



HAL
open science

L'éthanol wet bonding: revue narrative de la littérature sur les treize dernières années

Karen Amanou

► **To cite this version:**

Karen Amanou. L'éthanol wet bonding: revue narrative de la littérature sur les treize dernières années. Sciences du Vivant [q-bio]. 2021. dumas-03455523

HAL Id: dumas-03455523

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03455523v1>

Submitted on 29 Nov 2021

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 DE PARIS
FACULTÉ DE SANTÉ
UFR D'ODONTOLOGIE - MONTROUGE

Année 2021

N° M004

THÈSE

POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement le : 18 janvier 2021

Par

Karen AMANOU

**L'éthanol wet bonding : revue narrative de la littérature sur les
treize dernières années**

Dirigée par M. le Dr Thibaut Drouhet

JURY

M. le Professeur Louis Maman
M. le Docteur Jean-Pierre Attal
M. le Docteur Lucien Dupagne
M. le Docteur Thibaut Drouhet

Président
Assesseur
Assesseur
Assesseur

Remerciements

À M. le Professeur Louis Maman ; *Docteur en Chirurgie dentaire ; Spécialiste qualifié en Chirurgie orale ; Docteur en Sciences odontologiques ; Habilité à Diriger des Recherches ; Professeur des Universités, UFR d'Odontologie - Montrouge ; Praticien Hospitalier, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris ; Doyen de l'UFR d'Odontologie - Montrouge*

Pour me faire le grand honneur de présider ce Jury de thèse d'exercice. Pour votre disponibilité au sein de votre service, veuillez trouver ici le témoignage de ma gratitude et de mon respect le plus sincère.

À M. le Docteur Jean-Pierre Attal ; *Docteur en Chirurgie dentaire ; Docteur de l'Université Paris Descartes ; Habilité à Diriger des Recherches ; Maître de Conférences des Universités, UFR d'Odontologie - Montrouge ; Praticien Hospitalier, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris ; Vice-Doyen de l'UFR d'Odontologie - Montrouge*

Pour me faire l'honneur de participer à ce Jury. Pour vos cours magistraux particulièrement prenants et profondément intéressants, qui m'ont donné le goût des biomatériaux et m'ont naturellement dirigée vers ce thème pour le choix de mon sujet de thèse. Veuillez accepter mes plus sincères remerciements et trouver ici l'expression de ma plus profonde estime.

À M. le Docteur Lucien Dupagne ; *Docteur en Chirurgie dentaire ; Maître de Conférences des Universités associé, UFR d'Odontologie - Montrouge*

Pour me faire l'honneur de participer à ce jury, pour votre proximité avec les étudiants lors des TP de biomatériaux et votre sympathie. Veuillez accepter mes plus sincères remerciements.

À M. le Docteur Thibaut Drouhet ; *Docteur en Chirurgie dentaire ; Assistant Hospitalo-Universitaire, UFR d'Odontologie - Montrouge*

Pour m'avoir fait l'honneur de diriger cette thèse. Pour le temps que vous m'avez consacré, votre disponibilité au cours d'une période particulièrement compliquée. Merci pour vos conseils et votre bienveillance. Veuillez accepter mes plus sincères remerciements et trouver ici la marque de mon plus profond respect.

Résumé et indexation en français et anglais

Résumé :

Discipline ou spécialité : Depuis des années, la dentisterie adhésive n'a cessé d'évoluer. Malheureusement, le collage dentinaire présente toujours des limites puisque le joint collé se dégrade dans le temps en raison de l'hydrolyse et des dégradations enzymatiques. C'est donc dans le but de réduire les effets néfastes de l'eau sur le collage dentinaire, que l'Ethanol Wet Bonding a été introduit en 2007. Grâce à son action de déshydratation dentinaire, ce protocole de collage est capable d'améliorer l'adhésion et le vieillissement de la couche hybride dans le temps. Depuis cette année-là et jusqu'en 2015, de nombreuses études se sont intéressées à ce protocole et ont montré son efficacité in vitro, notamment avec le protocole en concentration croissante d'éthanol. L'objectif de cette thèse est de faire une synthèse et mise à jour de l'EWB, à travers une revue narrative de la littérature, sur les treize dernières années. De cette façon, les articles sélectionnés après 2015, ont permis de comprendre comment l'éthanol interagit avec l'eau de la matrice dentinaire, les différents facteurs qui influencent l'efficacité de l'EWB (choix du protocole et de l'adhésif) et l'impact de la pression pulpaire sur le collage dentinaire. Si l'efficacité de l'EWB a été démontrée in vitro avant 2015, on ne peut aujourd'hui affirmer ou infirmer son efficacité in vivo car les études actuelles sont encore limitées. Pour achever ce travail, une enquête auprès de chirurgiens-dentistes permet d'évaluer leur intérêt pour un nouveau protocole de collage. Tout porte à croire que 2/3 des chirurgiens-dentistes sont plutôt ouverts à une évolution des protocoles pour continuer à améliorer la longévité des restaurations dans le temps.

Matériaux dentaires

Mots clés français (fMeSH et Rameau) :

Agents de collage dentinaire ; Collage dentaire -- méthodes ; Adhésifs dentaires ; Matériaux dentaires

Forme ou Genre :

fMeSH : Dissertation universitaire

Rameau : Thèses et écrits académiques

Abstract :

For years, adhesive dentistry has continued to evolve. Unfortunately, dentin bonding still has limitations as the bonded seal degrades over time due to hydrolysis and enzymatic degradation. It is therefore with the aim of reducing the harmful effects of water on dentin bonding that Ethanol Wet Bonding was introduced in 2007. Thanks to its dentin dehydration action, this bonding protocol is able to improve adhesion and aging of the hybrid layer over time. Since that year and until 2015, many studies have focused on this protocol and have shown its effectiveness in vitro, especially with the protocol in increasing concentration of ethanol. The objective of this thesis is to synthesize and update the EWB, through a narrative review of the literature, over the last thirteen years. In this way, the articles selected after 2015, made it possible to understand how ethanol interacts with the water of the dentin matrix, the different factors that influence the effectiveness of the EWB (choice of protocol and adhesive) and the impact of pulp pressure on dentin bonding. While the efficacy of EWB was demonstrated in vitro before 2015, today we cannot confirm or deny its efficacy in vivo as current studies are still limited. To complete this work, a survey of dentists enabled to assess their interest in a new bonding protocol. Everything suggests that 2/3 of dentists are more open to changing protocols to continue improving the longevity of restorations over time.

Branches or specialty :

Dental Materials

English keywords (MeSH) :

Dentin-Bonding Agents ; Dental Bonding -- methods

Publication type (MeSH) :

Academic Dissertation

Liste des abréviations

- BisGMA : Diméthacrylate Glycidique de Bisphénol A
 - CAD : Caries-Affected dentin
 - CID : Caries-Infected dentin
 - CLSM : Confocal Laser Scanning Microscope
 - EWB : Ethanol Wet Bonding
 - HEMA : Hydroxy-Meth-Acrylate
 - MDP : Methacryloyloxydecyl Dihydrogen Phosphate
 - MEB : Microscope Electronique à Balayage
 - MMP : Métalloprotéinases Matricielles
 - MR : Mordançage Rinçage
 - SAM : Systèmes Adhésifs Automordançants
 - SB : Single Bond
 - SBMP : Single Bond Multi Propose
 - SEM : Scanning Electron Microscopy
 - TEGDMA (Tri-Ethylène-Glycol-Di-Meth-Acrylate)
 - USPHS : United States Public Health Service
- WWB : Water Wet Bonding

Table des matières

INTRODUCTION.....	3
1 : LE COLLAGE SUR LA DENTINE.....	5
1.1 COMPOSITION ET STRUCTURE DE LA DENTINE.....	5
1.1.1 <i>Composition de la dentine</i>	5
1.1.2 <i>Structure de la dentine</i>	5
1.2 LA COMPOSANTE DE L'ADHERENCE : LA COUCHE HYBRIDE.....	6
1.2.1 <i>La boue dentinaire</i>	6
1.2.2 <i>L'ancrage micromécanique</i>	7
1.3 LES DIFFERENTS PROTOCOLES DE COLLAGE ET LEURS DIFFERENTES ETAPES.....	7
1.3.1 <i>Les adhésifs MR</i>	7
1.3.2 <i>Les adhésifs SAM</i>	9
1.3.3 <i>Les adhésifs universels</i>	11
1.4 LES LIMITES DU COLLAGE : LA DEGRADATION PAR L'HYDROLYSE ET LA DEGRADATION ENZYMATIQUE.....	11
1.4.1 <i>L'hydrolyse</i>	11
1.4.2 <i>La dégradation enzymatique</i>	13
2 : L'INTERET DE L'ETHANOL WET BONDING SUR LE COLLAGE JUSQU'EN 2014	15
2.1 LA DESHYDRATATION DE LA DENTINE POUR UNE MEILLEUR INFILTRATION DES MONOMERES DE RESINE HYDROPHOBES.....	15
2.1.1 <i>Augmentation des espaces interfibrillaires</i>	16
2.1.2 <i>L'éthanol, un meilleur solvant que l'eau pour les monomères de résine hydrophobes</i>	17
2.2 UN VIEILLISSEMENT RETARDE DE LA COUCHE HYBRIDE PAR PREVENTION DE LA DEGRADATION	18
2.2.1 <i>L'élimination du milieu aqueux dentinaire pour lutter contre l'hydrolyse et la dégradation enzymatique</i>	18
2.2.2 <i>Théorie de l'empreinte moléculaire : MMPs encapsulées par les monomères de résine hydrophobes</i>	18
2.3 RESULTATS DES ETUDES IN VITRO SUR L'EWB (JUSQU'EN 2014).....	18
2.3.1 <i>Amélioration de la qualité de la couche hybride</i>	18
2.3.2 <i>Efficacité de l'EWB selon le type de substrats</i>	19
2.3.3 <i>Efficacité du protocole en concentration croissance d'éthanol</i>	19
2.4 LES LIMITES DE L'EWB LIEES A LA BIOCOMPATIBILITE ET A LA PRESSION PULPAIRE	20
2.4.1 <i>La biocompatibilité</i>	20
2.4.2 <i>La pression pulpaire</i>	20
3 : LES AVANCEES DE L'EWB (DE 2015 A 2020).....	27

3.1 L'EWB ET L'ELIMINATION DE L'EAU	28
3.1.1 L'interaction de l'éthanol et de l'eau dans la matrice dentinaire	28
3.1.2 L'eau de la pression pulpaire	32
3.2 L'EFFICACITE DE L'EWB SELON LE SYSTEME ADHESIF	39
3.2.1 Adhésif hydrophile/hydrophobe	39
3.2.2 Type de solvant.....	43
3.2.3 L'EWB et les adhésifs SAM et universels : la controverse sur la nécessité d'un mordantage préalable	45
4 : ENQUETE MENEES AUPRES D'UN PANEL DE CHIRURGIENS-DENTISTES	49
4.1 ELEMENTS CARACTERISTIQUES DU SONDAGE REALISE.....	49
4.2 PRESENTATION DES QUESTIONS ADRESSEES ET ANALYSE DES RESULTATS ASSOCIES	50
CONCLUSION	56
BIBLIOGRAPHIE	58
TABLE DES FIGURES.....	61
TABLE DES TABLEAUX.....	63
ANNEXES.....	64

Introduction

Durant ces dernières années, la dentisterie adhésive n'a cessé d'évoluer. Aujourd'hui, elle occupe une place majeure dans notre pratique car elle permet de réaliser des restaurations dentaires plus esthétiques et de moins en moins invasives, répondant aux nouvelles exigences des patients.

L'amélioration des performances de collage, principalement dentinaire, est de plus en plus recherchée afin d'obtenir des restaurations plus durables et de meilleure qualité. En effet de par la nature hautement organique et hydratée de la dentine, le collage dentinaire est difficile à mettre en œuvre. Malgré le respect du praticien des différentes étapes de l'adhésion, les adhésifs actuels laissent une fine couche d'eau dans la dentine.

Lors d'un protocole de collage actuel (en WWB), lorsqu'on utilise les adhésifs MR, il faut être particulièrement vigilant à l'étape du séchage dentinaire. En effet, après mordantage, la dentine doit rester humide pour éviter le collapsus des fibres de collagène et ainsi faciliter la pénétration interfibrillaires des monomères. Cependant, un parfait contrôle de l'humidité par le praticien est quasiment impossible. Un excès d'humidité dans l'interface de collage va empêcher l'adhésif hydrophobe de pénétrer. Il pourra se produire une séparation de phase, des nanofuites, une polymérisation sous optimale de l'adhésif et une dégradation du collagène dans le temps.

Pour ces raisons, le collage dentinaire est un véritable défi et les praticiens sont fréquemment confrontés aux phénomènes suivants : pertes de rétention et d'adaptation marginale, colorations marginales, caries secondaires voir même des pertes de restaurations dans le temps.

C'est donc dans le but de réduire les effets négatifs de l'eau sur le collage dentinaire que l'Ethanol Wet Bonding (collage sur dentine saturée en éthanol, EWB) a été introduit pour la première fois en 2007 par Pashley et Al¹. Par la suite, de nombreux chercheurs se sont de plus en plus intéressés à ce protocole capable d'améliorer l'adhésion et le vieillissement de la couche hybride dans le temps.

En effet, comme cela a déjà été démontré dans les études jusqu'en 2015, cette technique efficace in vitro, optimise le collage (avec des valeurs d'adhérence améliorées) et prévient la dégradation hydrolytique dans le temps par son action de déshydratation dentinaire.

¹ Pashley et al., « From dry bonding to water-wet bonding to ethanol-wet bonding . a review of the interactions between dentin matrix and solvated resins using a macromodel of the hybrid layer ».

Mais qu'en est-il de son efficacité in vivo ? Est-elle impactée par l'eau pulpaire ? Existe-il des effets indésirables de l'éthanol sur le tissu pulpaire ? Ce protocole est-il efficace uniquement avec les adhésifs MR ? Beaucoup de points encore incertains avant 2015, notamment en l'absence d'études in vivo vont être éclaircis au fur et à mesure des années suivantes.

L'objectif de cette thèse est de fournir une revue narrative de la littérature de l'EWB sur les treize dernières années. Après un bref rappel sur le substrat dentinaire et le protocole de collage selon les systèmes adhésifs, une première partie expliquera l'intérêt de l'EWB et de son efficacité in vitro jusqu'en 2015, pour ensuite mettre en lumière dans une seconde partie, les avancées après 2015. Enfin, une dernière partie consistera en une enquête auprès de chirurgiens-dentistes pour évaluer leur intérêt pour un nouveau protocole de collage plus performant.

1 : Le collage sur la dentine

1.1 Composition et structure de la dentine

L'adhésion à la dentine n'est pas aussi simple et efficace que l'adhésion à l'émail en raison de la structure et de la composition de la dentine.

1.1.1 Composition de la dentine

En volume, la dentine est approximativement constituée de :

-45 % de minéraux (contrairement à l'émail composé à 95 % de minéraux)

-25 % d'eau

-30 % de protéines qui correspondent majoritairement aux fibres de collagène de type I mais aussi, aux enzymes protéolytiques (telles que les MMP et les Cysteines cathepsines K).

