



Thèse

2019

Open Access

This version of the publication is provided by the author(s) and made available in accordance with the copyright holder(s).

Comparaison entre différents systèmes adhésifs universels
monocomposants dans les restaurations de classe V en termes
d'adaptation marginale – étude in vitro

Radwan, Waseem

How to cite

RADWAN, Waseem. Comparaison entre différents systèmes adhésifs universels monocomposants dans les restaurations de classe V en termes d'adaptation marginale – étude in vitro. Doctoral Thesis, 2019. doi: 10.13097/archive-ouverte/unige:115565

This publication URL: <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:115565>

Publication DOI: [10.13097/archive-ouverte/unige:115565](https://doi.org/10.13097/archive-ouverte/unige:115565)



**UNIVERSITÉ
DE GENÈVE**



**UNIVERSITÉ
DE GENÈVE**

FACULTÉ DE MÉDECINE

Clinique universitaire de médecine dentaire

Division de Cariologie et d'Endodontie

Thèse préparée sous la direction du Professeur Ivo KREJCI et Docteur Tisiana BORTOLOTTO

Comparaison entre différents systèmes adhésifs universels monocomposants dans les restaurations de classe V en termes d'adaptation marginale – étude *in vitro*

Thèse

présentée à la Faculté de Médecine

de l'Université de Genève

pour obtenir le grade de Docteur en médecine dentaire

par

Waseem W. RADWAN

de

Riyadh, Royaume d'Arabie Saoudite

Thèse n° 759

Genève

2018

TABLE DES MATIÈRES

Résumé	1
Introduction	3
Matériel et Méthodes	8
Résultats	16
Discussion	24
Conclusions	34
Références	35
Appendice	40

REMERCIEMENTS

J'exprime ma plus sincère et profonde gratitude aux personnes et institutions qui m'ont aidé à développer ce travail de thèse.

J'ai sincèrement apprécié le patronage et le soutien fidèle de mes parents et de mes frères, ainsi que leurs conseils et leurs encouragements qui m'ont permis de compléter cette thèse.

Professeur Ivo KREJCI, président de la Clinique universitaire de médecine dentaire et directeur de ma thèse, pour ses encouragements inlassables, son assistance, ses corrections et ses idées créatives.

Je tiens également à exprimer toute ma gratitude à la très respectée Docteur Tissiana BORTOLOTTA, privat-docent et directrice de ma thèse, pour ses conseils et sa contribution tout au long de cette recherche.

Mmes Isaline ROSSIER et Luciana NUNES, pour leur contribution et leur assistance lors des tests de laboratoire.

Mme Nadège NEGRIN, qui a volontiers accepté de corriger la partie française de ce projet, et pour son aide infinie dès le début.

Les entreprises qui ont eu la gentillesse d'offrir des échantillons de leurs produits pour effectuer ma thèse.

Son Altesse royale le Roi Abdullah Bin Abdulaziz AlSaud, responsable du programme de bourses du Ministère de l'éducation – Arabie Saoudite.

Les fabricants des matériaux utilisées dans ce travail de recherche pour la mise à disposition de leurs produits.

RESUME

Objectif :

Le but de cette étude *in vitro* est d'évaluer et de comparer différents systèmes adhésifs universels monocomposants récents en mode automordançant dans les restaurations de classe V mixtes en termes d'adaptation marginale avant et après une charge thermomécanique sous l'influence de la simulation du fluide dentinaire.

Matériel et Méthodes :

Quatre-vingt-huit molaires humaines extraites ont été sélectionnées pour cette étude, réparties aléatoirement en onze groupes de huit dents. Onze systèmes adhésifs ont été appliqués en mode d'automordançage en suivant les recommandations du fabricant, et un seul matériau composite de résine a été utilisé pour obturer les cavités. Immédiatement après le processus d'obturation, les restaurations ont été polies. Puis les dents ont été chargées de 500 cycles thermiques dans l'eau courante sous 200'000 charges mécaniques simultanées, transférées au centre de la surface occlusale avec une fréquence de 1,7 Hz et la force maximale de 49 N sous simulation du fluide dentinaire. La qualité marginale a été évaluée au microscope électronique à balayage avant et après la charge thermo-mécanique sur des répliques en résine epoxy.

Résultats :

Des différences significatives en termes d'adaptation marginale avant et après chargement ont été constatées. G Premio Bond a atteint le pourcentage le plus élevé de marge continue sur l'émail et la dentine avant et après la charge thermomécanique. Après chargement thermomécanique, certains matériaux ont montré des résultats significativement plus élevés dans l'émail que dans la dentine (Clearfil Universal

Bond), cependant avec un autre produit, l'adaptation marginale dans la dentine était significativement plus élevée que dans l'émail (Scotchbond Universal).

Conclusion :

Sous limite de cette étude *in vitro*, l'adaptation marginale des différents adhésifs monocomposants universels est très hétérogène avec des différences significatives entre les produits.

INTRODUCTION

La médecine dentaire restauratrice moderne dépend de l'utilisation de composites dentaires et de systèmes adhésifs qui permettent un lien puissant entre le matériau de restauration et le substrat dentaire. Le domaine des composites dentaires continue de s'améliorer régulièrement en développant davantage le composant de résine, en modifiant la partie inorganique composée de particules ainsi que la charge de remplissage, et en améliorant les mécanismes et techniques de polymérisation (Cramer et al. 2011). De nos jours, les résines composites sont couramment utilisées comme matériaux de restauration dans les cabinets dentaires pour les dents unitaires postérieures et antérieures en raison de leur esthétique acceptable, de leur bonne résistance à la dissolution et de leurs fortes propriétés physiques et mécaniques (Karaarslan et al. 2012).

Du fait que les composites dentaires ne sont pas autoadhésifs, les systèmes d'adhésion dentaires modernes sont nécessaires pour parvenir à la liaison entre les matériaux de résines composites et les surfaces dentaires telles qu'émail et dentine (Milia et al. 2012). L'efficacité des adhésifs dentaires dépend principalement de leurs propriétés mécaniques, de leur composition chimique, de l'aptitude appropriée du praticien et de la prise de conscience des changements morphologiques causés aux tissus dentaires par les procédures adhésives. La procédure de collage doit avoir comme résultat une adhésion forte et durable à la structure de la dent.

Quel que soit le mécanisme de collage, les ingrédients de base des systèmes adhésifs sont des monomères de résines acryliques, des solvants organiques, des initiateurs, des agents inhibiteurs, et parfois des particules de charge (Van Landuyt et al. 2007), bien que la composition proportionnelle et la chimie de ces ingrédients diffèrent de manière importante entre les différents produits.

Les composites dentaires utilisés pour les obturations directes sont appliqués dans un état non polymérisé dans la cavité. Lors de la polymérisation *in situ*, ces matériaux subissent un certain degré de contraction, créant ainsi un espace entre le composite et la structure de la dent. L'intégrité marginale de la restauration demeure l'un des inconvénients et un formidable défi. L'adaptation du matériau de restauration aux marges de la cavité et aux surfaces de la cavité interne est importante, l'interface collée étant considérée zone critique de toutes les restaurations composites (Roulet 1994). Les adhésifs appliqués dans la cavité avant l'insertion des composites aident à sceller l'interface entre la cavité préparée et le matériau composite. Ceci a pour résultat de réduire le risque de formation d'interstices interfaciaux, de coloration, de sensibilité postopératoire, de fuites marginales et de caries récurrentes (Summitt 2006).

Au cours des quatre dernières décennies, le marché des adhésifs dentaires a connu une croissance rapide avec l'introduction régulière de nouveaux produits développés. Cette expansion continue a permis de mieux comprendre le processus d'adhésion, et d'améliorer la performance des restaurations, en modifiant la composition des matériaux, et en développant de nouvelles stratégies et techniques de collage et de polymérisation pour améliorer la longévité des matériaux de restauration (Latta et Barkmeier 1998).

Auparavant, les adhésifs dentaires étaient classés en « générations », ce qui a provoqué une confusion après quelques années (Kanka 3rd 2005, Kakar et al. 2011, Sofan et al. 2017). Par ailleurs, une classification basée sur les composants ne s'est pas avérée pratique. Actuellement, les adhésifs nouvellement développés sont disposés et classés en deux philosophies principales d'adhésion selon le régime clinique : les « adhésifs de mordantage et de rinçage », et les « adhésifs

automordançants » (Van Landuyt et al. 2007). Les tests de résistance de liaison et la mesure de l'efficacité de scellement marginal sont deux approches couramment utilisées pour mesurer et évaluer leur applicabilité *in vitro* pour prédire une meilleure performance clinique.

Le terme « Micro-invasive dentistry » (MID) a été utilisé dans la littérature dentaire. Le MID peut être défini comme la philosophie de soins professionnels concernés par la détection précoce et la prise en charge la plus anticipée possible de la maladie, suivies d'un traitement minimalement invasif et adapté aux patients pour réparer les dommages irréversibles causés par une telle maladie. MID offre aux dentistes la possibilité d'adopter une approche plus conservatrice quant au traitement de la carie, et de proposer simultanément aux patients un traitement moins invasif et des options de traitement axées sur la santé (Banerjee 2013, Doméjean-Orliaguet et al. 2009, Mickenautsch 2005).

