



HAL
open science

Intérêt des adhésifs universels dans le collage aux céramiques dentaires

Arnaud Hemamouche

► **To cite this version:**

Arnaud Hemamouche. Intérêt des adhésifs universels dans le collage aux céramiques dentaires. Sciences du Vivant [q-bio]. 2018. dumas-01784991

HAL Id: dumas-01784991

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01784991v1>

Submitted on 4 May 2018

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

AVERTISSEMENT

Cette thèse d'exercice est le fruit d'un travail approuvé par le jury de soutenance et réalisé dans le but d'obtenir le diplôme d'État de docteur en chirurgie dentaire. Ce document est mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt toute poursuite pénale.

UNIVERSITÉ PARIS DESCARTES

FACULTÉ DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année 2018

N° 002

THÈSE

POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement le : 30 janvier 2018

Par

Arnaud HEMAMOUCHE

Intérêt des adhésifs universels dans le collage aux céramiques dentaires

Dirigée par Mme le Docteur Hélène Fron Chabouis

JURY

Mme le Professeur Florence Chemla

Président

Mme le Professeur Tiphaine Davit-Béal

Assesseur

Mme le Docteur Élisabeth Dursun

Assesseur

Mme le Docteur Hélène Fron Chabouis

Assesseur

Mme le Docteur Émilie Bordet

Invitée

Tableau des enseignants de la Faculté

UNIVERSITÉ PARIS DESCARTES - FACULTÉ DE CHIRURGIE DENTAIRE

DÉPARTEMENTS	DISCIPLINES	PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS	MAÎTRES DE CONFÉRENCES
1	ODONTOLOGIE PÉDIATRIQUE	Mme DAVIT-BEAL Mme VITAL	M. COURSON Mme DURSUN Mme JEGAT Mme SMAIL-FAUGERON Mme VANDERZWALM
	ORTHOPÉDIE DENTO-FACIALE		Mme BENAHMED M. DUNGLAS Mme KAMOUN-GOLDRAT Mme LE NORCY
	SANTÉ COMMUNAUTAIRE ET POPULATIONS SINGULIÈRES	Mme FOLLIGUET	
2	PARODONTOLOGIE	Mme COLOMBIER Mme GOSSET	M. BIOSSE DUPLAN M. GUEZ
	MÉDECINE ET CHIRURGIE BUCCALES	M. MAMAN Mme RADOI	Mme EJEIL M. GAULTIER M. HADIDA M. MOREAU M. NGUYEN
3	ODONTOLOGIE CONSERVATRICE ENDODONTIE	Mme BOUKPESSI Mme CHEMLA	Mme BERES (MCU associée) Mme BESNAULT M. BONTE Mme COLLIGNON (MCU associée) M. DECUP Mme GAUCHER
	PROTHÈSE	M. POSTAIRE	M. CHEYLAN M. DAAS M. DOT M. EID Mme FOUILLOUX-PATEY Mme GORIN M. RENAULT M. RIGNON-BRET M. TIRLET M. TRAMBA Mme WULFMAN
4	PRÉVENTION-ÉPIDÉMIOLOGIE ÉCONOMIE DE LA SANTÉ ET ODONTOLOGIE LÉGALE		Mme GERMA M. PIRNAY M. TAVERNIER
	SCIENCES BIOLOGIQUES	Mme CHAUSSAIN M. GOGLY Mme POLIARD M. ROCHEFORT (PU associé) Mme SEGUIER	M. ARRETO Mme BARDET Mme CHARDIN Mme CHERIFI (MCU associée) M. FERRE M. LE MAY
	SCIENCES ANATOMIQUES PHYSIOLOGIQUES ET OCCLUSODONTIQUE		M. ATTAL Mme BENBELAID Mme BENOIT M. BOUTER M. CHARRIER M. CHERRUAU M. FLEITER Mme FRON M. SALMON Mme TILOTTA

Remerciements

À Mme le Professeur Florence Chemla

Docteur en Chirurgie dentaire

Docteur de l'Université Paris Descartes

Habilitée à Diriger des Recherches

Professeur des Universités, Faculté de Chirurgie dentaire Paris Descartes

Praticien Hospitalier, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris

Chef de service de l'hôpital Charles Foix

Chevalier de l'ordre des palmes académiques

Qui me fait l'honneur de bien vouloir présider mon jury et qui dirige avec une implication totale le service d'odontologie de Charles Foix où j'ai reçu ma formation initiale. Merci.

À Mme le Professeur Tiphaine Davit-Béal

Docteur en Chirurgie dentaire

Spécialiste qualifiée en Médecine bucco-dentaire

Ancien Interne des Hôpitaux

Docteur de l'Université Pierre et Marie Curie

Habilitée à Diriger des Recherches

Professeur des Universités, Faculté de Chirurgie dentaire Paris Descartes

Praticien Hospitalier, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris

Pour avoir accepté de faire partie de mon jury, après avoir été présente à chaque étape clé de ma formation. Pour son encadrement lors de cette dernière, pour son amour de la pédodontie qu'elle m'a en partie transmis sans le savoir, pour sa disponibilité et son professionnalisme exemplaire, ainsi que pour sa pédagogie qui dépasse le cadre strict de la pratique clinique. Merci.

À Mme le Docteur Élisabeth Dursun

Docteur en Chirurgie dentaire

Ancien Interne des Hôpitaux

Docteur de l'Université Paris 13

Maitre de Conférences des Universités, Faculté de Chirurgie dentaire Paris Descartes

Praticien Hospitalier, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris

Pour la rigueur de ses enseignements, sa disponibilité, son désir de transmettre ses connaissances, ainsi que son écoute, et qui a accepté de faire partie de mon jury. Merci.

À Mme le Docteur Hélène Fron Chabouis

Docteur en Chirurgie dentaire

Docteur de l'Université Paris 13

Maitre de Conférences des Universités, Faculté de Chirurgie dentaire Paris Descartes

Praticien Hospitalier, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris

Pour son encadrement lors de ma formation initiale qui m'a permis de découvrir mon intérêt pour les biomatériaux, pour la réalisation de soins ultraconservateurs et pour les nouvelles technologies comme la CFAO, pour sa patience, pour son engagement, son perfectionnisme clinique exemplaire, sa gentillesse, sa disponibilité et son aide. Merci.

À Mme le Docteur Émilie Bordet

Docteur en Chirurgie dentaire

Qui m'a formé en parodontie sans ménager son temps, pour sa patience et sa pédagogie, pour son amour de la parodontie dont elle déborde, mais aussi pour son expérience professionnelle qu'elle a gentiment accepté de me faire profiter au-delà même du cadre de ma formation. Pour avoir accepté d'être présente dans mon jury. Merci.

A certains praticiens du service d'odontologie de l'hôpital Charles Foix, que je ne peux que citer, comme le Dr. Margaux HINET, qui m'a permis de profiter de son professionnalisme, en plus de sa sympathie et des soins qu'elle m'a apportés ; au Dr. Anthony ATLAN, auprès de qui j'ai eu la chance de travailler et qui m'a énormément fait progresser en odontologie conservatrice.

A Mounia AMARA, qui a fait beaucoup plus pour moi qu'être ma tutrice en 4^{ième} année, et à qui je ne peux que dire merci encore une fois.

A mes parents, qui m'ont tout donné pour que je puisse devenir l'homme que je construis chaque jour, et à qui ce court remerciement constitue un maigre témoignage.

A mon grand frère, mon exemple, qui m'a soutenu et aidé durant toutes ces années et celles à venir.

A ma fiancée, pour son aide, son soutien, ses conseils, ses encouragements, et tellement plus encore !

Merci !

Table des matières

INTRODUCTION	3
1 : CONCEPTS GENERAUX	4
1.1 INTERET DU COLLAGE EN GENERAL ET DU COLLAGE AUX CERAMIQUES EN PARTICULIER.....	4
1.2 DEFINITION DES ADHESIFS UNIVERSELS	8
1.2.1 Les adhésifs universels actuellement disponibles sur le marché	8
1.2.2 Indications et place des adhésifs universels	10
1.2.3 Différence entre les systèmes adhésifs universels et les systèmes adhésifs existants.....	11
1.3 COMPOSITION DES ADHESIFS UNIVERSELS ET ROLE DES CONSTITUANTS.....	14
1.3.1 Solvants des adhésifs universels et collage à la céramique	14
1.3.2 Monomères des adhésifs universels et collage à la céramique	15
1.3.3 Incorporation de silane aux adhésifs universels et collage à la céramique	17
1.4 CLASSIFICATION ET COMPOSITION DES CERAMIQUES.....	18
1.4.1 Céramiques vitreuses ou vitrocéramiques.....	18
1.4.2 Céramiques infiltrées (gamme InCeram).....	20
1.4.3 Céramiques polycristallines : alumine et zirconne.....	20
1.4.4 Protocoles d'assemblage de référence pour les différentes céramiques.....	21
1.4.5 Indications des différentes céramiques	23
1.5 OBJECTIFS DE LA THESE.....	25
2 : MATERIEL ET METHODE	26
3 : RESULTATS	28
3.1 RESULTAT DE LA RECHERCHE SUR PUBMED	28
3.2 CARACTERISTIQUES GENERALES DES ETUDES INCLUES DANS LA REVUE SYSTEMATIQUE	28
3.2.1 Céramiques étudiées	28
3.2.2 Adhésifs universels étudiés.....	29
3.2.3 Types d'études (in vitro, clinique, vieillissement, comparaison au protocole de référence).....	30
3.2.4 Résultats : significatifs ou non ? en faveur ou en défaveur des adhésifs universels ?	34
3.2 ELEMENTS PARTICULIERS REVELES PAR LES ARTICLES	37
3.2.1 Résultats concernant le silane	37
3.2.2 Résultats concernant le MDP.....	42
3.2.3 Résultats concernant les interactions des matériaux.....	43
3.2.4 Résultats : efficacité du collage aux céramiques avec un adhésif universel en fonction du choix de la colle	44

3.2.5 Résultats concernant la zircone	46
4 : DISCUSSION	48
4.1 PHENOMENES D'ADHESION DU MDP ET DU SILANE AUX CERAMIQUES	48
4.1.1 Le monomère avec potentiel adhésif : le MDP	48
4.1.2 Le silane	50
4.2 INTERACTIONS DES COMPOSANTS DES ADHESIFS UNIVERSELS ET IMPACTS SUR L'ADHESION AUX CERAMIQUES	53
4.2.1 Interactions concernant le couple MDP- silane	53
4.2.2 Interaction entre BisGMA, silanol et MDP	54
4.2.3 Interaction HEMA-MDP	55
4.2.4 Autres interactions ?	55
4.2.5 Impact des caractéristiques physiques sur les assemblages	56
4.3 NATURE DES TESTS MECANIQUES UTILISES	56
CONCLUSION	59
BIBLIOGRAPHIE	61
TABLE DES FIGURES	67
TABLE DES TABLEAUX	69
ANNEXES	70

Introduction

Le collage a été une révolution dans la dentisterie à tel point qu'aujourd'hui, la plupart des restaurations directes et indirectes font appel aux techniques adhésives. Cependant, la réalisation d'un bon collage suppose une multitude d'étapes ne permettant pas de compromis. Le respect strict des protocoles et consignes des fabricants apparaît contraignant en omnipratique.

L'assemblage des prothèses dentaires est complexe pour les praticiens car il faut de plus en plus intervenir de nouveaux substrats et systèmes adhésifs très différents les uns des autres. Ceci contribue à inciter les fabricants et chercheurs à trouver des solutions afin de réduire à la fois le nombre d'étapes et le nombre de matériaux à utiliser, tout en garantissant des résultats cliniquement adaptés pour les soins de nos patients.

Par conséquent, depuis quelques années, en parallèle de l'accroissement de la demande esthétique de la part de nos patients ainsi que des considérations sur le vieillissement et la biocompatibilité des restaurations prothétiques, la dentisterie a vu apparaître sur le marché des adhésifs dentaires une nouvelle gamme de matériau : les adhésifs universels. Ces adhésifs sont présentés comme permettant une adhérence à différents substrats, dentaires ou prothétiques.

La chimie de ces systèmes adhésifs, leur vieillissement, et la véracité des promesses des fabricants n'étant pas complètement connus, cela nous a conduit à travailler sur le collage des céramiques dentaires à l'aide de ces systèmes dits universels. Nous avons donc réalisé une revue systématique de la littérature afin de répondre à la question suivante : quelle est la place des adhésifs universels dans le collage des prothèses dentaires en céramiques ?

Nous verrons quelques caractéristiques des adhésifs universels et des céramiques pour comprendre une partie de la chimie du collage, puis nous ferons une revue de la littérature afin d'étudier la qualité du collage aux différents types de céramiques avec cette nouvelle catégorie de système adhésif, avant de synthétiser et de conclure sur ce sujet pour la pratique clinique.

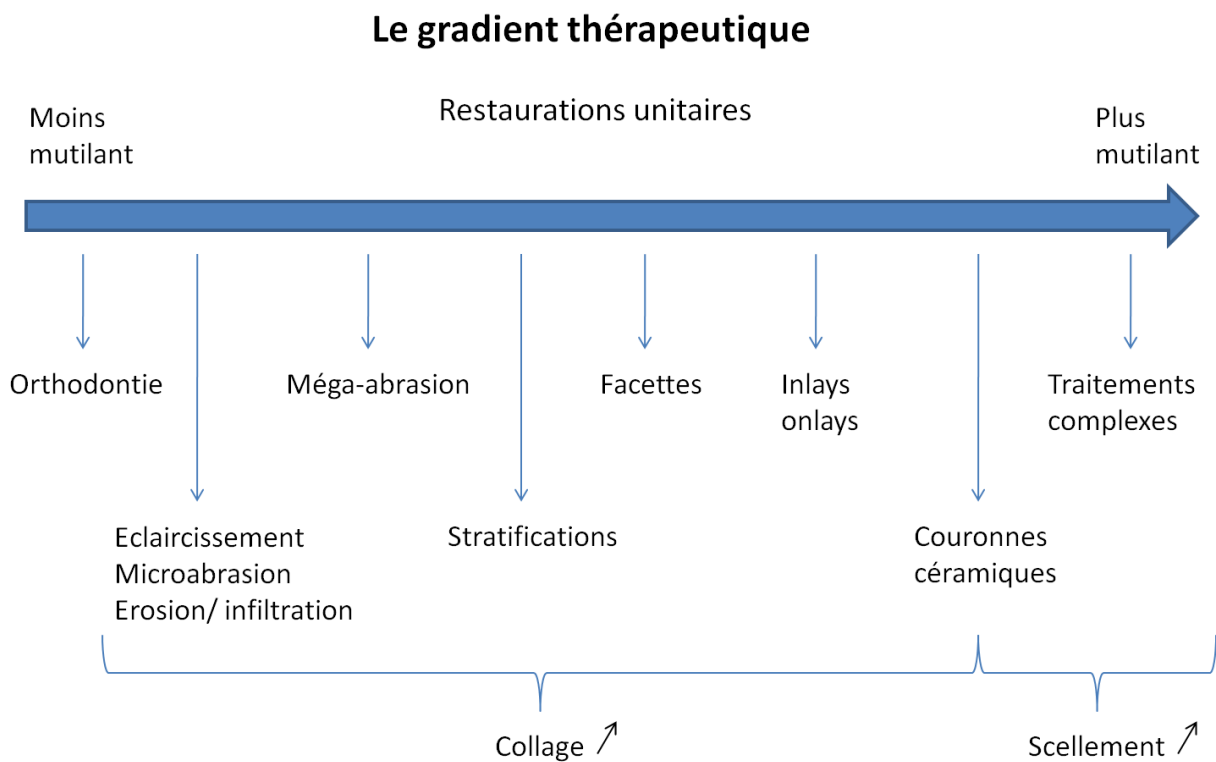
Remarque : Dans ce travail, le collage des adhésifs universels avec les structures dentaires (émail, dentine et cément) ne sera pas étudié.

1 : Concepts généraux

1.1 Intérêt du collage en général et du collage aux céramiques en particulier

Le concept de collage s'est largement développé depuis sa création pour devenir une référence actuellement en odontologie conservatrice afin de garantir la conservation tissulaire. Cependant, cette approche s'est aussi développée en prothèse conjointe via les soins restaurateurs par inlay, onlay, overlay. Le développement du collage s'intègre parfaitement dans le gradient thérapeutique¹ de référence aujourd'hui (voir figure 1).

Figure 1 : Gradient thérapeutique pour le choix des restaurations envisageables pour un soin unitaire.



Source : Tirlet et Attal, « Le gradient thérapeutique : un concept medical pour les traitements esthétiques », 2009.

Nous pouvons voir sur ce schéma que la stratégie adhésive intervient avant celle du scellement (qui concerne les traitements complexes scellés : inlay-core, couronne et bridge) et que nos thérapeutiques actuelles visent à repousser les indications de ces traitements.

¹ Tirlet et Attal, « Le gradient thérapeutique : un concept medical pour les traitements esthétiques ».

En effet, en odontologie restauratrice et endodontie, le collage a permis de réaliser des restaurations ultraconservatrices en éliminant que les structures altérées non conservables, sans avoir à rechercher de configuration cavitaire en contre dépouille comme auparavant avec l'utilisation des amalgames dentaires.

Pour illustrer ce propos, nous pouvons comparer les schémas suivants (figures 2 à 4) qui, pour une même perte de substance, préfigurent le volume de la restauration à venir, ainsi que la perte de substance totale, dans le cas d'une atteinte carieuse occluso-proximale.

Figure 2 : Schéma de mise en contre dépouille de la préparation en A, et préparation à minima en B.

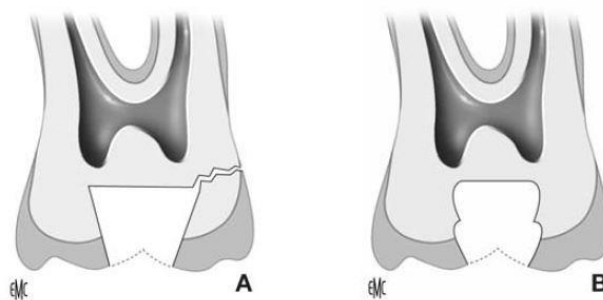


Figure 3 : Schéma de principe de la préparation pour une restauration amalgame foulée occluso-mésiale.

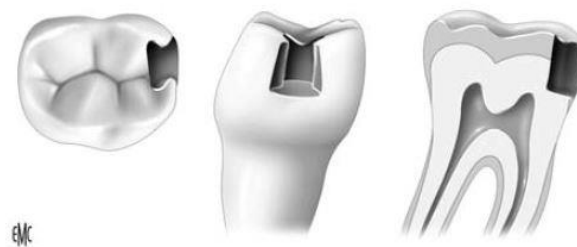
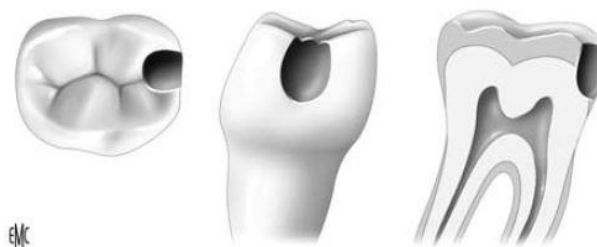


Figure 4 : Schéma de principe de la préparation pour une restauration composite collée occluso-mésiale.



Source (figures 2, 3 et 4) : Turpin et Vulcain, « Principes généraux de préparation des dents en vue de leur restauration », 2016.

Grâce aux figures 2, 3 et 4, nous pouvons comprendre le concept de préservation tissulaire (conservation d'un maximum de structure dentaire allant de pair avec une réduction du volume de la restauration et du risque de fracture).

En endodontie, le concept de collage a permis également d'être plus conservateur. On peut citer par exemple la réalisation de Reconstitutions par Matériaux Insérés en Phase Plastique (abréviation RMIPP) lorsque les structures restantes le permettent, bien moins mutilantes que les restaurations par inlay-core métalliques, accompagnées de leur risque de fracture radiculaire, alors que les RMIPP renforcent les structures dentaires collées.

Mais, en prothèse conjointe, le collage intervient également à plusieurs niveaux. Par exemple, il est possible de combler une contre dépouille avec un composite fluide afin de mettre une préparation de dépouille, plutôt que d'effondrer encore d'avantage de structure amélo-dentinaire (voir figure 5). De plus, grâce aux techniques de remontée de marge et aux progrès des systèmes d'assemblages, l'indication des couronnes conventionnelles se retrouve encore repoussée au profit de la réalisation d'onlays/ overlays.

Par ailleurs, le collage trouve tout son intérêt dans le cas de préparations dentaires pour inlays ou onlays, de dépouille, faiblement rétentrices.

Figure 5 : Schéma de principe mettant en évidence la préservation tissulaire par comblement (en beige) de la contre dépouille et l'Immediate Dentin Sealing lors d'une réhabilitation prothétique par onlay collé.



Source : Ahlers et al, « Guidelines for the preparation of CAD/CAM ceramic inlays and partial crowns », 2009.

Enfin, la couronne conventionnelle scellée, laisse progressivement place à la couronne collée quand cela est possible.

De plus, si le collage a plus que démontré son intérêt sur le plan biologique (conservation tissulaire, recul clinique, étanchéité des restaurations compatible avec la santé pulpaire), il est aussi intéressant sur le plan mécanique en prothèse conjointe céramique.

Effectivement, de nombreuses études ont établi que la céramique, matériau rigide et fragile, est renforcée par le collage (figure 6). Aujourd'hui, lors de l'assemblage d'une prothèse conjointe en céramique, les étapes d'essayage et de réglages occluso-proximaux se font le plus délicatement possible pour éviter tout stress de la céramique, éventuellement en ayant recours à des pâtes d'essayage (« try-in pastes »). Mais les vrais réglages peuvent se réaliser sans difficulté sur une céramique collée, même si le risque de chipping lié à un fraisage est à prendre en compte. Cependant, les contraintes en bouche subies par une céramique correctement réalisée (épaisseur et choix du matériau correct) ne sont pas suffisantes pour altérer ce matériau.

Figure 6 : Modification de l'intensité des contraintes induites sur la céramique, selon qu'elle est collée (ovales noirs) ou non (carrés blancs).

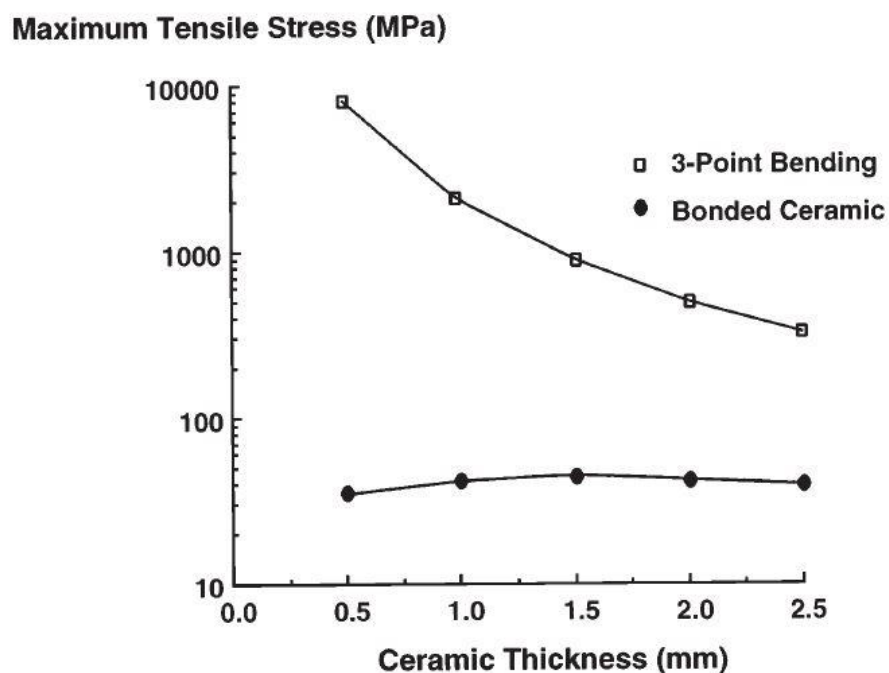


Fig. 2. Calculated maximum tensile stresses as function of thickness for identical bars of veneer porcelain either bonded to dentin or loaded in 3-point bending (10 mm support). Stresses in bend bar follow (thickness)² relationship, whereas bonded ceramic is virtually insensitive to thickness variations from 1.0 to 2.5 mm.

Source : Kelly, « Clinically relevant approach to failure testing of all-ceramic restoration », 1999.

D'après ce graphique de Kelly R.J et al², nous pouvons comprendre que le collage renforce la céramique (ici la céramique vitreuse). En effet, ces auteurs ont mis en évidence que le stress subi par une céramique non collée est influencé par son épaisseur (plus elle est épaisse, mieux elle se comporte), alors qu'une céramique collée est beaucoup moins sensible aux variations d'épaisseur, et se comporte mieux que la précédente. La contrainte n'est plus subie uniquement par la céramique, mais transmise au matériau d'assemblage.

Par ailleurs, les complications ou échecs lors de ces assemblages collés sont majoritairement constitués, selon Morimoto et al³, de fractures / chipping (de l'ordre de 4% sur 10 ans), complications endodontiques (3% sur 10 ans), et caries secondaires dans 1% des cas à 10 ans, le décollement ne figurant qu'en quatrième raison à hauteur de 1% également. Donc les causes d'échec ne concernent que très peu le collage en lui-même.

Les restaurations en zircone étaient historiquement scellées, mais la recherche sur l'intérêt de leur collage est en faveur de cette stratégie d'adhésion, qui semble augmenter la résistance en fatigue de la zircone (d'après Campos et Al.).⁴

L'intérêt du collage sur le plan biomécanique en restauration directe ou indirecte, n'est plus à établir aujourd'hui. Actuellement, les questions autour du collage concernent son optimisation, ainsi que l'extension de ses indications.

1.2 Définition des adhésifs universels

1.2.1 Les adhésifs universels actuellement disponibles sur le marché

Nous nous sommes intéressés à ces systèmes dits universels.

Parmi les adhésifs universels présents sur le marché dentaire actuellement, nous pouvons citer les systèmes présentés dans le tableau 1.

² Kelly « Clinically relevant approach to failure testing of all-ceramic restorations ».

³ Morimoto et al., « Survival Rate of Resin and Ceramic Inlays, Onlays, and Overlays ».