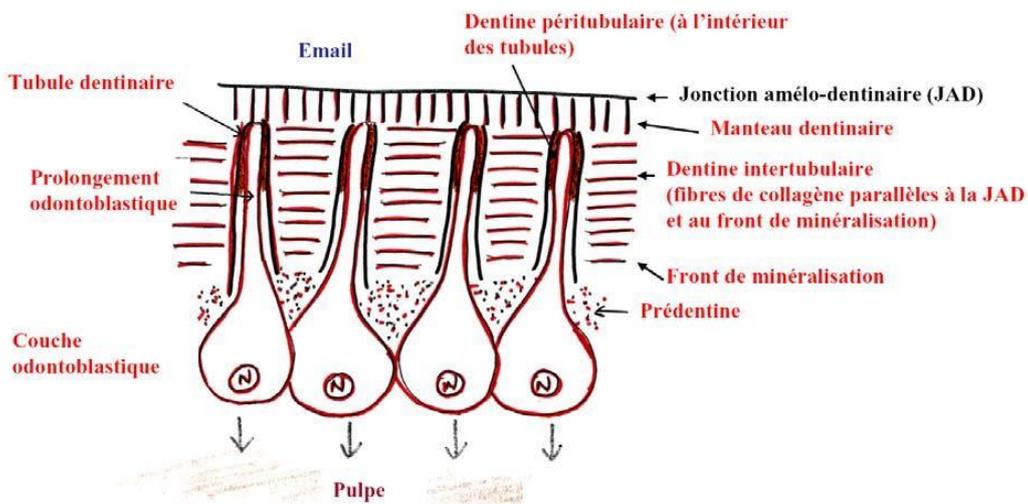
Ces fibres de collagène sont-elles mêmes constituées pour chaque fibre par 3 hélices alpha reliées entre elles par des ponts disulfures. Les zones inoccupées entre les molécules de tropocollagène sont remplies d'hydroxyapatite (MMP etc.)

1.1.2 Structure de la dentine

La dentine est constituée par 3 structures de compositions différentes (cf. figure 1) :

1. Des tubules : contenant un prolongement odontoblastique et le fluide dentinaire, composé essentiellement d'eau.
2. De la dentine péritubulaire (autour des tubules) : très minéralisée et donc sensible aux solutions acides.
3. De la dentine intertubulaire (entre les tubules) : constituée des fibres de collagène de type I entre lesquelles des cristaux d'hydroxyapatites sont encapsulés.

Figure 1 : Structure histologique de la dentine à la jonction amélo-dentinaire



Source : Faculté d'odontologie de Lyon, épreuve d'histologie et d'histopathologie dentaire session 2009-2010, 2010.

La structure dentinaire ne sera pas la même en surface et en profondeur :

- En profondeur, à proximité de la pulpe, la densité de tubules est plus importante (40 000 tubules/mm²) qu'au niveau coronaire (10 000 tubules /mm²).

L'adhésion se faisant entre les tubules, dans ce qui s'appelle la dentine inter-tubulaire ; plus il va y avoir de tubules, moins il y aura de dentine intertubulaire, et moins bon sera le collage.

- De plus, plus la surface dentinaire est profonde, à proximité pulpaire, plus la dentine sera riche en eau issue du fluide dentinaire.

Par conséquent, le collage sera plus difficile en profondeur, à proximité pulpaire qu'au niveau coronaire.

1.2 La composante de l'adhérence : la couche hybride

1.2.1 La boue dentinaire

Après le curetage dentinaire, une couche de pollution superficielle appelée la boue dentinaire ou smear layer se forme sur la dentine. Cette boue dentinaire est composée de débris de collagènes, de

bactéries, d'eau et parfois de sang. En général elle est de l'ordre du micron. Etalée à la surface dentinaire, la boue obture les orifices tubulaires formant ainsi des bouchons dentinaires

1.2.2 L'ancrage micromécanique

Pour certains systèmes adhésifs (MR), cette boue dentinaire (et les bouchons dentinaires) devra être éliminée alors que pour d'autres systèmes adhésifs (SAM et universels), la boue dentinaire sera modifiée puis infiltrée directement en intertubulaire (les bouchons dentinaires seront également conservés).

Dans tous les cas, le but est de permettre l'infiltration de la résine entre les fibres de collagène de la dentine déminéralisée, et dans les tubules (formant des brides résineux intratubulaires appelés TAGS). Cette zone qui a été déminéralisée et infiltrée en intertubulaire s'appelle **la couche hybride** et est responsable de l'ancrage micromécanique de l'adhésif entre les fibres de collagène.

En conclusion, l'adhésion à la dentine se fait principalement en intertubulaire par la couche hybride et secondairement en intratubulaire au niveau des TAGS. Cette adhésion est donc de nature micromécanique.

1.3 Les différents protocoles de collage et leurs différentes étapes

Il existe trois types d'adhésifs : les systèmes MR avec mordantage / rinçage préalable, les systèmes SAM auto-mordant, et les adhésifs universels.

1.3.1 Les adhésifs MR

Il existe deux types d'adhésifs avec mordantage / rinçage préalable : le MR3 et le MR2

-le MR3 est composé d'un acide qui est rincé après son application, d'un primer (hydrophile), puis d'un adhésif (hydrophobe).

-le MR2 est composé d'un acide qui est rincé après son application, puis d'un primer-adhésif (hydrophile)

1.3.1.1 Le mordantage à l'acide phosphorique 37 %

En 1982, Nakabayashi expose les premières explications de l'adhésion dentinaire, et décrit le mécanisme d'interpénétration appelé : couche hybride.

La dentine doit être déminéralisée en interfibrillaire pour permettre l'interpénétration de l'adhésif et former la couche hybride.

Ainsi, sur la dentine une dentine fraîchement coupée, une solution d'acide phosphorique à 37 % va être appliquée pour permettre « le mordantage » pendant 15 secondes. Celui-ci va avoir 3 actions :

-L'élimination de la boue dentinaire

-L'élimination des bouchons dentinaires

-La déminéralisation superficielle de la dentine intertubulaire et péricubulaire (de 1 à 8 microns d'épaisseur maximum.)

La perméabilité de la dentine se voit alors largement augmentée.

Après ce mordantage, un rinçage de 15 secondes doit être effectué puis il faudra sécher.

Le séchage est une étape déterminante et doit être fait avec minutie : il ne faudra pas trop sécher la dentine de manière à laisser un peu d'eau et d'éviter l'effondrement des fibres de collagène appelé « collapsus » (c'est le principe du Wet Bonding). Les fibres de collagène doivent être suffisamment humidifiées pour être en suspension et donc être suffisamment espacées pour l'infiltration de résine et former la couche hybride. Si le séchage est insuffisant, l'eau résiduelle va être en trop grande quantité et affectera le collage par la suite.

Cependant même après un séchage optimal de la dentine, il va rester une certaine quantité d'eau. L'application d'un adhésif hydrophobe ne pourra pas se faire en milieu aqueux. C'est pourquoi, il faut d'abord un système hydrophile pour pouvoir infiltrer la dentine déminéralisée.

1.3.1.2 Le primaire

Les adhésifs MR sont constitués d'un primaire hydrophile. Ce dernier, contient des molécules avec des groupements hydrophiles capables de se mélanger à l'eau résiduelle dans la dentine, et des groupements hydrophobes permettant la liaison avec l'adhésif hydrophobe. Il contient également des solvants tel que certains alcools ou de l'acétone, permettant de ramener les molécules hydrophiles en intertubulaire et de chasser l'eau lors de leur évaporation.

Il est recommandé de renouveler l'application du primaire et de le sécher pour permettre l'évaporation du solvant et de l'eau résiduelle. Le séchage doit se faire avec un jet d'air progressif pour ne pas éliminer tout le primaire.

1.3.1.3 L'adhésif

L'adhésif est hydrophobe et va ainsi :

- Participer à la formation de la couche hybride par la pénétration intertubulaire des monomères hydrophobes, qui forment également des TAGS en intratubulaire
- Protéger le joint collé de l'hydrolyse, grâce à sa nature hydrophobe

L'adhésif est appliqué sur la dentine avec une microbrush, est étalé par un jet d'air (pour permettre l'élimination des excès et des solvants résiduels) puis, est photopolymérisé.

1.3.1.4 Comparaison des MR2 avec les MR3

Pour les adhésifs MR2, l'adhésif et le primaire sont mélangés en un seul flacon hydrophile, tandis que dans le MR3, ils sont répartis en deux flacons distincts (hydrophile puis hydrophobes). Aussi, les molécules dans le MR2, ayant une masse moléculaire plus importante que les MR3, il sera plus difficile de pénétrer en inter fibrillaires. La manipulation des MR2 est donc plus sensible au wet bonding que la manipulation des MR3 (due à leurs petites molécules). Pour les aider à pénétrer, il faudra frotter d'avantage et plus longtemps (30 secondes contre 15 secondes pour MR3). Il faudra également photopolymériser d'avantage. Ainsi, le temps soi-disant gagné avec les MR2 est discutable.

Par conséquent, les MR3 sont donc les plus tolérants à la mise en œuvre et permettent une meilleure longévité d'adhésion par leur adhésif hydrophobe.

1.3.2 Les adhésifs SAM

Le principe des SAM est de ne pas éliminer la boue dentinaire contrairement aux MR, c'est pourquoi il n'y a pas de mordantage dentinaire à l'acide phosphorique au préalable. En revanche, les primaires des SAM contiennent des monomères acides. La boue est donc rendue plus poreuse lorsqu'elle est désorganisée par l'acide. Au moment où cet acide touche la dentine, elle se déminéralise en inter et péri-tubulaire. La boue se trouve intégrée dans le joint collé. Le front de déminéralisation est moins important que pour les MR car l'acide a déjà été tamponné par la boue dentinaire avant d'atteindre la dentine. En revanche, il est sûr qu'il n'existe pas de lacune vide entre le front de déminéralisation et la résine car ce sont les monomères acides qui déminéralisent la dentine. Il faudra veiller à frotter suffisamment (environ 30 secondes) sur la dentine pour pousser le front de déminéralisation le plus loin possible et créer une couche hybride.

Enfin, tous les systèmes auto-mordants contiennent de l'eau. L'eau est nécessaire pour activer le potentiel d'ionisation de leurs monomères fonctionnels acides (H_3O^+) qu'ils contiennent. Le séchage

des SAM est donc une étape critique sous contrôle du praticien qui devra veiller à l'élimination de l'eau avant polymérisation.

1.3.2.1 SAM1/SAM2

Il existe deux types d'adhésif auto-mordant SAM : le SAM1 et le SAM2

- Le SAM1 est composé d'un primaire acide / adhésif (hydrophile).
- Le SAM2 est composé d'un primaire acide (hydrophile), puis d'un adhésif (hydrophobe).

Les SAM1, nommés « all-in-one », ont l'avantage de simplifier la procédure clinique du collage. Outre cet aspect ergonomique, la réduction des séquences opératoires limite potentiellement le risque d'erreur de manipulation existant à chaque étape du collage.

Cependant, les SAM2 avec leur adhésif hydrophobe, ont moins de chance d'être hydrolysés dans le temps que les SAM1.

1.3.2.2 Comparaison des SAM et des MR

Les SAM présentent les avantages suivants sur les MR :

- pas de sensibilité post-opératoire (la boue et les bouchons dentinaires sont conservés contrairement aux MR)
- pas de libération de MMP (pas de lacune entre le front de déminéralisation et la résine laissant les fibres de collagène à nu)
- peuvent être utilisés sur des sites difficilement isolables car ne nécessitent pas de rinçage.

En revanche, les MR présentent les avantages suivants par rapport aux SAM :

- meilleur recul clinique (en particulier les MR3)
- meilleure adhérence sur l'email principalement, et aussi sur la dentine
- moins agressif que les SAM (quand il y a contact des SAM sur la gencive, il peut y avoir des lésions gingivales sous formes de petites taches blanches ressemblant à des brûlures)
- Moins hydrophiles que les SAM donc se dégradent moins (en particulier par rapport aux SAM1)

D'après les données actuelles de la littérature, les MR3 présentent le meilleur recul clinique.

1.3.3 Les adhésifs universels

Les adhésifs universels sont présentés comme étant efficaces avec ou sans mordantage préalable de la dentine (utilisation avec mordantage comme pour un adhésif MR2, ou sans mordantage comme un système SAM1)

En ce qui concerne la composition de ces adhésifs universels, ils contiennent différents types de solvant (acétone, éthanol, eau) et 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. L'adhésif universel serait donc hydrophile. Pourtant, selon les données des fabricants et les fiches MSDS (fiches de données de sécurité) de trois adhésifs universels (Futurabond U, Futurabond M+ et G Premio bond), l'eau ne semble pas être mentionnée. Cela met en évidence un manque de fiabilité et/ou de précision des informations des fabricants.

1.4 Les limites du collage : la dégradation par l'hydrolyse et la dégradation enzymatique

Il a été démontré que les systèmes adhésifs actuels ne réussissent pas à infiltrer complètement les matrices de dentine déminéralisées. En effet, les techniques classiques laissent une très fine couche d'eau entre l'adhésif et la matrice dentinaire (voir même au milieu des molécules de tropollagène, difficile à infiltrer). En présence d'eau, l'adhésif hydrophobe va subir une séparation de phase, et cette eau va activer la dégradation du collagène.

Ainsi l'infiltration de l'adhésif dans la dentine par la technique classique de Water Wet Bonding (WWB) est affectée.

1.4.1 L'hydrolyse

Deux origines d'hydrolyse :

-L'eau d'origine interne à la dent (issue du fluide dentinaire)

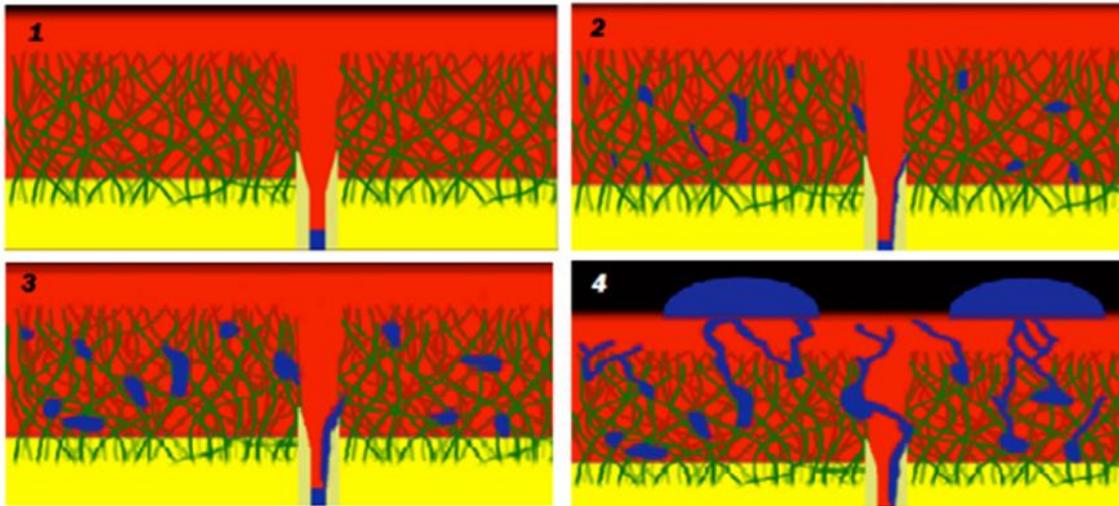
-L'eau d'origine externe à la dent (issue de la cavité buccale)

Le TEGDMA (Tri-Ethylène-Glycol-Di-Meth-Acrylate), l'HEMA (Hydroxy-Meth-Acrylate), comme le BisGMA, sont des molécules couramment utilisées dans les adhésifs et composites de restauration, qui vont au cours du temps être en contact avec l'eau et se dégrader pour former différentes molécules dont le Formaldéhyde $H_2C=O$, toxique. Ainsi, cela va entraîner un problème de biocompatibilité.