De nombreuses nouvelles approches, de nouveaux matériaux, et des résultats technologiques, ont déclenché un changement dans la façon dont la dentisterie est maintenant exercée. Le terme « révolution esthétique » en dentisterie s'est élargi grâce à l'avancement impressionnant des technologies en systèmes adhésifs. La possibilité de lier différents matériaux, à la fois à l'émail et à la dentine, aide les praticiens à utiliser régulièrement une vaste gamme de matériaux de restauration. D'ailleurs, la durabilité et la prévisibilité de nombreuses procédures de restauration couramment utilisées dépendent de la capacité du dentiste à lier divers matériaux à la structure de la dent.

De nos jours, les « adhésifs universels » sont considérés comme les adhésifs les plus avancés disponibles sur le marché. De tels systèmes sont représentés par un adhésif contenu dans un seul flacon qui permet d'établir l'adhésion non seulement sur

les substrats dentaires – émail et dentine – mais également sur les substrats artificiels comme composites, céramiques et métaux (Gupta et Pradesh 2014, Alex 2015).

De nombreuses études ont évalué l'impact du type de cavité sur l'étanchéité marginale (Frankenberger et al. 2007). Dans ce contexte, l'adaptation marginale délivrée par des restaurations adhésives est l'un des aspects importants à évaluer lors de la prédiction de leur comportement clinique futur (Roulet 1994, Frankenberger et al. 2007). Parmi les différentes classes de restaurations, celles de classe V sont considérées comme un bon modèle pour comparer la performance des différents systèmes adhésifs car leur configuration est non rétentive, et leur principal mode de rétention à la cavité est la capacité d'adhésion du matériau à l'émail ou à la dentine, *i.e.* des cavités mixtes (Mayoral et al. 2011). Toutefois, peu d'études ont évalué l'adaptation marginale de plusieurs systèmes adhésifs monocomposants universels aux différentes compositions. Karaman et Güler (2016) ont évalué la micro infiltration de Single Bond Universal dans son mode *etch & rinse* et *self-etch*. Mena-Serrano et al. (2013), Lawson et al. (2015), Loguercio et al. (2015) et Ruschel et al. (2018) ont évalué la performance clinique de Scotchbond Universal dans leur mode *etch & rinse* et *self-etch* dans des restaurations de collets. Oz et al. (2018) ont évalué la performance clinique après 18 mois de Clearfil Universal Bond, iBond Universal et G-Premio Bond avant l'obturation des restaurations de collet avec un composite flow. Dans l'ensemble, ces études ont montré une bonne performance clinique au niveau de la qualité des marges et des meilleurs résultats lorsque les marges d'émail étaient mordancées à l'acide phosphorique, tout en gardant l'effet *self-etch* de l'adhésif seulement pour la dentine.

Cependant, l'utilisation d'un système adhésif universel dans son mode *self-etch* reste préférable afin de faciliter son application et aussi diminuer le risque d'un double

mordançage de la dentine lors de l'application de l'acide phosphorique, car il est très difficile cliniquement d'appliquer l'acide que dans la marge d'émail, tout en évitant la dentine, qui risque d'être mordancée à double par l'effet de l'acide phosphorique mais aussi du monomère acide de l'adhésif même. Dans ce contexte, aucune étude a évalué des adhésifs universels quant à leur potentiel d'adhésion simultané aux marges d'émail et de dentine dans une même cavité. Ceci est un point de relevance clinique car dans la majorité des cavités, les deux substrats émail et dentine y sont présents.

Par conséquent, le but de cette étude *in vitro* était de comparer l'adaptation marginale de plusieurs systèmes adhésifs universels monocomposants récents avec différentes compositions chimiques dans des restaurations mixtes de classe V sans mordançage à l'acide phosphorique au préalable. A cet effet, différents produits ont été utilisés pour restaurer ce type de cavité en appliquant un seul composite de résine, et pour étudier l'adaptation marginale avant et après un essai de fatigue consistant en un chargement thermique et mécanique sous simulation du fluide dentinaire. L'hypothèse testée était qu'il n'y aurait pas de différence significative dans le pourcentage de « marge continue », avant et après le test de fatigue, dans la totalité de la marge ainsi que dans l'émail et la dentine, entre les systèmes universels monocomposants testés.

MATERIEL ET METHODES

Pour cette étude, le protocole de recherche a été préparé conformément à la réglementation relative à la collecte anonyme d'échantillons biologiques approuvée par le Comité d'éthique du canton de Genève, Suisse (Loi de la Recherche Humaine, Article 2, alinéa 2), qui stipule que cette collecte anonyme de dents n'a pas besoin d'être soumise à l'approbation du Comité d'éthique (Bortolotto et al. 2016). Onze systèmes adhésifs universels avec un seul composite résine ont été utilisés dans cette étude. Ces systèmes adhésifs universels ont été choisis en sélectionnant plusieurs produits existants actuellement sur le marché pour la médecine dentaire adhésive. Le nom, le numéro de lot, la composition des matériaux et le pH comme décrit le fabricant, sont dressés dans le Tableau 1.

Tableau 1

Liste des matériaux utilisés aux fins de l'étude. Composition et pH selon les informations fournies par les fabricants.

Adhésif	Fabricant	LOT#	Composition
G-Premio Bond	GC, Tokyo, Japan	1503231	pH 1,5 4-MET, MDP, MDTP, quantité élevée de charges, initiateurs, sans HEMA.
Futurabond U	Voco, Cuxhaven, Allemagne	1541274	pH 2,0 10-MDP modifié, HEMA, Bis-GMA, HEDMA, UDMA, catalyseur, nanoparticules de silice, éthanol.
Adhese Universal	IvoclarVivadent, Schaan, Liechtenstein	U49773	pH 2,5 10-MDP, Résines de méthacrylates, eau, éthanol, dioxyde de silicium hautement dispersé, initiateurs et stabilisants.
One Coat 7 Universal	ColteneWhaledent, Altstätten, Suisse	F96836	pH 2,8 UDMA, HEMA, photo-initiateurs, eau.
K-0188 Exp. Adh	Dentsply Sirona, York, PA, USA	Experimental	Non divulguée par le fabricant
Clearfil Universal Bond	Kuraray, Hattersheim am Main, Germany	000001	pH 2,3 10-MDP, résines de diméthacrylate, HEMA, étanol, silane, charges, initiateurs.
Peak Universal	Ultradent Products, South Jordan, UT, USA	BBXLW	pH 1,9 Methacrylic acid, ethanol, HEMA, Chlorohexidine di(acetate).

Tableau 1 cont.

Liste des matériaux utilisés aux fins de l'étude. Composition et pH selon les informations fournies par les fabricants.

Adhésif	Fabricant	LOT#	Composition
All Bond Universal	Bisco, Schaumburg, IL, USA	1500008213	pH 3,2 10-MDP, résines de diméthacrylate, HEMA, éthanol, eau, initiateurs.
Scotchbond Universal	3M, St. Paul, MN, USA	603165	pH 2,7 Bis-GMA, HEMA, Decamethylenedimethacrylate, Ethanol, Water, Silane, 2-propenoic acid, 2-methyl-, 1,10-decanediol and phosphorous oxide (P205), copolymer of acrylic and itaconic acid, dimethylaminobenzoat, camphorquinone, DMAEMA, methyl ethyl ketone.
Prime & Bond active	Dentsply Sirona, York, PA, USA	1506104120	pH 2,5 Acrylate bi- et multifonctionnel, acide phosphorique et résine acrylate modifiée, initiateur, stabilisant, isopropanol et eau.
iBond Universal	Heraeus Kulzer, Hanau, Allemagne	010022	pH 1,6 – 1,8 UDMA, 4-META, glutaraldéhyde, acétone, eau, photo-initiateurs, stabilisants.

Quatre-vingt-huit molaires humaines extraites sans caries et non restaurées ont été sélectionnées pour cette enquête. Après un nettoyage soigneux, les dents ont été vérifiées par le biais d'un examen visuel au microscope stéréoscopique à grossissement variable afin de déceler tout dommage causé par la présence d'un craquelage de l'émail, ou tout défaut structural qui aurait pu être causé lors de l'extraction ; seules les dents intactes ont été maintenues. Les dents ont ensuite été montées sur des supports métalliques pour pouvoir fixer les échantillons dans la machine à fatigue. L'écoulement intrapulpaire du fluide a été simulé sur chaque échantillon en suivant le protocole précédemment décrit par Krejci et al. 1993 : Pour préparer les dents à la simulation de fluide intra pulpaire, un trou a été percé dans la jonction émail-ciment avec une fraise diamantée cylindrique (Coltene Whaledent, Alstätten, Suisse) jusqu'à en arriver dans la chambre pulpaire (sensation de vide lorsque la fraise pénétré dans la chambre pulpaire). Ensuite, un tube en métal a été inséré dans le trou et a été fixé à l'aide d'un système adhésif et du composite, puis relié à une pompe à vide par l'intermédiaire d'un tuyau en silicone lié aussi à un récipient contenant le liquide simulant le fluide dentinaire (solution de sérum de cheval et PBS : solution saline tamponnée au phosphate). Un jour avant de commencer les préparations de la cavité, les chambres pulpaires ont été évacuées du fluide dentinaire et remplis par la suite avec le liquide simulant le fluide dentinaire. Cette simulation de vitalité pulpaire était maintenue tout au long de la taille de la cavité, l'obturation, le polissage et le test de fatigue. Par la suite, les dents ont été conservées dans une solution de thymol à 0,1%, à température ambiante, pour éviter la croissance des bactéries ou des champignons dans le milieu de stockage, jusqu'au moment de l'utilisation. Les dents ont été récupérées de la solution, abondamment rincées avec

de l'eau fraîche du robinet et finalement stockées dans de l'eau à 37°C pendant 24 heures avant utilisation.