⁴ Campos et al., « Adhesive cementation promotes higher fatigue resistance to zirconia crowns ».

Tableau 1 : Liste des adhésifs universels sur le marché dentaire actuellement, et abréviations utilisées.

Nom du système adhésif	Fabricant ⁵	Abréviation utilisée par la suite
Scotchbond Universal ou Single Bond U	3M ESPE	SBU
Prime and Bond Elect	Dentsply	PBE
Prime and Bond Active	Dentsply	PBA
One Coat 7.0 Universal	Coltene	OC7
Adhese Universal	Ivoclar Vivadent	ADHU
Ibond Universal	Kulzer	IU
Xeno Select	Dentsply Sirona	XS
G-Premio Bond	GC	GPB
Futurabond M+ et Futurabond U	Voco	FM et FU
All-Bond Universal	Bisco	ABU
Clearfil Universal Bond	Kuraray	CU
Iperbond Ultra	Itena	IBU

Source : Auteur, 2017

Notons ici que le Prisma Universal Bond⁶ de chez Dentsply ne sera pas étudié dans ce travail en raison du manque de données scientifiques à son sujet (impossibilité de préciser son mode d'emploi et ses indications).

Par ailleurs, le Peak Universal Bond⁷ de chez Ultradent apparait comme un faux universel. En effet, dans la lecture de son mode d'emploi, nous pouvons voir que c'est plutôt un adhésif utilisable en tant que système mordantage rinçage (MR) en 2 temps (MR2) ou en tant que système auto-mordant (SAM) en 2 temps (SAM2), mais pas un universel.

D'après les sites de leurs fabricants (tableau 1), nous pouvons remarquer plusieurs choses :

-ces adhésifs sont présentés comme étant efficaces avec ou sans mordantage préalable des structures dentaires (utilisation avec mordantage comme un système MR, ou sans mordantage comme un système SAM) : c'est la première définition des systèmes adhésifs universels.

⁵ Ivoclar vivadent, « Adhese universal »; Bisco dental, « All-bond universal »; Kuraray dental, « Clearfil universal bond »; Voco, « Futurabond M+ »; Voco, « Futurabond U »; GC Europe, « G-premio bond »; Itena, « Iperbond ultra »; Kulzer, « iBOND universal »; Coltène, « One coat »; Dentsply sirona, « Prime&bond active »; Dentsply sirona, « Prime&bond elect »; 3MESPE, « Scotchbond universal »; Dentsply sirona, « Xeno select ».

⁶ Dentsply, « Prisma Universal Bond ».

⁷ « Ultradent France – Produits dentaires ».

-ces adhésifs universels sont applicables sur les structures dentaires mais aussi sur les intrados prothétiques : c'est la deuxième définition des systèmes adhésifs universels.

-en technique indirecte, ils ne présentent pas tous le même champ d'application, certains étant adaptés à de plus nombreux matériaux (composite, céramique, alliage, métaux précieux et non précieux), d'autres étant adaptés pour de la réparation de prothèses fixées en bouche.

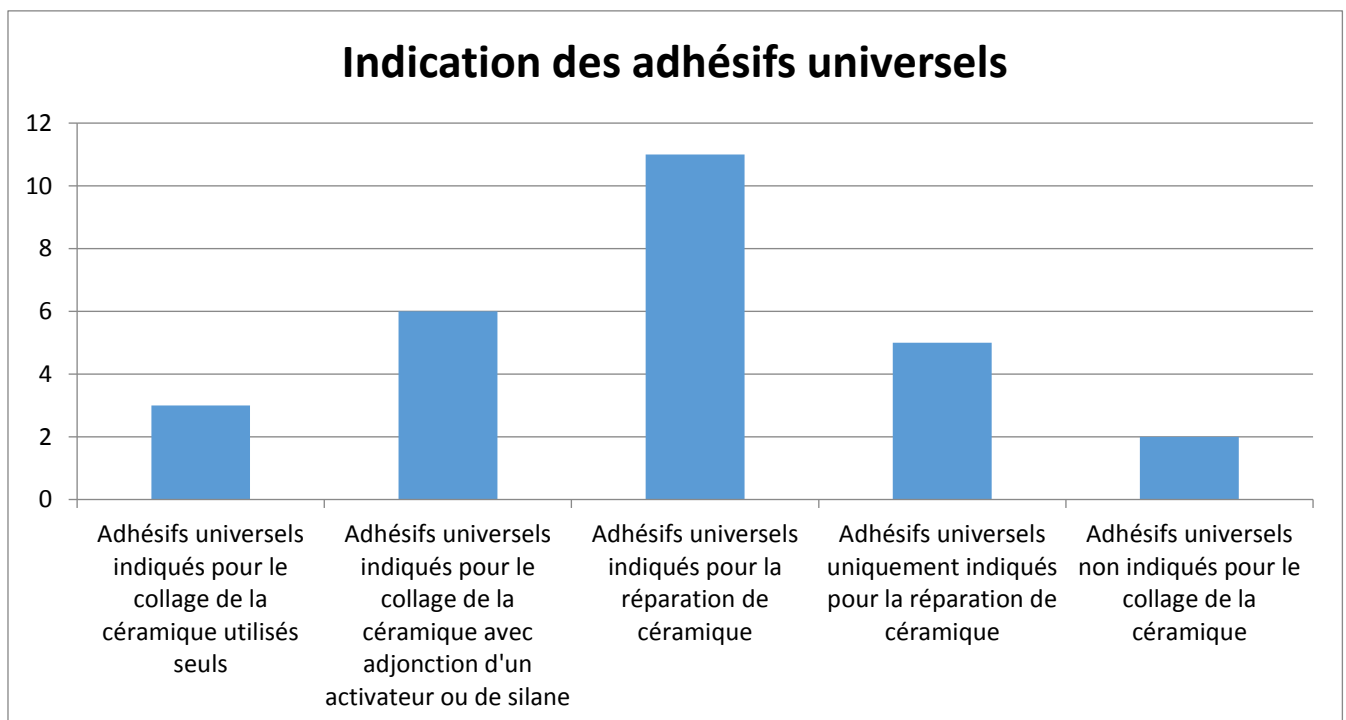
Ce sont ces 3 points qui peuvent définir à l'heure actuelle les adhésifs universels.

Nous allons donc chercher, pour mieux comprendre les définitions de ces adhésifs universels, à caractériser ces systèmes sur le plan de leur composition, et aussi sur le plan de leurs indications.

1.2.2 Indications et place des adhésifs universels

Il faut préciser ici, et ce pour la suite de ce travail, que les données suivantes ont été recueillies après la lecture de différents documents établis par les fabricants comme les fiches MSDS (Material Safety Data Sheet) pour l'étude de leur composition, les notices et modes d'emplois pour leurs indications. Il est à noter que ces documents manquent parfois de précision et n'expliquent pas tous clairement les modalités d'utilisation de ces systèmes universels. Une certaine imprécision est parfois présente et peut confondre le praticien dans l'utilisation de l'adhésif universel.

Figure 7 : Graphique distinguant les différents champs d'application des adhésifs universels étudiés.



Source : Auteur, 2017

La figure 7 montre que seuls trois adhésifs sont réellement adaptés au traitement de surface des céramiques, directement. Si une adjonction du bon activateur ou la mise en place d'un silane préalable est réalisée, six adhésifs sont utilisables pour le traitement de surface de la céramique. Cinq d'entre eux sont uniquement utilisables pour la réparation de céramique en bouche (ils ne répondent pas à la deuxième définition des adhésifs universels). Par ailleurs, l'Adhese U et le Xeno Select ne sont pas du tout adaptés à la céramique et ne répondent donc qu'à la première définition des systèmes universels.

Enfin, nous remarquons que les différents systèmes adhésifs universels ne se valent pas, car ils ne remplissent pas les mêmes définitions de ces systèmes et ne répondent pas tous au même cahier des charges. Il y a donc une ambiguïté, un manque de définition, de distinction autour de ces systèmes. Les adhésifs universels désignent donc un groupe hétérogène de systèmes adhésifs, n'ayant pas les mêmes indications.

Maintenant que nous avons parlé des indications, nous pouvons nous demander si ces adhésifs sont plus efficaces que les protocoles de références en termes de réparation de la céramique en bouche. En effet, le mélange des différents composants au sein de l'adhésif universel ne permet pas d'anticiper le comportement et le vieillissement en lien avec l'hydrophilie relative de ces systèmes.

Rappelons les protocoles de réparation des céramiques (d'après Kimmich et al⁸) :

-céramique vitreuse : acide fluorhydrique puis silane puis résine adhésive (« bonding », ou alors une résine très fluide comme l'Heliobond) puis composite de restauration

-zircone : sablage doux puis apport de monomère avec potentiel adhésif puis résine fluide puis composite de restauration.

1.2.3 Différence entre les systèmes adhésifs universels et les systèmes adhésifs existants

Il faut établir ici la différence entre les systèmes adhésifs dits universels et les systèmes auto-mordants en 1 temps (SAM 1), plus anciens sur le marché.

Le fabricant Kerr⁹, par exemple, commercialise l'Optibond FL (MR3), l'Optibond solo plus (MR2), l'Optibond XTR (SAM 2) et l'Optibond all in one (SAM1). Kerr ne fabrique pas d'universel et qualifie son Optibond XTR d'universel. Ceci met en évidence la difficile distinction entre système auto-mordant et universel.

⁸ Kimmich et Stappert, « Intraoral treatment of veneering porcelain chipping of fixed dental restorations ».

⁹ Kerr dental, « Agents adhésifs dentaires ».

Chez le fabricant GC¹⁰, il y a le SAM 2 GC Unfil bond, le SAM 1 GC G-aenial bond (ou G bond), et l'universel G-premio bond. Le G aenial Bond est indiqué pour la réalisation de collage aux structures dentaires : de composite, de compomères, ainsi que de RMIPP. Il ne possède pas d'indication de réparation de matériaux prothétiques, ni d'indication en restauration indirecte (d'après le mode d'emploi du fabricant GC¹¹).

Tableau 2 : Composition du SAM1 et de l'universel du fabricant GC d'après leur fiche SDS respectives.

GC G aenial Bond	G Premio Bond
Acétone	
Diméthacrylate	
2-hydroxy-1,3 diméthacryloxypropane	Dimethacrylate component
Dihydrogénophosphate de méthacryloyloxydécyl (=MDP)	Phosphoric acid ester monomer (=secret fabricant)
Oxyde de diphényl(2,4,6-triméthylbenzoyl)phosphine	
2,6-di-ter-butyl-p-crésol	Butylated hydroxytoluene (BHT)
	Photo-initiateurs

Source : Auteur, 2017

Nous pouvons voir grâce à ce tableau que la composition de ces 2 systèmes adhésifs diffère et nous savons que leurs indications aussi, car le G Premio Bond possède des indications de réparation en bouche de prothèses en céramique.

Chez 3M ESPE¹², par exemple, nous pouvons citer le scotchbond 1XT qui est un MR2, l'Adper easy bond self-etch adhesive qui est un SAM 1 et pour finir, le Scotchbond universal qui est l'adhésif universel.

¹⁰ GC Europe, « Produits ».

¹¹ GC Europe.

¹² 3MESPE, « Scotchbond universal ».

Tableau 3 : Composition des systèmes MR2, SAM1 et universel de chez 3MESPE.

Adper Scotchbond 1XT	Adper Easy Bond	Scotchbond Universal
	MHP monomère phosphate	MDP monomère phosphate
Résines diméthacrylate	Résines diméthacrylate	Résines diméthacrylate
HEMA	HEMA	HEMA
Copolymère Vitrebond	Copolymère Vitrebond	Copolymère Vitrebond
Charges	Charges	Charges
Ethanol	Ethanol	Ethanol
Eau	Eau	Eau
Initiateurs	Initiateurs	Initiateurs
		Silane

Source : 3MESPE, Scotchbond universal, 2017.

Grâce à ce tableau, nous pouvons comparer les compositions de ces 3 systèmes adhésifs et nous remarquons alors que la différence entre le SAM1 et l'universel tient au fait que le Scotchbond contient du MDP et non pas du MHP, et qu'il contient en plus du silane. Le reste de la composition est globalement la même que celle du MR2. Rappelons ici que le Scotchbond universal possède également de vastes indications en technique indirecte (et il fait partie des adhésifs adaptés au traitement de surface de la céramique utilisés seuls).

Grace à ces 3 exemples, nous avons pu retrouver les éléments constituant la définition des systèmes adhésifs universels (le système universel est utilisable comme un SAM1, mais possède des indications plus vastes, comprenant la restauration indirecte) et nous avons essayé de préciser la limite, parfois mince entre ces systèmes et les SAM1. Cette différence avec les systèmes SAM 1 semble également se faire sur la nature du monomère acide contenu dans l'universel, qui est parfois breveté par le fabricant et tenu secret (cf exemple du fabricant GC). De plus, un universel peut contenir en plus du silane.

Par ailleurs, la stratégie adhésive n'est pas la même car un SAM fonctionne avec un protocole précis, d'auto-mordantage. Nous savons même que le mordantage sélectif amélaire peut améliorer son adhésion, alors que le mordantage de la dentine la réduit. Donc, les écarts au protocole de collage impactent sur sa qualité.

Pour un adhésif universel, les fabricants (voir tableau 1) indiquent que nous pouvons travailler avec un mordantage sélectif, total ou sans mordantage (auto-mordançant), et que nous pouvons traiter

différents substrats, dentaires ou prothétiques. Donc le système universel est présenté comme peu sensible à la manipulation de l'opérateur.

1.3 Composition des adhésifs universels et rôle des constituants

En annexe 1 figure un tableau complet avec la composition des différents adhésifs universels. Grâce à ce tableau, nous pouvons tirer quelques éléments intéressants que nous exposons ci-dessous.

Les adhésifs universels doivent pouvoir infiltrer les structures dentaires et donc posséder une certaine acidité. Cette acidité, nécessite la présence d'eau pour fournir les protons H_3O^+ requis. Pourtant, les données des fabricants (voir tableau 1) et les fiches MSDS de trois adhésifs universels ne mentionnent pas la présence d'eau (Futurabond U, Futurabond M+ et G Premio bond). Ceci met en évidence un manque de fiabilité et/ ou de précision des informations des fabricants.

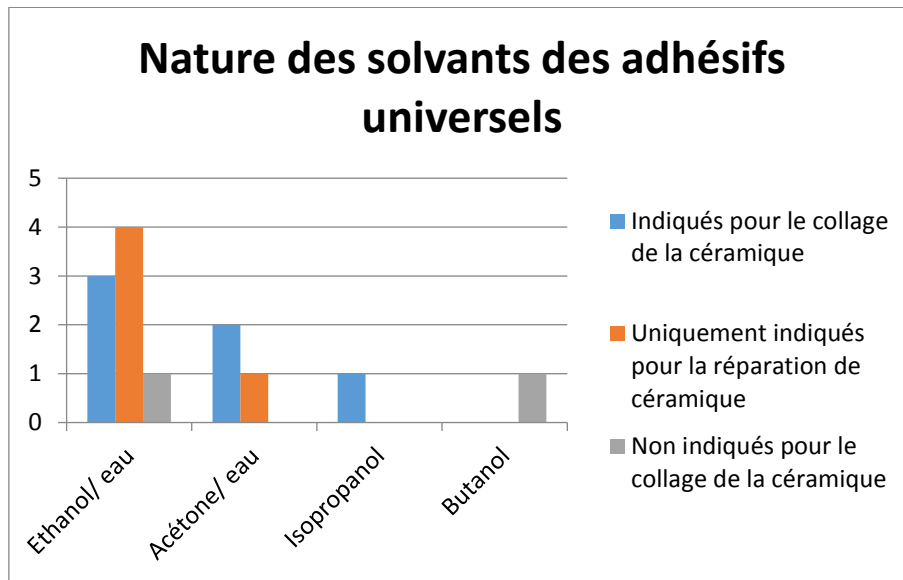
1.3.1 Solvants des adhésifs universels et collage à la céramique

Par ailleurs, ces systèmes contiennent tous un solvant autre que l'eau. Nous pouvons remarquer la présence soit d'acétone, soit d'éthanol (sauf pour le Prime and Bond Active et le Xeno select qui contiennent respectivement de l'isopropanol et du butanol tertiaire).

En effet, ces solvants sont importants. Le collage requiert des surfaces les plus hydrophobes possible, et par conséquent, l'éthanol ou l'acétone a pour rôle de chasser l'eau présente sur la surface traitée par le système adhésif (par substitution). Une fois l'eau substituée, les solvants éthanol/acétone peuvent s'évaporer plus facilement que l'eau à température ambiante (car ils possèdent une pression de vapeur plus favorable) et rendre ainsi la surface compatible avec le collage.

Nous nous sommes demandé si un solvant en particulier serait plus favorable au collage à la céramique, ce qui pourrait orienter notre choix clinique. C'est pourquoi nous avons synthétisé dans la figure 8 les solvants contenus dans les différents adhésifs universels, ainsi que les indications des fabricants.

Figure 8 : Nature des solvants composant les différents adhésifs universels indiqués dans le collage des céramiques.



Source : Auteur, 2017

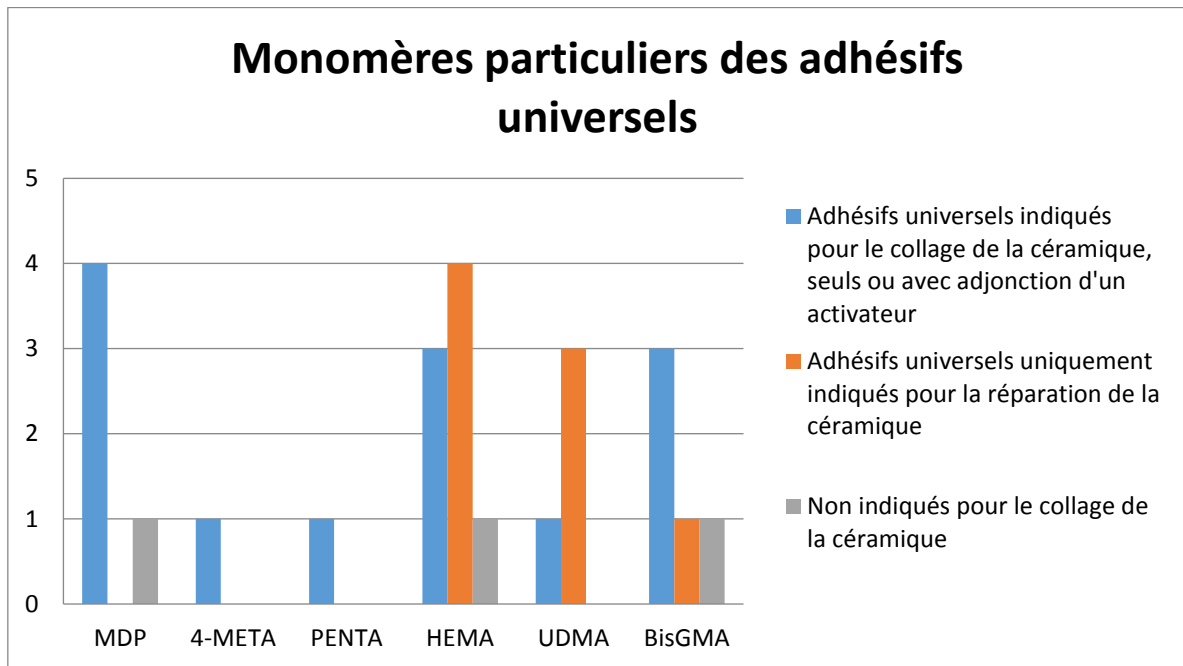
Nous n'avons pas pu mettre en évidence de solvant particulièrement adapté pour les adhésifs universels dans le cadre du collage à la céramique. Donc leur faculté à être adapté au traitement de surface de la céramique ne dépend pas du solvant utilisé.

1.3.2 Monomères des adhésifs universels et collage à la céramique

Le collage lui-même fait appel à des monomères qui doivent s'assembler pour former un polymère. Ces monomères peuvent varier mais nous retrouvons classiquement les monomères dérivés du méthacrylate comme le HEMA, le Bis-GMA, l'UDMA, et des monomères avec potentiel adhésif comme le MDP, le 4-META et le PENTA. Nous remarquons aussi la présence de monomères moins connus, spécifique aux différents fabricants et dont les propriétés ne sont pas clairement établies pour le public car ils sont brevetés (secret de fabrication), comme le Vitrebond copolymère contenu dans le Scotchbond universel.

Nous nous sommes donc demandé si un monomère en particulier serait plus favorable au collage à la céramique, et orienterait notre choix clinique. C'est pourquoi nous avons synthétisé dans la figure 9 les monomères contenus dans les différents adhésifs universels, ainsi que les indications des fabricants.

Figure 9 : Nature des monomères remarquables contenus dans les adhésifs universels.



Source : Auteur, 2017

Remarque : le Xeno Select et le G premio bond n'entrent pas dans la constitution de ce tableau car leur composition étant protégée par les fabricants, il n'a pas été possible de formellement identifier les monomères qu'ils contiennent.

64% des adhésifs universels contiennent donc un monomère avec un potentiel adhésif (pour sept d'entre eux), et tous les adhésifs universels contiennent des monomères plus conventionnels comme le HEMA, l'UDMA et le Bis GMA.

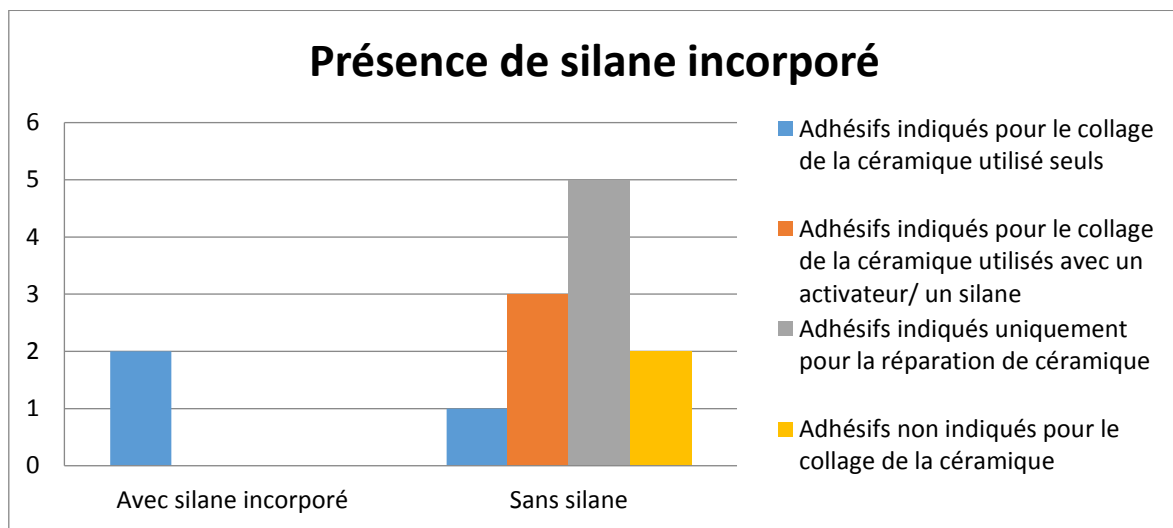
Nous remarquons grâce à ce tableau qu'il semble que pour qu'un système universel soit adapté au traitement de surface de la céramique, **il doit contenir un monomère avec potentiel adhésif** (MDP, 4-META ou PENTA). En effet, ceux qui n'en contiennent pas ici, ne possèdent que des indications pour la réparation en bouche. Dans la mesure où pour être adapté au traitement de surface de la céramique il faut que l'adhésif permette une composante chimique de l'adhésion, il paraît logique de retrouver que les systèmes ne comportant pas de monomères à potentiel adhésif ne soient pas adaptés à ce traitement de surface. Notons cependant que l'Adhese Universal, qui contient pourtant du MDP, n'est pas indiqué pour le collage de la céramique.

Notons aussi que tous les adhésifs universels contiennent des initiateurs pour permettre l'activation de la polymérisation.

1.3.3 Incorporation de silane aux adhésifs universels et collage à la céramique

Enfin, certains systèmes adhésifs universels contiennent en plus du silane incorporé (SBU et clearfil U). Nous nous sommes demandé si le silane, molécule nécessaire au collage des céramiques vitreuses dans les protocoles de référence, était aussi nécessaire pour coller à la céramique avec un adhésif universel. C'est pourquoi nous avons synthétisé dans la figure 10 les solvants contenus dans les différents adhésifs universels, ainsi que les indications des fabricants.

Figure 10 : Présence de silane incorporé dans la composition de l'adhésif universel en fonction des différentes indications de ces systèmes.



Source : Auteur, 2017

Les adhésifs universels indiqués uniquement pour la réparation de la céramique, ainsi que les adhésifs universels sans indication de collage aux céramiques, ne contiennent pas de silane.

Les deux adhésifs contenant du silane sont indiqués pour le collage à la céramique et trois adhésifs universels sans silane sont indiqués pour le collage à la céramique à condition d'être associés à un activateur ou à un silane. Un seul adhésif (le All-bond Universal) est indiqué pour le collage aux céramiques alors qu'il ne contient pas de silane.

Il semble donc que les fabricants préfèrent, pour le collage à la céramique, qu'un silane soit appliqué, directement dans l'adhésif, au travers d'un activateur, ou par application préalable d'un silane ; mais le silane n'est peut être pas indispensable à l'adhésion des adhésifs universels aux céramiques.

Pour synthétiser, il apparaît donc que pour qu'un adhésif universel soit adapté au traitement de surface de la céramique, il doit contenir un monomère avec potentiel adhésif. En revanche, **nous n'avons pas pu mettre en évidence de solvant particulièrement adapté et l'incorporation de silane par les fabricants est fréquente mais peut-être pas indispensable.**

1.4 Classification et composition des céramiques

La céramique se définit comme un matériau inorganique, composé essentiellement d'oxydes et parfois de fluorures. Les céramiques sont mises en forme à partir d'une poudre de granulométrie adaptée qui est agglomérée. Dans une deuxième étape, la densification et la consolidation de cet agglomérat sont obtenues par un traitement thermique appelé frittage¹³.

Attention, cette définition générale présente quelques particularités en fonction des différentes céramiques ; par exemple, l'ordre des étapes de fabrication peut varier selon la nature de la céramique.

Nous retrouvons classiquement dans la microstructure des céramiques une phase cristalline et une phase vitreuse dont les proportions relatives varient.