1.4.1.1 L'eau interne

La pression intra pulpaire amène de façon centrifuge du fluide dentinaire contenant de l'eau dans les tubules dentinaires. Si la résine infiltrée est hydrophile, petit à petit, l'eau du fluide dentinaire va atteindre des zones de la couche hybride.

Figure 2 : Schémas de couche hybride



Source : Dursun , Chamil et Attal, « Données actuelles sur l'adhésion à la dentine et son vieillissement : applications cliniques », 2014.

- 1) En jaune la dentine, en vert les fibres de collagène, en rouge l'adhésif infiltré
- 2) L'eau en bleu navigue au cours du temps dans les zones où elle peut naviguer
- 3) Petit à petit l'eau atteint des zones de la couche hybride dans le cas où la résine infiltrée est hydrophile. Si la résine est hydrophobe, l'eau ne va pas passer
- 4) Composite en noir. Progressivement, l'eau va finir par faire des bulles au-dessus de la limite de la résine hydrophile.

En revanche, si la résine est hydrophobe, elle empêche l'eau de pénétrer dans la couche hybride et donc à l'interface adhésif-composite ; l'eau serait contenue. Les molécules hydrophobes de l'adhésif présentent une barrière au passage de l'eau.

En effet, les MR3 et les SAM2 contiennent une couche d'adhésif hydrophobe contrairement aux SAM1 et MR2 dont l'adhésif est mélangé au primaire hydrophile.

Plus l'adhésif est hydrophobe, moins il y aura de dégradation collagénique par hydrolyse.

1.4.1.2 L'eau externe

L'eau externe peut être responsable du vieillissement du joint collé par dégradation hydrique. L'eau externe peut provenir de la salive présente dans la cavité buccale mais également des différentes étapes du protocole de collage. En effet, il faut vérifier lors du séchage de la dent, que le jet d'air de la seringue n'envoie pas d'eau, et que la digue soit également bien sèche pour éviter que de l'eau se remette sur la dent.

Par ailleurs, lorsque la dentine est entourée d'émail en périphérie, une étude en 2008² a montré que la dégradation était moindre que lorsqu'il y avait un rapport direct la dentine avec le reste de la cavité buccale. Ainsi, l'émail périphérique protège de cette dégradation hydrique.

1.4.2 La dégradation enzymatique

Après mordantage de la dentine à l'acide phosphorique, s'il reste trop d'eau, les fibres de collagène exposées peuvent ne pas être complètement infiltrées par l'adhésif, d'où la persistance d'une fine couche d'eau susceptible de nano-fuites. Ces fibrilles de collagène dénudées ou mal encapsulées sont sensibles à l'hydrolyse par les métalloprotéinases matricielles dérivées de l'hôte (MMP), une classe d'endopeptidases dépendantes du zinc et du calcium (collagénases, gélatinases et co-élastinases) capables de dégrader tous les composants de la matrice extracellulaire. La dentine humaine contient des métalloprotéinases matricielles telles que MMP-2, MMP-8, MMP-9 et MMP-20 et des cathepsines responsables de la dégradation. La dégradation du collagène s'effectuerait au ¼ par la MMP-8, une protéase vraie qui va dérouler la triple hélice puis cliver la fibre de collagène.

Les MMP étant des hydrolases, il est nécessaire que l'eau leur permette d'hydrolyser les liaisons peptidiques dans le collagène, ce qui entraîne la dégradation de l'interface résine-dentine.

Dans la dentine, ces enzymes sont inactives, mais elles sont activées par l'acide phosphorique lors du mordantage et les composantes acides de l'agent de liaison.

La dégradation des fibres de collagènes est donc liée à des MMP endogènes en présence d'eau.

C'est une dégradation interne du joint collé.

En conclusion, l'eau est nécessaire pour que les fibres de collagène restent expansées et ne se collapsent pas lors du collage (concept de Water Wet Bonding). L'adhésif peut ainsi pénétrer correctement en interfibrillaire. Cependant, à long terme, cette eau va affecter les résultats du collage. Celle-ci étant responsable de la dégradation de la couche hybride dans le temps (par hydrolyse et dégradation

² Reis, Giannini, et Pereira, « Effects of a peripheral enamel bond on the long-term effectiveness of dentin bonding agents exposed to water in vitro ».

enzymatique), son élimination semble être une solution envisageable pour empêcher le vieillissement du joint collé. Ceci nous amène au concept de l'éthanol wet bonding (EWB) un protocole permettant le remplacement de l'eau restante dans la dentine par de l'éthanol pour améliorer le collage dans le temps.

2 : L'intérêt de l'ethanol wet bonding sur le collage jusqu'en 2014

La technique de l'Ethanol Wet Bonding (EWB) a été réalisée principalement dans le but de prévenir le vieillissement du joint collé en luttant contre l'hydrolyse et la dégradation enzymatique.

2.1 La déshydratation de la dentine pour une meilleur infiltration des monomères de résine hydrophobes

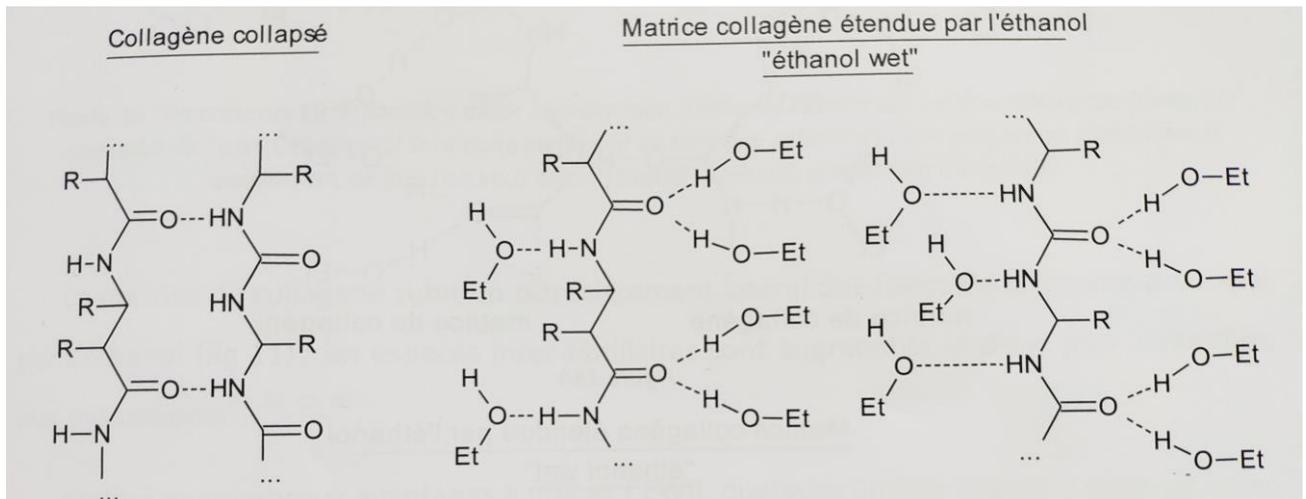
Bien que l'incorporation de résine hydrophile ait considérablement amélioré la capacité des systèmes adhésifs à se lier aux substrats dentinaires humides, elle entraîne un vieillissement des collages dentinaires, compromettant la longévité des restaurations adhésives.

Comme il a été décrit précédemment, il serait idéal d'éliminer le facteur qui génère l'hydrolyse de la couche hybride : l'eau. En effet, lors du collage dentinaire, il va rester une fine couche d'eau entre l'adhésif et les fibres de collagène car les adhésifs actuels ne sont pas en mesure d'éliminer toute l'eau de la dentine.

L'EWB (La technique de l'Ethanol-Wet Bonding) a été introduite dans le but d'améliorer l'infiltration des adhésifs dans la couche hybride (en augmentant le ratio Adhésif-Collagène / Eau).

Selon Tay et al, la possibilité d'infiltration de dentine par des monomères hydrophobes (tels que le BisGMA) est basée sur le simple fait de passer d'un substrat dentinaire hydrophile à un substrat dentinaire hydrophobe, en remplaçant l'eau par de l'éthanol. L'éthanol permet le maintien des fibres de collagène déshydratées en suspension et ainsi facilite l'infiltration de monomères hydrophobes dans la dentine déminéralisée, créant une couche hybride hydrophobe.

Figure 3 : Fibres de collagène collapsées (à gauche), redressées par l'éthanol lors de l'EWB (à droite)



Source : Drouhet, « L'éthanol wet bonding : revue systématique de la littérature », 2015.

-Matrice de collagène effondrée sur la gauche : les liaisons hydrogènes interpeptidiques forment un réseau solidaire qui empêche l'infiltration de résine.

-Matrice de dentine saturée d'éthanol sur la droite : les molécules d'éthanol se regroupent autour des groupes peptidiques fonctionnels (groupements imides) par des liaisons faibles (hydrogènes). La résine hydrophobe pourra s'infiltrer entre les fibres de collagène.

La question est de savoir comment l'éthanol va agir sur la dentine pour permettre une meilleure infiltration des monomères de résine.

2.1.1 Augmentation des espaces interfibrillaires

Lors de l'EWB, l'amélioration de l'infiltration des monomères de résine peut être attribuée à deux phénomènes : l'élimination de l'eau et la diminution du diamètre des fibres de collagène.

2.1.1.1 Elimination de l'eau et de l'hydrogel interfibrillaire issus de la déminéralisation

Les espaces interfibrillaires de la dentine saturée en éthanol sont plus grands que ceux de la dentine saturée en eau. L'attaque acide va dissoudre les cristallites d'apatite présents au sein des fibres de collagène et entre les fibrilles de collagène. Les espaces interfibrillaires contiennent un hydrogel composé de protéoglycanes. Cet hydrogel peut interférer avec l'infiltration des monomères. C'est ainsi que l'éthanol va en éliminant l'eau de ces espaces, provoquer l'effondrement de l'hydrogel.

2.1.1.2 Diminution du diamètre des fibres de collagènes

L'éthanol réduit le diamètre des fibrilles de collagène plus qu'il ne réduit le volume de la matrice. Avec l'EWB, l'eau est éliminée des compartiments intra-fibrillaires de collagène, ce qui entraîne une liaison hydrogène intramoléculaire plus élevée parmi les molécules de collagène, provoquant ainsi le rétrécissement des fibrilles. En conséquence, les espaces interfibrillaires de la dentine saturée en éthanol sont plus grands que ceux de la dentine saturée en eau, ce qui permet un meilleur accès pour les monomères de résine.

2.1.2 L'éthanol, un meilleur solvant que l'eau pour les monomères de résine hydrophobes

L'éthanol est un solvant miscible à l'eau, capable de remplacer l'eau résiduelle de la dentine puis de solvater les monomères de résine adhésifs pour former des liaisons résine-dentine plus stables et plus durables.

Du fait de la miscibilité augmentée entre les monomères hydrophobes et l'éthanol, il n'existe pas de séparation de phase entre les monomères et la dentine saturée d'éthanol.

Tay et al. ont découvert que toute molécule d'eau résiduelle dans le réseau de fibrilles de collagène interférait avec l'infiltration de monomères hydrophobes parce que les monomères de résine sont moins solubles dans l'eau que dans l'éthanol.³

La théorie des paramètres de solubilité⁴ démontre clairement la miscibilité des monomères hydrophobes et de la dentine saturée en éthanol. Les paramètres de solubilité d'un matériau peuvent être représentés par ses forces de dispersion (δ_d), les forces polaires (δ_p), les forces de liaison hydrogène (δ_h) et les forces cohésives totales (δ_t). Il est possible de prédire la miscibilité de deux matériaux différents en comparant leurs valeurs δ_t . Un bon niveau de solubilité est généralement attribué lorsque $\Delta\delta_t$ (la différence de force cohésif totaux entre la dentine et la résine) est inférieur à 5 (MPa)^{1/2}. La différence entre l'adhésif hydrophobe et la matrice de collagène saturée en éthanol donne un $\Delta\delta_t$ de 3,9 (MPa)^{1/2}, ce qui suggère qu'ils sont mutuellement miscibles. Inversement, $\Delta\delta_t$ entre l'adhésif hydrophobe et la matrice de collagène saturée en eau est de 8,9 (MPa)^{1/2}, suggérant que les deux entités n'étaient pas complètement miscibles l'une avec l'autre.

³ Sadek et al., « Six-month evaluation of adhesives interface created by a hydrophobic adhesive to acid-etched ethanol-wet bonded dentine with simplified dehydration protocols ».

⁴ Sadek et al.

2.2 Un vieillissement retardé de la couche hybride par prévention de la dégradation

2.2.1 L'élimination du milieu aqueux dentinaire pour lutter contre l'hydrolyse et la dégradation enzymatique

L'éthanol remplaçant l'eau en EWB, va éliminer le milieu hydrolytique nécessaire au fonctionnement des MMPs, responsables de la dégradation enzymatique des fibres de collagène au sein de la couche hybride. La couche hybride est beaucoup plus hydrophobe et permet donc de lutter davantage contre l'hydrolyse dans le temps.

2.2.2 Théorie de l'empreinte moléculaire : MMPs encapsulées par les monomères de résine hydrophobes

En EWB, les monomères s'infiltrant de manière importante en interfibrillaire, viennent encapsuler les peptides (tels que les MMPs) en occupant leurs sites actifs catalytiques. C'est un phénomène « d'empreinte moléculaire ».

Ainsi, la déshydratation par l'éthanol empêche l'activation des MMPs qui restent inactives par cet encombrement stérique.

2.3 Résultats des études in vitro sur l'EWB (jusqu'en 2014)

Un certain nombre d'études in vitro ont été publiées sur l'EWB. La majorité d'entre elles ont montré l'efficacité de cette technique par l'amélioration de la qualité de la couche hybride. L'efficacité de cette technique est dépendante du type de substrat et du protocole utilisé.

2.3.1 Amélioration de la qualité de la couche hybride

Les techniques de microscopie ont permis d'observer la qualité de la couche hybride en EWB. Celle-ci se trouve améliorée grâce à une meilleure infiltration des monomères de résine hydrophobes et une mouillabilité augmentée⁵ de l'adhésif. Elle est également beaucoup plus étanche⁶.

Ainsi, par la qualité améliorée de la couche hybride, les résultats des études ont montré des valeurs d'adhérence améliorées avec l'EWB.

⁵ Li et al., « Ethanol-wet bonding technique may enhance the bonding performance of contemporary etch-and-rinse dental adhesives ».