Une cavité en « V » non rétentive de classe V, aux marges situées dans l'émail et la dentine (Figure 1), a été préparée sur chacune des quatre-vingt-huit dents à l'aide de fraises diamantées fines (Intensiv, Montagnola, Suisse) sous 12x grossissement. Un biseau d'émail bien défini a ensuite été préparé à l'aide d'une fraise diamantée a grain fin (Intensiv) (Bortolotto et al. 2005).

Figure 1

Une photographie du profil de la cavité en forme de « V » non-rétentive de la classe V à droite de l'image, dont les marges sont localisées dans l'émail occlusalement et dans la dentine cervicalement. A gauche, le tuyau pour la simulation du fluide dentinaire.



Les dents préparées ont été divisées au hasard en onze groupes de huit dents chacun. Les groupes ont été déterminés par le système adhésif qui était utilisé pour l'adhésion, le composite d'obturation (Brilliant EverGlow, Lot G61042, shade A2, Coltène-Whaledent, Altstätten, Suisse) étant le même dans tous les groupes.

Les systèmes adhésifs universels monocomposants ont été appliqués tout en suivant les recommandations des fabricants pour l'utilisation de l'adhésif dans son mode self-etch (automordançant) . Le composite (Brilliant EverGlow) a été appliqué en une seule couche et photopolymérisé pendant 20s par une lampe LED puissante (Bluephase Style 20i, IvoclarVivadent, Schaan, Liechtenstein).

Immédiatement après la procédure d'obturation, les restaurations ont été polies sous refroidissement, par pulvérisation d'eau, pour éviter la surchauffe et le dessèchement des dents, en utilisant des disques flexibles (Soflex discs, 3M, St. Paul, MN, USA), des fraises en diamant à grain fin (Intensiv), et des polissoirs en silicone (Greenie and Brownie polishers, Shofu, Ratingen, Germany).

Après un stockage de sept jours à 37°C dans l'obscurité, dans des flacons en plastique contenant de l'eau de robinet, les dents ont été chargées simultanément de 500 cycles thermiques dans de l'eau courante variant de 5°C à 55°C avec un temps de cycle de 2 min chacun, et 200'000 cycles de charge mécanique simultanés transférés au centre de la surface occlusale à une fréquence de 1,7 Hz et une charge maximale de 49 N, en utilisant une cuspide naturelle comme antagoniste. La simulation de l'écoulement du fluide dentinaire a été maintenue tout au long de l'essai de fatigue.

Avant et après l'essai de fatigue, la qualité marginale des restaurations de classe V a été évaluée au microscope électronique à balayage dit « MEB », (XL20,

Philips, Eindhoven, Hollande) pour détecter la présence des marges continues et ouvertes. Les segments marginaux présentant des interfaces adhésives sans ouvertures ont été comptabilisés par le logiciel de calcul en tant que pourcentages des marges continues (%CM) (Roulet et al. 1984), en utilisant un module de calcul spécial, développé dans un logiciel de traitement d'image (NIH image, NIH, Bethesda, MA, USA) (Bortolotto et al. 2005).

Pour éviter de détruire les échantillons réels, une analyse MEB a été effectuée sur des répliques d'époxy-résine revêtues d'or, qui ont été obtenues par des prises d'empreintes des cavités restaurées avec un matériau en polyvinyloxy (President light body, Coltène-Whaledent, Altstätten, Suisse), et en les versant avec de la résine époxy. Des impressions et des répliques ont été obtenues à partir de chaque échantillon avant et après chargement thermomécanique (Bortolotto et al. 2005).

L'analyse mathématique des variables a été effectuée avec un logiciel statistique pour Mac (SPSS, V24, IBM Corporation, Armonk, NY, USA). La normalité des données a été évaluée en utilisant le test de Shapiro-Wilk. Un test de rang non-paramétrique (Kruskal-Wallis) et un test post-hoc (Dunn Bonferroni) ont été effectués pour déterminer quels groupes se comportaient significativement mieux que d'autres sur la longueur totale de la marge. Les pourcentages de marges continues (%MC) de 100 constituaient le score marginal maximal. A l'intérieur de chaque groupe, les valeurs médianes correspondantes aux marges de l'émail et de la dentine après le test de fatigue ont été comparées par un Related-Samples Wilcoxon Signed Rank Test pour déterminer si des différences significatives existaient entre l'adaptation marginale dans l'émail et la dentine. Le niveau de fiabilité pour tous les essais statistiques était fixé à 95%.

Statistics Calculator (StatPac, Inc., Bloomington, MN, USA) a été le logiciel utilisé pour déterminer le nombre d'échantillons nécessaires pour tester l'hypothèse nulle de cette étude. Afin de calculer le nombre d'échantillons nécessaires par groupe, ce logiciel demande l'introduction de trois valeurs : l'écartype, la différence maximale acceptable et l'intervalle de confiance. Le groupe présentant la valeur la plus élevée de pourcentage de marges continues (%CM) au niveau de la totalité de la marge (Total Margin Length), avant le test de fatigue, a été considéré comme groupe référence, il s'agissait de G Premio Bond, lequel a atteint une moyenne de 88 %CM et un écartype de 4. D'après notre expérience dans le domaine de l'adaptation marginale, une restauration aux marges continues comprises entre 80 et 100% est considérée comme résistante aux stress intra-oraux. Dans le contexte de cette étude, nous avons fixé à 3% la différence maximale acceptable au niveau de la moyenne, i.e. $88 + 3 = 91$ et $88 - 3 = 85$, ce qui signifie que des restaurations aux marges continues comprises entre 91% et 85% se situeraient dans les valeurs acceptables au niveau de la résistance aux stress intra-oraux. Avec un intervalle de confiance fixé à 95%, le logiciel a déterminé que 6 était le nombre d'échantillons nécessaires, chiffre que nous avons finalement défini à 8.

RESULTATS

Les boîtes à moustaches des marges continues (%MC) avant et après chargement thermomécanique sur la totalité de la marge sont présentées dans les Figures 2 et 3.

Figure 2

Représentation en forme de graphique à boîte à moustache selon le logiciel statistique SPSS V24. Pourcentages de marges continues pour la totalité de la marge (TML : Total Margin Length), avant chargement (TMLini).