C'est sur ce rapport entre phase cristalline et vitreuse que nous allons nous appuyer afin de classer les différentes céramiques utilisables en prothèse dentaire, à savoir les vitrocéramiques, les céramiques infiltrées et les céramiques polycristallines.

1.4.1 Céramiques vitreuses ou vitrocéramiques

Cette première grande catégorie de céramiques peut être mise en forme à partir d'un mélange poudre-liquide frittée, et mis en forme soit par montage des poudres, soit par pressée (similaire aux techniques dites à cire perdue, utilisées pour les alliages), soit par Conception et fabrication assistées par ordinateur (CFAO).

Il y a deux sous catégories de céramiques vitreuses : feldspathiques et renforcées par des cristaux.

1.4.1.1 Céramiques vitreuses feldspathiques

Elles sont formées d'une matrice vitreuse contenant quelques cristaux dispersés. La matrice vitreuse est composée principalement d'oxydes alcalins (Na_2O , K_2O , Li_2O), d'alumine et de silice (SiO_2), au sein de laquelle se forment 15-25 vol% de cristaux dispersés dans le verre, dont des cristaux de leucite (KAlSi_2O_6), quartz (SiO_2), kaolin ($\text{Al}_2\text{SiO}_5(\text{H}_2\text{O})_2$) ou feldspaths (de potassium KAlSi_3O_8 , de sodium $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16}$, ou de calcium $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$).

Elles contiennent aussi des oxydes modifiés (comme B_2O_3) et d'autres pour modifier les propriétés optiques (TiO_2 , ZrO_2 , SnO_2 , YO_2).

¹³ Dejou et Société francophone des biomatériaux dentaires, « Les céramiques ».

Ces céramiques sont indiquées d'après Li et al¹⁴ pour la réalisation de : facettes, petits inlays, couronnes unitaires antérieures.

Dans cette catégorie de céramiques, il existe une palette très large de céramiques d'émaillage, des lingotins destinés à la pressée (en particulier de pressée sur métal, comme le IPS in-line PoM, Ivoclar Vivadent), ainsi que quelques blocs destinés à l'usinage de restaurations tout-céramiques dans le cadre de la CFAO : Vita Mark II, Vitablocs, TriLuxe, RealLife chez Vita, Cerec Blocs chez Sirona, d'après Li¹⁵.

1.4.1.2 Céramiques vitreuses renforcées par des cristaux

Elles sont formées d'une matrice vitreuse au sein de laquelle se développe une seconde phase d'au moins 30 vol% de cristaux. Ce peut être des cristaux de leucite, de silicate de lithium, ou de disilicate de lithium. Contrairement aux céramiques feldspathiques qui sont mises en forme à l'état de poudre, les vitrocéramiques sont mises en forme à l'état de verre. Elles peuvent être pressées ou usinées. Certaines céramiques mises en forme de façon traditionnelle (par montage de poudres, en particulier pour l'émaillage) peuvent également être renforcées en cristaux (souvent de la leucite), mais le taux de cristaux ne dépasse généralement pas 30 à 35 vol%.

a-Vitrocéramiques renforcées par des cristaux pressées

Dans cette sous catégorie, nous distinguons :

-vitrocéramiques renforcées à la leucite (35-45 vol% de leucite) : elles sont indiquées (d'après Li¹⁶) pour des facettes, inlays, onlays, overlays. Nous citerons par exemple l'IPS Empress Esthetic (Ivoclar), Finesse (Dentsply), Authentic (Jensen), PM9 (Vita), OPC (Pentron) et CZR (Noritake)

-vitrocéramiques renforcées au disilicate de lithium (65-70 vol%), indiquées (d'après Li¹⁷) pour des facettes, inlays, onlays, overlays, couronnes antérieures et postérieures, couronnes sur implants. Nous citerons par exemple l'E-max press.

-vitrocéramiques renforcées au silicate de lithium et zircone amorphe comme le Celtra Press (Dentsply).

¹⁴ Li, Chow, et Matinlinna, « Ceramic dental biomaterials and CAD/CAM technology ».

¹⁵ Li, Chow, et Matinlinna.

¹⁶ Li, Chow, et Matinlinna.

¹⁷ Li, Chow, et Matinlinna.

b-Vitrocéramiques renforcées par des cristaux usinables

Globalement, l'avantage de ces céramiques usinées est qu'elles présentent peu de porosité mais l'inconvénient reste que l'usinage n'est pas favorable aux céramiques, matériaux rigides fragiles, car il peut créer des fissures, défauts à partir desquels peuvent s'initier des fractures du matériau.

Dans cette sous catégorie, nous distinguons :

- vitrocéramiques renforcées en leucite : IPS Empress CAD (Ivoclar vivadent), initial LRF (GC)
- vitrocéramiques renforcées au disilicate de lithium : e-max CAD (Ivoclar vivadent)
- vitrocéramiques renforcées au silicate de lithium et zircon : CeltraDuo (Denstply) et Suprinity (Vita)

1.4.2 Céramiques infiltrées (gamme InCeram)

Elles sont constituées d'une matrice cristalline poreuse constituée essentiellement d'alumine, infiltrée dans un second temps par du verre et elles sont indiquées pour la réalisation d'inlays/onlays, d'infrastructures de couronnes et de petits bridges.

Dans cette gamme InCeram nous retrouvons, avec des propriétés optiques décroissantes mais des propriétés mécaniques croissantes :

- InCeram Spinel constituée de Spinnelle et d'alumine, indiquée (d'après Li¹⁸) pour la réalisation de couronnes antérieures.
- InCeram Alumina constituée d'alumine, indiquée d'après Li¹⁹ pour la réalisation de couronne unitaire antérieure et postérieure, voir d'armature de bridge antérieur avec un pont unique (d'après le fabricant).
- InCeram Zirconia, constituée d'alumine et de zircon, et indiquée, d'après Li²⁰, pour la réalisation en postérieur d'infrastructures de couronnes et bridges avec un seul pont.

1.4.3 Céramiques polycristallines : alumine et zircon

Les céramiques polycristallines regroupent l'alumine et la zircon. Elles ont la particularité de ne pas contenir de phase silicique / vitreuse, contrairement aux vitrocéramiques et aux céramiques infiltrées, d'après OZCAN²¹.

La zircon est la céramique ayant les propriétés mécaniques les plus élevées (d'après OZCAN²²).

¹⁸ Li, Chow, et Matinlinna.

¹⁹ Li, Chow, et Matinlinna.

²⁰ Li, Chow, et Matinlinna.

²¹ Özcan et Bernasconi, « Adhesion to zirconia used for dental restorations ».

Ces céramiques sont indiquées pour la réalisation de couronnes unitaires, bridges de plusieurs éléments, bridges complets sur implants, piliers implantaires, brackets en ODF (d'après Kelly Denry²³, Manso et al²⁴, et Li²⁵). Il existe quelques alumines commercialisées pour l'usage dentaire (par exemple : Procera AllCeram, InCeram AL cubes), et de nombreuses zircons (par exemple : LAVA, Cercon, e.Max ZirCAD, Procera Zirconia). Li²⁶

1.4.4 Protocoles d'assemblage de référence pour les différentes céramiques

Voici les protocoles de collage de référence pour l'assemblage de ces différentes céramiques (d'après Blatz et Al²⁷ ou encore Kitayama et Al²⁸) :

-**céramique vitreuse** = acide fluorhydrique puis silane puis colle

Le collage aux céramiques vitreuses est bien documenté et extrêmement fiable.

-**céramique infiltrée** = deux stratégies possibles

-traitement tribochimique puis silane puis colle avec BisGMA (d'après Fron et Li²⁹)

- sablage doux puis silane (optionnel, pour la mouillabilité) puis colle avec potentiel adhésif type Panavia (d'après Fron et Li³⁰)

Le collage aux céramiques infiltrées est assez fiable et ces céramiques sont en désuétude.

-**céramique polycristalline** (alumine, zircon) =

-alumine (d'après Fron³¹) = sablage réactif puis silane (optionnel, pour la mouillabilité) puis colle avec potentiel adhésif (comme le MDP)

-zircon = sablage doux puis colle avec potentiel adhésif (comme le MDP)

²² Özcan et Bernasconi.

²³ Denry et Kelly, « Emerging ceramic-based materials for dentistry ».

²⁴ Manso et al., « Cements and adhesives for all-ceramic restorations ».

²⁵ Li, Chow, et Matinlinna, « Ceramic dental biomaterials and CAD/CAM technology ».

²⁶ Li, Chow, et Matinlinna.

²⁷ Blatz, Sadan, et Kern, « Resin-ceramic bonding ».

²⁸ Kitayama et al., « Effect of primer treatment on bonding of resin cements to zirconia ceramic ».

²⁹ Fron, « Le collage des céramiques : influence de la nature de la céramique sur le choix du traitement de surface »; Li, Chow, et Matinlinna, « Ceramic dental biomaterials and CAD/CAM technology ».

³⁰ Fron, « Le collage des céramiques : influence de la nature de la céramique sur le choix du traitement de surface »; Li, Chow, et Matinlinna, « Ceramic dental biomaterials and CAD/CAM technology ».

³¹ Fron, « Le collage des céramiques : influence de la nature de la céramique sur le choix du traitement de surface ».

Cas particulier de la Zircone :

La Zircone est monoclinique à température ambiante, devient tétragonale à partir de 1170°C, et cubique à partir de 2370°C. C'est pour des raisons mécaniques que la zircone est stabilisée à l'état tétragonal, généralement à l'aide d'oxyde d'yttrium (d'après Kelly Denry³²).

D'après Kelly Denry³³, nous savons que le fraisage ou le sablage mène à la transformation de l'état tétragonal à monoclinique, transformation qui est associée au développement de contraintes à la surface de la zircone, qui peuvent se propager (ce qui réduit la résistance mécanique de la zircone).

C'est pour ces raisons qu'il y a un débat sur l'intérêt du sablage car la difficulté réside dans le fait que nous ignorons les effets négatifs du sablage sur la zircone, y compris sur sa résistance à la fatigue à long terme (d'après Ozcan³⁴).

Or, pour le moment, il n'y a pas d'alternative au sablage pour avoir la composante micromécanique du collage de la zircone.

Mais le consensus actuel considère que comme nous partons de très haut sur le plan des propriétés mécaniques, la chute des propriétés causées par le sablage doux est acceptable. Des études sont en cours, afin de trouver une alternative au sablage pour obtenir une composante mécanique de l'adhésion à la zircone (comme l'infiltration acide sélective ou les lasers)³⁵

Historiquement, le protocole de référence pour la zircone était d'utiliser le Panavia (colle avec potentiel adhésif grâce à une molécule particulière qu'est le MDP).

Cependant, depuis que le brevet du MDP est tombé dans le domaine public, de nouvelles colles avec du MDP ont des chances de fonctionner pour la zircone.

Donc aujourd'hui, il n'y a pas de protocole permettant de coller de façon très fiable aux céramiques polycristallines. Nous verrons si les adhésifs universels semblent une alternative pour répondre à cette problématique.

³² Denry et Kelly, « Emerging ceramic-based materials for dentistry ».

³³ Denry et Kelly.

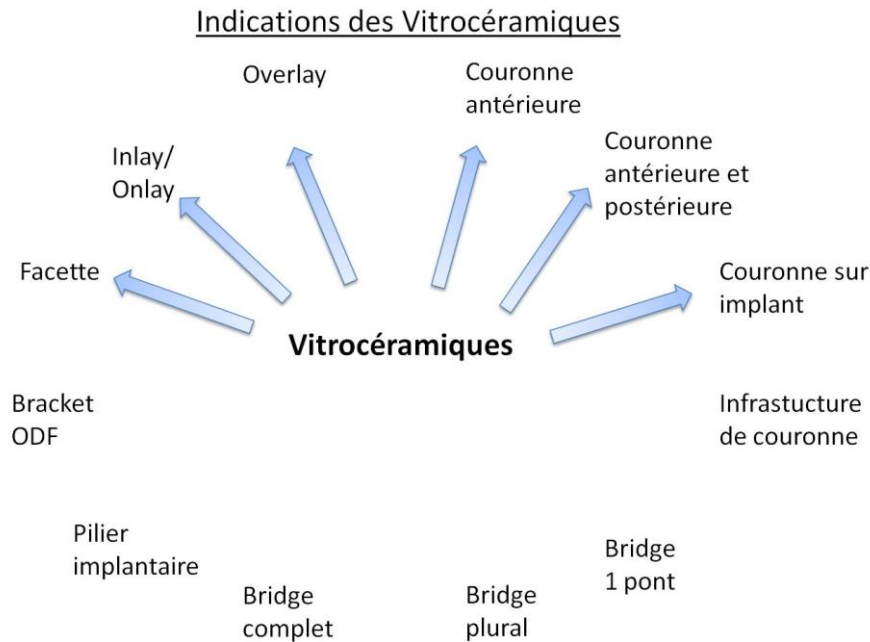
³⁴ Özcan et Bernasconi, « Adhesion to zirconia used for dental restorations ».

³⁵ Li, Chow, et Matinlinna, « Ceramic dental biomaterials and CAD/CAM technology ».

1.4.5 Indications des différentes céramiques

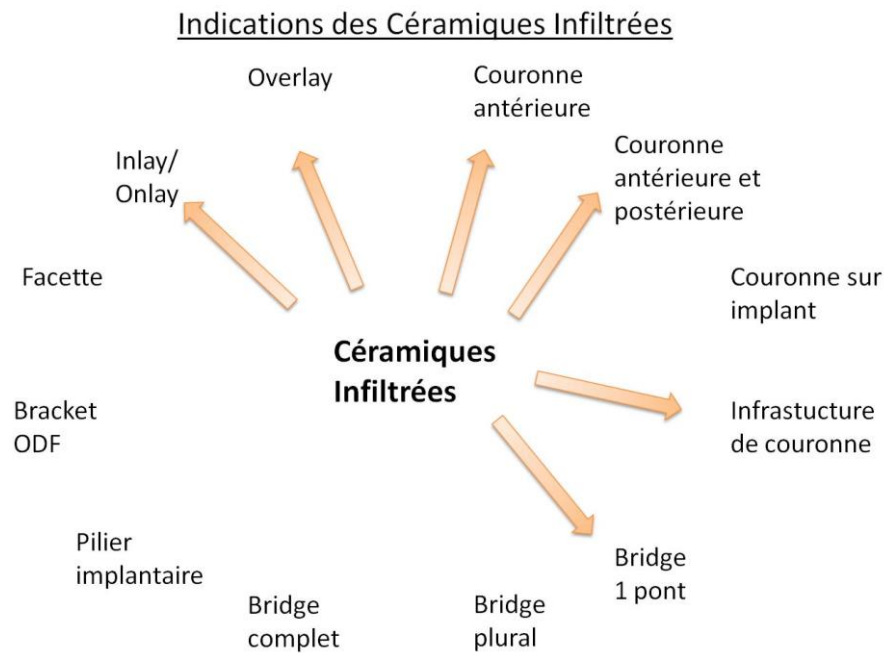
Pour synthétiser l'ensemble des indications des différentes céramiques, nous pourrions présenter les schémas suivants :

Figure 11 : Schéma représentant les indications des vitrocéramiques.



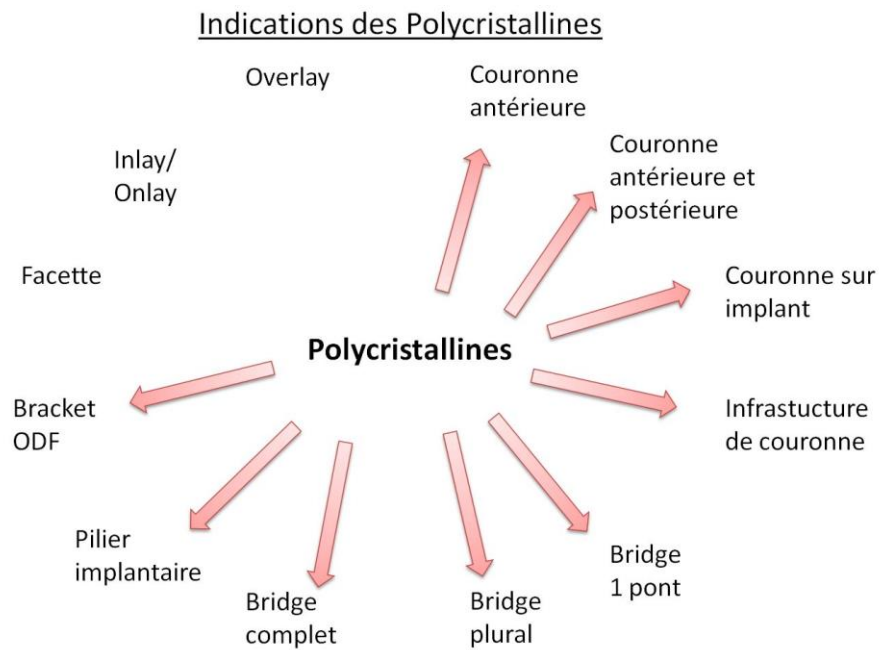
Source : Auteur, 2017

Figure 12 : Schéma représentant les indications des céramiques infiltrées.



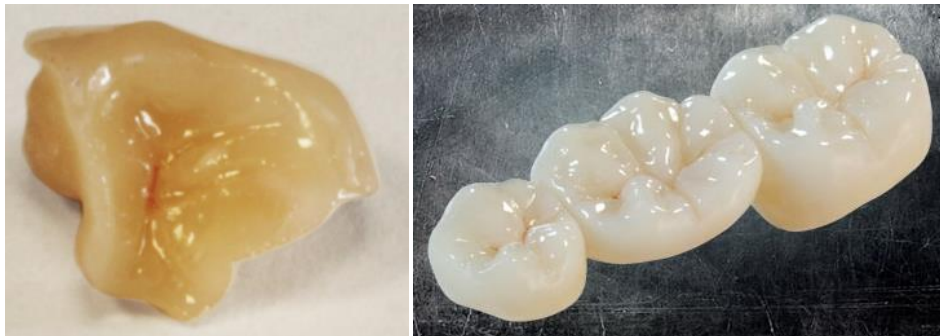
Source : Auteur, 2017

Figure 13 : Schéma représentant les indications des céramiques polycristallines.



Source : Auteur, 2017

Figure 14 : Exemple de pièce en céramique avec un onlay e-max à gauche et un bridge zircone 3 éléments à droite. Pièce du laboratoire Beaune.



Source : Beaune laboratoire, Prothèses dentaires, 2017.

Notons ici pour conclure sur cette partie que la céramique dentaire peut être utilisée pour de la prothèse conjointe en tout céramique (monolithique), en céramo-céramique (céramique d'infrastructure recouverte d'une céramique d'émaillage) ou en céramo-métallique.

Nous ne nous intéresserons pas aux céramo-métalliques car leur assemblage concerne le métal et non pas la céramique (c'est pour cette raison que ces indications ne figurent pas sur nos schémas). Notons que nos résultats sont toutefois intéressants en cas d'éclat de céramique, dans le cadre d'une réparation en bouche.

Pour synthétiser, les céramiques sont des matériaux extrêmement actuels car elles présentent une biocompatibilité exceptionnelle, des propriétés optiques inégalées pour le moment, et une large palette de propriétés mécaniques. Ceci leur confère un vaste champ d'indication, que les autres matériaux ne rassemblent pas. **Le collage aux céramiques vitreuses est fiable mais celui aux céramiques polycristallines ne l'est pas encore tout à fait.**

Nous allons donc essayer de voir si les adhésifs universels peuvent être intéressants pour le collage aux céramiques polycristallines et s'ils sont fiables pour le collage aux céramiques vitreuses (afin de simplifier la palette de matériaux que doit avoir et maîtriser le dentiste).

1.5 Objectifs de la thèse

La dentisterie actuelle voit se développer les indications de restaurations en céramique tout comme la complexité des protocoles de collage.

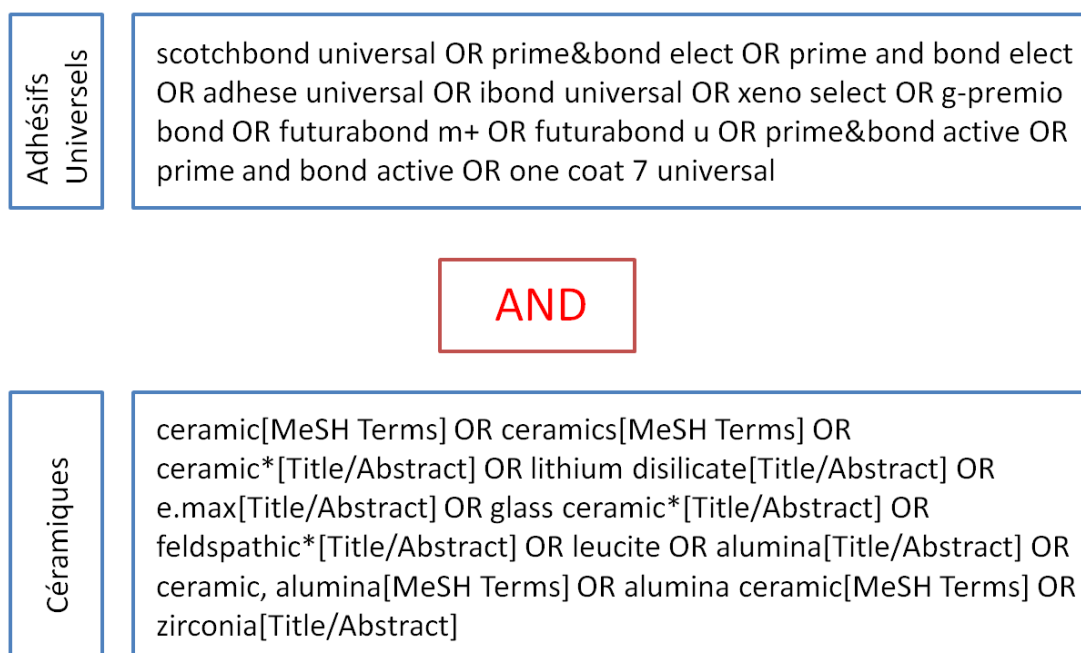
Le marché des adhésifs dentaires disponible s'est considérablement développé depuis les débuts du concept de collage. Aujourd'hui, le dernier concept en termes de conditionnement par les fabricants a été de fournir un adhésif universel, capable de remplir les critères d'efficacité des autres systèmes mais utilisable dans une multitude de champs d'application, y compris le collage aux céramiques.

Notre travail a eu pour objectif de réaliser une revue systématique de la littérature, afin d'évaluer les résultats des études *in vitro* et *in vivo* en utilisant les adhésifs universels dans l'assemblage de prothèses conjointes en céramique, et de répondre à la question suivante : **quelles sont les indications des adhésifs universels dans le collage aux céramiques dentaires ?**

2 : Matériel et méthode

Pour notre revue systématique nous avons consulté la base de données PubMed sur laquelle nous avons établi l'équation de recherche suivante :

Figure 15 : Schéma de l'équation de recherche utilisée sur PubMed pour notre étude.



Source : Auteur, 2017

La recherche concernant les adhésifs clearfil universal, iperbond ultra et all-bond universal a été effectuée séparément en suivant le même modèle d'équation de recherche.

Cette équation de recherche avait pour but d'être aussi large que possible pour recouper tous les adhésifs universels étudiés avec tous les types de céramique. Tous les textes complets des articles issus de cette équation ont été obtenus et lus attentivement.

Notre équation de recherche a permis de sélectionner tous les articles concernant notre sujet jusqu'au 22 septembre 2017.

Les études analysées ont été publiées le 10/11/2013 pour la plus ancienne, et le 03/04/2017 pour la plus récente.

Pour être jugés intéressants, les articles devaient étudier l'interface entre au moins une céramique (peu importait sa nature) et au moins un adhésif universel (parmi ceux du Tableau 1).

Ont été exclues les études qui traitaient de l'interface non pas avec la céramique mais avec le composite ou de l'interface avec les structures dentaires, ou lorsqu'elles n'utilisaient pas d'adhésif universel mais d'autres systèmes.

Les données fabricants suivantes concernant les différents adhésifs universels ont également été précisément analysées : fiches MSDS (Material Safety Data Sheet), modes d'emploi et données scientifiques.

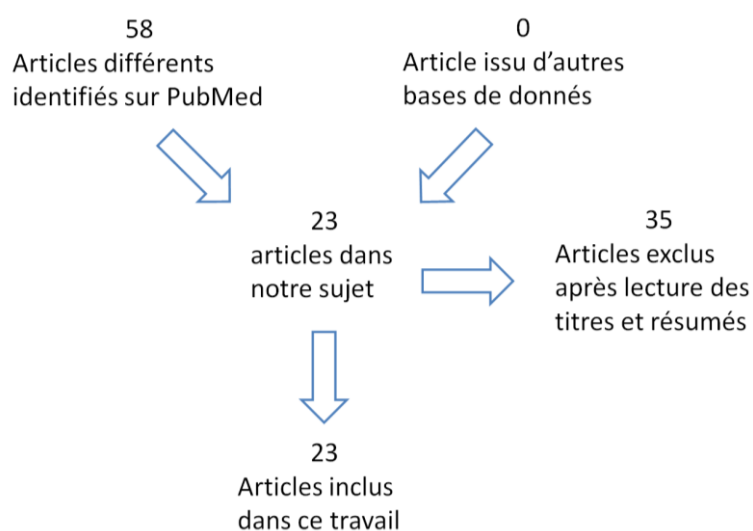
Nous avons ensuite recherché et analysé les paramètres d'influence pour le collage aux différentes céramiques, comparé les performances des adhésifs universels à celles des autres systèmes adhésifs et recensé les différentes voies de recherches actuelles.

3 : Résultats

3.1 Résultat de la recherche sur PubMed

Au total, notre équation de recherche sur PubMed nous a donné 58 articles. Parmi ces articles, après sélection par le titre puis après lecture des résumés puis de la globalité des articles, **nous avons au final identifié 23 articles exploitables pour notre revue systématique** (Figure 16).