⁶ Sauro et al., « Assessment of the quality of resin–dentin bonded interfaces : an AFM nano-indentation, μ TBS and confocal ultramorphology study ».

2.3.2 Efficacité de l'EWB selon le type de substrats

L'EWB s'est avéré efficace sur différents types de substrats comme la dentine coronaire ou intra radiculaire⁷, la dentine saine ou affectée par la **carie (CAD)**,⁸ quand le protocole en concentration croissante d'éthanol a été utilisé dans les études. En effet, les valeurs d'adhérence obtenues avec l'EWB étaient supérieures à celles en Water Wet Bonding (Protocole de collage classique : WWT).

Jusqu'en 2014, une seule étude⁹ s'est intéressée à l'EWB sur l'email. Les résultats ne semblent pas mettre en évidence de différences significatives entre les valeurs d'adhérence en EWB et en WWB.

2.3.3 Efficacité du protocole en concentration croissante d'éthanol

De nombreuses études ont comparé différents protocoles existant pour l'EWB. Deux groupes en ressortent :

- le protocole simplifié avec l'application d'éthanol absolu à 100 %¹⁰
- l'application de plusieurs solutions d'éthanol en concentration croissante : à 50 %, 70 %, 80 %, 95 % puis 100 % pendant 30 s chacune¹¹

Bien que le premier protocole soit le plus rapide, et donc le plus applicable cliniquement, les études ont montré en grande majorité, des échecs de l'EWB avec le protocole simplifié.

En effet, à cause de la pression de vapeur de l'éthanol (52,50 mmHg) supérieure à celle de l'eau (21,05 mmHg) à la même température, l'éthanol s'évapore beaucoup plus rapidement que l'eau dans l'air. Du fait de l'évaporation rapide de l'éthanol, **l'eau n'a pas le temps d'être complètement remplacée par l'éthanol, et reste piégée dans la dentine** entraînant un mauvais mouillage par l'adhésif hydrophobe et de plus faibles valeurs d'adhérence.¹²

De plus, il y a un risque que les fibres de collagène se collapsent si l'adhésif n'est pas appliqué rapidement.

⁷ Pei et al., « Ethanol-wet bonding may improve root dentine bonding performance of hydrophobic adhesive ».

⁸ Huang et al., « Effect of ethanol-wet bonding with hydrophobic adhesive on caries-affected dentine ».

⁹ Khoroushi, Rafizadeh, et Samimi, « Bond strength of composite resin to enamel : assessment of two ethanol wet-bonding techniques ».

¹⁰ Guimarães et al., « Effectiveness of immediate bonding of etch-and-rinse adhesives to simplified ethanol-saturated dentin ».

¹¹ Khoroushi, Rafizadeh, et Samimi, « Bond strength of composite resin to enamel : assessment of two ethanol wet-bonding techniques ».

¹² Sadek et al., « Six-month evaluation of adhesives interface created by a hydrophobic adhesive to acid-etched ethanol-wet bonded dentine with simplified dehydration protocols ».

C'est le protocole avec l'application de solutions d'éthanol en concentration croissante qui s'est avéré le plus efficace dans la majorité des études.

Pei et Al ont démontré que le traitement avec l'EWB en concentration croissante associé à l'application d'un adhésif hydrophobe améliore de façon significative les valeurs d'adhérence. En effet, le remplacement progressif de l'eau par l'éthanol permet le maintien des espaces interfibrillaires.

Cependant, ce protocole prend du temps (7-8) minutes ¹³et semble peu réalisable cliniquement.

Pour changer les mœurs des protocoles cliniques, il faudrait évaluer le bénéfice lié à l'augmentation de la longévité de la restauration et le cout lié à l'allongement du temps du protocole clinique.

2.4 Les limites de l'EWB liées à la biocompatibilité et à la pression pulpaire

2.4.1 La biocompatibilité

Comme l'EWB entraîne une meilleure infiltration des monomères entre les fibres de collagène déshydratées, une étude de Bianchi et al ¹⁴ en 2013, s'est intéressée à l'effet de l'augmentation de la diffusion transdentinaire des monomères sur la pulpe.

Les résultats de cette étude ont montré que cette augmentation entraînait une augmentation du nombre d'odontoblastes morts par nécrose.

Il est à noter que ce sont des échantillons de dentines saines et profondes qui ont été utilisés dans cette étude.

2.4.2 La pression pulpaire

2.4.2.1 L'effet de la pression pulpaire sur le collage

La capacité des adhésifs à infiltrer la dentine est l'une des exigences les plus importante pour la durabilité du collage. L'adhésion dentinaire et l'étanchéité complète des surfaces exposées restent problématiques, en raison de la nature hautement hydratée de la dentine. Les tubules dentinaires constituent 20 % à 39 % de la dentine, et le liquide à l'intérieur d'eux représente 22 % du volume de la dentine.

¹³ d'après la video Youtube du Dr Drouhet}

¹⁴ Bianchi et al., « Transdental cytotoxicity of experimental adhesive systems of different hydrophilicity applied to ethanol-saturated dentin ».

Comme vu précédemment, l'hydrolyse du joint collé peut venir soit de l'eau externe provenant de l'humidité de la cavité buccale, soit de l'eau interne provenant de la pulpe de la dent.

Les auteurs des études se sont fréquemment interrogés sur l'efficacité de l'EWB in vivo en pression pulpaire réelle sans qu'aucune étude sur ce sujet ne soit réalisée in vivo, avant 2015

Il convient de s'intéresser à l'effet de la pression pulpaire sur le collage en WWB pour comprendre si elle a un effet ou non sur le collage en EWB.

Pour une dent vitale, les fluides dentinaires sont expulsés vers l'extérieur à cause de la pression pulpaire, et circule en permanence dans les tubules dentinaires. Ces fluides peuvent endommager l'adhésif pendant son application (phénomène de surmouillage), ainsi l'hybridation dentinaire ne sera pas effectuée convenablement, générant des microfuites et des pertes d'étanchéité.

2.4.2.2 L'effet de la pression pulpaire selon la perméabilité dentinaire

La plupart des études sur l'EWB, ont été effectuées sur des échantillons de dentine saine.

Or, dans la pratique clinique quotidienne, la dentine affectée par la carie (CAD) est le substrat de liaison le plus fréquemment rencontré.

Comme signalé par Fusayama et Terachima, il faut bien distinguer la dentine infectée par la carie (CID) et la CAD, qui ont des structures morphologiques et chimiques différentes :

- La dentine infectée par la carie est hautement déminéralisée, et les fibres de collagène déstructurées ont perdu leur réticulation (organisées en réseau 3D), normalement présente dans la dentine saine. Par conséquent, le CID doit être totalement excavée avant le collage.
- En revanche, la CAD est moins décalcifiée et peut donc être conservée car elle peut être reminéralisée. Les fibres de collagène montrent peu de changement dans la réticulation. La dentine intertubulaire est plus poreuse que la dentine saine en raison de la déminéralisation partielle. Elle est donc également plus riche en eau que la dentine saine. De plus, la CAD contient un dépôt intratubulaire de minéraux résistants aux acides.

Ces variations structurelles de la CAD posent un grand défi quant au collage dentinaire.

La perméabilité de la dentine dépend du nombre de tubules dentinaires par unité de surface (supérieur dans la dentine profonde) et du diamètre des tubules dentinaires (réduit dans la CAD)

Des recherches antérieures ont démontré que les valeurs d'adhérence sont significativement plus faibles sur la CAD que sur la dentine normale, quel que soit le type d'adhésif utilisé.

En 2011, dans une étude in vitro, Huang et al ¹⁵ ont comparé les valeurs d'adhérence en WWT (avec l'adhésif Adper Single Bond 2) et en EWB (avec un adhésif hydrophobe expérimental), sur une dentinaire saine et sur une dentine affectée.

En WWT, la force d'adhérence sur la dentine saine était significativement plus élevée que sur la dentine affectée.

Pour évaluer les valeurs immédiates de l'EWB, deux protocoles ont été comparés :

D'abord un protocole de concentration croissante d'éthanol, et ensuite un protocole de trois applications à 100 % d'éthanol.

Le premier protocole de l'EWB, a donné des valeurs d'adhérence sans différence significative avec la WWT sur la dentine saine, en revanche, sur la dentine affectée, il a donné des valeurs d'adhérence sensiblement plus élevées qu'avec la WWT.

Ainsi, l'EWB peut potentiellement améliorer l'efficacité de la liaison à la CAD lorsqu'un protocole approprié est utilisé.

En effet, d'après les auteurs de cette étude (2011), il est possible que les dépôts minéraux résistants aux acides dans les tubules de la CAD puissent agir comme une barrière naturelle, réduisant l'infiltration d'eau de la chambre pulpaire à la surface de la dentine. Le protocole en concentration croissante d'éthanol pourrait remplacer efficacement l'eau sur la CAD.

Cette constatation implique que l'EWB peut être moins sensible à la technique sur la CAD par rapport à celle de la dentine saine. La dentine saine, plus perméable, serait plus à risque de contamination par le fluide pulpaire, lors de l'EWB.

2.4.2.3 L'effet de la pression pulpaire selon le type d'adhésif et le type de cavité

En 2007, une étude in vitro¹⁶ avait déjà évalué les effets de la pression pulpaire sur la perte d'étanchéité du joint collé, selon les systèmes adhésifs utilisés : adhésifs MR (Prime et Bond NT et Admira Bond) et SAM. (Xeno III), en WWT.

¹⁵ Huang et al., « Effect of ethanol-wet bonding with hydrophobic adhesive on caries-affected dentine ».

¹⁶ Rosales-Leal, de la Torre-Moreno, et Bravo, « Effect of pulp pressure on the micropermeability and sealing ability of etch & rinse and self-etching adhesives ».

Cette étude avait utilisé deux tests in vitro : un test de microfuite évaluant les effets de la pression pulpaire sur la capacité de scellement des tubulis dentinaires des adhésifs et la microscopie confocale (CLSM).

Cette dernière est une technique utile pour explorer l'étanchéité de la couche hybride en utilisant des fluorochromes : la rhodamine et la fluorescéine.

-La rhodamine (en rouge) reste dans l'adhésif car se dissout dans éthanol ou l'acétone mais pas dans l'eau. La distribution de la rhodamine illustre la morphologie de l'infiltration de résine dans la dentine.

-La fluorescéine (vert) se dissout dans l'eau et atteint les mêmes endroits que l'eau. La distribution de la fluorescéine représente la pénétration de l'eau pulpaire dans la couche hybride.

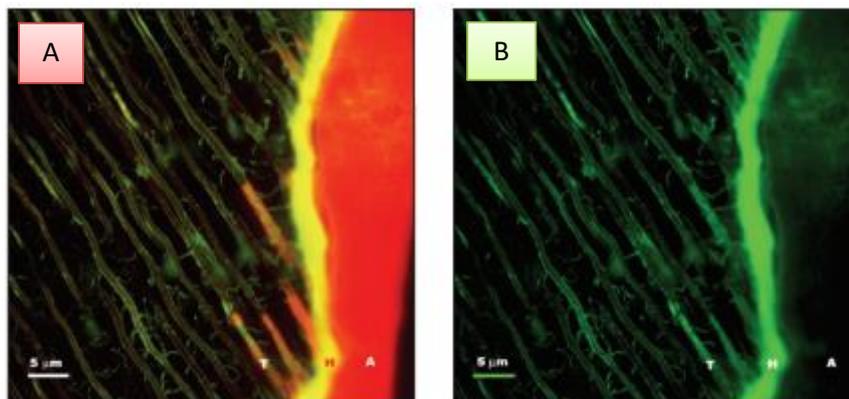
Ci-dessous des images issues de microscopie confocale à partir d'échantillons de dentine collée soit pas un adhésif MR (tel que Admira Bond) soit pas un adhésif SAM (Xeno), avec et sans pression pulpaire.

Figure 4 : Micrographie CSLM de Admira (adhésif MR) appliqué sans pression pulpaire.

(A) Rhodamine + fluorescéine. (Colocalisation en jaune/orange)

(B) Passage du liquide pulpaire marqué à la fluorescéine.

Exemple typique de scellement dentinaire à l'aide d'adhésif MR. Le fluide pulpaire s'écoule des tubules (T) mais est arrêté à la couche hybride (H) et n'atteint pas la couche adhésive (A)

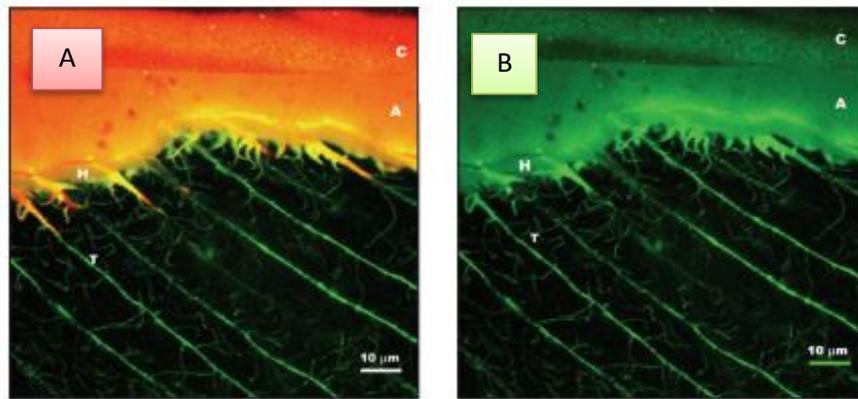


Source : Rosales-Leal, de la Torre-Moreno, et Bravo, « Effect of pulp pressure on the micropermeability and sealing ability of etch & rinse and self-etching adhesives », 2007.

Figure 5 : Micrographie CSLM de Admira (adhésif MR) appliqué avec pression pulpaire.

(A) Rhodamine + fluorescéine

(B) Fluorescéine Le fluide pulpaire s'écoule des tubules dentinaires (T) à la couche hybride (H) et envahit entièrement la couche adhésive (A)



Source : Rosales-Leal, de la Torre-Moreno, et Bravo, « Effect of pulp pressure on the micropermeability and sealing ability of etch & rinse and self-etching adhesives », 2007.

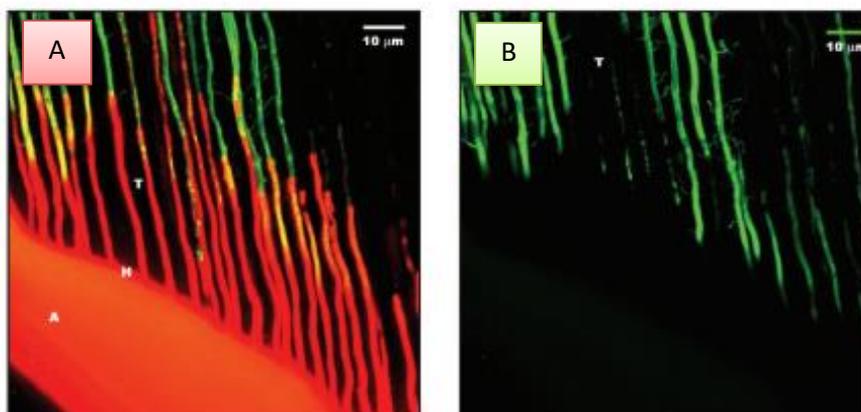
Le fluide pulpaire a infiltré 100 % de la couche hybride lorsque des adhésifs MR ont été utilisés, avec et sans pression pulpaire (figures A1-A1). Les tubules dentinaires n'étaient pas scellés.