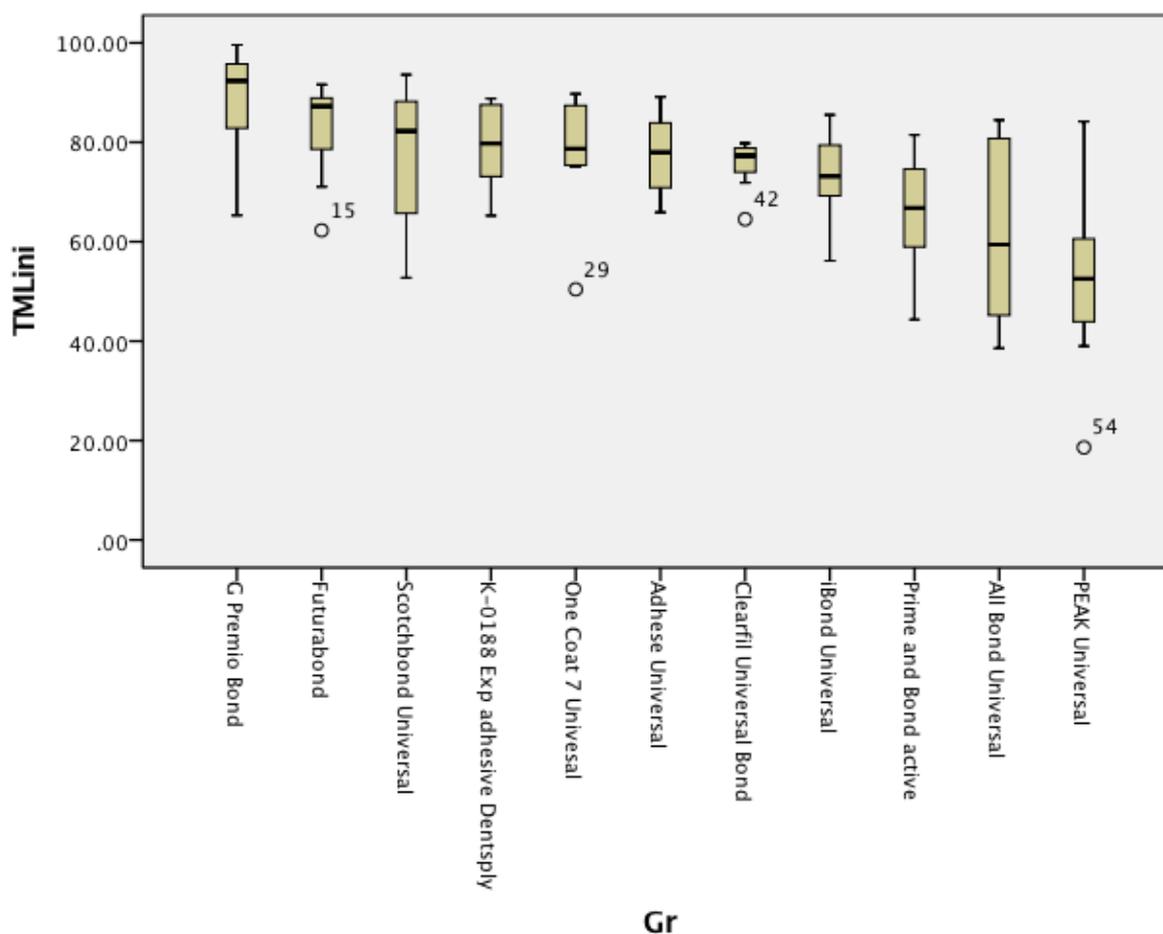
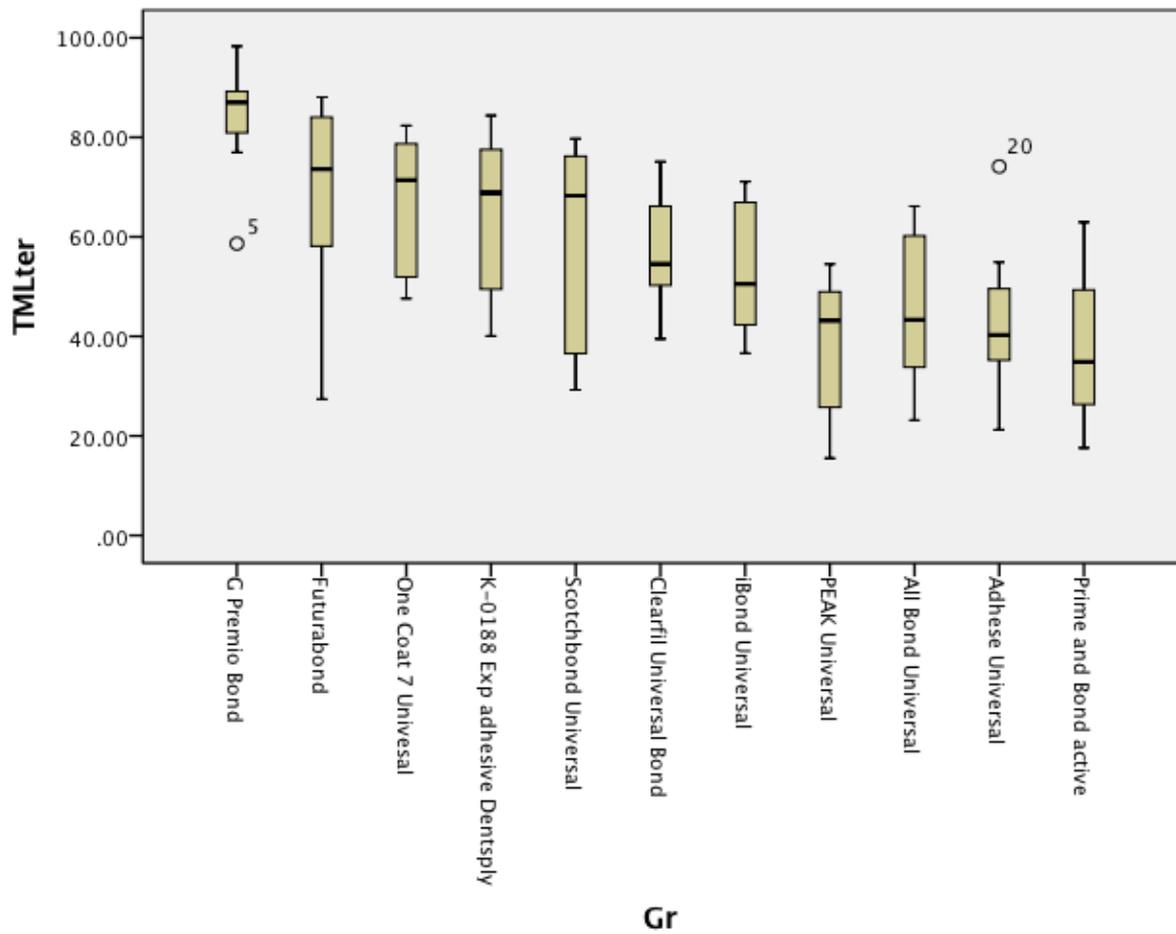


Figure 3

Pourcentages de marges continues pour la totalité de la marge (TML : Total Margin Length), après chargement (TMLter).



Afin de faciliter la lecture, dans ces graphiques les résultats ont été rangés de la valeur de %CM la plus haute à la plus basse. Dans la représentation box plot des résultats, la valeur centrale du graphique est la médiane *“il existe autant de valeur supérieures qu’inférieures à cette valeur dans l’échantillon, les bords du rectangle sont les quartiles (pour le bord inférieur, un quart des observations ont des valeurs plus petites et trois quarts ont des valeurs plus grandes, le bord supérieur suit le même raisonnement). Les extrémités des moustaches sont calculées en utilisant 1.5 fois l’espace interquartile (la distance entre le 1^{er} et le 3^{ème} quartile). Les valeurs à l’extérieur des moustaches sont représentées par des points”*. (WEBSITE:<https://www.stat4decision.com/fr/le-box-plot-ou-la-fameuse-boite-a-moustache/>). Des différences significatives entre les groupes ont été observées, avant et après chargement selon le test de Kruskal Wallis (Figure 4) et le test de post hoc de Dunn, avec valeur p ajustée selon la correction de Bonferroni (Figures 5 et 6).

Figure 4

Résultat du test de Kruskal-Wallis pour la totalité des marges avant (TMLini) et après (TMLter) le test de fatigue. Les valeurs p de 0.001 et 0.000 indiquent des différences significatives entre les groupes.

Hypothesis Test Summary

	Null Hypothesis	Test	Sig.	Decision
1	The distribution of TMLini is the same across categories of Gr.	Independent-Samples Kruskal-Wallis Test	.001	Reject the null hypothesis.
2	The distribution of TMLter is the same across categories of Gr.	Independent-Samples Kruskal-Wallis Test	.000	Reject the null hypothesis.

Asymptotic significances are displayed. The significance level is .05.

Figure 5

Résultat du test de post hoc pour les pourcentages de marges continues pour la totalité de la marge (TML : Total Margin Length), avant chargement (TMLini), exprimées en Rank. Les groupes reliés par les lignes orange sont différents au niveau statistique ($p < 0.05$, Kruskal-Wallis et Dunn Bonferroni post hoc, SPSS V24). La valeur p a été ajustée selon la correction de Bonferroni pour des tests multiples.

Pairwise Comparisons of Gr

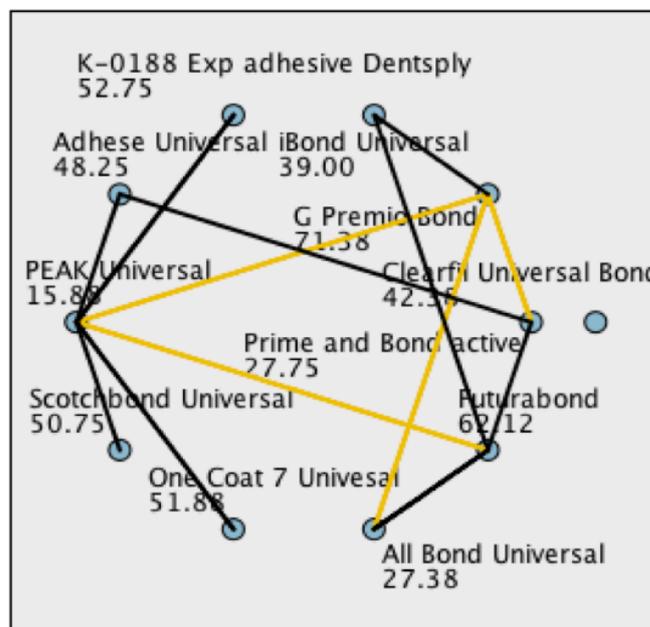
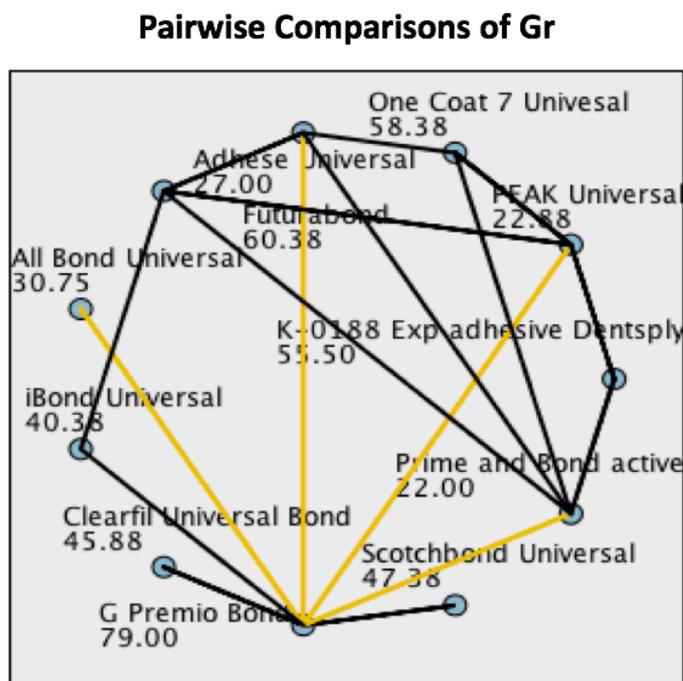


Figure 6

Résultat du test de post hoc pour les pourcentages de marges continues pour la totalité de la marge (TML : Total Margin Length), après chargement (TMLter), exprimées en Rank. Les groupes reliés par les lignes orange sont différents au niveau statistique ($p < 0.05$, Kruskal-Wallis et Dunn Bonferroni post hoc, SPSS V24. La valeur p a été ajustée selon la correction de Bonferroni pour des tests multiples.



