of dental adhesives: A systematic review. *Dent Mater.* 2019 Feb;35(2):195-205.
27. Carvalho CN, Lanza MDS, Dourado LG, Carvalho EM, Bauer J. Impact of Solvent Evaporation and Curing Protocol on Degree of Conversion of Etch-and-Rinse and Multimode Adhesives Systems. *Int J Dent.* 2019; 2019:5496784.
28. Bedran-Russo A, Leme-Kraus AA, Vidal CM, Teixeira EC. An Overview of Dental Adhesive Systems and the Dynamic Tooth-Adhesive Interface. - *Dent Clin North Am.* 2017;61(4):713-731.
29. Tsujimoto A, Shimatani Y, Nojiri K, Barkmeier WW, Markham MD, Takamizawa T, et al. Influence of surface wetness on bonding effectiveness of universal adhesives in etch-and-rinse mode. *Eur J Oral Sci.* 2019 ;127(2) :162-169.
30. Sugimura R, Tsujimoto A, Hosoya Y, Fischer NG, Barkmeier WW, Takamizawa T, et al. Surface moisture influence on etch-and-rinse universal adhesive bonding. *Am J Dent.* 2019;32(1):33-8.
31. Kaczor K. Effects of different etching modes on the nanoleakage of universal adhesives: A systematic review and meta-analysis. - *J Esthet Restor Dent.* 2018;30(4):287-298.

LEXIQUES

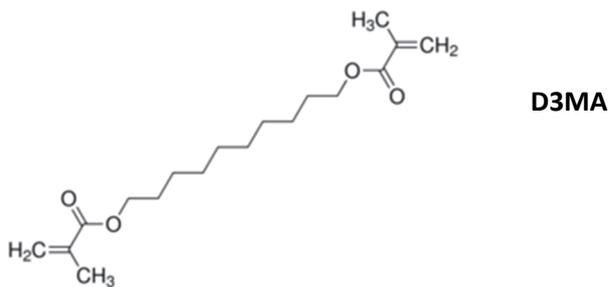
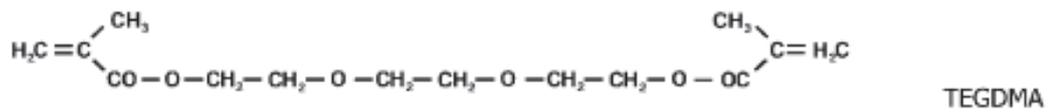
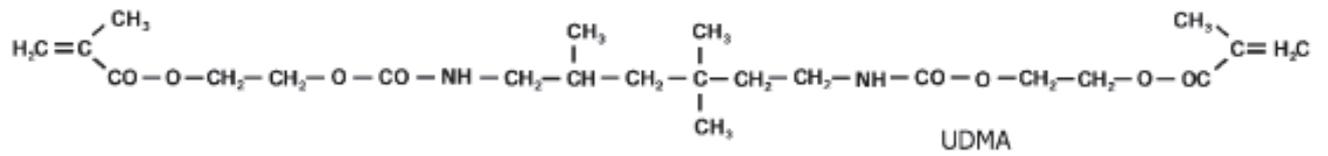
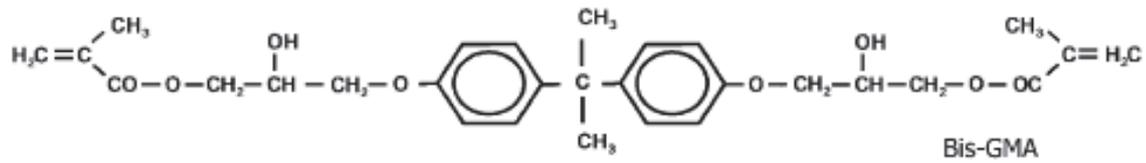
Listes Monomères Fonctionnels

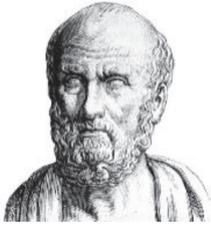
- 10-MDP : 10-methacryloxydecyl dihydrogen phosphate
MAC-10 : 11-methacryloyloxy-1,10-undecanedicarboxylic acid
MTU-6 : (monomère de thiouracil) 6-méthacryloyloxyhexyl 2-thiouracil-5-carboxylate
PENTA : dipentaerythritol pentaacrylate monophosphate
4-META : 4-methacryloyloxyethyl trimellitate anhydride
4-MET : 4-methacryloyloxyethyl trimellitic acid
GPDM: glycerol-phosphate dimethacrylate
HEMA: 2-hydroxyethyl methacrylate
HEMA-phosphate: 2-hydroxyethyl methacryl dihydrogenphosphate

Listes Monomères Structurels

- TEG-DMA: triethylene glycol dimethacrylate
UDMA: urethanedimethacrylate ou 1,6-di(methacryloyloxyethylcarbonyl)-3,3,5-trimethylhexane
BIS-GMA: bisphenol glycidyl methacrylate;
MCAP: methacrylated carboxylic acid polymer;
D3MA : 1,10-Decanediol dimethacrylate
DMAEMA : dimethylaminoethyl methacrylate
PAC (Vitrebond copolymère) : methacrylate-modified polyalkenoic acid copolymer

MONOMERES de RETICULIATION ou de STRUCTURE
(ou CROSS-LINKING MONOMERES)





SERMENT MEDICAL

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

NOUDEAU Paul - L'utilisation des adhésifs universels dans l'omnipratique.

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

Rubrique de classement : Biomatériaux

Résumé :

La dentisterie adhésive a connu des progrès remarquables et constants au cours des dernières décennies, et a sans aucun doute révolutionné la pratique dentaire restauratrice.

Les adhésifs dentaires se sont développés en corrélation avec les composites dentaires. L'objectif de cette thèse est l'utilisation des adhésifs universels en omnipratique ; à partir d'une revue de la littérature scientifique.

Les différents adhésifs universels et leurs principales caractéristiques sont répertoriés entre les produits bien qu'il existe une importante diversité.

Au cours de cette étude nous nous intéressons plus particulièrement au 10-MDP, un composant essentiel à cette nouvelle classe d'adhésifs.

Des solutions améliorant les performances sont possibles comme l'ajout d'une couche de résine hydrophobe ou de composite fluide pour éviter les dégradations.

Enfin on observera par l'intermédiaire de tests *in-vitro* et d'études cliniques, les performances sur la dentine et l'émail ainsi que sur différents substrats.

Mots-clefs : Collage dentaire, adhésifs dentaires, adhésifs universels.

NOUDEAU Paul - The use of universal adhesives in general practice

Abstract:

Adhesive dentistry has experienced remarkable and constant progress in recent decades, and has undoubtedly revolutionized restorative dental practice.

Dental adhesives have developed in correlation with dental composites.

The objective of this thesis is the use of universal adhesives in general practice ; from review of the scientific literature.

The different universal adhesives and their main characteristics are listed between the products although there is a great diversity.

During this study we are particularly interested in 10-MDP, an essential component in this new class of adhesives.

Solutions improving performance are possible: such as adding a layer of hydrophobic resin or fluid composite to avoid degradation.

And finally we will observe through in-vitro testing and clinical studies, performance on dentin and enamel as well as on different substrates.

MeSH: Dental Bonding, dental adhesives, universal adhesives.

Adresse de l'auteur :

233 Rue Saint-Pierre
13005 Marseille