Figure 6 : Micrographie CSLM de Xeno (SAM) appliqué sans pression pulpaire.

(A) Rhodamine + fluorescéine

(B) Fluorescéine.

Ces images montrent l'étanchéité idéale. Le fluide pulpaire n'affecte pas la couche hybride (H) ou la couche adhésive (A) et est maintenu à l'intérieur des tubules dentinaires (T)



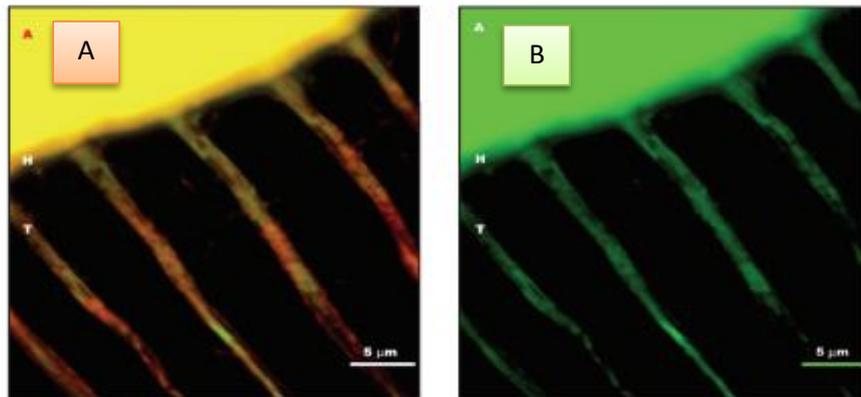
Source : Rosales-Leal, de la Torre-Moreno, et Bravo, « Effect of pulp pressure on the micropermeability and sealing ability of etch & rinse and self-etching adhesives », 2007.

Figure 7 : Micrographie CSLM de Xeno (SAM) appliqué avec pression pulpaire.

(A) Rhodamine + fluorescéine

(B) Fluorescéine.

L'adhésif est incapable d'arrêter l'écoulement du liquide pulpaire des tubules dentinaires et la couche hybride et adhésive sont envahies



Source: Rosales-Leal, de la Torre-Moreno, et Bravo, « Effect of pulp pressure on the micropermeability and sealing ability of etch & rinse and self-etching adhesives », 2007.

L'étanchéité des tubules n'a été observée que lorsque l'adhésif SAM était utilisé. (cf. figure 8)

En effet, la couche hybride n'était pas toujours infiltrée par le fluide pulpaire mais cette infiltration est fréquente dans des conditions de pression pulpaire (cf. figures 10 et 11).

Ainsi, l'étude CLSM a montré que les adhésifs MR avaient une microperméabilité plus élevée que les adhésifs SAM auto-mordant même si la pression pulpaire a rendu tous les adhésifs plus perméables.

D'autre part, les effets de la pression pulpaire sur l'étanchéité dentaire du joint collé vont dépendre également du type de cavité (caractérisée par sa localisation : cervicale /occlusale et le nombre de parois restantes)

L'exemple d'une cavité dentinaire occlusale superficielle avec quatre parois bordées d'émail n'aura pas la même longévité pour une restauration collée qu'une cavité proximale profonde sans bords amélaire.

En effet, pour une cavité dentinaire occlusale bordée par de l'émail minéralisé, la pression pulpaire n'a eu que peu d'effet sur l'étanchéité dentaire du joint collé, peu importe la nature de l'adhésif utilisé. En effet, les mêmes valeurs de microfuite et de pénétration dentinaire ont été obtenues avec et sans pression pulpaire.

En revanche, lorsque la cavité dentinaire se situe à proximité pulpaire, en occlusal profond ou en cervicale, l'adhésif SAM a obtenu la meilleure étanchéité par rapport aux adhésifs MR. En effet, le mordantage par l'acide phosphorique entraîne une augmentation de la perméabilité et de la conductance hydraulique permettant le passage de l'eau pulpaire. Celle-ci va réduire l'étanchéité de l'adhésion par la présence de microfuites et ainsi compromettre le scellement dentinaire de l'adhésif. En revanche, lorsqu'un adhésif SAM est appliqué, il n'y a pas de tubules ouverts sur le milieu buccal, puisque la déminéralisation et l'infiltration se font simultanément. La dentine est moins perméable car protégée par la boue dentinaire.

Ainsi, les résultats de cette étude ont des répercussions cliniques puisque, du point de vu des auteurs, les adhésifs SAM conviennent mieux au collage dentinaire à proximité pulpaire, en présence d'une forte pression pulpaire.

3 : Les avancées de l'EWB (de 2015 à 2020)

Depuis 2015, les études ont confirmé l'efficacité de l'EWB in vitro. Cette méthode lutte contre le vieillissement de la couche hybride dans le temps grâce à une meilleure infiltration des monomères entre les fibres de collagène déshydratées par l'éthanol, permettant la formation d'une couche hybride plus hydrophobe, plus dense en polymères et donc plus stable dans le temps^{17,18,19,21,22,23}.

Par ailleurs, malgré les inconvénients d'étapes supplémentaires (dans le protocole adhésif) augmentant le temps clinique et la sensibilité à la technique, le protocole en concentration croissante d'éthanol reste le protocole le plus efficace par rapport au protocole simplifié, qui laisse de l'eau résiduelle dans la dentine^{24, 25, 26, 27}. Les valeurs d'adhérences se trouvent augmentées avec ce protocole de l'EWB par rapport à celles obtenues en WWB, parfois même quand l'EWB simplifié est utilisé^{28, 29, 30}.

Si avant 2015, cette augmentation de la diffusion transdentinaire des monomères pouvait entraîner une augmentation des odontoblastes morts par nécrose, une étude en 2015³¹ affirme que l'EWB ne produit que de très légères lésions pulpaire.

¹⁷ Nagpal, Manuja, et Pandit, « Effect of ethanol wet bonding technique on the durability of resin- dentin bond with contemporary adhesive systems ».

¹⁸ Jee et al., « Investigation of ethanol infiltration into demineralized dentin collagen fibrils using molecular dynamics simulations ».

¹⁹ Ayar, « A review of ethanol wet-bonding : principles and techniques ».

²¹ Souza, Di Nicoló, et Bresciani, « Influence of ethanol-wet dentin , adhesive mode of application , and aging on bond strength of universal adhesive ».

²² Souza et al., « Six-month performance of restorations produced with the ethanol-wet-bonding technique : a randomized trial ».

²³ Pantoja et al., « Influence of ethanol on dentin roughness, surface free energy, and interaction between AH Plus and root dentin ».

²⁴ Yeşilyurt et al., « Effect of simplified ethanol-wet bonding on dentin bonding durability of etch-and-rinse adhesives . »

²⁵ Ayar, « Effect of simplified ethanol-wet bonding on microtensile bond strengths of dentin adhesive agents with different solvents ».

²⁶ Souza, Di Nicoló, et Bresciani, « Influence of ethanol-wet dentin , adhesive mode of application , and aging on bond strength of universal adhesive ».

²⁷ Araújo et al., « Simplified ethanol wet-bonding technique : an alternative strategy for resin-dentin bonding in root canals ».

²⁸ Nagpal, Manuja, et Pandit, « Effect of ethanol wet bonding technique on the durability of resin- dentin bond with contemporary adhesive systems ».

²⁹ Li et al., « Effects of light curing modes and ethanol-wet bonding on dentin bonding properties ».

³⁰ Souza, Di Nicoló, et Bresciani, « Influence of ethanol-wet dentin , adhesive mode of application , and aging on bond strength of universal adhesive ».

³¹ Scheffel et al., « Immediate human pulp response to ethanol-wet bonding technique ».

C'est ainsi qu'à partir de 2015, en plus de confirmer les points déjà avancés auparavant, de nouvelles études ont apporté plus de précisions sur l'EWB par de nouvelles informations, jusque-là encore inconnues.

3.1 L'EWB et l'élimination de l'eau

L'EWB in vitro entraîne une meilleure infiltration des monomères hydrophobes dans la dentine par la déshydratation de la dentine, mais quand est-il de son efficacité in vivo ? Est-elle impactée par l'eau pulpaire ? L'élimination de toute l'eau de la matrice dentinaire est-elle possible in vivo ? Reste-t-il de l'eau résiduelle ?

3.1.1 L'interaction de l'éthanol et de l'eau dans la matrice dentinaire

La dentine déminéralisée est constituée de 30 % de fibres de collagène et 70 % d'eau décomposée en eau liée et eau non liée.

D'après Agee et al, dans une étude sur la distribution de l'eau dans la matrice dentinaire³² l'eau non liée représentant 75 % du poids total de l'eau (dont 20 à 30 % se situe dans les tubules dentinaires et leurs branches), est également appelée « eau libre » car les molécules d'eau n'adhèrent pas aux fibres de collagène.

L'eau libre s'évapore à la pression atmosphérique avec des solvants miscibles à l'eau (comme l'éthanol).

L'eau liée représentant 25 % du poids total de l'eau, peut être décomposée en 3 couches de molécules selon leur adhésion aux fibres de collagène :

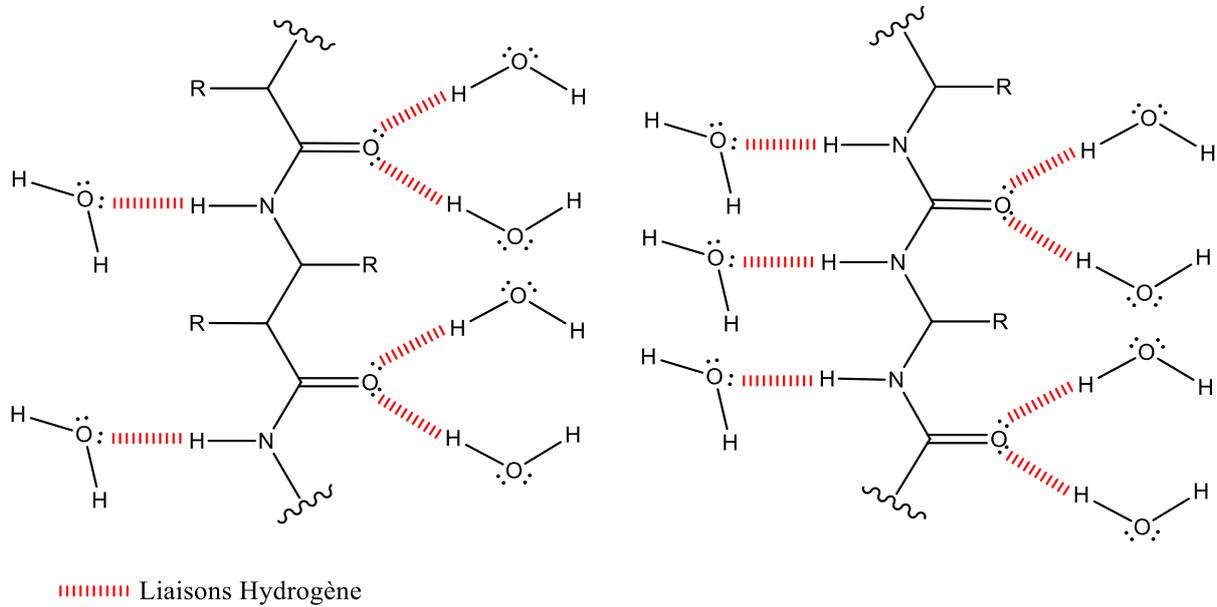
- une première couche, étroitement liée aux fibres de collagènes par des liaisons hydrogène
- une deuxième couche fermement liée, recouverte par la troisième couche
- la troisième couche d'eau faiblement liée au collagène

L'eau liée est l'eau structurale. Elle présente un rôle particulier : le maintien des espaces intermoléculaires, entre les fibres de collagènes. Grace à sa forte capacité de liaison hydrogène ($\delta h = 40,4 \text{ (J / cm}^3 \text{)}^{1/2}$), l'eau va se lier au collagène et stabiliser la triple hélice. En effet, les molécules d'eau

³² Agee et al., « Water distribution in dentin matrices »

se lie à des radicaux carbonyl oxygène et amide azote dans les peptides de collagène. Cela empêche la liaison hydrogène interpeptidique (liaison H) entre les peptides adjacents. ⁴¹

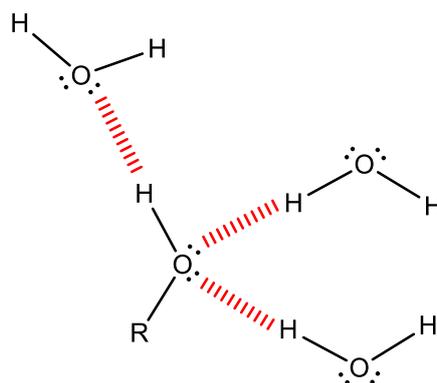
Figure 8 : Liaison de l'eau liée au collagène



Source : Cabral-Dos-Santos, liaison de l'eau liée au collagène par des liaisons hydrogène , 2020.

(Il est intéressant de comparer ce schéma avec celui du paragraphe 2.1 pour observer les avancées dans les connaissances sur l'EWB)

Figure 9 : Solubilisation de l'éthanol dans l'eau



Source : Cabral-Dos-Santos, réaction de solubilisation de l'éthanol dans l'eau , 2020.

⁴¹ Pashley et al., « From dry bonding to water-wet bonding to ethanol-wet bonding . a review of the interactions between dentin matrix and solvated resins using a macromodel of the hybrid layer ».

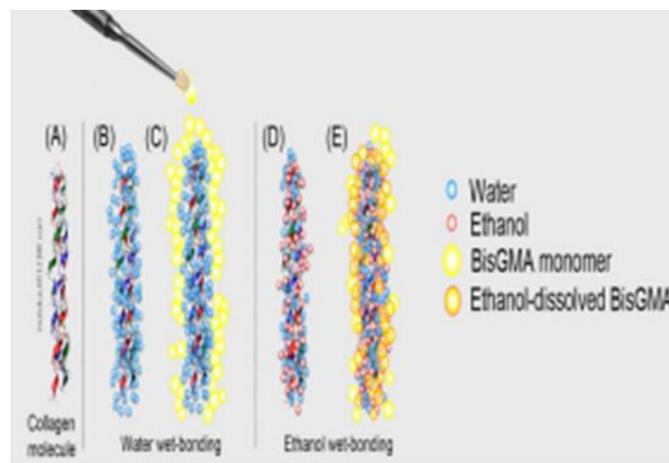
Dans cette étude, Agee et al ont montré que l'infiltration de résine dans une dentine déminéralisée saturée à l'éthanol absolu par EXCITE® (Ivoclar-Vivadent, Schaan, Lichtenstein), un adhésif MR2 contenant 50 % en volume d'éthanol, éliminait l'eau libre mais pas toute l'eau liée. L'EWB peut éliminer une partie de l'eau faiblement liée, tout en laissant en place la plupart des eaux étroitement liées. Ainsi, les monomères se retrouvent entre les fibrilles de collagène où réside l'eau liée.