Figure 16 : Diagramme de flux associé à la recherche sur PubMed

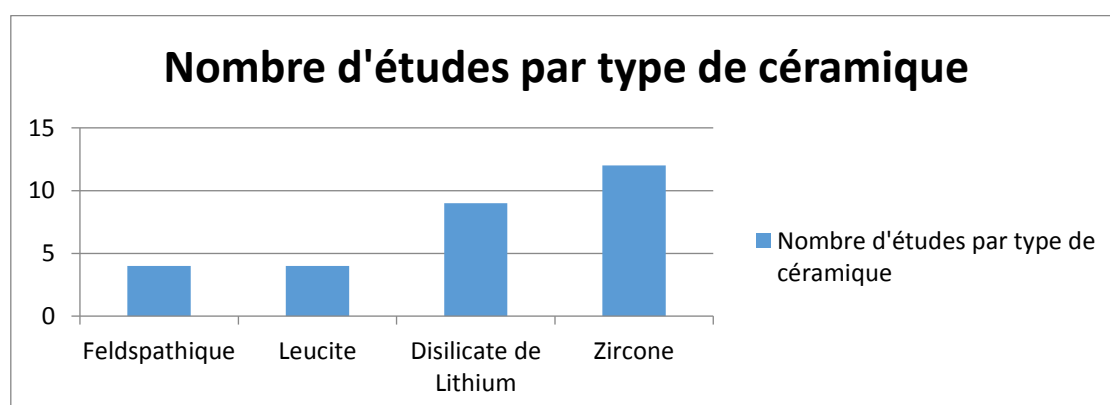


Source : Auteur, 2017

3.2 Caractéristiques générales des études incluses dans la revue systématique

3.2.1 Céramiques étudiées

Figure 17 : Représentation des fréquences des différentes céramiques étudiées dans les articles.

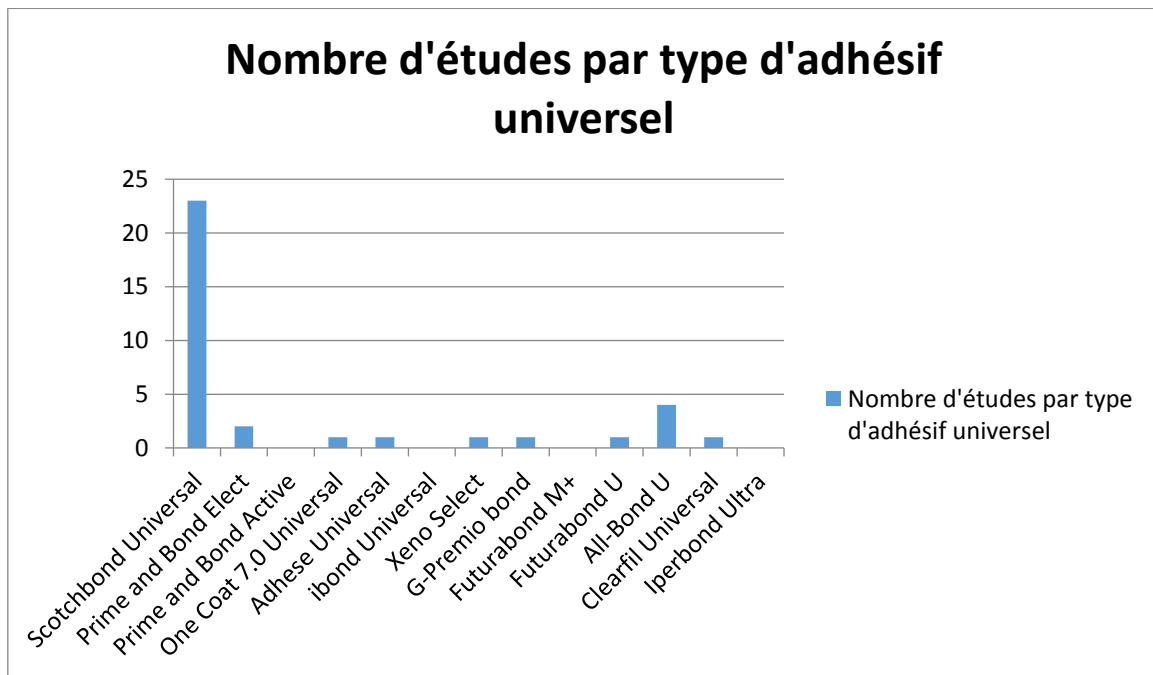


Source : Auteur, 2017

Nous pouvons remarquer ici que **la majorité des études concerne la zircone**. Cela peut s'expliquer par le fait que la zircone est actuellement en plein essor commercial et demeure plus complexe à coller que les autres céramiques.

3.2.2 Adhésifs universels étudiés

Figure 18 : Répartition des fréquences des adhésifs universels utilisés dans les articles.



Source : Auteur, 2017

Grâce à ce graphique, nous pouvons affirmer que **la majorité des études se sont intéressées à l'adhésif universel Scotchbond Universal (SBU)**. Nous pouvons nous demander pourquoi.

Nous remarquons également que le deuxième adhésif le plus étudié est l'All bond Universal, et que pour quatre adhésifs universels commercialisés aucun article scientifique n'a été publié à ce jour en ce qui concerne leur adhésion aux céramiques. Par ailleurs, six autres adhésifs ont été étudiés et sont représentés dans la littérature, mais cela par une unique étude seulement.

Compte tenu de cette répartition, il nous sera difficile d'analyser les résultats des adhésifs universels et d'apporter une conclusion relative à leur composition en termes de solvant par exemple.

3.2.3 Types d'études (*in vitro*, clinique, vieillissement, comparaison au protocole de référence)

Voici ci-après le tableau 4 qui synthétise, pour chacune des 23 études incluses, les résultats de notre recherche avec : le nombre d'échantillons et le type de céramique étudiés, les adhésifs universels étudiés, le type d'étude (adhérence *in vitro*, clinique...), la présence d'une comparaison à un traitement de référence ainsi que le sens global de la conclusion des auteurs (en faveur –symbole +- ou ne montrant pas d'avantage particulier –symbole NS- du système universel).

Notons que pour caractériser globalement le sens des résultats de chaque article, nous nous sommes appuyés sur la valeur finale après vieillissement (en particulier pour les études étudiant l'adhérence) lorsqu'un suivi ou un vieillissement était appliqué (car généralement, l'adhérence diminue lors du vieillissement).

Les autres aspects intéressants de ces études sont présentés par la suite dans ce travail.

Tableau 4 : Synthèse des études analysées concernant les adhésifs universels.

Numéro article	1er auteur	Date de publication	Céramique et échantillon	Adhésif Universel	Type d'étude	Protocole de référence	Vieillessement ≥ 1 mois ou TC	+ ou NS
1	ZHAO et al ³⁶	14/06/2016	144 zircons	SBU	Adhérence SBS	Oui	Oui	+
2	PASSIA et al ³⁷	29/04/2016	80 zircons	SBU	Adhérence TBS	Oui	Oui	NS
3	INOKOSHI et al ³⁸	17/11/2013	80 zircons	SBU	Adhérence μTBS	Oui	Oui	NS
4	VOGL et al ³⁹	29/02/2016	150 feldspathiques	SBU	Etude clinique	Oui	Oui	+
5	KIM RJ-Y et al ⁴⁰	13/04/2015	64 leucites	SBU ABU	Adhérence μSBS	Oui	Oui	NS
6	DE SOUZA et al ⁴¹	22/04/2014	40 zircons	SBU	Adhérence μTBS	Oui	Oui	NS
7	SIQUEIRA et al ⁴²	27/05/2016	60 par type : feldspathiques enrichies en leucite disilicate de lithium zircons	SBU ABU ADHU CU FU OC7 PBE XS	Adhérence μSBS	Non	Non	+
8	LUHRS et al ⁴³	28/11/2013	88 feldspathiques	SBU	Adhérence μTBS	Oui	Non	NS
9	BOMICKE et al ⁴⁴	30/11/2015	480 zircons	SBU	Adhérence TBS	Oui	Oui	NS

³⁶ Zhao et al., « Bond strength of primer/cement systems to zirconia subjected to artificial aging ».

³⁷ Passia et al., « Bond strength of a new generation of universal bonding systems to zirconia ceramic ».

³⁸ Inokoshi et al., « Bonding effectiveness to different chemically pre-treated dental zirconia ».

³⁹ Vogl et al., « Controlled, prospective, randomized, clinical split-mouth evaluation of partial ceramic crowns luted with a new, universal adhesive system/resin cement ».

⁴⁰ Kim et al., « Performance of universal adhesives on bonding to leucite-reinforced ceramic ».

⁴¹ de Souza et al., « The use of MDP-based materials for bonding to zirconia ».

⁴² Siqueira et al., « Laboratory performance of universal adhesive systems for luting CAD/CAM restorative materials ».

⁴³ Lührs et al., « Composite cements benefit from light-curing ».

10	AMARAL et al ⁴⁵	10/11/2013	90 zircons	SBU	Adhérence TBS	Oui	Oui	+
11	YOSHIHARA et al ⁴⁶	04/07/2016	60 plaques de verre	SBU	Adhérence SBS	Non	Non	NS
12	LOPES et al ⁴⁷	21/03/2016	120 zircons	SBU	Adhérence μ SBS	Oui	Oui	+
13	MAKISHI et al ⁴⁸	21/01/2016	30 disilicate de lithium	SBU ABU	Adhérence μ SBS	Oui	Oui	NS
14	SATTABANASUK et al ⁴⁹	19/03/2016	80 enrichies en leucite	SBU	Angle de contact	Oui	Non	NS
15	KALAVACHARLA et al ⁵⁰	20/08/2014	60 disilicate de lithium	SBU	Adhérence SBS	Non	Oui	NS
16	GARBOZA et al ⁵¹	09/05/2016	72 disilicate de lithium	SBU	Adhérence μ SBS	Oui	Non	NS
17	SEABRA et al ⁵²	17/01/2014	60 zircons	SBU ABU	Adhérence SBS	Non	Non	+
18	KIM N.H et al ⁵³	23/09/2016	160 zircons	SBU	Adhérence SBS	Oui	Oui	+
19	CARDENAS et al ⁵⁴	09/03/2017	30 disilicate de lithium	SBU PBE	Adhérence μ SBS	Oui	Oui	NS
20	MORO et al ⁵⁵	03/04/2017	100 disilicate de lithium avec	SBU	Adhérence μ SBS	Oui	Oui	NS

⁴⁴ Bömicke et al., « Durability of resin-zirconia bonds produced using methods available in dental practice ».

⁴⁵ Amaral et al., « The potential of novel primers and universal adhesives to bond to zirconia ».

⁴⁶ Yoshihara et al., « Effectiveness and stability of silane coupling agent incorporated in "universal" adhesives ».

⁴⁷ Lopes, Spohr, et De Souza, « Different strategies to bond Bis-GMA-based resin cement to zirconia ».

⁴⁸ Makishi et al., « Effect of storage time on bond strength performance of multimode adhesives to indirect resin composite and lithium disilicate glass ceramic ».

⁴⁹ Sattabanasuk et al., « Effects of mechanical and chemical surface treatments on the resin-glass ceramic adhesion properties ».

⁵⁰ Kalavacharla et al., « Influence of etching protocol and silane treatment with a universal adhesive on lithium disilicate bond strength ».

⁵¹ Garboza et al., « Influence of surface treatments and adhesive systems on lithium disilicate microshear bond strength ».

⁵² Seabra, Arantes-Oliveira, et Portugal, « Influence of multimode universal adhesives and zirconia primer application techniques on zirconia repair ».

⁵³ Kim, Kim, et Lee, « Bond strengths of orthodontic metal brackets to tribochemically silica-coated zirconia surfaces using different 10-methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate-containing primers ».

⁵⁴ Cardenas et al., « Effect of MDP-containing silane and adhesive used alone or in combination on the long-term bond strength and chemical interaction with lithium disilicate ceramics ».

			5 collages chacune					
21	TSUJIMOTO et al ⁵⁶	18/07/2016	50 enrichies en leucite 50 disilicate de lithium 50 zircons	SBU GPB	Adhérence SBS	Non	Oui	NS vitro + Zrn
22	MURILLO-GOMEZ ⁵⁷	26/12/2016	180 disilicate de lithium	SBU	Adhérence μ SBS	Oui	Oui	NS
23	NODA et al ⁵⁸	16/02/2017	15 feldspathiques 15 disilicate de lithium 15 zircons	SBU	Adhérence μ SBS	Oui	Oui	NS vitro + Zrn

Source : Auteur, 2017

Note : Abréviation « vitro » pour vitrocéramique, et « Zrn » pour la zircone.

Sur les 23 études incluses dans cette revue systématique, 22 (96%) étaient des études *in vitro* et 1 (4%) était une étude clinique. Aucune étude *in vivo* chez l'animal n'a donc été réalisée à ce jour pour étudier l'intérêt des adhésifs universels dans le collage aux céramiques dentaires.

Sur les 22 études *in vitro*, 21 (91%) s'appuyaient sur des tests d'adhérences et 1 (4%) s'est intéressée aux angles de contact.

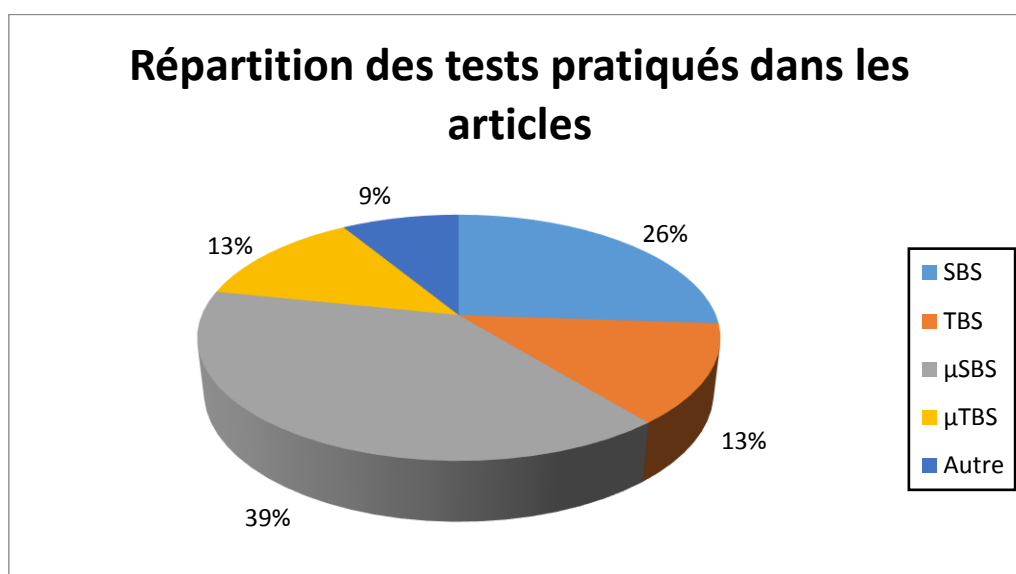
⁵⁵ Moro et al., « Effect of prior silane application on the bond strength of a universal adhesive to a lithium disilicate ceramic ».

⁵⁶ Tsujimoto et al., « Interfacial characteristics and bond durability of universal adhesive to various substrates ».

⁵⁷ Murillo-Gómez, Rueggeberg, et De Goes, « Short- and long-term bond strength between resin cement and glass-ceramic using a silane-containing universal adhesive ».

⁵⁸ Noda et al., « The effect of five kinds of surface treatment agents on the bond strength to various ceramics with thermocycle aging ».

Figure 19 : Pourcentage des tests utilisés dans les articles pour l'étude des adhésifs universels.



Source : Auteur, 2017

Nous pouvons voir grâce à ce graphique que globalement, quatre types de tests d'adhérence ont été utilisés. L'étude clinique et l'étude concernant les angles de contact sont regroupées dans la catégorie « autre ».

Si nous regroupons les groupes SBS et μSBS, ainsi que TBS et μTBS, nous pouvons comptabiliser près de 2/3 (65%) de tests de cisaillement contre 1/3 (26%) de tests de traction. Donc nous pouvons dire qu'à ce jour, **la majorité des tests ayant évalué l'intérêt des adhésifs universels dans le collage aux céramiques sont des tests d'adhérence en cisaillement.**

Nous reparlerons de la différence entre ces deux grands types de tests dans la partie discussion.

Sur les 23 études incluses, 18 (78%) ont comparé un protocole avec adhésif universel à un protocole de référence et 5 (22%) ont évalué un protocole avec adhésif universel sans le comparer à l'existant.

Sur les 23 études incluses, 17 (74%) ont appliqué un vieillissement aux échantillons ou suivi les patients et 6 (26%) n'ont pas appliqué de protocole de vieillissement aux échantillons.

3.2.4 Résultats : significatifs ou non ? en faveur ou en défaveur des adhésifs universels ?

Le tableau 4 met en évidence :

- **14 études qui tendent à montrer que les adhésifs universels ne semblent pas particulièrement intéressants pour le collage aux céramiques dentaires**
- **7 articles plutôt en faveur de ces systèmes universels**
- **et enfin, 2 articles dont les résultats dépendent de la nature de la céramique étudiée (favorable au système universel pour la zircone mais défavorable pour la vitrocéramique**

Nous pensons que les études avec vieillissement sont plus intéressantes car elles reflètent mieux le devenir de l'interface céramique-colle dans le contexte clinique du milieu buccal. Nous pensons également que les études comparant le nouveau protocole (adhésif universel) au protocole de référence sont probablement plus solides méthodologiquement.

Les deux tableaux suivants présentent donc les tendances des résultats des études en fonction qu'un protocole de référence a été appliqué ou non, et selon que les échantillons ou les restaurations ont subi un vieillissement (Tableau 6) ou non (Tableau 5).

Tableau 5 : Résultats concernant les articles ne présentant pas d'étape de vieillissement.

Sans vieillissement		Pas de protocole de référence	Avec protocole de référence	Total
Céramiques vitreuses	En faveur du système adhésif	1 (étude 7)	0	1
	En défaveur du système adhésif	1 (étude 11)	3 (étude 8, 14, 16)	4
Céramiques polycristallines	En faveur du système adhésif	2 (étude 7 et 17)	0	2
	En défaveur du système adhésif	0	0	0
Total		4	3	7

Source : Auteur, 2017

Tableau 6 : Résultats concernant les articles présentant une étape de vieillissement.

Avec vieillissement		Pas de protocole de référence	Avec protocole de référence	Total
Céramiques vitreuses	En faveur du système adhésif	0	1 (étude 4)	1
	En défaveur du système adhésif	2 (étude 15 et 21)	6 (études 5, 13, 19, 20, 22, 23)	8
Céramiques polycristallines	En faveur du système adhésif	1 (étude 21)	5 (étude 1, 10, 12, 18, 23)	6
	En défaveur du système adhésif	0	4 (étude 2, 3, 6, 9)	4
Total		3	16	19

Source : Auteur, 2017

Ainsi, pour les céramiques vitreuses :

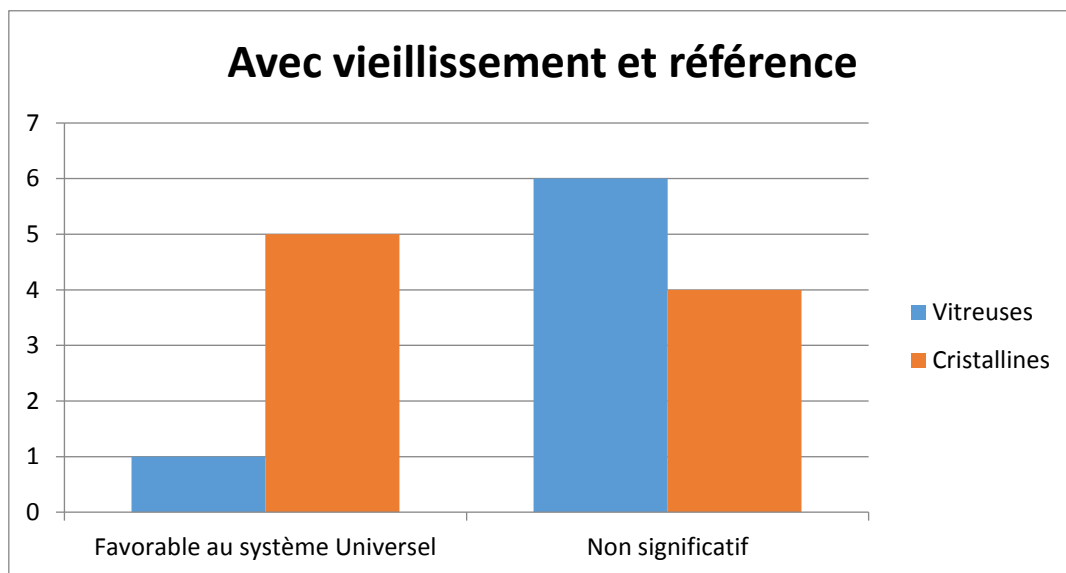
- 1 étude sur 5 (20%) sans vieillissement est en faveur de l'utilisation d'un adhésif universel, mais 0 étude sur 3 (0%) ayant comparé l'application d'un adhésif universel au protocole de référence est en faveur de l'adhésif universel.
- 1 étude sur 9 (11%) avec vieillissement est en faveur de l'utilisation d'un adhésif universel, et 1 étude sur 7 (14%) ayant comparé l'application d'un adhésif universel au protocole de référence est en faveur de l'adhésif universel.

Pour les céramiques polycristallines :

- 2 études sans vieillissement ont été effectuées et elles n'impliquaient pas de protocole de référence. Elles étaient toutes deux en faveur de l'adhésif universel (100%).
- 6 études sur 10 (60%) avec vieillissement sont en faveur de l'utilisation d'un adhésif universel, et 5 études sur 9 (56%) ayant comparé l'application d'un adhésif universel au protocole de référence est en faveur de l'adhésif universel.

Les études avec vieillissement et protocole de référence nous paraissent plus sérieuses et intéressantes c'est pourquoi nous allons plus détailler cette partie.

Figure 20 : Graphique regroupant les études avec étape de vieillissement et comparaison à un protocole de référence.



Source : Auteur, 2017

Ce graphique, concernant les études les plus strictes (vieillissement et comparaison à un protocole de référence), tend à montrer deux choses :

-pour les céramiques vitreuses, les adhésifs universels ne paraissent pas être une alternative fiable (pour le moment) au traitement de référence. Ce résultat n'est pas surprenant étant donné qu'actuellement les protocoles de collages aux différentes céramiques vitreuses sont bien établies et performants.

-pour les céramiques polycristallines : les adhésifs universels semblent clairement pouvoir représenter une alternative au protocole de référence. Mais il n'est pas encore clairement établi qu'un nouveau protocole avec adhésif universel est plus fiable que le protocole de référence (5 études de bonne qualité méthodologique en faveur d'un protocole avec adhésif universel, contre 4 études sans avantage significatif du protocole avec adhésif universel).

3.2 Eléments particuliers révélés par les articles

Suite à la lecture des articles, nous avons retrouvé des résultats principaux similaires dans différentes études que nous allons exposer. Nous ne ferons pas de présentation exhaustive de tous les résultats, qui figurent dans un tableau en annexe 2.

3.2.1 Résultats concernant le silane

Comme nous l'avons évoqué plus tôt dans ce travail, l'adhésif universel le plus étudié actuellement dans la littérature est le Scotchbond universal. Ce dernier comprend dans sa composition un silane rendant inutile, d'après le fabricant (voir tableau 1), l'étape de silanage (appliquer un silane) de la céramique avant assemblage.

Les chercheurs ont donc étudié cette propriété de pouvoir silanant du système universel, en recherchant si la présence de silane inclus dans le système universel provoque une amélioration d'adhérence.

Différentes études (ayant différents protocoles), comme les études 3, 5, 8, 11, 13, 14, 15, 16, 19, 20, 21, 22 et 23 (voir tableau 4), mettent en évidence que **le silane contenu dans le système adhésif universel n'apparaît pas efficace**, et qu'il faut faire une étape d'application de silane avant la mise en place de l'universel. Le silane intrinsèquement contenu dans l'adhésif universel n'est pas suffisant.

Pour illustrer ce point, nous pouvons présenter par exemple les résultats de Yoshihara et al.⁵⁹ Dans leur étude, nous retrouvons la figure 21 :

⁵⁹ Yoshihara et al., « Effectiveness and stability of silane coupling agent incorporated in "universal" adhesives ».

Figure 21 : Impact du silane sur l'adhérence aux céramiques : adhérence en cisaillement d'un adhésif universel et d'un SAM1 selon que le silane est appliqué de façon dissociée ou incorporé à l'adhésif.

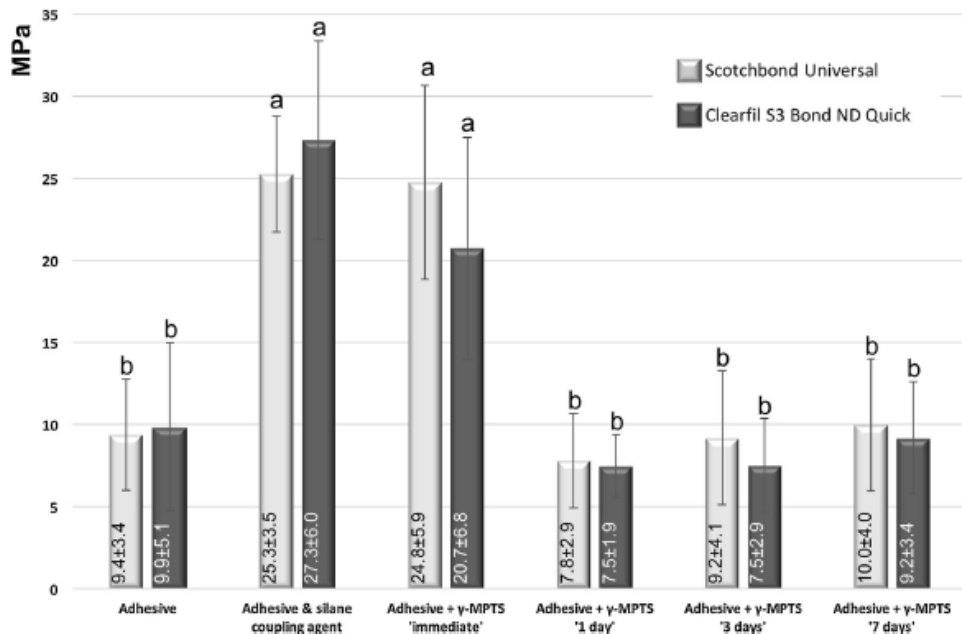


Fig. 1 – Shear bond strength (SBS) onto glass plates of the adhesives Scotchbond Universal (3M ESPE) and Clearfil S3 ND Quick (Kuraray Noritake Dental) applied 'as such' and according to their modified versions. Bars denote the mean bond strength and the whiskers define the standard deviation. Inside the bars, the mean SBS value and the standard deviation are indicated. Means with the same letter are not significantly different.