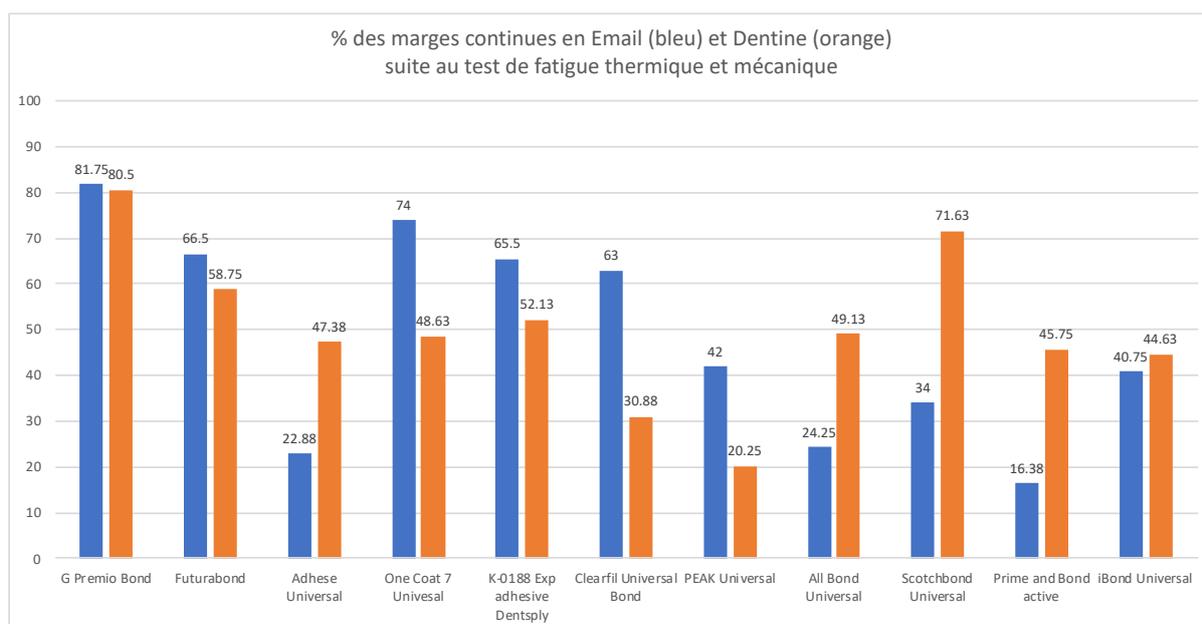
Parmi les groupes testés, G Premio Bond est le seul à avoir atteint des marges continues au-delà de 80% après le test de fatigue (Figure 3). C'est aussi le groupe qui a présenté la variabilité la plus petite, en voyant le rapprochement des extrémités des moustaches (Figure 3).

PEAK Universal, All Bond Universal et Prime and Bond active ont atteint des valeurs significativement inférieures que G Premio Bond, dans les deux intervalles avant et après le test de fatigue (Figures 5 et 6). Ces trois groupes ont présenté les %CM les plus bas de l'étude.

Les médianes des marges continues (%MC) sur l'émail et la dentine au sein de chaque groupe, après le test de fatigue thermique et mécanique, sont présentées dans la Figure 7.

Figure 7

Afin d'évaluer le potentiel d'adhésion simultanée à l'émail et à la dentine au sein d'un même groupe, ce graphique illustre les médianes (%MC) sur l'émail et la dentine après chargement thermomécanique. A l'exception de Clearfil Universal Bond ($p=0.012$) et Scotchbond Universal ($p=0.017$), les 10 autres groupes n'ont pas présenté des différences significatives entre l'adaptation marginale en émail et en dentine (Wilcoxon Signed Ranks Test, $p<0.05$). Néanmoins, seulement G Premio Bond a présenté des valeurs au-dessus de 80% de marges continues après le test de fatigue.



G Premio Bond a atteint le plus haut %MC après chargement, i.e. au-dessus de 80% de marges continues, à la fois sur l'émail (médiane de 81.75) et sur la dentine (médiane de 80.5). A l'exception de Clearfil Universal Bond ($p=0.012$) et Scotchbond Universal ($p=0.017$), les autres groupes ont aussi atteint des %MC statistiquement similaires après chargement sur l'émail et la dentine. Néanmoins, leurs valeurs absolues de « marges continues % » étaient au-dessous de 80%.

Tels qu'ils sont montrés dans la Figure 7, deux comportements distincts en termes de potentiel d'adhésion à l'émail et la dentine ont été observés dans les autres groupes: Avec quelques-uns des matériaux, l'adaptation marginale dans l'émail était sensiblement meilleure que dans la dentine (Clearfil Universal Bond ($p=0.012$) et Peak Universal) et avec d'autres, l'adaptation marginale dans la dentine était sensiblement meilleure que dans l'émail (Scotchbond Universal ($p=0.017$), Prime & Bond active, Adhesive Universal et All Bond Universal).

DISCUSSION

La présente étude a évalué l'effet des adhésifs universels monocomposants sur l'intégrité marginale des restaurations de classe V dans des cavités mixtes, non rétentives, en forme de « V », avec des marges localisées dans l'émail et la dentine avant et après chargement thermomécanique simultané sous la simulation du liquide dentinaire. A titre d'auteurs, aucune comparaison de l'adaptation marginale de ce groupe d'adhésifs récent n'existe dans la littérature. Les résultats en termes de pourcentages des marges continues (%MC) dans la totalité de la marge, ainsi que l'émail et la dentine avant et après le test de fatigue ont montré que la fatigue thermique et mécanique a eu une influence significative sur le vieillissement des marges ($p=0.000$). Les différents adhésifs universels ont eu un effet important sur l'adaptation marginale, rejetant l'hypothèse nulle. Ils ont interagi avec l'émail et la dentine de quatre manières distinctes :

1. G Premio Bond a montré une adaptation marginale similaire dans l'émail et la dentine, sans être significativement différent, avec marges continues (%MC) au-dessus de 80 après l'essai de fatigue.
2. A l'exception de Clearfil Universal Bond et de Scotchbond Universal, les autres adhésifs ont montré une adaptation marginale similaire dans l'émail et la dentine, mais avec des marges continues (%MC) au-dessous de 80 après le test de fatigue.
3. Egalement après l'essai de fatigue, Clearfil Universal Bond a montré des résultats plus élevés de l'adaptation marginale dans l'émail que dans la dentine ($p=0.012$) tandis que
4. Scotchbond Universal a montré une adaptation marginale plus élevée dans la dentine par rapport à l'émail ($p=0.017$).

Pour simuler les conditions orales in vivo, un essai de fatigue, via un simulateur de mastication avec cycles thermiques et charges occlusales, a été effectué pour évaluer les marges de restauration, non seulement après l'obturation des cavités, mais également après une charge thermomécanique. De légères forces de mastication ont été appliquées pendant 200'000 cycles, ce qui correspond à environ un an et demi de fonction clinique (Krejci et al. 1993, Bortolotto et al. 2007, Frankenberger et al. 2007). Ce test de fatigue avec 200'000 cycles de mastication à une fréquence de 1.7 Hz & thermocyclage de 5 à 50°C toutes les deux minutes correspond à 34 heures environ de la machine à fatigue par groupe, donc en total pour les 11 groupes, le temps total était 374 heures de fatigue environ. Toutes les restaurations ont supporté le test de fatigue et aucune perte n'est survenue. Tous les systèmes adhésifs ont été intentionnellement utilisés en mode automordançant, c'est-à-dire que l'acide phosphorique (H_3PO_4) n'a pas été utilisé pour conditionner l'émail et/ou la dentine avant l'application du système adhésif. La logique de cette décision était que la plupart de ces adhésifs contiennent des monomères acides qui sont capables, à eux seuls, de conditionner l'émail et la dentine. L'utilisation de l'acide phosphorique avant l'application de l'adhésif aurait donc entraîné une procédure clinique plus compliquée avec deux étapes de conditionnement dans le même substrat. De plus, le mordantage avec H_3PO_4 ne serait pas obligatoire selon les fabricants. D'ailleurs, étant donné que les adhésifs universels contiennent des composants acides, et que plusieurs de ces substances peuvent se lier chimiquement à l'hydroxyapatite, H_3PO_4 a été évité pour préserver autant que possible le contenu minéral de l'émail et de la dentine (Perdigao et al. 1997). Pour être en mesure d'interagir avec le substrat de l'émail et de la dentine, de nombreux adhésifs universels utilisent des esters d'acide phosphorique comme monomère fonctionnel principal. Les

esters de phosphate les plus utilisés sont MDP (méthacryloyloxydécyl dihydrogénophosphate), MDTP (méthacryloyloxydécyl dihydrogène thiophosphate), PENTA-P (dipentaérythritol penta acrylate monophosphate) et GPDM (diméthacrylate de glycérol-phosphate) (Raimondi et al. 2016).