Une étude sur l'infiltration d'éthanol entre les fibrilles de collagène d'une dentine déminéralisée à l'aide de simulations de dynamique moléculaire confirme que l'EWB élimine l'eau libre et l'eau faiblement liée, pour permettre l'infiltration des monomères.⁴²

L'eau en excès étant éliminée, l'hydrolyse des fibres de collagène par les protéases endogènes serait limitée.

En effet, d'après Agee et al, il est peu probable que l'eau liée (contenant les protéases, MMPs) participe à l'hydrolyse du collagène. Au contraire, les hydrolases activeraient probablement les molécules d'eau libres pour cliver les liaisons covalentes. Des recherches supplémentaires doivent être effectuées dans ce domaine.

Figure 10 : Représentation à l'échelle moléculaire de l'infiltration de monomères (BisGMA) dans la matrice collagénique saturée en eau (WWT) ou en éthanol (EWB)



Source: Chiba et al., « The effects of ethanol on the size-exclusion characteristics of type I dentin collagen to adhesive resin monomers », 2015.

⁴² Chiba et al., « The effects of ethanol on the size-exclusion characteristics of type I dentin collagen to adhesive resin monomers ».

Après WWB, il reste presque la moitié de l'eau libre dans la dentine (B) empêchant les monomères (BisGMA) d'infiltrer correctement la dentine. (Discontinuité de l'infiltration de monomères (représentée en jaune) sur l'image (C)). L'eau résiduelle va alimenter l'hydrolyse du collagène par les protéases endogènes de la dentine.

Après EWB, l'éthanol n'interagit qu'avec l'eau la plus périphérique par rapport au collagène : l'eau libre et l'eau faiblement liée (D). Puis, les monomères adhésifs (BisGMA) s'infiltrèrent dans la matrice saturée en éthanol. Après évaporation de l'éthanol, de l'eau libre, et d'une partie de l'eau faiblement liée, les monomères de résine pénètrent dans la dentine jusqu'à l'eau la plus étroitement liée.

Lors de l'infiltration d'éthanol ⁴³, le nombre de liaisons hydrogène éthanol-eau augmente au cours de la simulation, ce qui signifie que les molécules d'éthanol s'associent aux molécules d'eau plutôt qu'au collagène. L'évaporation de l'eau avec ces solvants est ainsi facilitée.

En effet, la force de liaison hydrogène collagène-eau ($\delta h = 40,4 \text{ (J / cm}^3 \text{)} \frac{1}{2}$) est plus forte qu'entre le collagène et l'éthanol ($\delta h = 20 \text{ (J / cm}^3 \text{)} \frac{1}{2}$) ; c'est pourquoi l'éthanol n'a pas d'effet sur la première et deuxième couche d'eau liée.

Ainsi l'eau restante après EWB est de l'eau liée ayant un rôle purement structural de maintien de l'espace interfibrillaire ; elle ne va donc pas empêcher l'infiltration de l'adhésif. Avec une concentration d'éthanol suffisante entre les fibres de collagène, les monomères pourront s'infiltrer correctement entre les fibres.

Suite à ces raisonnements, l'existence possible d'un collapsus des fibres de collagène (lors d'un séchage dentinaire excessif par exemple) est remise en question puisqu'il resterait toujours de l'eau liée au collagène empêchant la formation de liaisons interpeptidiques.

En conclusion, l'EWB éliminerait plus des $\frac{3}{4}$ d'eau présente dans la dentine mais une question se pose sur la nature de l'eau résiduelle selon les différents protocoles de l'EWB (simplifié ou en concentration croissante). Des études comparatives (in vitro et in vivo) sur la nature de l'eau restante avec l'EWB simplifié et avec l'EWB en concentration croissante seraient intéressantes pour répondre à cette question.

⁴³ Jee et al., « Investigation of ethanol infiltration into demineralized dentin collagen fibrils using molecular dynamics simulations ».

Cependant, actuellement, les connaissances sur la distribution de l'eau dans la dentine et sur l'interaction entre l'éthanol et l'eau sont aujourd'hui encore très limitées. Elles viennent d'études de modèle tridimensionnel de couche hybride⁴⁴ ou de simulations de dynamiques moléculaires⁴⁵.

D'après ces études, l'EWB semble capable d'éliminer toute l'eau libre (et donc l'eau pulpaire présente dans les tubules dentinaires), mais quand est-il réellement de son efficacité in vivo ?

3.1.2 L'eau de la pression pulpaire

Avant 2015, il est admis qu'un fluide dentinaire provenant de la pulpe circule en permanence dans les tubules dentinaires et peut altérer l'efficacité du collage en WWB et contaminer la restauration dentaire

Depuis 2015, les connaissances sur le collage en présence de pression pulpaire se sont affinées par de nouvelles études in vitro et in vivo dont certaines traitent de l'EWB. Ces études remettent en question l'efficacité de l'EWB in vivo, en présence de pression pulpaire.

Le taux d'écoulement de ce fluide dentinaire à travers la dentine va dépendre du changement de deux facteurs : la pression pulpaire et la perméabilité dentinaire.

3.1.1.1 Les variations de pression pulpaire

Dans la dentine profonde, le collage est déjà plus compliqué qu'au niveau de la dentine superficielle, en raison d'une densité plus importante de tubules dentinaires, limitant le collage intertubulaire.

Ces nombreux tubules sont aussi responsables d'une teneur en eau plus élevée de la dentine profonde, provenant de la pression pulpaire et limitent l'infiltration de résine adhésive dans la dentine déminéralisée par l'acide.

La pression pulpaire physiologique est comprise entre 14,1 et 32,6 cmH₂O.

En 2016, une étude in vitro en WWB⁴⁶, a analysé l'effet de différentes pressions intra pulpaires simulées : les groupes 0, +15, +30 cmH₂O (n = 20 chacun) ; l'analyse des valeurs d'adhérence et de la longueur des tags de résine a été réalisée (adhésifs MR2).

⁴⁴ Pashley et al., « From dry bonding to water-wet bonding to ethanol-wet bonding . a review of the interactions between dentin matrix and solvated resins using a macromodel of the hybrid layer ».

⁴⁵ Chiba et al., « The effects of ethanol on the size-exclusion characteristics of type I dentin collagen to adhesive resin monomers ».

⁴⁶ Jariyanuwat, Sirimaharaj, et Wanachantararak, « Effect of different intrapulpal pressure simulation on bond strength and resin tags length in primary incisors ».

Les valeurs d'adhérence du groupe +30 cmH2O étaient significativement plus faibles que pour les autres groupes. La longueur des Tags en résine diminuait également avec l'augmentation de la pression pulpaire.

La pression pulpaire agirait donc à la fois, sur le mordantage, la viscosité des adhésifs, et donc sur la polymérisation entraînant une diminution des valeurs d'adhérence. Lors du mordantage, le liquide pulpaire entraîne une dilution de l'acide qui va diminuer sa pénétration dans la dentine.

In vivo, la pression pulpaire peut varier avec l'état inflammatoire de la pulpe. En effet, la pression pulpaire peut être augmentée pendant l'inflammation pulpaire en raison d'une carie profonde ou à un certain stade de pulpite. L'état inflammatoire pulpaire entraîne la vasodilatation et l'augmentation de la perméabilité membranaire des vaisseaux sanguins, augmentant la pression intrapulpaire. C'est l'un des mécanismes d'auto-défense aidant à protéger la pulpe contre l'invasion des bactéries et de leurs toxines.

3.1.1.2 La perméabilité dentinaire

Une étude en 2016⁴⁷ a comparé les valeurs d'adhérence en WWB et en EWB simplifié sur la dentine affectée et sur la dentine saine, mais n'a pas confirmé les résultats trouvés en 2011⁴⁸:

Tableau 1 : Valeurs d'adhérence (MPa) obtenues en fonction des stratégies adhésives (WWT ou EWB) et des substrats dentinaires (CAD ou dentine saine)

Table 2: Microtensile bond strength values (MPa) of different adhesive strategies and dentin substrates

Bonding substrate	WWB	EWB
ND	41.4 ± 2.8	52 ± 4.7
Caries-affected dentin	25.4 ± 3	23.6 ± 2.2

WWB: Water-wet bonding, EWB: Ethanol-wet bonding, ND: Normal dentin

Source : Aggarwal et al : « Effects of simplified ethanol-wet bonding technique on immediate bond strength with normal versus caries-affected dentin », 2016.

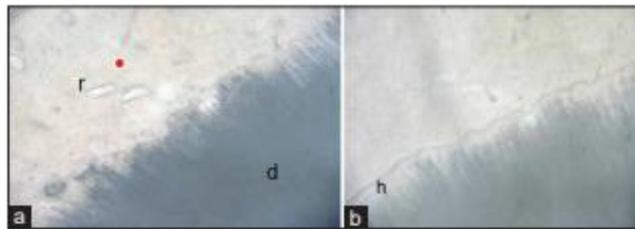
⁴⁷ Aggarwal et al., « Effects of simplified ethanol-wet bonding technique on immediate bond strength with normal versus caries-affected dentin ».

⁴⁸ Huang et al., « Effect of ethanol-wet bonding with hydrophobic adhesive on caries-affected dentine ».

Sur la dentine saine, les valeurs d'adhérence de l'adhésif hydrophobe en EWB simplifié étaient supérieures que celles avec l'adhésif Adper Scotchbond Multi-Purpose en WWB. En revanche, sur la dentine affectée, les valeurs d'adhérences étaient sans différence significative.

L'analyse des valeurs d'adhérence et l'analyse microscopique (illustrées par les figures 11 et 12) ont indiqué que l'utilisation de l'EWB améliorait le collage à la dentine saine mais pas à la CAD.

Figure 11 : Interface résine/dentine saine observée au microscope (r : résine composite, d : dentine, h : couche hybride)

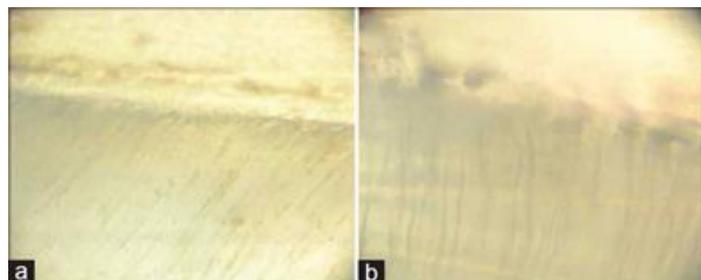


Source : Aggarwal et al : « Effects of simplified ethanol-wet bonding technique on immediate bond strength with normal versus caries-affected dentin », 2016.

Image a (WWB sur dentine saine) : mince couche hybride avec collapsus de certaines fibres de collagène

Image b (EWB sur dentine saine) : couche hybride épaisse et distincte

Figure 12 : Interface résine/ dentine affectée par la carie observée au microscope



Source : Aggarwal et al : « Effects of simplified ethanol-wet bonding technique on immediate bond strength with normal versus caries-affected dentin », 2016.

Image a (WWB sur CAD) et image b (EWB sur CAD) : pas de couche hybride distincte. Formation de dentine sclérotique et de tissus dur

Les images de microscopie de la CAD ont montré des signes d'activité sclérotique et de formation de tissu dur atubulaire pouvant empêcher l'infiltration des monomères pour former la couche hybride. En effet, en réponse au processus carieux, des dépôts des minéraux se forment dans les tubules dentinaires.

De plus, la dentine intertubulaire en CAD étant partiellement déminéralisée avec une teneur en eau intrinsèque élevée, l'EWB simplifié utilisé dans cette étude ne pourra pas éliminer toute l'eau de la matrice.

En conclusion de cette étude, l'EWB simplifié n'a aucun effet sur la CAD car d'une part, c'est un protocole incapable d'éliminer toute d'eau (d'une dentine déjà très riche en eau), d'autre part car les dépôts de minéraux intratubulaires affectent l'infiltration des monomères.

Ces résultats s'opposent à ceux trouvés dans l'étude de 2011. En effet, en 2011, l'EWB en concentration croissante d'éthanol améliorait les valeurs d'adhérence sur la CAD. Mais sur la dentine saine, l'EWB n'était pas efficace à cause de la contamination possible par le fluide dentinaire.

En revanche, dans l'étude de 2016, l'EWB était efficace sur la dentine saine, en l'absence de pression pulpaire simulée.

Ainsi, Il faut noter la présence de biais dans l'étude de 2016 telles que : l'absence de pression pulpaire, de vieillissement simulé, et de standardisation du substrat CAD.

De plus, il convient de s'interroger sur l'impact réel des dépôts intratubulaires de la CAD sur l'efficacité du collage puisque celui-ci se fait en majorité en interfibrillaire. Il aurait fallu réaliser cette expérience avec le protocole en concentration croissante d'éthanol pour une meilleure infiltration des monomères interfibrillaires dans la CAD déshydratée.

Il n'y a donc pas eu d'avancées considérables entre 2011 et 2016 sur l'effet de l'eau pulpaire sur le collage selon la perméabilité dentinaire.

3.1.1.3 Moyens de prévention

Dans une revue narrative de 2016 sur l'EWB⁴⁹, certaines réserves ont été émises sur l'efficacité de l'EWB in vivo, en raison de la contamination possible de la couche hybride par l'eau.

⁴⁹ Ayar, « A review of ethanol wet-bonding : principles and techniques ».

Il a été démontré que la contamination par l'eau issue de la pression pulpaire est difficile à éviter. Cependant, pour la plupart des procédures de collage à la dentine, la pression pulpaire serait plus proche de zéro. En effet, la dentine affectée étant le substrat de collage à la dentine le plus courant, sa faible perméabilité limite le passage de l'eau issue de la pression pulpaire.

De plus, l'administration d'anesthésiques locaux contenant des vasoconstricteurs entraînent une diminution de la pression pulpaire lors du protocole de collage.

Ainsi, si ces informations sont corrélées avec ce qui a été dit avant 2015, le risque de contamination par l'eau pulpaire en EWB existe mais ne concerne que certains cas très précis. En effet, ce risque de contamination par l'eau pulpaire, augmente lorsque l'EWB se fait sur une dentine saine, à proximité pulpaire (dentine cervicale/profonde). Dans ces conditions, même si l'EWB en concentration croissante est capable d'éliminer toute l'eau libre dont l'eau pulpaire, ce protocole est plus sensible à la technique en présence de pression pulpaire.

3.1.1.4 Etude comparative de l'efficacité de l'EWB in vivo et in vitro

Une étude comparative en 2015 ⁵¹ a évalué les nanofuites et les valeurs d'adhérences des couches hybrides formées par les adhésifs MR3 sur une dentine primaire après WWB ou par des adhésifs hydrophobes après l'EWB en concentration croissante, dans des conditions cliniques et de laboratoire.

Pour l'expérience clinique, les patients pouvant être admis à l'étude devaient être âgés de 10 à 12 ans, avoir une lésion carieuse naissante sur la deuxième molaire temporaire (carie allant jusqu'au premier 1/3 de la dentine) et avoir besoin d'un traitement de restauration dans la même héli-arcade. Ainsi, 20 patients ont participé à l'étude. Toutes les dents sélectionnées (40 molaires) étaient à un stade avancé de la résorption et la mobilité des racines indique un processus d'exfoliation physiologique avancé. Pour les restaurations, une anesthésie a été réalisée (mépivacaine 3 % sans vasoconstricteur) et une digue en caoutchouc a été posée.