Source : Yoshihara et al, « Effectiveness and stability of silane coupling agent incorporated in universal adhesives », 2016.

Deux points sont mis en évidence par cette étude de Yoshihara⁶⁰ (étude 11 du tableau 4) :

-le premier est que le Scotchbond, contenant dans sa formulation un silane, ne diffère pas du Clearfil S3 ND Quick, qui lui ne contient aucun silane

-le second est que lorsque les auteurs rajoutent du silane dans l'adhésif utilisé, sans différer l'utilisation du mélange obtenu, ils gagnent un effet sur l'adhérence, mais sans différence significative entre le Clearfil S3 ND Quick et le SBU. Par ailleurs, s'ils diffèrent l'utilisation du mélange obtenu, ils perdent cette efficacité.

D'autre part, Yoshihara et Al⁶¹ (étude 11 du tableau 4) ont également cherché à détecter la présence du silane incorporé dans le Scotchbond Universal. Leur travail n'a pas mis en évidence de silane dans le SBU, comme l'illustrent les figures 22 et 23.

⁶⁰ Yoshihara et al.

⁶¹ Yoshihara et al.

Figure 22 : Mise en évidence de l'absence de silane dans le SBU et le Clearfil S3 ND Quick, même avec adjonction de gammaMPTS (un silane).

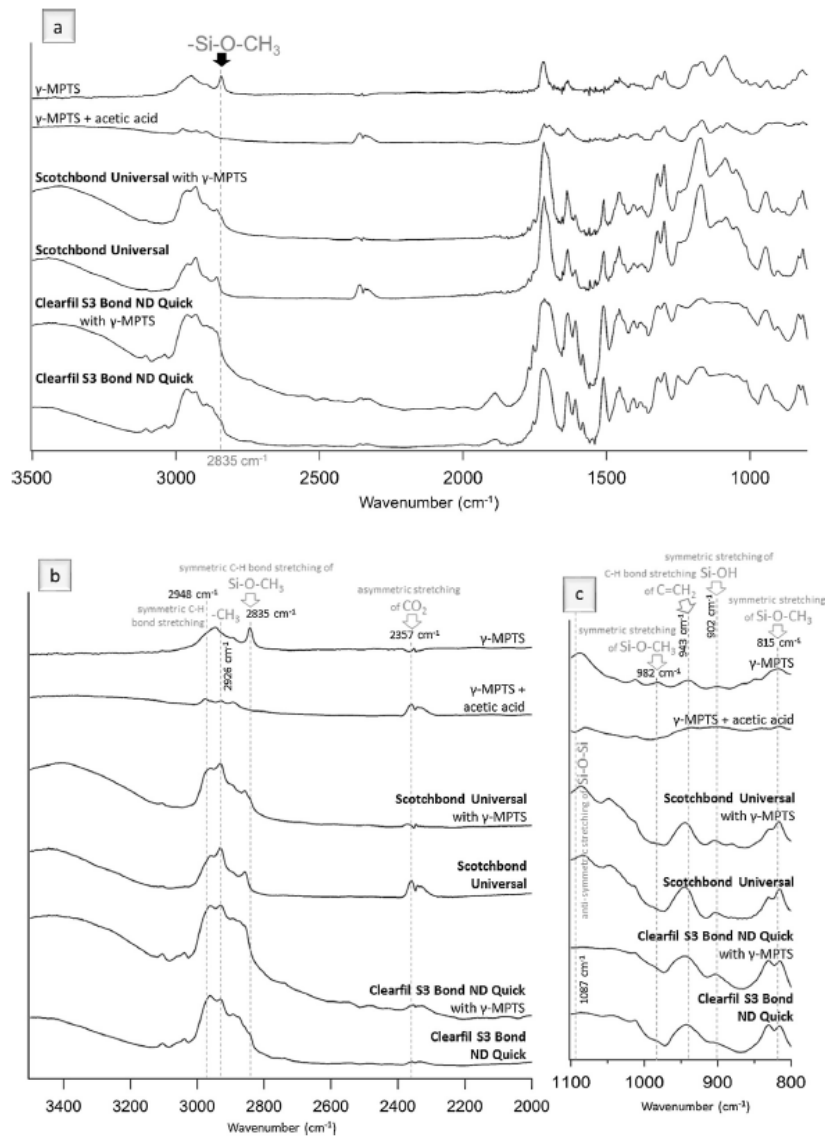


Fig. 2 - FTIR spectra of the adhesives Scotchbond Universal (3M ESPE) and Clearfil S3 Bond ND Quick (Kuraray Noritake) with and without γ -MTPS added. As control, we used a 2 wt% γ -MTPS in 98% ethanol solution and the same solution mixed with a solution of 2 wt% acetic acid (Sigma-Aldrich) in 70 wt% ethanol and 28 wt% water. (a) FTIR full 3500–800 cm^{-1} spectrum; (b) FTIR 3500–2000 cm^{-1} spectrum; (c) FTIR 1100–800 cm^{-1} spectrum.

Source : Yoshihara et al, « Effectiveness and stability of silane coupling agent incorporated in universal adhesives », 2016.

Sur ces graphiques, nous ne retrouvons pas le silane gammaMPTS dans le SBU, ni le Clearfil S3 ND Quick, même après son adjonction. Les spectres donnés par les adhésifs sont les mêmes que celui obtenu pour le gammaMPTS en solution acide (comme si le silane était consommée en solution acide).

Figure 23 : Mise en évidence de la dégradation dans le temps du silane adjoint aux adhésifs étudiés.

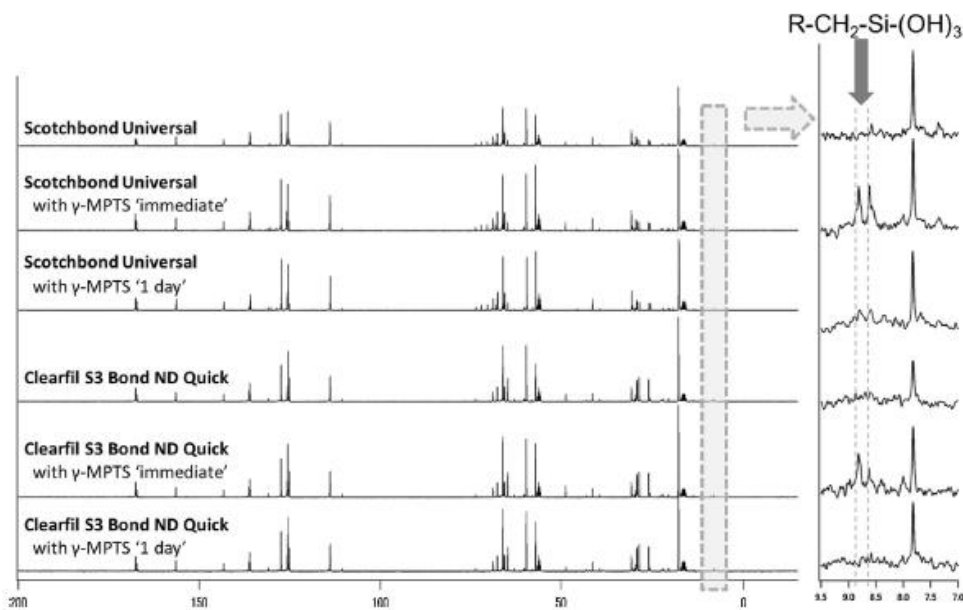


Fig. 3 – ^{13}C NMR spectra of the adhesives Scotchbond Universal (3M ESPE) and Clearfil S3 ND Quick (Kuraray Noritake Dental) with and without γ -MTPS added and analysed 'immediately' or '1 day' after mixing.

Source : Yoshihara et al, « Effectiveness and stability of silane coupling agent incorporated in universal adhesives », 2016.

Grâce à ce graphique de Yoshihara⁶² (étude 11 dans le tableau 4), nous voyons que lorsque les auteurs rajoutent du silane dans les adhésifs étudiés, ce dernier apparaît consommé dès 24h00. A partir de ce délai, il n'est plus possible de le détecter dans les mélanges fabriqués. Ces spectres démontrent également que le SBU, ne semble pas présenter de silane dans sa composition intrinsèque (absence de pic sur la liaison Si-OH sur la ligne la plus haute).

Nous pourrions également évoquer le travail de Sattabanusk et al⁶³ (étude 14) dans lequel nous trouvons le graphique suivant.

⁶² Yoshihara et al.

⁶³ Sattabanasuk et al., « Effects of mechanical and chemical surface treatments on the resin-glass ceramic adhesion properties ».

Figure 24 : Impact de la réalisation d'un mordantage à l'acide fluorhydrique et/ ou de l'application d'un silane avant assemblage avec SBU ou un MR2 (le scotchbond multi purpose –SBMP-).

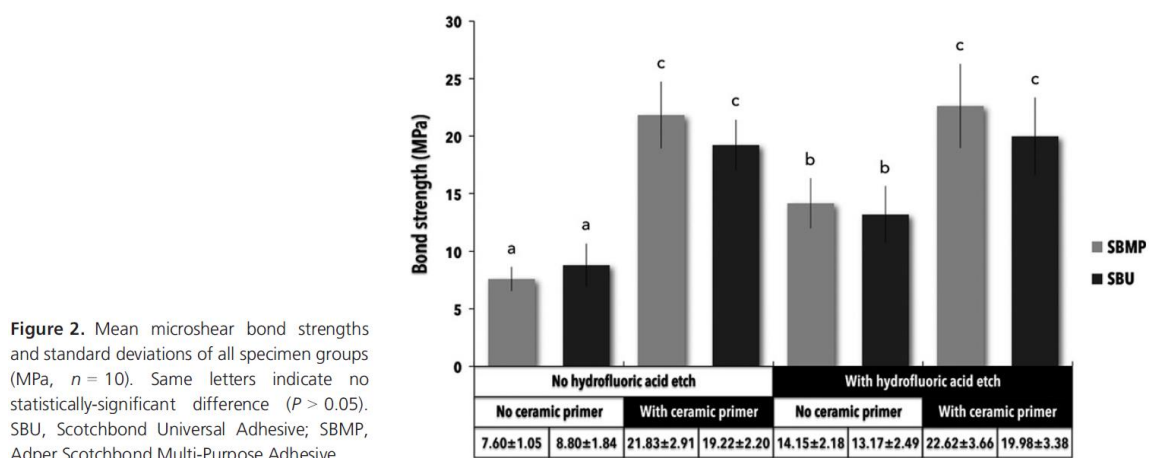


Figure 2. Mean microshear bond strengths and standard deviations of all specimen groups (MPa, $n = 10$). Same letters indicate no statistically-significant difference ($P > 0.05$). SBU, Scotchbond Universal Adhesive; SBMP, Adper Scotchbond Multi-Purpose Adhesive.

Source : Sattabanusk et al, « Effects of mechanical and chemical surface treatments on the resin-glass ceramic adhesion properties », 2017.

Cette étude de Sattabanusk et al⁶⁴ met également en évidence les points déjà cités ci-dessus, à savoir :

- la mise en place d'un silane avant un adhésif universel qui en contient dans sa formulation (comme le SBU) améliore significativement l'adhérence obtenue
- le silane contenu dans le SBU est pas ou peu efficace : il n'augmente pas significativement l'adhérence en micro-cisaillement par rapport à un adhésif conventionnel

Ces différents articles tendent donc à montrer que le silane incorporé dans le système adhésif universel n'est pas retrouvé chimiquement, et ne confère aucune amélioration par rapport à un système qui n'en contient pas (il est inefficace pour améliorer le collage).

Cependant, ce concept d'adjoindre un silane à l'adhésif garde du sens puisque l'adhérence est améliorée lorsqu'un mélange adhésif universel-silane est utilisé immédiatement. **Il semblerait donc qu'il faille réaliser une étape séparée d'application de silane avant l'assemblage, même si un adhésif universel contenant un silane est utilisé.**

Ces résultats ont été établis sur différentes natures de céramique, c'est-à-dire la zircone (étude 3, 21 et 23), la céramique feldspathique (étude 8 et 23), la vitrocéramique enrichie en leucite (études 5, 14, et 21), ainsi qu'au disilicate de lithium (étude 13, 15, 16, 19, 20, 21, 22 et 23).

⁶⁴ Sattabanasuk et al.

3.2.2 Résultats concernant le MDP

En ce qui concerne le MDP, monomère avec potentiel adhésif très utilisé depuis que son brevet est tombé dans le domaine public, les études apportent deux éléments notables.

Tous les produits contenant du MDP ne se valent pas et ne donnent pas des résultats similaires mais statistiquement différents (d'après l'étude 3 d'Inokoshi et al⁶⁵, qui ont travaillé avec du Clearfil Ceramic Primer, du Monobond plus, du Z-Prime plus et du SBU). Les adhérences obtenues dans cette étude pour ces différents matériaux, qui contiennent tous du MDP, sont statistiquement différentes.

Cela tend à montrer que **le MDP seul n'est pas suffisant pour permettre un bon collage** à la céramique. Ce n'est donc pas parce qu'un adhésif universel contient du MDP qu'il est efficace sur les céramiques.

Par ailleurs, les études mettent bien en évidence que les adhésifs avec du MDP (donc souvent le SBU compte tenu de la répartition des adhésifs utilisés dans les études) sont plus efficaces pour coller à la céramique que ceux sans MDP (le MDP semble améliorer l'assemblage), mais malgré cette augmentation d'efficacité, les valeurs d'adhérence atteintes ne sont pas suffisantes pour un collage cliniquement satisfaisant (les assemblages ne survivent pas au thermocyclage). Ces éléments se retrouvent dans les études 6 (zircone), 9 (zircone), 13 (disilicate de lithium). Par ailleurs, les études 17 (zircone), 18 (zircone) et 21 (en ce qui concerne la zircone) indiquent que les bons résultats obtenus grâce au système universel contenant du MDP doivent être considérés prudemment et nécessitent une évaluation sur leur vieillissement.

Ces résultats paradoxaux tendent à montrer que le mode de fonctionnement exact du MDP sur la céramique doit encore être précisé.

Nous pouvons par exemple, pour illustrer ces résultats, présenter l'étude de Bomicke et al⁶⁶ dans laquelle les auteurs dressent les résultats suivants.

⁶⁵ Inokoshi et al., « Bonding effectiveness to different chemically pre-treated dental zirconia ».

⁶⁶ Bömicke et al., « Durability of resin-zirconia bonds produced using methods available in dental practice ».

Figure 25 : Evolution de l'adhérence d'assemblage de résine sur de la zircone selon différents protocoles de collage et matériaux en fonction de la réalisation d'une étape de vieillissement ou non.

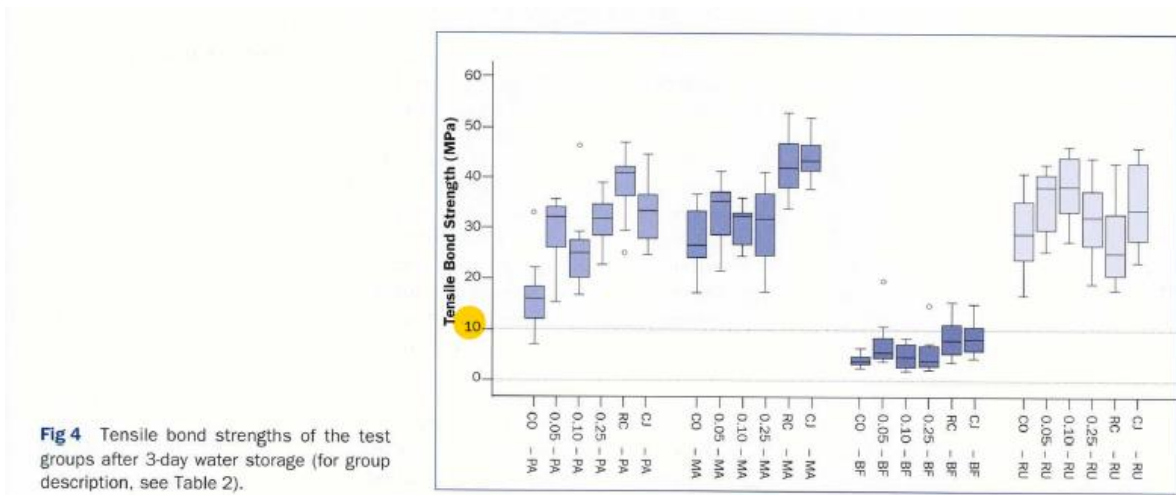


Fig 4 Tensile bond strengths of the test groups after 3-day water storage (for group description, see Table 2).

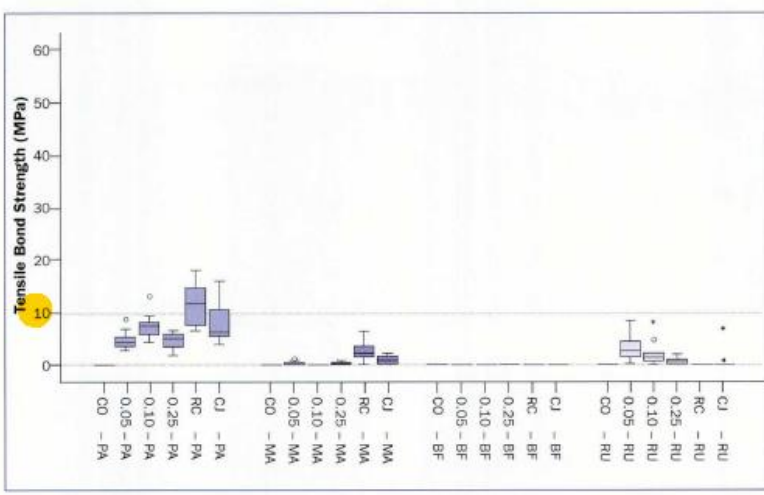


Fig 5 Tensile bond strengths of test groups after 150-day water storage in conjunction with 37,500 thermocycles (for group description, see Table 2).

Source : Bömicke et al, « Durability of resin-zirconia bonds produced using methods available in dental practice », 2016.

Ces deux images illustrent bien que **l'adhérence de l'assemblage est plus importante lorsque du MDP est utilisé** (les groupes PA, MA, et RU contenant du MDP contrairement au groupe BF –cf étude 9-). Mais **ces assemblages, même avec du MDP supportent mal le vieillissement** (image du bas de la figure 25 avec 37 500 cycles de thermocyclage). Dans cette étude, seul le groupe PA (avec utilisation de la colle Panavia) dépasse le seuil cliniquement acceptable de 10MPa.

3.2.3 Résultats concernant les interactions des matériaux

Nous voudrions également souligner que plusieurs études émettent l'idée selon laquelle des inhibitions/ interactions entre les différents composant du système adhésif universel peuvent avoir

lieu et empêcher l'obtention de bonnes valeurs d'adhérence. C'est le cas des études 2, 3, 5, 13, 14, 18, 19, et 22 (voir tableau 4).

Ces notions d'interactions entre constituants des systèmes adhésifs seront développées dans la partie discussion car elles nécessitent des précisions et considérations chimiques.

3.2.4 Résultats : efficacité du collage aux céramiques avec un adhésif universel en fonction du choix de la colle

Historiquement, la colle Panavia (Kuraray) était la seule contenant du MDP et constituait la référence pour le collage aux céramiques polycristallines. Mais, depuis que le brevet du MDP est tombé dans le domaine public, d'autres colles contenant du MDP sont apparues.

Les études 1 et 2 de Zhao et al⁶⁷ ainsi que Passia et al⁶⁸ (respectivement), ont mis en évidence le fait que la réalisation d'un assemblage avec du Rely X Ultimate (abrégié en RXU) n'était pas moins performant qu'avec du Panavia pour coller à la zircone. Même si ce point s'écarte quelque peu de notre sujet, il est à prendre en considération dans le succès des assemblages liés à un adhésif universel.

C'est une des raisons qui fait que l'étude 2 (voir tableau 4), qui a travaillé sur un assemblage à l'aide de SBU et RXU, conclut que le SBU apparaît inutile et n'apporte rien au collage s'il est utilisé avec du RXU (à cause des excellents résultats du RXU seul). Cette étude soutient également que le MDP et le silane du SBU ne sont pas très efficaces car les bons résultats semblent uniquement dus au Rely X Ultimate.

Pour illustrer ce propos, nous souhaitons présenter le tableau des résultats de l'étude 2 de Passia et al⁶⁹. Ces chercheurs ont travaillé sur 80 zircons sablés assemblés par du Rely X Ultimate avec adjonction ou non de Scotchbond Universal au préalable, contre le traitement de référence par Panavia. Voici le tableau regroupant les valeurs d'adhérence lors du test par traction.

⁶⁷ Zhao et al., « Bond strength of primer/cement systems to zirconia subjected to artificial aging ».

⁶⁸ Passia et al., « Bond strength of a new generation of universal bonding systems to zirconia ceramic ».

⁶⁹ Passia et al.

Figure 26 : Non infériorité du Rely X Ultimate par rapport au Panavia pour coller à la zircone, sans impact de l'application au préalable de SBU.

Table 3 – Tensile bond strength of test groups at various storage times. Medians and means with standard deviations in MPa.

Group	Storage time and thermal cycling			
	3 days/0 TC		150 days/75.000 TC	
	Median	Mean ± SD	Median	Mean ± SD
PAN	36.0 ^A _a	35.0 ± 6.3	21.7 ^A _b	23.5 ± 11.6
MLA	37.4 ^A _a	37.9 ± 3.8	15.4 ^B _b	14.4 ± 3.9
NX3	27.7 ^B _a	24.6 ± 9.0	6.6 ^C _b	5.9 ± 4.7
RXU	40.2 ^A _a	39.9 ± 4.6	28.8 ^A _b	31.3 ± 8.0
S-RXU	37.8 ^A _a	39.1 ± 8.8	23.1 ^A _b	24.2 ± 3.0

Medians with the same superscript capital letter in one column are not statistically significant different ($p > 0.05$); medians with the same small subscript letter in one row are not statistically significant different ($p > 0.05$).

Source : Passia et al, « Bond strength of a new generation of universal bonding systems to zirconia ceramic », 2016.

Nous pouvons voir d'après ce tableau que le Rely X Ultimate donne des valeurs d'adhérence qui ne sont pas statistiquement différentes du Panavia, même après un vieillissement par thermocyclage, et cela sans influence de l'adjonction au préalable à l'assemblage de Scotchbond Universal.

Donc le RXU apparait comme un moyen d'assemblage aussi efficace pour la zircone que le Panavia (référence historique).

Ces résultats sont cependant paradoxaux avec l'étude de Zhao et al⁷⁰ (étude 1) dans laquelle les auteurs obtiennent les données figurant dans le tableau suivant.

⁷⁰ Zhao et al., « Bond strength of primer/cement systems to zirconia subjected to artificial aging ».

Figure 27 : Mise en évidence de l'impact du SBU sur l'assemblage au RXU, comparé au Panavia.

Table 4. Bond strength (MPa) with different materials and aging groups

Groups	Aging Levels*		
	24H	30D	30D/TC
SU/RU	11.72 ±0.79 ^{Cb}	12.34 ±0.53 ^{Fb}	2.66 ±0.82 ^{Da}
RU	5.98 ±0.78 ^{Bc}	3.20 ±0.36 ^{Bb}	1.77 ±0.33 ^{Ca}
CCP/PAN	5.73 ±0.74 ^{Bb}	11.36 ±0.61 ^{Ec}	2.29 ±0.82 ^{CDa†}
PAN	5.84 ±0.54 ^{Bb}	5.42 ±0.5 ^{1Cb}	0.00 ±0.00 ^{Aa†}
ZP/DUO	5.63 ±0.41 ^{Bb}	9.22 ±1.28 ^{Dc}	1.62 ±0.46 ^{BCa†}
DUO	2.34 ±0.40 ^{Ab}	2.45 ±0.07 ^{Ab}	0.00 ±0.00 ^{Aa†}

24H, 24-hour storage in water at 37°C; 30D/TC, 30-day storage at 37°C followed by 3000 thermal cycles; CCP/PAN, Clearfil ceramic primer/Panavia F; MDP, 10-methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate; RU, RelyX Ultimate; SU, Scotchbond Universal; ZP/DUO, Z-Prime Plus/Duo-Link.

*Same uppercase superscript letters within the same column show no statistically significant differences among materials (LSD test, $P > .05$). Same lowercase superscript letters within the same row show no statistically significant differences among aging treatments (LSD test, $P > .05$).

Source : Zhao et al, « Bond strength of primer/cement systems to zirconia subjected to artificial aging », 2016.

Ce tableau met aussi en évidence une certaine équivalence entre les valeurs d'adhérence obtenues par RXU comparées au Panavia, mais cette fois ci, l'application préalable de SBU semble améliorer d'avantage l'adhérence finale (contrairement à l'étude de Passia et al⁷¹).

Notons également ici, que l'étude de Bomicke et al⁷² (étude 9), donne un résultat contradictoire car l'assemblage réalisé avec du Rely X Ultimate dans cette étude ne résiste pas au thermocyclage (valeur obtenue sous le seuil de 10MPa) et n'est pas équivalent au traitement de référence qu'est le Panavia (voir figure 25).

Il apparait donc que d'avantages d'études comparant les adhérences obtenues avec du Panavia et du Rely X Ultimate paraissent nécessaires pour préciser ces résultats.

3.2.5 Résultats concernant la zircone

L'analyse des études précédentes révèlent aussi d'autres cohérences favorables aux adhésifs universels. C'est plus particulièrement le cas des études 4, 7, 10, 12, 21 et 23 (voir tableau 4) qui ont tendance à montrer que :

-en termes d'adhésion aux céramiques, les adhésifs universels semblent particulièrement performants sur la zircone (étude 7,10, 12 21, 23 du tableau 4)

⁷¹ Passia et al., « Bond strength of a new generation of universal bonding systems to zirconia ceramic ».

⁷² Bömick et al., « Durability of resin-zirconia bonds produced using methods available in dental practice ».

-le système universel couplé à la bonne colle (SBU et RXU en général) est aussi bon qu'une colle auto-adhésive (Rely X Unicem 2 par exemple). Ce résultat est à mettre en corrélation avec les bonnes performances du Rely X Ultimate (voir ci avant).