La plupart des adhésifs universels contiennent ces monomères, soit seuls, soit combinés. Leur nature acide est capable de conditionner l'émail et la dentine. Ils ont aussi le potentiel de se lier chimiquement à l'hydroxyapatite présent sur l'émail et la dentine à travers la formation de sels de calcium. La formation de sels de monomère-calcium stables est la raison pour laquelle on a rapporté que les adhésifs contenant du MDP avaient une liaison assez durable avec la dentine (Cardenas et al. 2017, Yoshihara et al. 2013). Néanmoins, si l'hydroxyapatite (HA) est fortement présente dans l'émail (96%HA) et dans la dentine (70%HA), et si une interaction chimique existe entre les monomères à base de phosphate et les minéraux présents dans l'émail et la dentine, dans quelle mesure cette interaction chimique pourrait-elle contribuer à l'adaptation marginale ? Cette question se pose car, dans notre étude, des pourcentages significativement différents de marges continues ont été atteints par les différents groupes, indépendamment du fait que la plupart des adhésifs testés ont présenté un monomère à base de phosphate dans leur composition. Ces adhésifs se présentent sous forme de flacons à agiter juste avant l'emploi, dans lesquels il y a de l'eau, nécessaire pour ioniser le monomère fonctionnel et le rendre acide (Matsumoto et al. 2017). En outre, les mélanges eau/éthanol sont souvent employés comme solvants car ils sont moins volatils que l'acétone (qui s'évapore très rapidement), afin d'éviter une évaporation rapide du solvant. Des monomères acides comme 10-MDP ont été décrits hydrolytiquement instables. En effet, les groupes méthacrylate et les groupes acides phosphoreux dans 10-MDP sont reliés par une liaison ester ; c'est

cette liaison ester qui peut se cliver à cause de l'eau (Matsumoto et al. 2017). Il est possible que certains adhésifs puissent subir une dégradation plus rapide en raison de cette interaction chimique défavorable. Une autre explication quant à nos découvertes pourrait se rapporter à la composition spécifique de chaque adhésif, comme expliqué en détails dans les paragraphes suivants, et pourrait avoir joué un rôle important sur leur adaptation marginale dans l'émail et dans la dentine.

G Premio Bond a atteint %MC au-dessus de 80 sur les marges de l'émail et de la dentine après chargement. La performance de ce produit pourrait être attribuée à sa composition. C'est un adhésif photopolymérisable avec un pH relativement bas (1,5), ce qui pourrait expliquer les valeurs élevées observées sur les marges de l'émail (médiane de 82 %MC après chargement), en raison d'un effet de mordantage efficace. S'agissant de la dentine (médiane de 81 %MC après chargement), ce système adhésif contient trois monomères acides différents : 4-MET (pour promouvoir l'adhésion à l'émail et à la dentine), MDP (pour promouvoir l'adhésion à l'émail, dentine, zircone, alumine et métaux non précieux), et MDTP (pour promouvoir l'adhésion aux métaux précieux), mais surtout, il ne contient pas de HEMA, un monomère hydrophile qui est couramment utilisé dans les adhésifs pour promouvoir le mouillage de la dentine, mais qui est hydrolytiquement instable car il absorbe l'eau et a tendance à se dégrader au fil du temps (Bortolotto et al. 2008). Au lieu de cela, il contient de l'acétone pour améliorer le mouillage et l'infiltration de la résine à l'émail et à la dentine. La seule recommandation importante lors de l'utilisation de cet adhésif est de sécher à l'air, avec une pression d'air maximale pendant au moins 5s, pour être sûr que l'acétone se sera évaporée, sinon la séparation de phase entre les différents composants de l'adhésif pourrait avoir lieu, affectant négativement l'adhésion. Enfin, cet adhésif ne contient pas de silane qui s'est avéré pouvoir poser des problèmes

d'incompatibilité avec les monomères de méthacrylate lorsqu'il est mélangé dans la même solution (Cardenas et al. 2017).

Tous les adhésifs testés dans cette étude ont été activés par la lumière, Futurabond U étant le seul adhésif à double durcissement (dual cured) sans avoir besoin d'un deuxième flacon séparé pour l'activation du durcissement chimique. Il est présenté dans un emballage à dose unique qui doit être activé avant l'application. Ce matériau contient de la camphorquinone en tant que photo-initiateur pour la photopolymérisation et un composé organique aminé en tant que cocatalyseur pour le double durcissement. Nous n'avons pas trouvé de données sur ce matériau dans la littérature quant à l'adaptation marginale, rendant impossible la comparaison de nos données avec d'autres études. De façon intéressante, dans cette étude, aucune différence significative n'a été détectée entre %MC sur l'émail et la dentine (Figure 7) ce qui signifie que l'adhésif a pu adhérer aux deux substrats à qualité égale. Toutefois, les pourcentages des marges continues se trouvaient entre 60 et 80% après l'essai de fatigue, donc inférieurs à ceux de G Premio Bond. Même si l'évaluation de l'aspect chimique activé par la lumière n'était pas le but de cette étude, l'avantage clinique intéressant de cet adhésif est la possibilité de l'utiliser en toute sécurité lors de procédures adhésives dans lesquelles la diffusion de la lumière pourrait être compromise, c'est-à-dire dans le cas de matériaux de restauration très opaques ou même bloquant la lumière.

Dans cette étude, un seul adhésif, iBond Universal, contenait du glutaraldéhyde dans sa composition. Nos résultats n'ont pas montré de différences significatives entre l'adaptation marginale dans l'émail et la dentine, avant et après le chargement (Figure 7). Néanmoins, les résultats observés dans l'émail et la dentine après le chargement étaient d'environ 41 et 45 %MC respectivement, ce qui signifie que la moitié des

marges a présenté des « gaps » au niveau des marges après le test de fatigue. Ces résultats soulèvent la question de la contribution du glutaraldéhyde à l'adhésion (Cilli et al. 2009). L'inclusion du glutaraldéhyde est une option intéressante en raison des effets connus de GLUMA sur la dentine (Munksgaard et Asmussen 1984), principalement de sa capacité à interagir avec le collagène et à former des liaisons transversales stables au niveau moléculaire. Toutefois, lorsque l'on regarde les résultats publiés, les protocoles utilisent habituellement de longs temps d'application qui sont impossibles à placer dans un contexte clinique, c'est-à-dire de quelques minutes jusqu'à une heure (Bedran-Russo et al. 2007). D'ailleurs, la cytotoxicité du glutaraldéhyde est un autre aspect à considérer, étant donné que sa cytotoxicité peut être attribuée à des résidus d'agents de réticulation n'ayant pas réagi ou étant dégradés (Bedran-Russo et al. 2007).

Les résultats d'adaptation marginale les plus faibles après chargement, en particulier sur la dentine, ont été observés dans le groupe de Peak Universal comme système adhésif. Il est le seul, parmi tous testés, à contenir 0,2% de chlorhexidine (CHX). CHX est un agent antimicrobien, et est également connu pour inhiber l'activité collagénolytique de la dentine par les métalloprotéinases matricielles (MMP) dérivées de l'hôte et par les cystéines catépsines (Perdigao et al. 2013). Comme CHX est une forte base aux propriétés cationiques, il a la capacité de se lier à des groupes phosphate de cristallites de dentine minéralisées et à des groupes carboxyle négatifs de la matrice de collagène (Carrilho et al. 2010, Loguercio et al. 2017). Cela a fait de CHX un agent attrayant à incorporer à la dentine pendant les procédures adhésives car il reste dans des couches hybrides d'interfaces adhésives jusqu'à cinq ans (Loguercio et al. 2016, Loguercio et al. 2017). Il est néanmoins connu des études précédentes, que l'addition de CHX à un système adhésif peut interférer avec

l'équilibre du rapport monomère/solvant (Loguercio et al. 2017). Comme le CHX peut sursaturer les sites de liaison et rester lié aux fibrilles de collagène pour une libération ultérieure (Sabatini et Pashley 2014), il peut se déposer sur la surface et dans les tubulis dentinaires, créant ainsi une couche sur la dentine qui, en plus, résiste aux acides (Kimyai et al. 2017). Dans le cas d'un protocole d'automordançage, comme utilisé dans cette étude, l'amorce pourrait ne pas avoir été suffisamment acide pour déminéraliser cette couche résistante aux acides. Cette couche peut avoir gêné la pénétration des adhésifs dans la dentine, créant des interstices au niveau de l'interface adhésive, ce qui pourrait expliquer pourquoi les résultats dans l'adaptation marginale après chargement étaient si faibles.