Pour l'étude en laboratoire, 20 deuxièmes molaires temporaire exfoliées récemment sans carie ou ayant une carie naissante ont été utilisées. Les dents ont été stockées dans une solution saline à 4° C jusqu'à 3 mois avant l'expérience in vitro.

⁵¹ Kuhn et al., « Ethanol-wet bonding technique : clinical versus laboratory findings ».

Pour les restaurations, que ça soit dans des conditions in vitro ou in vivo, la moitié des dents ont été restaurées avec un adhésif MR3, en WWB et l'autre moitié, avec un adhésif hydrophobe en EWB (en concentration croissante d'éthanol : 50 %, 70 %, 80 %, 95 % et trois applications d'éthanol à 100 %, pendant quinze secondes chacune)

Dans les conditions cliniques, les valeurs d'adhérences les plus élevées ont été observées en WWB tandis qu'en laboratoire, les valeurs d'adhérence les plus élevées ont été obtenue avec l'EWB.

En effet, les valeurs d'adhérence en EWB dans des conditions cliniques étaient 31 % inférieures à celles observées dans l'expérience de laboratoire.

En EWB, in vitro, la microscopie confocale et l'analyse spectrale micro-Raman montrent une distribution relativement homogène de la résine hydrophobe au sein de la couche hybride expliquant des valeurs d'adhérence élevées. Cette constatation n'a pas été observée pour les résines hydrophiles avec la WWB.

Bien que dans ces conditions de laboratoire, le collage sur les dents extraites soit réalisé sous pression pulpaire simulée, cette pression ne semble pas être suffisante pour causer de dommages.

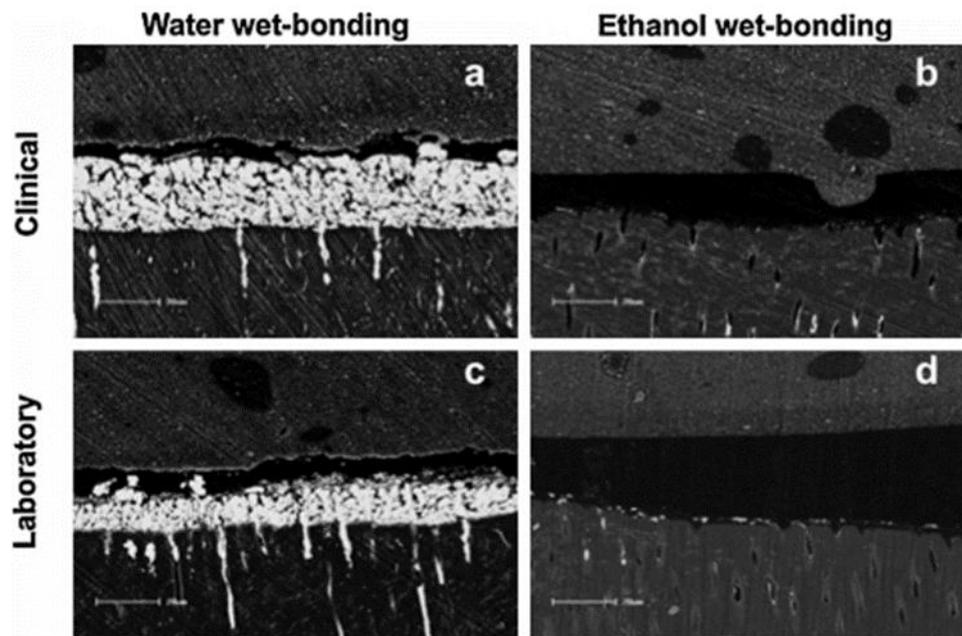
Inversement, dans les conditions cliniques de l'étude, il y a une pression de fluide dentinaire à travers la dentine exposée, capable de contaminer la couche hybride lors du protocole de collage (en WWB ou en EWB). Cette pression pulpaire positive empêche probablement la déshydratation de la dentine déminéralisée et peut être responsable de la pénétration nettement moins profonde à la fois des adhésifs MR3 dans les tubules dentinaires après WWB, mais aussi des adhésifs hydrophobes en EWB. En revanche, l'EWB semble être sensible à la technique, avec une diminution d'environ 25 % des valeurs d'adhérence de l'adhésif hydrophobe sur la dentine.

Les résultats cliniques obtenus pourraient s'expliquer par des différences de pression pulpaire entre les dents temporaires et les dents permanentes. En effet, dans cette étude, le protocole de collage a été fait sur des molaires temporaires, près de la période d'exfoliation. Les auteurs de l'étude ont émis l'hypothèse que, près de la période d'exfoliation, comme la dentine primaire a une perméabilité plus élevée en raison de l'augmentation de la vascularisation des racines des dents avec une résorption avancée, la pression pulpaire serait augmentée. De plus, d'après l'histologie de la dentine des dents temporaires, les tubulis dentinaires en densité plus importante, sont plus larges et donc plus perméables au fluide dentinaire.

De plus, l'utilisation d'un anesthésique avec vasoconstricteur (différent de celui employé dans cette étude) aurait peut-être pu empêcher la contamination de la couche hybride par le fluide pulpaire.

Les résultats au microscope des nanofuites obtenues montre une nanofuite accrue dans les groupes en WWB (dans le groupe laboratoire et le groupe clinique).

Figure 13 : Microscopies à balayage rétrodiffusées des interfaces adhésives des groupes expérimentaux : les nanofuites



Source : Kuhn et al : «Ethanol-wet bonding technique : clinical versus laboratory findings», 2015.

(a) (c) : vastes dépôts de nitrate d'Ag (taches blanches) observés à l'interface adhésive produite avec WWB dans des conditions cliniques et de laboratoires

(b) (d) : grains de nitrate d'argent isolés observés dans les interfaces adhésives produites avec EWB en condition clinique et de laboratoire

Ces résultats sont des preuves que les interfaces adhésives obtenues en WWB sont plus sujettes à l'absorption d'eau et donc à l'hydrolyse que celles obtenues en EWB

Bien qu'intuitivement, une relation entre les valeurs d'adhérence et les nanofuites soit attendue, cette relation est complexe, et ne montre pas toujours une bonne corrélation.

En conclusion de l'étude, les avantages immédiats de l'EWB observés in vitro n'ont pas été confirmés lorsque le même protocole a été effectué in vivo. En effet, la pression pulpaire simulée dans les conditions de laboratoire (20 cmH₂O) était probablement inférieure à la pression pulpaire clinique, puisque cette dernière a été capable de contaminer la couche hybride lors du protocole de collage.

Cependant, les nanofuites ont diminué dans les interfaces avec l'EWB et peuvent suggérer une résistance supérieure à la dégradation

Puisque cette étude a été menée sur la dentition temporaire, d'autres études cliniques sur dents permanentes et sur des échantillons plus grands sont nécessaires pour valider ou infirmer les résultats in vitro.

3.2 L'efficacité de l'EWB selon le système adhésif

3.2.1 Adhésif hydrophile/hydrophobe

3.2.1.1 Solubilité augmentée des adhésifs contenant des molécules hydrophiles en EWB simplifié

Même avec les résines hydrophiles, l'EWB permettait d'obtenir des valeurs d'adhérences plus élevées qu'en WWB⁵².

En 2019, un essai clinique randomisé en double aveugle a évalué la performance sur 6 mois de restaurations collées avec l'EWB simplifié (pendant 60s) selon différents protocoles adhésifs⁵³. Les participants à l'essai ont été soumis de manière aléatoire à l'un des quatre protocoles adhésifs suivant sur leur lésion cervicale d'usure (l'isolement a été fait par un écarteur labial, des cotons salivaires, un cordonnet rétracteur et une aspiration continue) :

1-NE : groupe témoin sans éthanol (MR3 : gold standard)

2-E : éthanol+ MR3(primaire et adhésif)

3-EB : éthanol+ adhésif hydrophobe (la 3ème étape du MR3)

4-EU : éthanol + adhésif universel(hydrophile)

Pour cela, des évaluateurs extérieurs ont analysé les restaurations réalisées selon les critères d'évaluation de l'USPHS (cf *annexe*) sans connaître la nature du protocole adhésif utilisé.

⁵² Souza, Di Nicoló, et Bresciani, « Influence of ethanol-wet dentin , adhesive mode of application , and aging on bond strength of universal adhesive ».

⁵³ Souza et al., « Six-month performance of restorations produced with the ethanol-wet-bonding technique : a randomized trial ».

Les résultats de cette étude ont été satisfaisants uniquement pour les adhésifs contenant des molécules hydrophiles tels que l'adhésif MR3 ou l'adhésif universel, utilisés avec l'EWB simplifié. Ils ont été insatisfaisants avec les adhésifs hydrophobes.

En effet, la première hypothèse serait que, la viscosité de l'adhésif hydrophobe pourrait limiter l'infiltration de monomères entre les fibres de collagène de la dentine déminéralisée. En revanche, dans les systèmes adhésifs contenant des molécules hydrophiles, des solvants organiques associés à ces molécules tels que l'acétone et l'éthanol (préférés à l'eau) encouragent l'infiltration de monomères de résine entre les fibrilles de collagène par diminution de la viscosité de l'adhésif. Ces solvants se lient aux molécules H₂O par des liaisons hydrogène et grâce à leur capacité d'évaporation, vont permettre l'élimination des molécules d'eau présentes dans la dentine déminéralisée. (Cependant, la présence de solvant résiduel dans l'interface adhésive pourrait entraîner des perturbations dans la réaction de polymérisation, ce qui réduirait les valeurs d'adhérence.)

Une deuxième hypothèse serait que les résultats aient été influencés par le choix du protocole de l'EWB simplifié dans lequel la déshydratation se fait par une seule application d'éthanol à 100 %, pendant 1 minute. Le temps pourrait être insuffisant pour éliminer suffisamment d'eau. De plus l'éthanol à 100 %, s'évapore plus rapidement que l'eau, les molécules d'eau n'auront pas eu le temps d'être entièrement remplacées par l'éthanol.

Ainsi, les adhésifs hydrophobes ne seraient pas tolérants à la présence d'eau résiduelle et ne pourraient donc pas pénétrer correctement dans une dentine contenant encore des molécules d'eau. Il serait intéressant de réaliser cet essai avec le protocole d'EWB en concentration croissante d'éthanol, et de comparer les résultats.

Enfin, l'eau résiduelle dans la dentine pourrait également provenir de l'eau dentinaire. En effet, dans l'étude, le collage se fait sur des lésions cervicales d'usure et donc sur une dentine à proximité pulpaire et pouvant être perméable si ces lésions sont récentes et actives. De plus, lors des restaurations cervicales, une certaine rigueur opératoire est nécessaire pour isoler la dent de la salive ; l'étanchéité cervicale parfaite est souvent difficile à obtenir.

Cette étude conclue que l'EWB simplifié avec un adhésif hydrophile semble être une alternative au WWB (d'après les résultats d'analyse des restaurations selon les critères de l'USPHS) mais il faut faire attention à ne pas tirer de conclusion hâtive de cette étude. En effet, les tests d'adhérences n'ont pas été réalisés alors que l'adhésion reste l'objectif principal de l'adhésif.

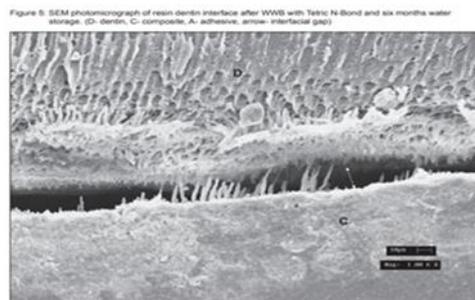
Cette conclusion avait déjà été mise en évidence, dans une étude in vitro de 2015⁵⁴, dans laquelle les auteurs avaient comparé pour des adhésifs MR2, les valeurs d'adhérence immédiate et celles à 6 mois avec l'EWB simplifié ou WWB. Les valeurs d'adhérence immédiates ne présentaient pas de différences significatives quelle que soit la technique de collage ou l'adhésif utilisé.

En revanche, après 6 mois de vieillissement, alors qu'en WWB les valeurs d'adhérence des adhésifs MR2 (Tetric Bond N et Solobond) avaient chuté de façon spectaculaire, elles étaient maintenues en EWB simplifié (cf figures 14 et 15).

Il faut garder en tête que, même si ces résultats confirment ceux évoqués dans l'étude précédente, il s'agit seulement d'une comparaison d'une étude in vivo avec une étude in vivo.

Ci-dessous, des images au MEB, après 6 mois de stockage dans l'eau, de l'interface dentine-adhésif (MR2 : Tetric N Bond) en WWB (cf. figure 14) et en EWB (cf figure 15) :

Figure 5 : SEM photographies de l'interface dentine-adhésif en WWB par adhésif contemporain MR Tetric N-Bond après 6 mois de stockage dans l'eau.



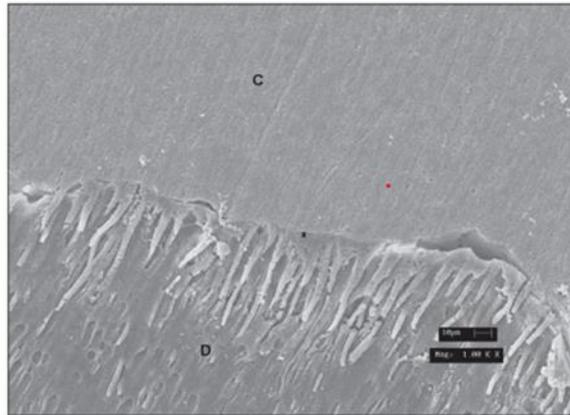
Source : Manuja, et Pandit, « Effect of ethanol wet bonding technique on the durability of resin- dentin bond with contemporary adhesive systems », 2015.

Les images obtenues en MEB (microscope électronique à balayage) des groupes en WWB à six mois, mettent en évidence un espace généralisé le long de l'interface dentine-résine.

⁵⁴ Nagpal, Manuja, et Pandit, « Effect of ethanol wet bonding technique on the durability of resin- dentin bond with contemporary adhesive systems ».

Figure 6 : SEM photographies de l'interface dentine-adhésif en EWB par adhésif contemporain MR Tetric N-Bond après 6 mois de stockage dans l'eau

Figure 6: SEM photomicrograph of resin dentin interface after EWB with Tetric N-Bond and six months water storage. (D- dentin, C- composite, A- adhesive)



Source : Manuja, et Pandit, « Effect of ethanol wet bonding technique on the durability of resin- dentin bond with contemporary adhesive systems », 2015.

L'observation au MEB dans les groupes en EWB après 6 mois, montre une bonne étanchéité interfaciale.

3.2.1.2 Des adhésifs le plus hydrophobe possible contre l'hydrolyse dans le temps

Dans les précédentes études, une période d'évaluation plus longue aurait été intéressante pour comparer réellement la longévité du collage résine-dentine en fonction des différents systèmes adhésifs utilisés (plus ou moins hydrophiles).