-les systèmes adhésifs contenant du MDP associés à un sablage apparaissent comme une excellente option pour coller la zircone, résultat qui semble se maintenir après vieillissement artificiel par thermocyclage (voir étude 10 du tableau 4).

Nous souhaitons par exemple présenter les résultats de l'étude de Lopes et al⁷³ (étude 12) dans laquelle nous trouvons le tableau suivant (figure 28), qui tend à montrer que l'adhésif universel (le SBU, groupe dit UA dans la figure 28) est parmi les meilleurs, et en tout cas équivalent à un primer spécifique pour la zircone. Les meilleurs résultats sont donc obtenus lorsqu'il y a du MDP dans l'adhésif/ le primer.

Figure 28 : Mise en évidence de l'équivalence entre le scotchbond universel et un primer de zircone spécifique, après 24h et 6 mois de stockage dans l'eau.

Table 2 Mean resin cement microshear bond strengths to zirconia (in MPa) and standard deviation (SD) for each surface treatment

Group	Storage time	Mean bond strength (SD) in MPa	% of failure mode
UA	24 h	14.6 (± 4.9) ^a	M: 92; C: 8
	6 m	16.0 (± 4.8) ^a	M: 100
SZP	24 h	14.0 (± 5.4) ^{ab}	M: 84; C: 16
	6 m	11.9 (± 2.6) ^{ab}	M: 92; C: 8
ZPP	24 h	8.0 (± 1.8) ^b	A: 8; M: 92
	6 m	8.6 (± 3.3) ^b	A: 16; M: 84
EXP	24 h	0.6 (± 0.7) ^c	A: 100
	6 m	1.2 (± 0.5) ^c	A: 100
CO	24 h	1.3 (± 1.2) ^c	A: 100
	6 m	1.0 (± 1.2) ^c	A: 100

Légende :
 UA = Scotchbond Universal
 SZP = Sigmum Zirconia Bond
 ZPP = Z Prime Plus
 EXP = MZ Primer
 CO = Contrôle
 Les lettres différentes indiquent une différence significative.

Source : Lopes, Spohr, et De Souza, « Different strategies to bond Bis-GMA-based resin cement to zirconia », 2016.

L'ensemble des résultats sont regroupés dans un tableau en annexe 2, avec le titre de l'article, la nature de la céramique étudiée, le but de chaque article, ainsi que les principaux résultats et conclusions des auteurs.

⁷³ Lopes, Spohr, et De Souza, « Different strategies to bond Bis-GMA-based resin cement to zirconia ».

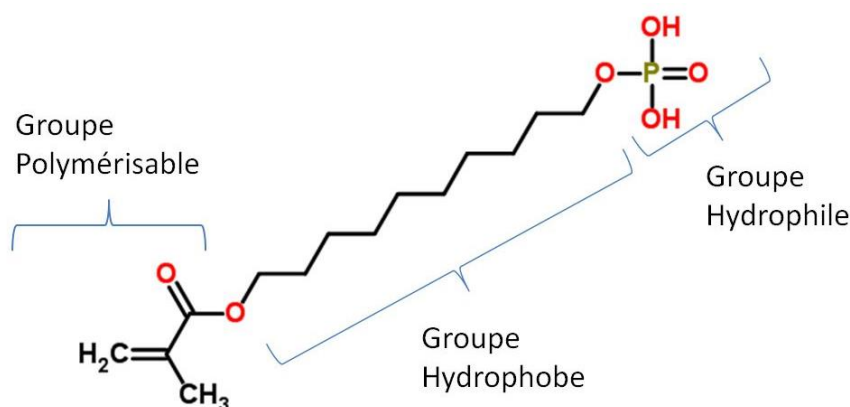
4 : Discussion

4.1 Phénomènes d'adhésion du MDP et du silane aux céramiques

4.1.1 Le monomère avec potentiel adhésif : le MDP

Tout au long de cette revue de littérature, nous avons pu constater que de nombreux systèmes adhésifs contiennent une molécule particulière qu'est le MDP, pour 10-méthacryloyloxydecyl dihydrogène phosphate. Ce monomère acide est composé de plusieurs parties comme le montre la figure 29 :

Figure 29 : Représentation schématique du MDP



Source : The Royal Society of Chemistry, « 10-méthacryloyloxydecyl dihydrogène phosphate », 2017

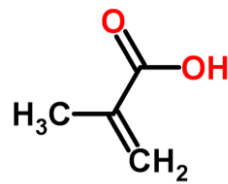
Ce MDP permet la formation d'une liaison entre son extrémité acide phosphorique et la zircone. Nous pouvons comprendre à l'aide de ce schéma les propriétés amphiphiles de cette molécule qui présente une extrémité hydrophile (composée d'un groupement phosphate), et un côté hydrophobe (composé d'un ester méthacrylique). De plus, la longue chaîne aliphatique lui confère aussi son caractère hydrophobe.

L'extrémité dihydrogène phosphate interagit avec les oxydes des vitrocéramiques ou les groupes hydroxyles de la zircone. Cette portion peut également interagir avec le Calcium et l'hydroxyapatite. C'est d'ailleurs ce qui permet l'adhésion à la dentine (d'après le fabricant historique Kuraray⁷⁴).

L'extrémité méthacrylique interagit avec les groupements similaires de la colle/ résine et copolymérise avec cette dernière.

⁷⁴ Kuraray dental, « MDP monomer ».

Figure 30 : Acide méthacrylique que l'on retrouve par liaison ester dans la composition du MDP



Source : The Royal Society of Chemistry, « Acide méthacrylique, »2017

D'après un travail de recherche de Nagaoka et Yoshihara⁷⁵, publié dans la revue Nature en mars 2017, la nature des liaisons entre le MDP et la zircone a pu être précisée.

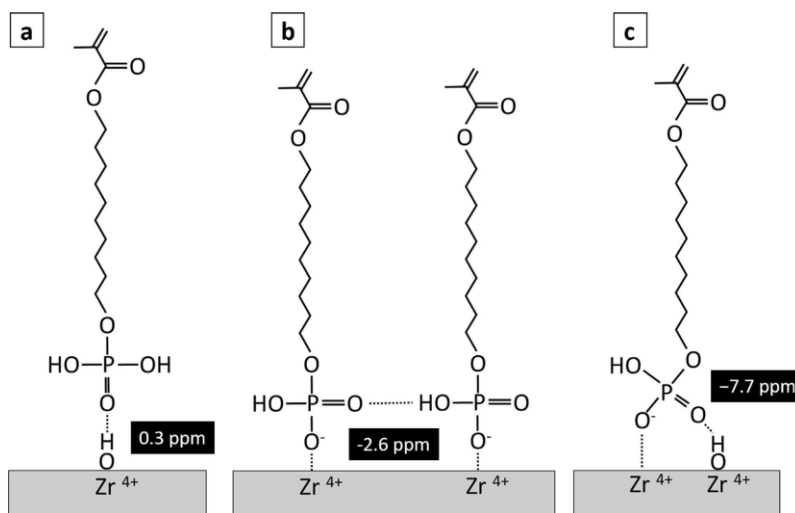
Ces chercheurs ont mis en évidence plusieurs éléments particuliers :

-la concentration en MDP utilisée a un rôle important : une concentration minimale de MDP (1ppb) est nécessaire pour que l'adhésion soit significativement améliorée. Au-delà, l'adhérence est augmentée de façon dose-dépendante. Par ailleurs, ils ont observé des fractures 100% adhésives pour des concentrations allant jusqu'à 1ppm (1ppm=1 000ppb). Donc la concentration doit être au moins 1000 fois plus grande pour un collage efficace (50% de fractures adhésives).

-le taux d'humidité des pièces joue un rôle important

-il y a trois modes d'interactions entre le MDP et la zircone : liaison hydrogène, ionique ou les deux simultanément (Figure 31).

Figure 31 : Schéma bilan des interactions entre zircone et MDP



Source : Nagaoka et al, « Chemical interaction mechanism of 10-MDP with zirconia », 2017.

Nous pouvons voir également ici que les molécules de MDP peuvent interagir entre elles et se combiner lors de leur interaction avec la zircone. Mais une question se pose alors : les molécules de

⁷⁵ Nagaoka et al., « Chemical interaction mechanism of 10-MDP with zirconia ».

MDP peuvent-elles interagir entre elles avant d'interagir avec la zircone et de ce fait devenir indisponibles/ inexploitable ?

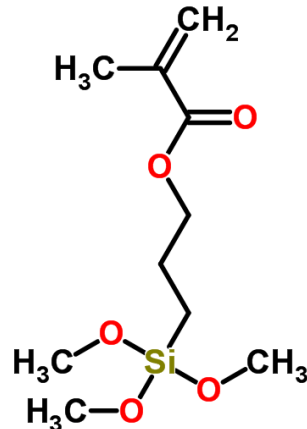
Inokoshi et al⁷⁶ (étude 3), ainsi que Cardenas et al⁷⁷ (l'étude 19) évoquent que la pureté, la concentration, la nature du solvant et la polarité des composants du mélange peuvent influencer sur l'interaction du MDP avec son substrat. Si les travaux de Nagaoka et Yoshihara⁷⁸ apportent quelques réponses (au regard de la concentration en MDP nécessaire pour l'interaction avec la zircone), les autres points restent aujourd'hui sans réponse.

Pour résumer : une concentration minimale de MDP de 1ppm est nécessaire pour obtenir une adhésion fiable à la zircone. Les molécules de MDP peuvent interagir entre elles dans l'adhésif – devenant potentiellement inactives – et se lier de différentes façons au substrat ; ces phénomènes sont influencés par la composition de l'adhésif universel mais encore mal compris.

4.1.2 Le silane

En ce qui concerne le silane, rappelons, via l'exemple du 3MTPS pour 3-methacryloxypropyltrimetoxysilane, son rôle et sa structure classique (Figure 32).

Figure 32 : Formule chimique du silane



Source : The Royal Society of Chemistry, « 3-methacryloxypropyltrimetoxysilane », 2017

Le silane permet de créer une liaison siloxane Si-O-Si avec les vitrocéramiques. Cette liaison est formée au cours d'une réaction de condensation avec les oxydes présents à la surface de l'intrados d'une céramique contenant du verre (création d'une liaison covalente et élimination d'une molécule d'eau tel que $\text{Si-OH}_{\text{silane}} + \text{OH-Si}_{\text{vitrocéramique}} \rightarrow \text{Si-O-Si} + \text{H}_2\text{O}$. Figure 34). Nous comprenons donc

⁷⁶ Inokoshi et al., « Bonding effectiveness to different chemically pre-treated dental zirconia ».

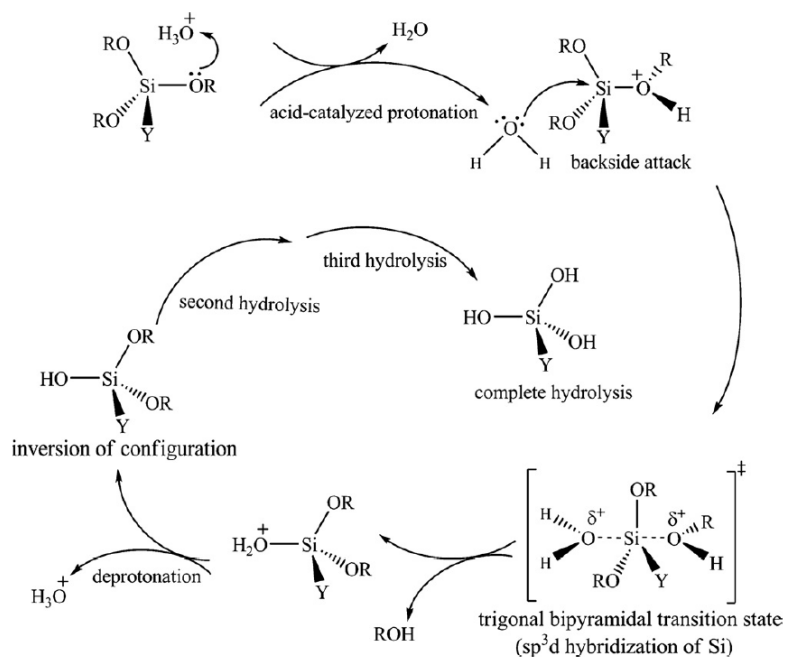
⁷⁷ Cardenas et al., « Effect of MDP-containing silane and adhesive used alone or in combination on the long-term bond strength and chemical interaction with lithium disilicate ceramics ».

⁷⁸ Nagaoka et al., « Chemical interaction mechanism of 10-MDP with zirconia ».

ici que le silane n'a pas le même effet sur les céramiques polycristallines compte tenu de l'absence de silice à leur surface (d'après Lung⁷⁹ : pas de liaison siloxane possible avec la zircone).

Par ailleurs, nous savons que le silane n'est réellement actif que sous sa forme alcoolique de silanol (cf figure 33). C'est cette forme, avec les groupes hydroxyles (du caractère alcoolique), qui permet la condensation. Mais pour obtenir ce silanol, le silane doit subir une réaction d'hydrolyse en milieu acide (Figure 33) :

Figure 33 : Schéma de principe de la transformation du silane en silanol en milieu acide



Source : Lung et Matinlinna, «Aspects of silane coupling agents and surface conditioning in dentistry», 2012.

D'après Lung et al⁸⁰, l'hydrolyse du silane en silanol a lieu autour d'un pH 4. Or, les adhésifs universels sont plus acides que les adhésifs conventionnels (de pH situé entre 2,3 à 3,5 pour ceux qui sont connus –voir annexe 1-), et provoquent donc certainement l'hydrolyse du silane en silanol.

Classiquement, cette hydrolyse se fait avec de l'acide acétique, la condensation libérant alors un alcool (éthanol).

Comme nous l'avons vu pour le MDP, les molécules de silanol formées peuvent interagir entre elles et s'auto condenser en formant des oligomères de silane (Figures 34 et 35, d'après Lung⁸¹ et étude 11 de Yoshihara⁸²).

⁷⁹ Lung et Matinlinna, « Aspects of silane coupling agents and surface conditioning in dentistry ».

⁸⁰ Lung et Matinlinna.

⁸¹ Lung et Matinlinna.

⁸² Yoshihara et al., « Effectiveness and stability of silane coupling agent incorporated in "universal" adhesives ».

Figure 34 : Hydrolyse en (1) et condensation en (2) d'un organoalcoxysilane

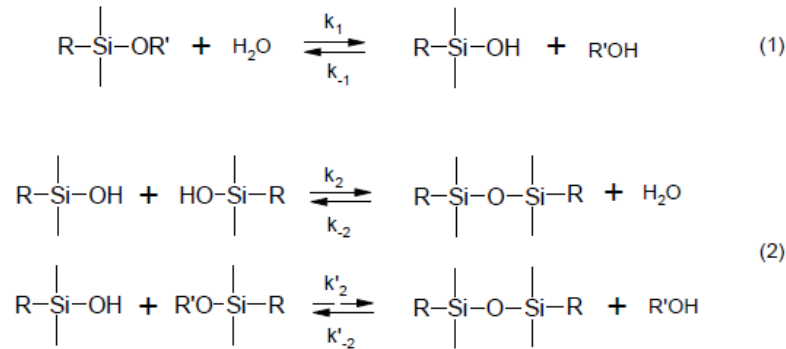
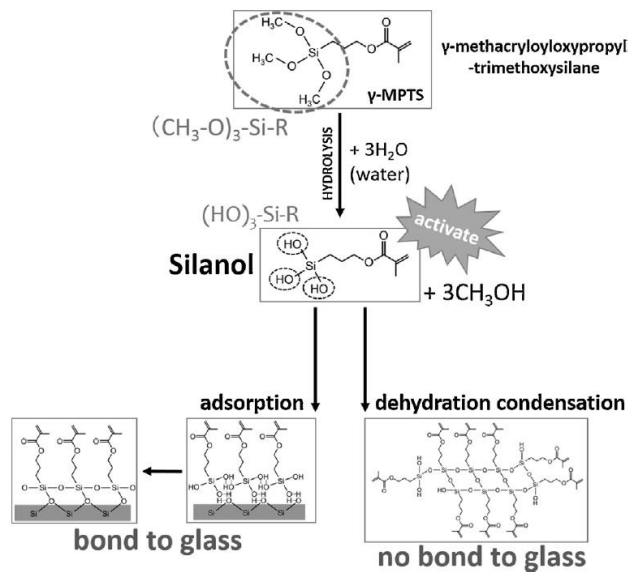


Figure 2 : Hydrolyse (1) et condensation (2) d'un organoalcoxysilane

Source : Monredon senani, Interaction Organosilanes / «Silice de précipitation du milieu hydro-alcoolique au milieux aqueux», 2004.

La figure 35 permet de comprendre la possible réaction des molécules de silanol entre elles, les rendant indisponibles pour interagir avec le matériau prothétique sur lequel elles sont appliquées.

Figure 35 : Schéma de principe de la réactivité du silane en solution relativement acide, menant à une condensation sur une vitrocéramique ou à la formation d'un oligomère.



Source : Yoshihara et al, «Effectiveness and stability of silane coupling agent incorporated in universak adhesives», 2016.

Nous avons vu que la condensation du silane à la surface d'une céramique vitreuse entraîne la formation d'une liaison forte siloxane et la libération d'une molécule d'eau.

Sattabanusk et al⁸³ suggèrent que l'élimination de cette molécule d'eau serait gênée par les autres composants de l'universel, ce qui altérerait la réaction du silane avec son substrat. En effet, nous avons vu que l'adhésif universel contient de l'eau et ceci peut déplacer l'équilibre de la réaction de condensation en défaveur de cette condensation (loi de LE CHATELIER). Cet argument est également repris par Murillo Gomez⁸⁴ (étude 22).

Pour résumer : le silanol – silane hydrolysé en milieu acide (pH<4) – se lie de façon covalente aux céramiques vitreuses par des liaisons fortes (siloxanes). Ces liaisons siloxanes ne sont pas possibles avec la zircone. Les adhésifs universels étant relativement acides (pH 2,3-3,5), des molécules de silanol peuvent être présentes dans le flacon. Ces molécules peuvent interagir entre elles pour former des oligomères de silane et ainsi s'inactiver. De plus, la présence d'eau dans la composition de l'adhésif universel n'est pas propice à la réaction de condensation du silane. Ces éléments expliquent peut-être que les performances des adhésifs universels sur les céramiques vitreuses semblent inférieures par rapport au protocole de référence.

4.2 Interactions des composants des adhésifs universels et impacts sur l'adhésion aux céramiques

4.2.1 Interactions concernant le couple MDP- silane

Compte tenu des éléments présentés à propos du MDP et du silane, et grâce à la lecture des articles présentés plus haut, la question de l'interaction entre silane et MDP se pose.

Nous savons que le MDP interagit avec les groupements hydroxyles de la zircone ou les atomes d'oxygène de la zircone et il semble donc possible que le MDP interagisse lui-même avec le silanol formé (au niveau des groupes hydroxyles ou des atomes d'oxygène).

Ces interactions rendraient indisponibles, à la fois le MDP et aussi le silanol pour leur action sur la céramique que nous cherchons à coller. Cela peut en partie expliquer les performances perfectibles des adhésifs universels dans l'adhésion aux céramiques.

Des études sur la thermodynamique de ces réactions et leur quantification sont souhaitables, afin d'essayer de perfectionner les systèmes adhésifs universels.

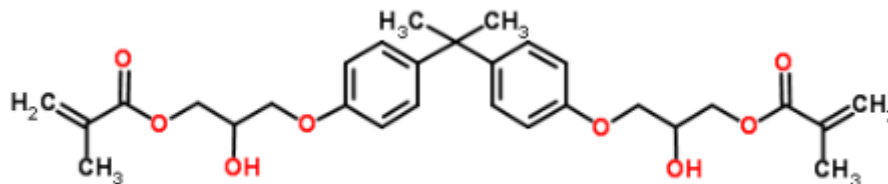
⁸³ Sattabanasuk et al., « Effects of mechanical and chemical surface treatments on the resin-glass ceramic adhesion properties ».

⁸⁴ Murillo-Gómez, Rueggeberg, et De Goes, « Short- and long-term bond strength between resin cement and glass-ceramic using a silane-containing universal adhesive ».

4.2.2 Interaction entre BisGMA, silanol et MDP

Nous pouvons aussi nous demander si le MDP ne peut pas interagir avec le Bis-GMA et les autres dérivés méthacryliques possédant des groupements hydroxyles.

Figure 36 : Formule chimique du BisGMA



Source : The Royal Society of Chemistry, « Bis-GMA », 2017

Chen et al⁸⁵ ont travaillé sur ce sujet des interactions entre le BisGMA et les primers de zircone ou le silane. Ils ont mis en évidence via l'étude de l'angle de contact et de l'adhérence (SBS) que l'addition de BisGMA (contenu dans certains adhésifs universels) inhibe l'action du silane, le rendant alors inutilisable pour son interaction avec la céramique, mais ils n'ont pas mis en évidence d'action inhibitrice sur les primer à base de phosphate (comme le MDP). Cette notion d'inhibition de l'action du silane sur la céramique par le BisGMA est aussi suggérée dans l'étude 18 de Kim N.H et al.⁸⁶ Par ailleurs, les travaux de Lung⁸⁷ suggèrent plutôt que le MDP peut gêner l'action du silane par hydrolyse prématurée du silane. Ces résultats, combiné avec ceux de Chen et al⁸⁸ peuvent nous conduire à supposer des interactions néfastes entre BisGMA, MDP et silanol.

Par ailleurs, Passia et al⁸⁹ (repris par Makishi⁹⁰) suggèrent que l'adhésif universel regroupe dans un même flacon trop de composants qui se gênent pour agir sur les différents substrats concernés. Par exemple, le MDP contenu dans un universel peut difficilement agir sur la céramique ou l'atteindre, par encombrement stérique.

Pour résumer : il semble que le bisGMA perturbe l'action du silane. Le bisGMA n'empêche pas l'action du MDP mais la diminue peut-être, par encombrement stérique en particulier.

⁸⁵ Chen, Shen, et Suh, « Effect of incorporating BisGMA resin on the bonding properties of silane and zirconia primers ».

⁸⁶ Kim, Kim, et Lee, « Bond strengths of orthodontic metal brackets to tribochemically silica-coated zirconia surfaces using different 10-methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate-containing primers ».

⁸⁷ Lung et Matinlinna, « Aspects of silane coupling agents and surface conditioning in dentistry ».

⁸⁸ Chen, Shen, et Suh, « Effect of incorporating BisGMA resin on the bonding properties of silane and zirconia primers ».

⁸⁹ Passia et al., « Bond strength of a new generation of universal bonding systems to zirconia ceramic ».

⁹⁰ Makishi et al., « Effect of storage time on bond strength performance of multimode adhesives to indirect resin composite and lithium disilicate glass ceramic ».

4.2.3 Interaction HEMA-MDP

Une étude réalisée par Yoshida et al⁹¹ établit que la présence d'HEMA interagit et influence négativement l'interaction du MDP avec la dentine. Si cette information est hors sujet dans notre travail (car elle concerne la dentine), elle montre l'importance de rechercher aussi des interactions, à la fois entre le HEMA et le MDP, mais aussi sur l'inhibition compétitive de l'HEMA présent dans les systèmes universels avec le MDP dans le traitement de surface des intrados prothétiques.

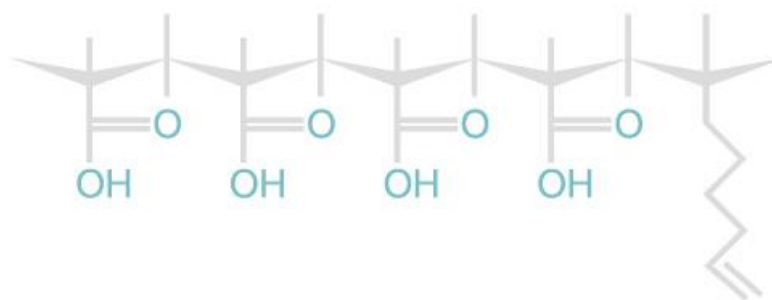
Cet élément particulier pourrait expliquer aussi en partie que les résultats ne sont pas extrêmement favorables aux systèmes universels.

4.2.4 Autres interactions ?

Enfin, concernant le Scotchbond Universal, un autre composant est supposé avoir un rôle particulier dans le collage des céramiques. C'est le Vitrebond copolymer (3M). Ce monomère, breveté par 3M n'est pas explicitement décrit par le fabricant et son rôle exact mal défini. 3M ESPE a breveté cette molécule, qui est contenue dans des ciments-verres-ionomères de la marque. Des études ont d'ailleurs montré que pour ces ciments, le Vitrebond copolymer permet d'améliorer l'adhérence à l'hydroxyapatite et au calcium via les groupements hydroxyles OH (pour l'adhésion à la dentine).

Nous pouvons alors imaginer qu'il peut y avoir une interaction entre le Vitrebond copolymer et les céramiques, en particulier au niveau des groupements OH.

Figure 37 : Vitrebond copolymer



Source : 3MESPE, Scotchbond universal, 2017.

Des études sont nécessaires afin de caractériser, d'analyser la réactivité et d'évaluer cette molécule. Nous manquons de données scientifiques objectives au sujet de ce Vitrebond copolymer qui n'a été étudié qu'au niveau de son interaction avec l'Hydroxyapatite.

⁹¹ Yoshida et al., « HEMA inhibits interfacial nano-layering of the functional monomer MDP ».

Mais nous n'avons pas d'étude sur son impact sur les matériaux prothétiques, et sur ses interactions avec les autres composants de cet adhésif universel.

4.2.5 Impact des caractéristiques physiques sur les assemblages

Les études 4, 6, 12, et 19 (voir tableau 4) soulignent aussi que si la majeure partie des études réalisées pour le moment s'intéressent à la composante chimique du collage, il faut aussi tenir compte des propriétés physiques des matériaux utilisés dans l'assemblage.

Vogl et al⁹² affirment par exemple que la composition chimique n'est pas le seul facteur influençant les propriétés adhésives du SBU, et que son pouvoir de mouillabilité est aussi important. De Souza et al⁹³ suggèrent que la viscosité, l'hydrophilie, et les propriétés mécaniques jouent également un rôle important (argument soutenu par Kim et al⁹⁴, ainsi que Cardenas et al⁹⁵).