Dans cette étude, les résultats de l'adaptation marginale avec l'adhésif Prime & Bond active après chargement étaient parmi les plus bas de tous les groupes testés (16 %MC dans l'émail et 46 %MC dans la dentine, Figure 7). Les fabricants évitent souvent d'inclure le HEMA (méthacrylate de b2-hydroxyéthyle) dans la composition des adhésifs afin de réduire leur hydrophilie, responsable de la dégradation hydrolytique au fil du temps (Bortolotto et al. 2008). Selon le fabricant, cet adhésif ne contient pas de HEMA dans sa composition, mais de l'isopropanol à la place des solvants couramment utilisés comme l'acétone, l'éthanol et l'eau. L'isopropanol est connu pour être moins hydrophile et pour avoir une viscosité plus élevée que l'éthanol. Au lieu de monomères classiques comme BisGMA, UDMA, HEMA et TEGDMA, le fabricant utilise un agent de réticulation acrylique bifonctionnel avec des fonctions N-allyle, et selon lui, cela donnerait à la formulation un haut niveau de réactivité de polymérisation et une faible viscosité. Le produit est très récent et il n'y a aucune publication scientifique pour comparer nos résultats, mais il est possible que les faibles résultats observés après le chargement puissent être dus à la faible capacité de

mouillage de cet adhésif étant donné qu'il ne contient pas de HEMA et il ne contient également ni d'eau ni d'isopropanol.

En ce qui concerne All Bond Universal, le fabricant déclare que son pH est supérieur à 3. L'avantage d'augmenter le pH des adhésifs pour les rendre moins acides est qu'il rend le produit compatible avec les matériaux autopolymérisés. D'autre part, lorsque le produit est utilisé dans son mode d'automordançage, l'acidité intrinsèque pourrait ne pas être suffisamment agressive pour conditionner l'émail. Cela pourrait expliquer les faibles résultats observés dans l'émail après le chargement de 24 %MC (Figure 7). A propos de la dentine, ce matériau, comme la plupart des matériaux testés dans cette étude, contient de l'HEMA pour faciliter sa diffusion dans la dentine. Une interférence chimique entre HEMA et MDP a été récemment rapportée dans la littérature (Tian et al. 2016) dans le sens où l'HEMA interférait avec la formation de nanocouches de MDP-calcium. Il semble que l'interaction du monomère MDP et de l'HEMA en solution pourrait produire des agrégats, mettant en question l'infiltration des fibres de collagène par le monomère (Zhang et al. 2016). Cela pourrait expliquer les faibles résultats observés dans la dentine après le chargement de 49 %MC (Figure 7).

Adhese Universal contient cinq monomères différents : Un méthacrylate d'acide phosphorique (MDP), un polymère d'acide carboxylique méthacrylé (MCAP), un méthacrylate monofonctionnel hydrophile (HEMA), un méthacrylate réticulant hydrophile/hydrophobe (Bis-GMA), et un diméthacrylate de réticulation hydrophobe (diméthacrylate de décanediol ou D3MA) (Adhese Universal, 2015). Les faibles résultats observés après le chargement dans l'émail (23 %MC) et la dentine (47 %MC) étaient significativement différents entre eux (Figure 7), montrant une faible capacité de ce matériau à coller simultanément à l'émail et à la dentine. Pourtant, il était

intéressant de voir qu'avant le chargement, ce matériau est classé parmi les plus élevés en termes de marges continues dans la totalité des marges (Figure 2). Ce comportement met en évidence un bon conditionnement et un bon mouillage de l'émail et de la dentine, mais une mauvaise résistance du matériau au test de fatigue qui pourrait être due à la présence de diméthacrylate de décanediol dans la composition du produit. Ce monomère hydrophobe est caractérisé pour être flexible et pour avoir une longue chaîne (Suh 1999, Polysciences.com, 2012). Bien que la quantité exacte de chaque monomère ne soit pas divulguée par le fabricant, il est connu que le rapport de chaque composant a une influence majeure sur les propriétés mécaniques des matériaux (Tian et al. 2016). Il est possible que le mélange des monomères de ce matériau n'ait pas la résistance suffisante pour contrecarrer les contraintes thermiques et mécaniques, ce qui entraîne une dégradation importante de l'adaptation marginale due au chargement.

Pour simplifier la technique de collage des restaurations indirectes, certains fabricants incluent un silane dans la composition de leur adhésif universel. C'est le cas pour Scotchbond Universal et Clearfil Universal Bond. Les deux matériaux comprennent le monomère MDP et la molécule de silane dans leur mélange (3M ESPE. 2013, Cardenas et al. 2017). Pour ce qui est de ces deux matériaux, les résultats de notre étude sont mitigés : Tandis que Clearfil Universal Bond a obtenu des résultats significativement meilleurs sur l'émail (63 %MC) que sur la dentine (31 %MC) après le chargement, Scotchbond Universal a réalisé une performance nettement meilleure sur la dentine après le chargement (72 %MC) que sur l'émail (34 %MC). Ces résultats peuvent être dus au fait que la combinaison du silane, du MDP, et du Bis-GMA s'est révélée quelque peu instable en solution et que les proportions exactes des différents composants peuvent différer entre les deux produits. Comme il

a été précédemment discuté, il semblerait, d'après les résultats des études antérieures, que la molécule de silane ne serait pas stable dans l'environnement acide d'un adhésif monocomposant (Cardenas et al. 2017). Cependant, une étude clinique récente a trouvé des taux de rétention de 100% des restaurations cervicales à 24 mois lorsque Scotchbond Universal était utilisé dans le mode de mordançage total (Lawson et al. 2015). Sur la base de ce qui précède, un pourcentage supérieur de MC par rapport à nos résultats en utilisant Scotchbond Universal dans le mode de mordançage total est donc fort probable.

Bien que les résultats de cette étude fournissent des informations intéressantes sur l'adaptation marginale des restaurations de classe V, certaines limitations surviennent du fait que tous les adhésifs ont été testés dans leur mode d'automordançage et qu'un seul composite a été utilisé comme matériau de restauration pour tous les groupes. Les résultats auraient pu être différents si les marges de l'émail avaient été préalablement conditionnées avec H_3PO_4 , ou si chaque adhésif avait été utilisé avec un composite de résine du même fabricant pour éviter d'éventuelles incompatibilités au sein des matériaux (Bortolotto et al. 2007). Des études futures devraient étudier les deux variables et leurs effets sur l'adaptation marginale et des études cliniques à long terme devraient confirmer ou rejeter nos résultats obtenus *in vitro*.

CONCLUSIONS

En se basant sur les résultats du point de vue des pourcentages de l'adaptation marginale après le défi de la fatigue thermomécanique et sous simulation du fluide dentinaire, on peut formuler les conclusions suivantes : Les différents adhésifs universels évalués dans le cadre de cette étude ont eu un effet distinct sur l'adaptation marginale dans l'émail et la dentine. Seulement un adhésif a eu des résultats au-dessus de 80% mais similaires concernant l'adaptation marginale dans l'émail et la dentine après chargement, et la composition de chaque adhésif a pu expliquer la plupart des différences.

RÉFÉRENCES

3M ESPE.

Scotchbond Universal Adhesive Technical Product Profile. 3M Espe, St. Paul, 2013.

ADHESE UNIVERSAL.

Scientific documentation. IvoclarVivadent, Schaan, 2015.

ALEX G.

Universal adhesives: the next evolution in adhesive dentistry ?
Compend Contin Educ Dent 36;2015:15-26.

BANARJEE A.

Minimal intervention dentistry: part 7. Minimally invasive operative caries management: rationale and techniques.
Br Dent J 214;2013:107-111.

BEDRAN-RUSSO AKB, PEREIRA PNR, DUARTE WR, DRUMMOND JL, YAMAUCHI M.

Application of crosslinkers to dentin collagen enhances the ultimate tensile strength.
J Biomed Mater Res B Appl Biomater 80;2007:268-272.

BEDRAN-RUSSO AKB, PASHLEY DH, AGEE K, DRUMMOND JL, MIESCKE KJ.
Changes in stiffness of demineralized dentin following application of collagen.
J Biomed Mater Res B Appl Biomater 86;2008:330-334.

BORTOLOTTO T, FERRARI M, ONISOR I, TAY FR, KREJCI I.

Marginal adaptation of contemporary dentin bonding agents in enamel and dentin under the simulation of dentinal fluid.
Int Dent South Afr 7;2005;46-56.

BORTOLOTTO T, FERRARI M, TAY FR, KREJCI I.

Degradation of thermo-mechanically loaded adhesive class V restorations after 18 months of water storage.
Am J Dent 20;2007:83-89.

BORTOLOTTO T, FERRARI M, KREJCI I.

Wetting ability of single-component self-etching adhesives on enamel and dentin.
Am J Dent 21;2008:59-63.

BORTOLOTTO T, BETANCOURT F, KREJCI I.

Marginal integrity of resin composite restorations restored with PPD initiator-containing resin composite cured by QTH, monowave and polywave LED units.
Dent Mater J 35;2016:869-875.

CARDENAS AM, SIQUEIRA F, HASS V, MALQUIAS P, GUTTERREZ MF, REIS A, PERDIGAO J, LOGUERCIO AD.

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.
J Adhes Dent 19;2017:203-212.

CARRILHO MR, CARVALHO RM, SOUSA EN, NICOLAU J, BRESCHI L, MAZZONI A, TJÄDERHANE L, TAY FR, AGEE K, PASHLEY DH.
Substantivity of chlorhexidine to human dentin.
Dent Mater 26;2010:779-785.