4.3 Nature des tests mécaniques utilisés

Nous devons relever ici le fait que les études analysées n'ont pas utilisé les mêmes protocoles. En dehors du fait que certaines font un vieillissement des assemblages dans l'eau, certains y ajoutent un vieillissement par thermocyclage. Par ailleurs, ces vieillissements peuvent varier en termes de durée ou de nombre de cycles, ce qui peut influencer sur les résultats. Nous avons considéré dans ce travail qu'un vieillissement avait été simulé quand les auteurs avaient laissé les échantillons au moins 1 mois dans l'eau ou avaient appliqué un thermocyclage et il nous a semblé que ces études étaient plus pertinentes cliniquement, le protocole mimant les conditions d'utilisation de nos pièces prothétiques.

De plus, les études réalisées concernant l'adhérence des adhésifs universels utilisent soit un test en cisaillement (SBS), soit un test de traction (TBS). Or ces deux types de tests n'ont pas la même signification sur le plan de l'interprétation des résultats.

Le Tensile Bond Strength ou TBS est un test de résistance à la traction. Pour ce test, il faut faire une éprouvette avec entaille au milieu (c'est à ce niveau que se situe l'assemblage) pour pouvoir insérer des mords ou des élastiques et exercer des contraintes de traction. La direction de la force de traction est parallèle à l'axe de l'échantillon cylindrique et donc perpendiculaire strictement au joint

⁹² Vogl et al., « Controlled, prospective, randomized, clinical split-mouth evaluation of partial ceramic crowns luted with a new, universal adhesive system/resin cement ».

⁹³ de Souza et al., « The use of MDP-based materials for bonding to zirconia ».

⁹⁴ Kim et al., « Performance of universal adhesives on bonding to leucite-reinforced ceramic ».

⁹⁵ Cardenas et al., « Effect of MDP-containing silane and adhesive used alone or in combination on the long-term bond strength and chemical interaction with lithium disilicate ceramics ».

collé (la composante chimique de l'adhésion est donc particulièrement sollicitée). Ce test présente peut-être moins de biais que le test de cisaillement, même s'il présente quelques limitations (comme les difficultés d'alignement et la tendance à une distribution inhomogène des stress à l'interface adhésive, Ozcan⁹⁶).

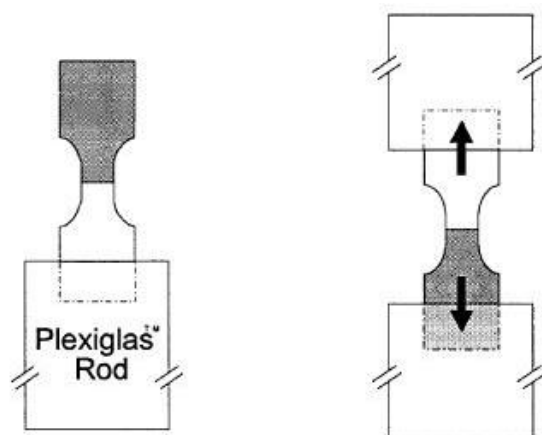
Le Shear Bond Strength ou SBS est un test de résistance au cisaillement. Dans ce test mécanique, toutes les sollicitations doivent être tangentielles à la surface d'application de ces dernières et égales en tout point de cette surface⁹⁷. Il n'y a donc aucune sollicitation perpendiculaire à la surface (la composante mécanique de l'adhésion est plus particulièrement sollicitée, contrairement au test de traction).

Ce test est idéal pour tester un collage ou une liaison céramo-métallique, mais il est difficile à réaliser car beaucoup de forces parasites difficilement contrôlables faussent les résultats.

D'après d'Inokoshi⁹⁸, le SBS majore les fractures cohésives car les contraintes sont inhomogènes.

Les deux types de tests (en traction TBS et en cisaillement SBS) présentent des inconvénients mais le test SBS est plus controversé.

Figure 38 : Principe du test de traction (TBS)



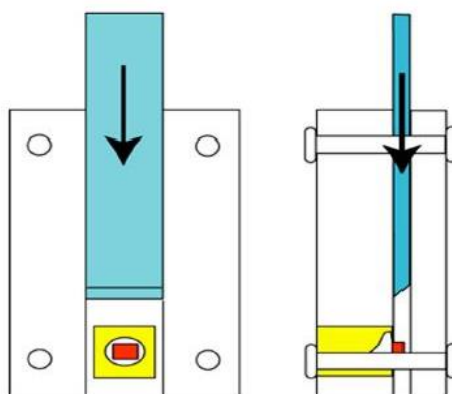
Source : Armstrong, Boyer et Keller, « Microtensile bond strength testing and failure analysis of two dentin adhesives », 1998.

⁹⁶ Özcan et Bernasconi, « Adhesion to zirconia used for dental restorations ».

⁹⁷ Jacquot et Société francophone des biomatériaux dentaires, « Propriétés mécaniques des biomatériaux utilisés en odontologie ».

⁹⁸ Inokoshi et al., « Bonding effectiveness to different chemically pre-treated dental zirconia ».

Figure 39 : Principe du test de cisaillement



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

Nous pouvons schématiser les choses en disant que le TBS travaille essentiellement sur la composante chimique du collage et possède donc un intérêt en termes de recherche pour caractériser un adhésif (comme c'est le cas ici), alors que le SBS prend également en considération la composante micromécanique du collage et relève donc plutôt d'un intérêt clinique (mais permet moins de caractériser un adhésif au sens strict).

Des travaux ont été réalisés par Susanne SCHERRER⁹⁹ pour rechercher l'intérêt des tests sur la dentine (leur fiabilité en quelque sorte), mais, à notre connaissance, pas sur la céramique. Une étude sur la fiabilité des tests mécaniques dans l'étude du collage entre adhésif et céramique pourrait apporter des éléments de réponse.

Notons également ici que si l'adhérence a largement été étudiée dans les articles que nous avons analysés, aucun n'étudie l'étanchéité du collage alors que ce paramètre est capital. Mais aujourd'hui, nous n'avons pas les moyens pour étudier cette étanchéité (les tests actuels étant controversés).

⁹⁹ Scherrer, Cesar, et Swain, « Direct comparison of the bond strength results of the different test methods ».

Conclusion

Le marché des adhésifs dentaires universels est florissant et nous avons répertorié dans ce travail 13 systèmes.

Dans un premier temps, nous avons cherché à préciser les indications et la composition des différents adhésifs universels commercialisés. 3 adhésifs étaient indiqués pour le traitement de surface des céramiques utilisés seuls, 6 pouvaient être utilisés avec adjonction de silane ou d'un activateur et 11 étaient indiqués pour la réparation de céramique en bouche ; 2 ne pouvaient être utilisés sur la céramique. Les principaux composants des adhésifs universels ont pu être dégagés mais leur identification et quantification précises (solvants, silane, nature des monomères) ont été impossible du fait des données très partielles communiquées par les fabricants.

Dans un deuxième temps, nous avons réalisé une revue systématique de la littérature portant sur l'intérêt des adhésifs universels pour le collage aux céramiques dentaires. Une équation de recherche a été mise en œuvre dans Pubmed. Une sélection des publications pertinentes a ensuite été réalisée sur le titre, puis sur le résumé et le texte complet. 23 publications ont été incluses, dont 1 étude clinique, 1 étude sur l'angle de contact entre adhésif universel et céramique, et 21 études évaluant l'adhérence de différents adhésifs universels à différentes céramiques. 23 études concernaient l'adhésif universel Scotchbond Universal, 3 concernaient le All bond Universal, les autres adhésifs universels étant évalués dans 0 ou 1 publication ; il est donc difficile de conclure sur la globalité des systèmes universels étant donné la faible représentativité des études publiées au regard du marché existant.

Les études portaient essentiellement sur la zircone (12 études), puis en second lieu sur la vitrocéramique enrichie au disilicate de lithium (9 études). Les autres céramiques n'étaient pas ou très peu étudiées.

Ces études, évaluant essentiellement l'adhérence de l'interface céramique-adhésif universel+colle, étaient basées essentiellement sur des tests de cisaillement (65% contre 26% de tests de traction). Au total, nous avons distingué 7 études dont les résultats et conclusions étaient plutôt favorables aux adhésifs universels, contre 14 qui n'étaient pas particulièrement favorables à ces systèmes (pour 2

articles, les résultats dépendaient de la céramique étudiée : ils étaient favorables à l'adhésif universel pour la zircone et défavorables pour la vitrocéramique).

Pour les vitrocéramiques, 1 étude (14%) des 7 études ayant mis en œuvre un vieillissement des échantillons et comparé l'adhésif universel au traitement de référence étaient favorables à l'adhésif universel.

Pour la zircone, 5 études (56%) sur les 9 ayant mis en œuvre un vieillissement des échantillons et comparé l'adhésif universel au traitement de référence étaient favorables à l'adhésif universel.

Ainsi, pour l'assemblage des vitrocéramiques, les systèmes universels sont pour le moment moins performants que le protocole de référence. Concernant la zircone, sur laquelle le MDP montre des résultats intéressants, qui peuvent probablement être améliorés, les systèmes universels semblent une alternative prometteuse.

Enfin, nous avons évoqué les potentielles interactions pouvant inactiver les composants regroupés dans les systèmes universels, comme le silane, le MDP, le BisGMA, l'HEMA et d'avantage d'études à ce sujet nous paraissent indispensables.

Les paramètres physiques des adhésifs universels (viscosité, hydrophilie, pH, propriétés mécaniques, mouillabilité, etc.) ainsi que l'étanchéité des assemblages nécessitent également d'être étudiés.

Bibliographie

- 3MESPE. « Scotchbond universal ». Consulté le 16 octobre 2017. http://solutions.3mfrance.fr/wps/portal/3M/fr_FR/3M_ESPE/Dental-Manufacturers/Products/Dental-Restorative-Materials/Dental-Bonding/Dental-Adhesive/.
- Amaral, M., R. Belli, P. F. Cesar, L. F. Valandro, A. Petschelt, et U. Lohbauer. « The potential of novel primers and universal adhesives to bond to zirconia ». *Journal of dentistry* 42, n° 1 (2014): 90-98. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2013.11.004>.
- Bisco dental. « All-bond universal ». Consulté le 16 octobre 2017. <http://www.bisco.com/all-bond-universal/>.
- Blatz, M. B., A. Sadan, et M. Kern. « Resin-ceramic bonding: a review of the literature ». *The journal of prosthetic dentistry* 89, n° 3 (2003): 268-74. <https://doi.org/10.1067/mpr.2003.50>.
- Bömicke, W., A. Schürz, J. Krisam, P. Rammelsberg, et S. Rues. « Durability of resin-zirconia bonds produced using methods available in dental practice ». *The journal of adhesive dentistry* 18, n° 1 (2016): 17-27. <https://doi.org/10.3290/j.jad.a35517>.
- Campos, F., L. F. Valandro, S. A. Feitosa, C. J. Kleverlaan, A. J. Feilzer, N. de Jager, et M. A. Bottino. « Adhesive cementation promotes higher fatigue resistance to zirconia crowns ». *Operative dentistry* 42, n° 2 (2017): 215-24. <https://doi.org/10.2341/16-002-L>.
- Cardenas, A. M., F. Siqueira, V. Hass, P. Malaquias, M. F. Gutierrez, A. Reis, J. Perdigão, et al. « Effect of MDP-containing silane and adhesive used alone or in combination on the long-term bond strength and chemical interaction with lithium disilicate ceramics ». *The journal of adhesive dentistry* 19, n° 3 (2017): 203-12. <https://doi.org/10.3290/j.jad.a38414>.
- Chen, L., H. Shen, et B. I. Suh. « Effect of incorporating BisGMA resin on the bonding properties of silane and zirconia primers ». *The journal of prosthetic dentistry* 110, n° 5 (2013): 402-7. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2013.04.005>.
- Coltène. « One coat ». Consulté le 16 octobre 2017. <https://www.coltene.com/fr/products/restauration/adhesifs/one-coat/>.
- Dejou, J., et Société francophone des biomatériaux dentaires. « Les céramiques ». Université numérique des sciences odontologiques francophones, 2009. campus.cerimes.fr/odontologie/enseignement/chap17/site/html/.
- Denry, I., et J. R. Kelly. « Emerging ceramic-based materials for dentistry ». *Journal of dental research* 93, n° 12 (2014): 1235-42. <https://doi.org/10.1177/0022034514553627>.

Dentsply. « Prisma Universal Bond ». Consulté le 16 octobre 2017. <http://www.dentsply.com.au/prisma-universal-bond-3ml-bottle-934002/>.

Dentsply sirona. « Prime&bond active ». Consulté le 16 octobre 2017. <https://www.dentsplysirona.com/en-gb/products/restorative/prime-&-bond-active.html>.

———. « Prime&bond elect ». Consulté le 16 octobre 2017. <http://www.primeandbondelect.com/>.

———. « Xeno select ». Consulté le 16 octobre 2017. <https://www.dentsplysirona.com/en-gb/products/restorative/direct-restoration/adhesives.html/Restorative/Direct-Restoration/Adhesives/Universal-Adhesives/Xeno-Select/p/DET-60667323/c/1000779.html#.WeS9DztpFhE>.

Fron, H. « Le collage des céramiques : influence de la nature de la céramique sur le choix du traitement de surface ». Thèse d'exercice : chirurgie dentaire : Paris V, Paris Descartes, 2008.

Garboza, C. S., S. B. Berger, R. D. Guiraldo, A. P. P. Fugolin, A. Gonini-Júnior, S. K. Moura, et M. B. Lopes. « Influence of surface treatments and adhesive systems on lithium disilicate microshear bond strength ». *Brazilian dental journal* 27, n° 4 (2016): 458-62. <https://doi.org/10.1590/0103-6440201600624>.

GC Europe. « G-premio bond ». GC EUROPE. Consulté le 16 octobre 2017. <http://www.gceurope.com/products/gpremiobond/>.

———. « Produits ». GC EUROPE, 2017. <http://www.gceurope.com/products/?cat=restore>.

Inokoshi, M., A. Poitevin, J. De Munck, S. Minakuchi, et B. Van Meerbeek. « Bonding effectiveness to different chemically pre-treated dental zirconia ». *Clinical oral investigations* 18, n° 7 (2014): 1803-12. <https://doi.org/10.1007/s00784-013-1152-7>.

Itena. « Iperbond ultra ». Consulté le 16 octobre 2017. <https://www.itena-clinical.com/fr/gamme-de-produits/collage/56-iperbond-ultra.html>.

Ivoclar vivadent. « Adhese universal ». Consulté le 16 octobre 2017. <https://www.ivoclarvivadent.us/p/Adhesives/p/180236>.

Jacquot, B., et Société francophone des biomatériaux dentaires. « Propriétés mécaniques des biomatériaux utilisés en odontologie ». Université numérique des sciences odontologiques francophones, 2009. campus.cerimes.fr/odontologie/enseignement/chap4/site/html/.

Kalavacharla, V. K., N. C. Lawson, L. C. Ramp, et J. O. Burgess. « Influence of etching protocol and silane treatment with a universal adhesive on lithium disilicate bond strength ». *Operative dentistry* 40, n° 4 (2015): 372-78. <https://doi.org/10.2341/14-116-L>.

Kelly, J. R. « Clinically relevant approach to failure testing of all-ceramic restorations ». *The journal of prosthetic dentistry* 81, n° 6 (1999): 652-61.

Kerr dental. « Agents adhésifs dentaires ». Kerr Dental. Consulté le 16 octobre 2017. <https://www.kerrdental.com/fr-be/produits-de-restauration-dentaire/agents-adhesifs-dentaires>.

Kim, N. H., Y. J. Kim, et D. Y. Lee. « Bond strengths of orthodontic metal brackets to tribochemically silica-coated zirconia surfaces using different 10-methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate-containing primers ». *The journal of adhesive dentistry* 19, n° 1 (2017): 21-29. <https://doi.org/10.3290/j.jad.a37724>.

Kim, R. J.-Y., J.-S. Woo, I.-B. Lee, Y.-A. Yi, J.-Y. Hwang, et D.-G. Seo. « Performance of universal adhesives on bonding to leucite-reinforced ceramic ». *Biomaterials research* 19 (2015): 11. <https://doi.org/10.1186/s40824-015-0035-1>.

Kimmich, M., et C. F. J. Stappert. « Intraoral treatment of veneering porcelain chipping of fixed dental restorations: a review and clinical application ». *Journal of the american dental association* 144, n° 1 (2013): 31-44.

Kitayama, S., T. Nikaido, R. Takahashi, L. Zhu, M. Ikeda, R. M. Foxton, A. Sadr, et al. « Effect of primer treatment on bonding of resin cements to zirconia ceramic ». *Dental materials* 26, n° 5 (2010): 426-32. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2009.11.159>.

Kulzer. « iBOND universal ». Consulté le 16 octobre 2017. http://kulzer.fr/fr/fr/dentiste/produits_a_z/ibond_4/ibond_universal.aspx.

Kuraray dental. « Clearfil universal bond ». Consulté le 16 octobre 2017. <http://kuraraydental.com/product/bonding-agents/clearfil-universal-bond>.

———. « MDP monomer ». Consulté le 17 octobre 2017. <http://kuraraydental.com/key-technologies-innovations/mdp-monomer>.

Li, R. W. K., T. W. Chow, et J. P. Matinlinna. « Ceramic dental biomaterials and CAD/CAM technology: state of the art ». *Journal of prosthodontic research* 58, n° 4 (2014): 208-16. <https://doi.org/10.1016/j.jpor.2014.07.003>.

Lopes, G. C., A. M. Spohr, et G. M. De Souza. « Different strategies to bond Bis-GMA-based resin cement to zirconia ». *The journal of adhesive dentistry* 18, n° 3 (2016): 239-46. <https://doi.org/10.3290/j.jad.a36137>.

Lühns, A.-K., J. De Munck, W. Geurtsen, et B. Van Meerbeek. « Composite cements benefit from light-curing ». *Dental materials* 30, n° 3 (2014): 292-301. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2013.11.012>.

Lung, C. Y. K., et J. P. Matinlinna. « Aspects of silane coupling agents and surface conditioning in dentistry: an overview ». *Dental materials* 28, n° 5 (2012): 467-77. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2012.02.009>.

Makishi, P., C. B. André, J. L. E. Silva, R. Bacelar-Sá, L. Correr-Sobrinho, et M. Giannini. « Effect of storage time on bond strength performance of multimode adhesives to indirect resin composite and

lithium disilicate glass ceramic ». *Operative dentistry* 41, n° 5 (2016): 541-51. <https://doi.org/10.2341/15-187-L>.

Manso, A. P., N. R. F. A. Silva, E. A. Bonfante, T. A. Pegoraro, R. A. Dias, et R. M. Carvalho. « Cements and adhesives for all-ceramic restorations ». *Dental clinics of north america* 55, n° 2 (2011): 311-332, ix. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2011.01.011>.

Morimoto, S., F. B. W. Rebello de Sampaio, M. M. Braga, N. Sesma, et M. Özcan. « Survival rate of resin and ceramic inlays, onlays, and overlays: a systematic review and meta-analysis ». *Journal of dental research* 95, n° 9 (2016): 985-94. <https://doi.org/10.1177/0022034516652848>.

Moro, A. F. V., A. B. Ramos, G. M. Rocha, et C. D. R. Perez. « Effect of prior silane application on the bond strength of a universal adhesive to a lithium disilicate ceramic ». *The journal of prosthetic dentistry*, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2016.12.021>.

Murillo-Gómez, F., F. A. Rueggeberg, et M. F. De Goes. « Short- and long-term bond strength between resin cement and glass-ceramic using a silane-containing universal adhesive ». *Operative dentistry* 42, n° 5 (2017): 514-25. <https://doi.org/10.2341/16-211-L>.

Nagaoka, N., K. Yoshihara, V. P. Feitosa, Y. Tamada, M. Irie, Y. Yoshida, B. Van Meerbeek, et al. « Chemical interaction mechanism of 10-MDP with zirconia ». *Scientific reports* 7 (2017): 45563. <https://doi.org/10.1038/srep45563>.

Noda, Y., M. Nakajima, M. Takahashi, T. Mamanee, K. Hosaka, T. Takagaki, M. Ikeda, et al. « The effect of five kinds of surface treatment agents on the bond strength to various ceramics with thermocycle aging ». *Dental materials journal*, 2017. <https://doi.org/10.4012/dmj.2016-383>.

Özcan, M., et M. Bernasconi. « Adhesion to zirconia used for dental restorations: a systematic review and meta-analysis ». *The journal of adhesive dentistry* 17, n° 1 (2015): 7-26. <https://doi.org/10.3290/j.jad.a33525>.

Passia, N., M. Mitsias, F. Lehmann, et M. Kern. « Bond strength of a new generation of universal bonding systems to zirconia ceramic ». *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials* 62 (2016): 268-74. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2016.04.045>.

Sattabanasuk, V., P. Charnchairerk, L. Punsukumtana, et M. F. Burrow. « Effects of mechanical and chemical surface treatments on the resin-glass ceramic adhesion properties ». *Journal of investigative and clinical dentistry* 8, n° 3 (2017). <https://doi.org/10.1111/jicd.12220>.

Scherrer, S. S., P. F. Cesar, et M. V. Swain. « Direct comparison of the bond strength results of the different test methods: a critical literature review ». *Dental materials* 26, n° 2 (2010): e78-93. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2009.12.002>.

Seabra, B., S. Arantes-Oliveira, et J. Portugal. « Influence of multimode universal adhesives and zirconia primer application techniques on zirconia repair ». *The journal of prosthetic dentistry* 112, n° 2 (2014): 182-87. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2013.10.008>.

Siqueira, F., A. M. Cardenas, M. F. Gutierrez, P. Malaquias, V. Hass, A. Reis, A. D. Loguercio, et al. « Laboratory performance of universal adhesive systems for luting CAD/CAM restorative materials ». *The journal of adhesive dentistry* 18, n° 4 (2016): 331-40. <https://doi.org/10.3290/j.jad.a36519>.

Souza, G. de, D. Hennig, A. Aggarwal, et L. E. Tam. « The use of MDP-based materials for bonding to zirconia ». *The journal of prosthetic dentistry* 112, n° 4 (2014): 895-902. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2014.01.016>.

Tirlet, G., et J. P. Attal. « Le gradient thérapeutique : un concept medical pour les traitements esthétiques ». *Information dentaire* 91, n° 41/42 (2009): 2561.

Tsujimoto, A., W. W. Barkmeier, T. Takamizawa, T. M. Wilwerding, M. A. Latta, et M. Miyazaki. « Interfacial characteristics and bond durability of universal adhesive to various substrates ». *Operative dentistry* 42, n° 2 (2017): E59-70. <https://doi.org/10.2341/15-353-L>.

« Ultradent France – Produits dentaires ». Consulté le 16 octobre 2017. <https://www.ultradent.com/fr/Pages/verify-license.aspx>.

Voco. « Futurabond M+ ». Consulté le 16 octobre 2017. <http://www.voco.fr/fr/product/futurabond-m-plus/index.html>.

———. « Futurabond U ». Consulté le 16 octobre 2017. <http://www.voco.fr/fr/product/futurabond-u/index.html>.

Vogl, V., K.-A. Hiller, W. Buchalla, M. Federlin, et G. Schmalz. « Controlled, prospective, randomized, clinical split-mouth evaluation of partial ceramic crowns luted with a new, universal adhesive system/resin cement: results after 18 months ». *Clinical oral investigations* 20, n° 9 (2016): 2481-92. <https://doi.org/10.1007/s00784-016-1779-2>.

Yoshida, Y., K. Yoshihara, S. Hayakawa, N. Nagaoka, T. Okihara, T. Matsumoto, S. Minagi, et al. « HEMA inhibits interfacial nano-layering of the functional monomer MDP ». *Journal of dental research* 91, n° 11 (2012): 1060-65. <https://doi.org/10.1177/0022034512460396>.

Yoshihara, K., N. Nagaoka, A. Sonoda, Y. Maruo, Y. Makita, T. Okihara, M. Irie, et al. « Effectiveness and stability of silane coupling agent incorporated in “universal” adhesives ». *Dental materials* 32, n° 10 (2016): 1218-25. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2016.07.002>.

Zhao, L., Y. T. Jian, X. D. Wang, et K. Zhao. « Bond strength of primer/cement systems to zirconia subjected to artificial aging ». *The journal of prosthetic dentistry* 116, n° 5 (2016): 790-96. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2016.03.020>.

Table des figures

Figure 1 : Gradient thérapeutique pour le choix des restaurations envisageables pour un soin unitaire.	4
Figure 2 : Schéma de mise en contre dépouille de la préparation en A, et préparation à minima en B.5	5
Figure 3 : Schéma de principe de la préparation pour une restauration amalgame foulée occluso-mésiale.	5
Figure 4 : Schéma de principe de la préparation pour une restauration composite collée occluso-mésiale.	5
Figure 5 : Schéma de principe mettant en évidence la préservation tissulaire par comblement (en beige) de la contre dépouille et l'Immediate Dentin Sealing lors d'une réhabilitation prothétique par onlay collé.....	6
Figure 6 : Modification de l'intensité des contraintes induites sur la céramique, selon qu'elle est collée (ovales noirs) ou non (carrés blancs).	7
Figure 7 : Graphique distinguant les différents champs d'application des adhésifs universels étudiés.	10
Figure 8 : Nature des solvants composant les différents adhésifs universels indiqués dans le collage des céramiques.....	15
Figure 9 : Nature des monomères remarquables contenus dans les adhésifs universels.	16
Figure 10 : Présence de silane incorporé dans la composition de l'adhésif universel en fonction des différentes indications de ces systèmes.....	17
Figure 11 : Schéma représentant les indications des vitrocéramiques.....	23
Figure 12 : Schéma représentant les indications des céramiques infiltrées.	23
Figure 13 : Schéma représentant les indications des céramiques polycristallines.	24
Figure 14 : Exemple de pièce en céramique avec un onlay e-max à gauche et un bridge zircone 3 éléments à droite. Pièce du laboratoire Beaune.....	24
Figure 15 : Schéma de l'équation de recherche utilisée sur PubMed pour notre étude.	26
Figure 16 : Diagramme de flux associé à la recherche sur PubMed	28
Figure 17 : Représentation des fréquences des différentes céramiques étudiées dans les articles. ...	28
Figure 18 : Répartition des fréquences des adhésifs universels utilisés dans les articles.....	29
Figure 19 : Pourcentage des tests utilisé dans les articles pour l'étude des adhésifs universels.	34
Figure 20 : Graphique regroupant les études avec étape de vieillissement et comparaison à un protocole de référence.....	36

Figure 21 : Impact du silane sur l'adhérence aux céramiques : adhérence en cisaillement d'un adhésif universel et d'un SAM1 selon que le silane est appliqué de façon dissociée ou incorporé à l'adhésif.	38
Figure 22 : Mise en évidence de l'absence de silane dans le SBU et le Clearfil S3 ND Quick, même avec adjonction de gammaMPTS (un silane).....	39
Figure 23 : Mise en évidence de la dégradation dans le temps du silane adjoint aux adhésifs étudiés.	40
Figure 24 : Impact de la réalisation d'un mordantage à l'acide fluorhydrique et/ ou de l'application d'un silane avant assemblage avec SBU ou un MR2 (le scotchbond multi purpose –SBMP-).	41
Figure 25 : Evolution de l'adhérence d'assemblage de résine sur de la zircone selon différents protocoles de collage et matériaux en fonction de la réalisation d'une étape de vieillissement ou non.	43
Figure 26 : Non infériorité du Rely X Ultimate par rapport au Panavia pour coller à la zircone, sans impact de l'application au préalable de SBU.....	45
Figure 27 : Mise en évidence de l'impact du SBU sur l'assemblage au RXU, comparé au Panavia.	46
Figure 28 : Mise en évidence de l'équivalence entre le scotchbond universal et un primer de zircone spécifique, après 24h et 6 mois de stockage dans l'eau.	47
Figure 29 : Représentation schématique du MDP	48
Figure 30 : Acide méthacrylique que l'on retrouve par liaison ester dans la composition du MDP.....	49
Figure 31 : Schéma bilan des interactions entre zircone et MDP	49
Figure 32 : Formule chimique du silane	50
Figure 33 : Schéma de principe de la transformation du silane en silanol en milieu acide	51
Figure 34 : Hydrolyse en (1) et condensation en (2) d'un organoalcoxysilane	52
Figure 35 : Schéma de principe de la réactivité du silane en solution relativement acide, menant à une condensation sur une vitrocéramique ou à la formation d'un oligomère.....	52
Figure 36 : Formule chimique du BisGMA.....	54
Figure 37 : Vitrebond copolymer.....	55
Figure 38 : Principe du test de traction (TBS).....	57
Figure 39 : Principe du test de cisaillement	58

Table des tableaux

Tableau 1 : Liste des adhésifs universels sur le marché dentaire actuellement, et abréviations utilisées.....	9
Tableau 2 : Composition du SAM1 et de l'universel du fabricant GC d'après leur fiche SDS respectives.	12
Tableau 3 : Composition des systèmes MR2, SAM1 et universel de chez 3MESPE.	13
Tableau 4 : Synthèse des études analysées concernant les adhésifs universels.	31
Tableau 5 : Résultats concernant les articles ne présentant pas d'étape de vieillissement.	35
Tableau 6 : Résultats concernant les articles présentant une étape de vieillissement.	35

Annexes

Annexe 1

Adhésif	Silane	Composants	Solvants	Indications
Scotchbond Universal ou Single Bond Universal SBU	Oui	<ul style="list-style-type: none"> - MDP - Résines diméthacrylates (P205, diméthylaminoéthyl méthacrylate, diméthylaminobenzoate, et di-terbutyl-P-cresol - HEMA - Acide polyalcénoïque modifié par méthacrylate - Vitrebond copolymère - Nano-charges - Amorceurs (camphoroquinone) - BisGMA - Decaméthylène diméthacrylate <p>pH = non révélé par le fabricant</p>	Ethanol, eau	Restaurations directes : -composites et compomères -reconstitutions de faux moignons -désensibilisation dentaire -avant restauration amalgame -collage de sealants ou CVI -collage de tenons Restaurations indirectes : -collage de facette -collage avec Rely-X-Ultimate Réparation de composite, de restaurations céramo-métalliques, et céramiques
Ibond Universal IU	Non	<ul style="list-style-type: none"> - 4-Méthacryloxyéthyl trimellitate anhydride (4META) <p>pH= non révélé par le fabricant</p>	Acétone, eau	Restaurations directes : -composites et compomères -reconstitutions de faux moignons -désensibilisation dentaire -avant amalgame -collage des sealants -scellement dentinaire Restaurations indirectes : -facette, inlay, onlay, couronne Réparation de composites, céramiques et métaux

Prime and Bond Elect PBE	Non	<ul style="list-style-type: none"> - Résine Mono-, di- et triméthacrylate - PENTA dicéto (dipentaérythritol penta acrylate monophosphate) - Oxyde de phosphine organique - Stabilisants - Uréthane diméthacrylate (UDMA) - Hydrofluorure de cetylamine <p>pH=2,5</p>	Acétone, eau	Restaurations directes : <ul style="list-style-type: none"> -composites et compomères -reconstitutions de faux moignons -avant restauration amalgame -collage de tenons Restaurations indirectes : <ul style="list-style-type: none"> -collage de facette, inlay, onlay, couronne et pilier de bridge Réparation de composites, céramiques et amalgames
Prime and Bond Active PBA	Non	<ul style="list-style-type: none"> - Résine acrylate modifiée par acide phosphorique (MDP) - Acrylate multi-fonctionnelle (dipentaérythritol pentacrylate phosphate) - Acrylate bifonctionnelle (bisacrylamide 2) - Acrylate acide (bisacrylamide 1) - Initiateurs - Stabilisateurs <p>pH=2,5</p>	Eau, iso-propanol	Restaurations directes : <ul style="list-style-type: none"> -composites et compomères -avant amalgame -reconstitutions de faux moignons Restaurations indirectes Réparation de composites, céramiques et amalgames
One Coat 7 Universal OC7	Non	<ul style="list-style-type: none"> - Méthacrylates - UDMA - HEMA - Photoamorceurs <p>pH = non révélé par le fabricant</p>	Ethanol, eau	Restaurations directes : <ul style="list-style-type: none"> -composites et compomères Restaurations indirectes : <ul style="list-style-type: none"> -collage de céramique (interface dentaire) Réparation de composites, céramiques, métaux et amalgames

Iperbond Ultra Itena IBU	Non	<ul style="list-style-type: none"> - 2 hydroxethyl methacrylate (HEMA) - urethane di methacrylate (UDMA) - Photoinitiateurs <p>pH = non révélé par le fabricant</p>	Ethanol, eau	Restaurations directes : <ul style="list-style-type: none"> -composites et compomères -collage de restaurations indirectes à la dent (interface dentaire) -scellement dentinaire Réparation de composites, céramiques, métaux et amalgames
All bond Universal ABU	Non	<ul style="list-style-type: none"> - HEMA - MDP - Bis-GMA - Initiateurs <p>pH=2,5-3,5</p>	Ethanol, eau	Restaurations directes : <ul style="list-style-type: none"> -composites -faux moignons -hypersensibilité dentaire -collage ODF -collage de tenons endodontiques Restaurations indirectes Réparation de céramique
Adhese Universal ADHU	NON	<ul style="list-style-type: none"> - HEMA - MDP - BisGMA - Méthacrylate de 2 dimethylaminoethyle - 1,10 decandiol dimethacrylate - camphoroquinone - dioxyde de silice dispersé - Initiateurs et stabilisants <p>pH = non révélé par le fabricant</p>	Ethanol, eau	Restaurations directes : <ul style="list-style-type: none"> -composites et compomères -reconstitutions de moignons -scellement dentinaire avant collage de restaurations indirectes -désensibilisation dentaire Réparations de composites
Futurabond U FU	Non	<ul style="list-style-type: none"> - BisGMA - HEMA - HEDMA - Catalyseurs - Nanoparticules de silice 	Ethanol	Restaurations directes : <ul style="list-style-type: none"> -composites et compomères -faux moignons -hypersensibilité dentaire -avant CVI ou amalgame

		<ul style="list-style-type: none"> - 1,6-hexanediybisméthacrylate - uréthane di méthacrylate (UDMA) - Monomère acide (=secret) <p>pH=2,3</p>		<ul style="list-style-type: none"> -tenons radiculaires <p>Réparation de composites et céramiques</p>
Futurabond M FM	Non	<ul style="list-style-type: none"> - Méthacrylate de 2 hydroxethyl (HEMA) - Monomère adhésif acide (=secret) <p>pH=2</p>	Ethanol	<p>Restaurations directes :</p> <ul style="list-style-type: none"> -composites et compomères -faux moignons -hypersensibilité dentaire -avant CVI ou amalgame -tenons radiculaires <p>Réparation de composites et céramiques</p>
G premio Bond GPB	Non	<ul style="list-style-type: none"> - Diméthacrylates - Monomère d'ester d'acide phosphorique - Photo-initiateurs - Hydroxytoluene butylé <p>pH = non révélé par le fabricant</p>	Acétone	<p>Restaurations directes :</p> <ul style="list-style-type: none"> -composite et compomères -faux moignons -hypersensibilité dentaire <p>Réparation de composites, métaux, zircone, alumine, ou céramiques (via silane)</p>
Clearfil Universal Bond CU	Oui	<ul style="list-style-type: none"> - HEMA - MDP - Bis-GMA - Silice colloïdale - Camphoroquinone - Accélérateurs et initiateurs - Diméthacrylate aliphatique hydrophile <p>pH=2,3</p>	Ethanol, eau	<p>Restaurations directes :</p> <ul style="list-style-type: none"> -composites -scellement dentinaire en indirecte -hypersensibilité dentaire -scellement de tenons <p>Restaurations indirectes :</p> <ul style="list-style-type: none"> -facette, inlay, onlay couronne et bridge <p>Réparation endobuccale dont la céramique</p>

Xeno Select XS	Non	<ul style="list-style-type: none"> - Résine acrylique bifonctionnelle - Résine acrylique acide - Ester d'acide phosphorique fonctionnalisé - Butanol tertiaire - Initiateur - Stabilisateurs <p>pH<2</p>	Eau, butanol	Restaurations directes à base de résine photopolymérisable
-----------------------	-----	---	--------------	--

Annexe 2

Numéro article	Article	But de l'article	Eléments intéressants
1	Bond strength of primer/cement systems to zirconia subjected to artificial aging ZIRCONE	Etude <i>in vitro</i> du vieillissement avec des conditions plus réalistes que les études précédentes (stockage dans l'eau et thermocyclage)	<ul style="list-style-type: none"> -SBU/RXU est meilleur à court terme et équivalent à clearfil ceramic primer/panavia après thermocyclage -les groupes sans primer/ adhésif universel sont moins performants -le Vitrebond copolymer serait stabilisateur en milieu humide -SBU/RXU est efficace dans le collage de la zirconie -l'ajout de MDP dans la colle n'a pas d'intérêt
2	Bond strength of a new generation of universal bonding systems to zirconia ceramic ZIRCONE	Evaluer l'adhérence de trois systèmes adhésifs et les comparer aux valeurs obtenues pour un système de référence (Panavia F2.0)	<ul style="list-style-type: none"> -RXU équivalent au Panavia que l'on rajoute du SBU ou non -SBU n'apporte rien au RXU -Trop de composant dans le SBU (inhibition compétitive) par conséquent, le MDP n'est pas disponible pour interagir, ou ne peut pas atteindre sa cible
3	Bonding effectiveness to different chemically pre-	Une étude a montré que cojet+primer de céramique (clearfil ou monobond) était	<ul style="list-style-type: none"> Les adhésifs universels testés sont moins performants que les primers à céramique (comme le Monobond plus ou le clearfil) -tous les produits contenaient du MDP donc n'apparaissent

	treated dental zirconia ZIRCONE	performant, et ici on tester les adhésifs universels par rapport à ce protocole (étude <i>in vitro</i>)	pas équivalents -le MDP n'est pas un argument suffisant, la pureté, la concentration, les interactions chimiques avec les autres composants jouent aussi un rôle -le silane du SBU n'apporte rien -Il vaut mieux un temps par temps avec MDP et silane suivi du « bonding » que l'universel -le mieux pour la zircone est cojet+clearfil ou monobond et RXU
4	Controlled, prospective, randomized, clinical split-mouth evaluation of partial ceramic crowns luted with a new, universal adhesive system/ resin cement : results after 18 months FELDSPATHIQUE	Le but de cette étude est d'étudier, en restauration indirecte, si la stratégie de collage a un impact sur les valeurs d'adhérence (car en technique directe, il n'y a pas de différence entre du self-etching ou du selective-etching sur dentine humide ou sèche)	-SBU après mordantage meilleur que silane+unicem2 -taux de survie en faveur du SBU avec ou sans mordantage -système adhésif universel améliore la longévité -hypothèse que le SBU a réhydraté la dentine -le système universel couplé à la bonne colle est meilleur que la colle auto-adhésive -système universel (dont SBU/RXU) comparable aux adhésifs conventionnels et colles auto-adhésives (Unicem 2) sans impact du mordantage -donc ici ce sont les capacités rhéologiques et non pas la composition chimique (MDP ou pas) qui influent
5	Performance of universal adhesives on bonding to leucite-reinforced ceramic VITROCERAMIQUE (enrichie en leucite)	Etude sur les performances des adhésifs universels sur la vitrocéramique enrichie à la leucite, avant et après thermocyclage.	-il faut appliquer un silane avant l'universel -le silane intrinsèque du SBU n'est pas efficace -les universels améliorent le collage par rapport à l'absence de traitement de surface, mais il vaut mieux respecter le temps par temps pour un bon collage avec silane séparé -BisGMA peut inhiber l'action du silane du SBU -MDP peut gêner l'action du silane du SBU (par hydrolyse prématuré du silane)

6	<p>The use of MDP-based materials for bonding to zirconia</p> <p>ZIRCONE</p>	<p>Le but de cette étude est d'évaluer l'effet des matériaux avec du MDP pour coller la zircone</p>	<p>-le meilleur collage à 48h00 obtenu est pour utilisation d'un primer ou d'un adhésif qui contenait du MDP</p> <p>-les groupes sans adhésif/primer ont un plus faible μTBS que les groupes avec adhésif/ primer</p> <p>-cette étude montre que le joint collé obtenu, que ce soit avec ou sans MDP, n'est pas stable et a besoin d'une composante micromécanique</p> <p>-l'application d'un primer avec MDP n'améliore pas le collage de façon durable</p> <p>-les propriétés physiques jouent un rôle important à évaluer (viscosité, hydrophilie, propriétés mécaniques)</p>
7	<p>Laboratory performance of universal adhesive systems for luting CAD/CAM restorative materials</p> <p>VITROCERAMIQUE (feldspathique, enrichie en leucite, au disilicate de lithium)</p> <p>ZIRCONE</p>	<p>Le but de cette étude est d'évaluer les systèmes universels sur de la restauration indirecte</p>	<p>-MDP dans l'universel ne semble rien apporter</p> <p>-les universels donnent de meilleurs résultats sur la zircone</p> <p>-seul le Peak Universal Bond atteint les plus hauts niveaux statistiques sur tous les matériaux utilisés</p>
8	<p>Composite cements benefit from light curing</p> <p>FELDSPATHIQUE</p>	<p>Le but de cette étude est de regarder l'effet du mode de polymérisation sur le μTSB des colles (au niveau du</p>	<p>-pour le mode de polymérisation LA, le μTBS est meilleur significativement pour HF/S/SBU que HF/SBU</p> <p>-pour le mode LL, on ne met plus en évidence de différence significative entre ces 2 groupes.</p> <p>-une étape de silane avant « bonding » est mieux que l'universel seul (tendance à montrer que le silane du SBU n'est pas efficace)</p>

		collage à la dentine) et aussi d'étudier les pré-traitements de la céramique avec le SBU	
9	Durability of resin-zirconia bonds produced using methods available in dental practice ZIRCONE	Le but de cette étude est d'évaluer l'effet du traitement de surface, de l'adhésif utilisé et du vieillissement sur le collage de la zircone	-les adhésifs avec du MDP collent mieux que ceux sans MDP, mais tous les systèmes de phosphate ne se valent pas (MPA moins bon que MDP) -seul le traitement tribochimique+panavia est souhaitable -sablage+ adhésif avec du MDP est préférable mais non cliniquement applicable -SBU n'est pas aussi performant que Panavia -Le SBU améliore le collage mais ne résiste pas au long terme
10	The potential of a novel primers and universal adhesives to bond to zirconia ZIRCONE	Le but de cette étude est d'étudier les effets de différents primers, adhésifs et traitements de surface pour le collage entre zircone et résine	-les systèmes avec du MDP dans l'adhésif associés à un sablage sont plus performants pour coller la zircone (même avec thermocyclage) -sablage et primer sont clés pour un collage durable -les primers/ adhésifs avec du MDP associés à un sablage sont une excellente option pour coller la zircone -les adhésifs universels sont une alternative stable pour coller la zircone (glacée), même sans sablage préalable (HF+silane+SBU)
11	Effectiveness and stability of silane coupling agent incorporated in universal adhesives PLAQUE DE VERRE	Etude sur le potentiel et la stabilité de pouvoir silanant des adhésifs universels	-le silane intrinsèque du SBU n'est pas efficace = il faut un silane à part entière -chimiquement on ne détecte pas de silane dans SBU -l'ajout de silane dans SBU est efficace, mais ce gain est perdu si l'on diffère le collage -SBU est acide et peut causer des hydrolyses, déshydratations et condensations prématurées du silane
12	Different strategies to bond Bis-GMA based	Le but de cette étude est d'évaluer l'effet des matériaux	-SBU est le meilleur adhésif et pas moins performant que le zirconia primer -SBU donne des fractures mixtes

	resin cement to zirconia ZIRCONE	pour le collage de résines à base de BisGMA à de la zirconie	-application d'un primer améliore le collage à la zirconie et les meilleurs résultats sont obtenus quand il y a du MDP (SBU) -le MDP améliore le collage quand il est utilisé dans l'adhésif et non pas dans la colle -la chimie joue mais la physique aussi avec viscosité, mouillabilité, propriétés mécaniques
13	Effect of storage time on bond strength performance of multimode adhesives to indirect resin composite and lithium disilicate glass ceramic VITROCERAMIQUE (disilicate de lithium)	Le but de cette étude est de regarder la qualité du collage avec les adhésifs universels à des restaurations indirectes.	-sur le long terme, les universels ne fonctionnent pas bien -on obtient de meilleurs résultats avec SBU si l'on ajoute du silane avant -silane du SBU n'est pas efficace -adhésifs universels fonctionnent plutôt bien sur composite, mais pour la céramique, il faut mettre un silane à part entière et un « bonding » -silane du SBU peut-être instable si combiné avec du MDP et BisGMA (auto-condensation) -silane et MDP dans une même bouteille se gêne pour coller à la céramique
14	Effects of mechanical and chemical surface treatments on the resin-glass ceramic adhesion properties VITROCERAMIQUE (enrichie en leucite)	Le but de cette étude est de tester l'adhésion de composite sur de la vitrocéramique prétraitée par différents protocoles	-SBU n'est pas supérieur au multipurpose pour de la réparation en bouche alors que le SBU contient du silane -silane du SBU n'est pas efficace -SBU n'est pas adapté en agent silanant -les autres composants du SBU peuvent altérer l'élimination d'eau de la condensation (gêne le collage à la céramique)

15	<p>Influence of etching protocol and silane treatment with a universal adhesive on lithium disilicate bond strength</p> <p>VITROCERAMIQUE (disilicate de lithium)</p>	<p>Le but de cette étude est de regarder comment le pré-traitement avec HF+silane modifie le collage via SBU (faut-il mettre du silane avant l'adhésif universel?)</p>	<p>-le silane du SBU n'est pas efficace, il faut en remettre avant</p> <p>-par contre peu importe de mordancer avec du HF à 5 ou 10% car après on va niveler les micro-rétentions avec le silane</p> <p>-le temps de mordantage n'influe pas</p>
16	<p>Influence of surface treatments and adhesive systems on lithium disilicate μSBS</p> <p>VITROCERAMIQUE (disilicate de lithium)</p>	<p>Le but de cette étude est d'évaluer l'indication des adhésifs universels sur de la vitrocéramique au disilicate de lithium</p>	<p>-pas de différence entre multipurpose et SBU alors que SBU a du MDP et du silane</p> <p>-donc MDP et silane de SBU pas efficace</p> <p>-HF+silane nécessaire, que l'on mette du multipurpose ou du SBU (donc le SBU n'est plus un universel ici mais transformé en un système traditionnel)</p>
17	<p>Influence of multimode universal adhesives and zirconia primer application techniques on zirconia repair</p> <p>ZIRCONE</p>	<p>Le but de cette étude est d'étudier l'influence sur le SBS de ZPrime Plus suivant 2 protocoles, et d'essayer 2 autres systèmes avec du MDP</p>	<p>-les systèmes adhésifs avec du MDP peuvent améliorer l'adhésion avec la zircone</p> <p>-mais on n'en connaît pas le vieillissement</p>

18	Bond strengths of orthodontic metal brackets to tribochemically silica-coated zirconia surfaces using different MDP containing primers ZIRCONE	Evaluer l'effet du traitement tribochimique et différents primers contenant du MDP sur le SBS de brackets métalliques collés à de la zircone	-universels peuvent être une alternative, mais il faut étudier le vieillissement -on peut coller un bracket métallique à de la zircone si l'on fait sablage/cojet+MDP (ou SBU) -utilisation de MDP après sablage améliore le collage mais il faut étudier le vieillissement -BisGMA peut interférer avec l'interaction silane-zircone
19	Effects of MDP-containing silane and adhesive used alone or in combination on the long-term bond strength and chemical interaction with lithium disilicate ceramics VITROCERAMIQUE (disilicate de lithium)	Evaluer l'effet de silane avec ou sans MDP, et l'effet des adhésifs universels combinés ou non avec ces silanes sur le collage de vitrocéramique au disilicate de lithium	-les propriétés de pureté, de concentration, de solvant, de polarité influent sur l'interaction du MDP avec le substrat -le MDP aide à maintenir le collage dans le temps -silane dans SBU inutile, car PBE n'est pas moins performant -il faut un silane avant l'adhésif universel -composition chimique, viscosité, mouillabilité, propriétés mécaniques jouent un rôle -il faut faire silane+MDP+universel
20	Effect of prior silane application on the bond strength of universal adhesive to a lithium disilicate ceramic	Evaluer l'effet de l'application préalable d'un silane avant universel via μ SBS.	-il faut un silane à part entière avant un adhésif universel -pH de l'adhésif est capital car si on est trop acide, on a des oligomères de silanol inutilisables -la formation d'oligomères dépend du solvant, de la température et du pH -silane de SBU est inefficace

	VITROCERAMIQUE (disilicate de lithium)		
21	Interfacial characteristics and bond durability of universal adhesive to various substrates VITROCERAMIQUE (enrichie en leucite, au disilicate de lithium) ZIRCON	Investiguer sur l'influence des universels sur les caractéristiques interfaciales de différents substrats. Evaluer la durabilité du collage via les adhésifs universels	-silane de SBU est inefficace -il faut un silane avant l'universel -pour la zircone c'est intéressant, mais il faut étudier le vieillissement et encore améliorer le système
22	Short and long term bond strength between resin cement and glass-ceramic using a silane-containing universal adhesive VITROCERAMIQUE (disilicate de lithium)	Evaluer l'effet d'un universel avec silane incorporé sur le μ SBS entre résine et vitrocéramique	-universels ici sont moins performants que les adhésifs conventionnels -silane de l'universel est déjà utilisé avant application de l'universel pour le collage -mauvaise élimination des produits de réaction qui gênent l'interaction des universels -MDP stabilise le collage -agir avec des matériaux séparés et pas un universel en 1 flacon -il faut un silane séparé au « bonding »
23	The effect of 5 kinds of surface treatment agents on the bond strength to	Evaluer l'effet d'agents de traitement de surface de la céramique en un ou	-silane du SBU n'est pas efficace (dégradé) -les adhésifs hydrophobes sont plus performants que le SBU (plus hydrophile) -pour la zircone par contre le SBU donne des résultats intéressants (car contient MDP)

	<p>various ceramics with thermocycle aging</p> <p>VITROCERAMIQUE (feldspathique, au disilicate de lithium)</p> <p>ZIRCONE</p>	<p>plusieurs flacons</p>	<p>-HEMA+Eau détruit le joint collé, et le SBU en contient</p>
--	---	--------------------------	--

Vu, le Directeur de thèse

Vu, le Doyen de la Faculté de Chirurgie dentaire
de l'Université Paris Descartes

Docteur Hélène FRON CHABOUIS

Professeur Louis MAMAN

Vu, le Président de l'Université Paris Descartes
Professeur Frédéric DARDEL
Pour le Président et par délégation,

Le Doyen Louis MAMAN

Intérêt des adhésifs universels dans le collage aux céramiques dentaires

Résumé :

La dentisterie a vu apparaître sur le marché des adhésifs dentaires une nouvelle gamme de matériau : les adhésifs universels. Nous avons cherché à préciser leurs indications et composition. Leurs principaux composants ont pu être dégagés mais leur identification et quantification précises ont été impossibles. Nous avons réalisé une revue systématique de la littérature portant sur l'intérêt de ces adhésifs pour le collage aux céramiques dentaires. Sur les 23 publications incluses, 23 études concernaient l'adhésif universel Scotchbond Universal, 3 concernaient le All bond Universal, les autres adhésifs universels étant évalués dans 0 ou 1 publication ; il est donc difficile de conclure sur la globalité de ces systèmes adhésifs. Au final, pour l'assemblage des vitrocéramiques, les systèmes universels sont pour le moment moins performants que le protocole de référence. Concernant la zircone, sur laquelle le MDP montre des résultats intéressants, qui peuvent probablement être améliorés, les systèmes universels semblent une alternative prometteuse. Enfin, nous avons évoqué les potentielles interactions pouvant inactiver les composants regroupés dans les systèmes universels, comme le silane, le MDP, le BisGMA, l'HEMA et d'avantage d'études à ce sujet nous paraissent indispensables.

Discipline :

Matériaux dentaires

Mots clés fMesh et Rameau :

Matériaux céramiques dentaires -- Thèses et écrits académiques ; Adhésifs dentaires -- Thèses et écrits académiques ; Résistance à la traction -- Dissertations universitaires ; Résistance au cisaillement -- Dissertations universitaires

Université Paris Descartes
Faculté de Chirurgie dentaire
1, rue Maurice Arnoux
92120 Montrouge