CILLI R, PRAKKI A, AMARANTE DE ARAÚJO P, PERREIRA JC.
Influence of glutaraldehyde priming on bond strength of an experimental adhesive system applied to wet and dry dentine.
J Dent 37;2009:212-218.

CRAMER N, STANSBURY J, BOWMAN C.
Recent advances and developments in composite dental restorative materials.
J Dent Res 90;2011:402-416.

DOMÉJEAN-ORLIAGUET S, BANERJEE A, GAUCHER C, MILÈTIC I, BASSO M, REICH E ET AL.
Minimum intervention treatment plan (MITP) - practical implementation in general dental practice.
J Minim Interv Dent 2;2009:103-23.

FRANKENBERGER R, KRÄMER N, LOHBAUER U, NIKOLAENKO SA, REICH SM.
Marginal integrity: is the clinical performance of bonded restorations predictable in vitro?
J Adhes Dent 9, Suppl 1;2007:107-116.

GUPTA S, PRADESH M.
Dentin Bonding Agents: An Overview.
J Adv Med Dent Sci 2;2014:82-84.

KAKAR S, GOSWAMI M, KANASE A.
Dentin Bonding Agents I: Complete Classification - A Review.
World J Dent 2;2011:367-370.

KANCA J 3rd.
Dentin bonding system nomenclature: the next generation.
J Esthet Restor Dent 17;2005:271-272.

KARAARSLAN ES, USUMEZ A, OZTURK B, CEBE MA.
Effect of cavity preparation techniques and different preheating procedures on microleakage of class V resin restorations.
Eur J Dent 6;2012:87-94.

KARAMAN E, GÜLER E.
Marginal Adaptation of Class V Restorations with a New Universal Adhesive.
Int J Periodontics Restorative Dent. 2016 Jan-Feb;36:125-30.

KIMYAI S, POURNAGHI-AZAR F, NASER ALAVI F, SALARI A.
Effect of disinfecting the cavity with chlorhexidine on the marginal gaps of Class V composite restorations.
J Clin Exp Dent 9;2017:e202-206.

KREJCI I, KUSTER M, LUTZ F.
Influence of dentinal fluid and stress on marginal adaptation of resin composites.
J Dent Res 72;1993:490-495.

LATTA MA, BARKMEIER WW.
Dental adhesives in contemporary restorative dentistry.
Dent Clin North Am 42;1998:567-577.

LAWSON NC, ROBLES A, FU CC, LIN CP, SAWLANI K, BURGESS JO.
Two-year clinical trial of a universal adhesive in total-etch and self-etch mode in non-carious cervical lesions.
J Dent 43;2015:1229-1234.

LOGUERCIO AD, DE PAULA EA, HASS V, LUQUE-MARTINEZ I, REIS A, PERDIGÃO J.
A new universal simplified adhesive: 36-Month randomized double-blind clinical trial
J Dent 43;2015:1083–1092.

LOGUERCIO AD, HASS V, GUTIERREZ MF, LUQUE-MARTINEZ IV, SZEZS A, STANISLAWCZUK R, BANDECA MC, REIS A.
Five-year effects of chlorhexidine on the *in vitro* durability of resin/dentin interfaces.
J Adhes Dent 18;2016:35-42.

LOGUERCIO AD, MALAQUIAS P, PEREIRA DOS SANTOS F, HASS V, STANISLAWCZUK R, NOGUEIRA LINARES LIMA S, COELHO BANDECA M, REIS A.
Acid etching with modified phosphoric acid to increase the longevity of the bonded interface.
J Adhes Dent 19;2017:195-201.

MATSUMOTO H, YAMAMOTO T, HANABUSA M, MOMOI Y, HAYAKAWA T.
Addition of Na₂CO₃ improves the shelf life of experimental 4-META self-etch primer.
J Adhes Dent 19;2017:213-220.

MAYORAL JR, GREGOR L, CAMPOS EA, ROIG M, KREJCI I.
Marginal seal stability of one bottle adhesives in Class V vs. Class I cavities.
Cli Oral Investig 15;2011:257-264.

MENA-SERRANO A, KOSE C, DE PAULA EA, TAY LY, REIS A, LOGUERCIO AD, PERDIGÃO J.
A New Universal Simplified Adhesive: 6-Month Clinical Evaluation
Journal of Esthetic and Restorative Dentistry Vol 25, No 1, 55–69, 2013.

MICKENAUTSCH S.

An introduction to minimum intervention dentistry.
Singapore Dent J 27;2005:1-6.

MILIA E, CUMBO E, CARDOSO JA, GALLINA G.

Current dental adhesives systems. A narrative review.
Curr Pharm Des 18;2012:5542-5552.

MUNKSGAARD EC, ASMUSSEN E.

Bond strength between dentin and restorative resins mediated by mixtures of HEMA and glutaraldehyde.
J Dent Res 63;1984:1087-1089.

OZ, F.D., KUTUK, Z.B., OZTURK, C.

An 18-month clinical evaluation of three different universal adhesives used with a universal flowable composite resin in the restoration of non-cariou cervical lesions
Clin Oral Investig. 2018 Aug 14. Doi: 10.1007/s00784-018-2571-2.

PERDIGAO J, LOPES L, LAMBRECHTS P, LEITAO J, VAN MEERBEEK B, VANHERLE G.

Effects of a self-etching primer on enamel shear bond strengths and SEM morphology.
Am J Dent 10;1997:141-146.

PERDIGAO J, REIS A, LOGUERCIO AD.

Dentin adhesion and MMPs: a comprehensive review.
J Esthet Restor Dent 25;2013:219-241.

POLYSCIENCES.COM.

Monomers Product Guide, Polysciences, Warrington, 2012.

RAIMONDI CJ, JESSUP JP, ASHCRAFT-OLMSCHIED D, VANDEWALLW KS.

Bond strength of resin cements to dentin using universal bonding agents.
Am J Dent 29;2016:175-179.

ROULET J.

Marginal integrity: clinical significance.
J Dent 22 Suppl 1;1994:S9-12.

ROULET JF, HIRT T, LUTZ F.

Roughness and marginal behavior of experimental and commercial composites: an in vitro study.
J Oral Rehabil 11;1984:499-509.

RUSCHEL VC, SHIBATA S, STOLF SC, CHUNG Y, BARATIERI LN, HEYMANN HO, WALTER R.

Eighteen-month Clinical Study of Universal Adhesives in Noncariou Cervical Lesions
Operative Dentistry May/June 2018, Vol. 43, No. 3, pp. 241-249

SABATINI C, PASHLEY DH.

Mechanisms regulating the degradation of dentin matrices by endogenous dentin proteases and their role in dental adhesion. A review.

Am J Dent 27;2014:203-214.

SOFAN E, SOFAN A, PALAIA G, TENORE G, ROMEO U, MIGLIAU G.

Classification review of dental adhesive systems: from the IV generation to the universal type.

Ann Stomatol (Roma) 8;2017:1-17.

SUH BL.

Flexible dental composite compositions and restorative methods using flexible dental compositions.

US patent No. 5865623 A, 1999.

SUMMITT JB.

Fundamentals of operative dentistry: a contemporary approach.

Quintessence Publishing Company, Berlin, 2006.

TIAN F, ZHOU L, ZHANG Z, NIU L, ZHANG L, CHEN C, ZHOU J, YANG H, WANG X, FU B, HUANG C, PASHLEY DH, TAY FR.

Paucity of nanolayering in resin dentin interfaces of MDP-based adhesives.

J Dent Res 95;2016:380-387.

VAN LANDUYT KL, SNAUWAERT J, DE MUNCK J, PEUMANS M, YOSHIDA Y, POITEVIN A, COUTINHO E, SUZUKI LAMBRECHTS P, VAN MEERBEEK B.

Systematic review of the chemical composition of contemporary dental adhesives.

Biomater 28;2007:3757-3785.

YOSHINARA K, YOSHIDA Y, NAGAOKA N, HAYAKAWA S, OKIHARA T, DE MUNCK J, MARUO Y, NISHIGAWA G, MINAGI S, OSAKA A, VAN MEERBEEK B.

Adhesive interfacial interaction affected by different carbon-chain monomers.

Dent Mater 29;2013:888-897.

ZHANG ZY, TIAN FC, NIU LN, OCHALA K, CHEN C, FU BP, WANG XY, PASHLEY DH, TAY FR.

Defying ageing: An expectation for dentine bonding with universal adhesives?

J Dent 45;2016:43-52.

Appendice :

Liste des abréviations utilisées dans cette thèse

Abréviations	Termes
BisGMA	Bisphenol A-glycidyl methacrylate
CHX	Chlorhexidine
%MC	Pourcentage de marges continues
GLUMA	Glutaraldéhyde
GPDM	Diméthacrylate de glycerol-phosphate
HA	Hydroxyapatite
HEMA	2 hydroxyethyl méthacrylate
Kpa	Kilopascal
LED	Light emitting diode
MC	Marge continue
MCAP	Polymère d'acide carboxylique méthacryle
MDP	Méthacryloxydecyl dihydrogénophosphate
MDTP	Méthacryloxydecyl dihydrogène thiophosphate
MEB	Microscope électronique à balayage
MID	Micro Invasive Dentistry
MMP	Metalloprotéinases matricielles
TEGDMA	Triéthylène glycol diméthacrylate
UDMA	Uréthane diméthacrylate
4MET	4-méthacryloxyéthyl trimellitique acid