Ainsi, en 2019 une étude in vivo de Silva⁵⁵, a évalué sur 18 mois, les performances de l'éthanol à 70 % (pendant 20s) comme prétraitement à la dentine avant le collage d'un adhésif MR2 et a montré une diminution importante des valeurs d'adhérence après 18 mois. Le protocole de collage a été réalisé sous digue, sur une dentine saine, en occlusale, (à une profondeur de deux mm) sous anesthésie locale (contenant des vasoconstricteurs).

Ces résultats obtenus sont expliqués par un protocole clinique ne suivant pas les étapes de l'EWB. En effet, l'excès d'éthanol n'a pas été séché après son application (tout en faisant attention à laisser la dentine humide).

⁵⁵ Silva, Feitosa, et Sabóia, « Ethanol as dentin pretreatment on the bonding performance of a two-step etch-and-rinse adhesive : an In vivo study ».

Ainsi, au lieu d'éliminer l'eau, l'éthanol va au contraire, augmenter l'humidité du substrat dentinaire partiellement déminéralisé, par la présence d'eau dans sa composition (70 % éthanol, 30 % eau). Le revêtement de fibrilles de collagène va être altéré et l'évaporation du solvant va être compromise.

De plus, le protocole avec 70 % d'éthanol pendant 20 secondes est inefficace pour éliminer toute l'eau de la matrice tout en sachant que dans les conditions cliniques de l'étude, il y a un risque de contamination par l'eau pulpaire.

Même si l'eau résiduelle laissée par le protocole favorise l'infiltration de l'adhésif MR2 (contenant des molécules hydrophiles), après 18 mois, celle-ci va entraîner l'hydrolyse de la matrice dentinaire.

Ito, Tay et Yiu^{56, 57} et al avaient déjà souligné que, pour améliorer la longévité du collage résine-dentine, les futurs adhésifs devront être plus hydrophobes que les adhésifs actuels (contenant souvent de l'eau ou des molécules hydrophiles dans le primer). L'infiltration d'un maximum de monomères hydrophobes serait recherchée pour une couche hybride plus hydrophobe et résistante à la fois mécaniquement et biologiquement, puisque moins soumise à hydrolyse. En effet, les résines hydrophobes polymérisées après l'EWB présentent une réduction de l'absorption l'eau quintuplée par rapport aux résines hydrophiles polymérisées.⁵⁸

Ces dernières devraient être mélangées à des solvants (différents de l'eau), pour pouvoir correctement infiltrer les fibres de collagène.

3.2.2 Type de solvant

Une étude a testé si les différents types de solvants utilisés dans les adhésifs pouvaient affecter les valeurs d'adhérence lors de la réalisation d'EWB simplifié (100 % éthanol) ou de WWB⁵⁹

Les résultats de cette étude ont révélé qu'il n'y avait pas de différence significative pour tous les adhésifs testés, qu'ils soient composés d'acétone ou d'éthanol comme solvant, que ce soit en WWB ou EWB.

L'analyse des matrices dentinaires saturées de mélange éthanol/eau, révèle la présence d'eau résiduelle mélangée aux différents solvants après l'EWB en protocole simplifié (100 % d'éthanol pendant 1 minute).

⁵⁶ Ito et al., « Effects of resin hydrophilicity on water sorption and changes in modulus of elasticity ».

⁵⁷ Malacarne et al., « Water sorption/solubility of dental adhesive resins ».

⁵⁸ Kuhn et al., « Ethanol-wet bonding technique : clinical versus laboratory findings ».

⁵⁹ Ayar, « Effect of simplified ethanol-wet bonding on microtensile bond strengths of dentin adhesive agents with different solvents ».

Par conséquent, à cause de cette eau résiduelle présente dans la dentine après l'EWB en protocole simplifié, l'influence des différents solvants présents dans les adhésifs sur les valeurs d'adhérence ne peut pas être mise en évidence dans cette étude puisque cette eau va dans tous les cas altérer la pénétration des monomères entre les fibres de collagène.

Cependant, plusieurs études utilisant l'EWB simplifié, ont montré des valeurs d'adhérence supérieures lorsque les adhésifs contenaient de l'éthanol par rapport à l'acétone.

Ces études sont :

-L'essai clinique randomisé de Souza et al.,⁶⁰ réalisé avec l'EWB simplifié dans lequel l'auteur avance l'hypothèse que puisque l'adhésif universel contient de l'éthanol comme solvant, alors l'infiltration des monomères dans la dentine augmente en EWB et par conséquent les valeurs d'adhérences se trouvent améliorées.

-Une étude in vitro en 2015⁶¹, dans laquelle, les adhésifs à base d'éthanol tels que Single Bond (SB) et Single Bond Multi Propose (SBMP) ont montré des performances d'hybridation et des valeurs d'adhérence statistiquement plus élevées que les adhésifs à base d'acétone (One Step et All Bond2) lorsqu'ils sont appliqués sur la dentine par l'EWB simplifié (100 % éthanol).

Les auteurs de cette étude expliquent l'effet du solvant présent dans l'adhésif sur la qualité de la couche hybride et les valeurs d'adhérence, par la loi de Raoult.

En vertu de cette loi, l'application d'adhésifs à base d'acétone sur la dentine saturée en éthanol donne un mélange acétone / éthanol, qui est plus volatile (pression de vapeur plus élevée) que tout autre mélange de solvants (éthanol / eau, acétone / eau et même un « mélange » éthanol / éthanol).

En effet, la loi de Raoult est illustrée par la formule suivante :

⁶⁰ Souza et al., « Six-month performance of restorations produced with the ethanol-wet-bonding technique : a randomized trial ».

⁶¹ Sartori et al., « Permeation of intrinsic water into ethanol- and water-saturated , monomer-infiltrated dentin bond interfaces ».

$$P_J = x_J \cdot P_J^* \quad (\text{loi de Raoult})$$

où P_J est la pression de vapeur partielle de J au-dessus de la solution

x_J est la fraction molaire de l'espèce J en solution

P_J^* est la pression de vapeur de l'espèce pure

La pression de vapeur totale d'un mélange est donc égale à la somme des pressions de vapeurs partielles des deux constituants.

En conséquence de cette loi, comparer par exemple la pression de vapeur du mélange acétone/éthanol par rapport à celle du mélange éthanol/éthanol, revient à comparer les pressions de vapeur partielles de l'éthanol et celle de l'acétone à l'état pur. Or, la pression de vapeur partielle de l'éthanol étant plus faible (5,9 kPa à 20 °C) que celle de l'acétone (24,7 kPa à 20 °C), le mélange éthanol/éthanol est moins volatile que le mélange éthanol/acétone (qui s'évapore donc plus rapidement).

Ainsi, les adhésifs solvatés à l'éthanol bénéficient de plus de temps pour la pénétration des monomères dans la dentine saturée en éthanol par rapport aux adhésifs solvatés à l'acétone. (L'évaporation des solvants (éthanol) ne se fait pas avant l'infiltration des adhésifs.)

Ainsi, le solvant utilisé dans l'adhésif semble jouer un rôle important dans la formation de la couche hybride puisqu'il peut améliorer l'infiltration des monomères entre les fibres de collagène.

Il est à noter que l'éthanol et l'acétone peuvent également réagir en formant les produits tels que des hémiacétals et de l'eau, mais cette réaction a besoin d'une certaine acidité pour se produire, et peut ne pas être pertinente pour les adhésifs MR (avec un pH plus élevé entre 4 et 6).

3.2.3 L'EWB et les adhésifs SAM et universels : la controverse sur la nécessité d'un mordantage préalable

Le collage dentinaire des SAM avec un mordantage supplémentaire à l'acide phosphorique a été discuté par divers auteurs et reste controversé.

Les adhésifs universels (Bond Universel ; Single Bond Universal...) peuvent être utilisés comme un SAM mais aussi comme un MR avec mordantage préalable et rinçage.

Parmi les nombreux auteurs, Ahn et al se sont intéressés ⁶²à l'effet d'un mordantage à l'acide phosphorique supplémentaire avant l'application des SAM1 sur la dentine saturée en éthanol (EWB). Dans cette étude, les auteurs n'ont pas différencié les adhésifs universels des SAM1.

Les SAM1 utilisés en clinique sont classés en trois catégories (Van Meerbeek et al.) en fonction de leur valeur de pH (dépendant de la composition et de la concentration en monomères acides).

Il existe les SAM doux (pH de 2,5 ou plus), modérés (pH d'environ 1) et forts (pH <1). En fonction de leur pH, la profondeur d'infiltration des adhésifs SAM au niveau de la dentine varie.

Après mordantage à l'acide phosphorique 37 % (de pH acide 0.1) la déminéralisation de la matrice dentinaire sera d'autant plus importante que le niveau d'acidité des monomères sera élevé. Il faudra alors veiller à la pénétration complète des monomères dans la matrice déminéralisée.

Dans cette étude, lorsque le pH des monomères acides était inférieur à 2, les résultats montraient une infiltration d'adhésif incomplète dans le réseau de collagène déminéralisé en raison d'une déminéralisation excessive par l'action combinée de l'acide phosphorique et du primer acide (contenu dans l'adhésif). En outre, cette infiltration incomplète de l'adhésif peut s'expliquer par l'élimination de l'hydroxyapatite résiduelle de la maille de collagène pouvant réduire le potentiel d'adhésion chimique avec l'adhésif.

Lorsque le pH des monomères acides était compris entre 2,4 et 2,7, les monomères ne déminéralisaient pas trop la dentine même avec un mordantage préalable. Ces adhésifs sont donc appropriés pour une infiltration favorable des monomères dans la dentine déminéralisée.

Ces résultats montrent que l'effet d'un mordantage à l'acide phosphorique sur les valeurs d'adhérence des SAM pourrait être influencé par le pH des monomères acides de l'adhésif. A pH doux >2, le mordantage à l'acide phosphorique est intéressant avant l'application de l'adhésifs SAM pour une infiltration optimale des monomères.

De plus, les résultats montrent une variation des valeurs d'adhérence de différents systèmes adhésifs SAM, à pH identique après mordantage à l'acide phosphorique. Cela laisse supposer que la force de liaison des adhésifs pourrait dépendre à la fois du pH mais aussi de la composition chimique des adhésifs.

⁶² Ahn et al., « Effect of additional etching and ethanol-wet bonding on the dentin bond strength of one-step self-etch adhesives ».

Dans cette étude, le pH des adhésifs a été tiré du rapport des fabricants. Cependant, il est possible que les méthodes d'analyse du pH soient différentes d'un fabricant à l'autre. Par conséquent, pour obtenir des preuves plus scientifiques et précises, la mesure du pH serait peut-être nécessaire. Pour mieux comprendre les facteurs qui contribuent aux caractéristiques de collage, davantage d'adhésifs avec pH différents, en particulier un pH supérieur à 3,0, doivent être testés. De plus, les études in vitro à long terme devraient étudier la stabilité du collage dans le temps.

Si dans cette étude datant de 2015, les adhésifs SAM/universels testés uniquement avec mordantage préalable étaient efficaces en fonction du pH des monomères acides qu'ils contenaient (notamment à pH doux). A l'inverse, dans une étude plus récente de Souza et al. ⁶³ (datant de 2018) sur l'EWB, l'efficacité des adhésifs universels a été testée avec et sans mordantage préalable. Il en résulte que les adhésifs universels étaient plus efficaces quand ils étaient utilisés sans mordantage préalable (les adhésifs à pH doux auto-mordançant seraient recommandés).

Parmi les hypothèses nulles évaluées dans cette étude, deux d'entre elles sont intéressantes :

H1 : L'utilisation de l'EWB influence positivement les valeurs d'adhérences des adhésifs universels.

H2 : Le mode d'application de l'adhésif universel (avec / sans mordantage préalable) n'influence pas les valeurs d'adhérences.

L'hypothèse 1 a été validé : l'EWB permettrait d'obtenir des valeurs d'adhérence plus élevées pour les adhésifs universels qu'avec la technique classique, même après vieillissement.

En effet, l'éthanol interagit avec la boue et la matrice dentinaire afin d'éliminer l'eau pour que les cristaux d'hydroxyapatite (entourant les fibres de collagène) mis en évidence puissent se lier au système adhésif. Ces cristaux d'hydroxyapatite sont normalement instables en milieu aqueux et finissent par être dissous dans l'eau. En effet, ces adhésifs favorisent la liaison du 10-MDP contenu dans l'adhésif universel, aux ions calcium de la dentine (liaison chimique mineur se rajoutant à la composante micromécanique, et pouvant maintenir la durabilité de la liaison de l'interface adhésive à long terme).

⁶³ Souza, Di Nicoló, et Bresciani, « Influence of ethanol-wet dentin , adhesive mode of application , and aging on bond strength of universal adhesive ».

L'hypothèse 2 a été rejetée puisque les meilleurs résultats d'adhérences ont été obtenus lorsque l'adhésif a été appliqué sans mordantage préalable.

La capacité de liaison des adhésifs universels utilisés en auto-mordantage en EWB, pourrait également être expliquée par la présence d'un copolymère d'acide polyalcooïque contenu dans ces adhésifs capables de se lier comme le 10 MDP à l'hydroxyapatite de la matrice dentinaire saturée en éthanol.

Dans le cas d'un mordantage (à l'acide phosphorique) préalable à l'application des adhésifs universels, les cristaux d'hydroxyapatite seraient éliminés et pourraient ainsi empêcher la formation de liaisons avec des monomères fonctionnels des adhésifs universels.

De plus, après ce mordantage préalable, une déminéralisation excessive peut se produire entraînant une infiltration incomplète des monomères. Cette dernière génère des nanofuites responsables de la dégradation hydrolytique et enzymatique des fibres de collagènes non protégées dans le temps.

Ainsi l'EWB a un effet supplémentaire sur les adhésifs SAM1 et universels utilisés en auto-mordantage. Grâce à l'élimination de l'eau, les cristaux d'hydroxyapatite non dilués vont être disponibles pour se lier aux adhésifs, entraînant une augmentation de leur valeur d'adhérence. Ces cristaux permettent, d'une part, de protéger les fibres de collagène de la dégradation et d'autre part, de constituer un support potentiel pour des interactions chimiques, entre l'adhésif (par le 10 MDP et éventuellement l'acide polyalcooïque) et l'hydroxyapatite de la dentine.

En conclusion, les différents composants des systèmes adhésifs (10-MDP, acide polyalcooïque, type de solvant, monomère hydrophile comme HEMA etc.) semblent influencer l'efficacité de l'EWB.

Pour optimiser l'efficacité de l'EWB, il faudrait associer au protocole d'éthanol en concentration croissante, un adhésif le plus hydrophobe possible, de viscosité adapté (par un mélange avec une quantité d'éthanol adéquate), et de pH adapté pour les adhésifs automordantants.

Il est probablement difficile de contrôler l'influence des proportions de tous les composants des adhésifs, l'idéal serait peut-être de fabriquer des adhésifs spécifiques à l'EWB.

4 : Enquête menée auprès d'un panel de chirurgiens-dentistes

Une enquête portant sur collage dentinaire et le vieillissement des restaurations a été réalisée auprès d'un panel de chirurgiens dentiste, segmentés par niveau d'expérience. Ce sondage a vocation à mettre en perspective et compléter les éléments décrits plus hauts, en interrogeant les dentistes sur l'intérêt qu'ils portent au collage dans leur pratique.

Dans un premier temps, ce sondage questionne les praticiens sur leurs connaissances relatives au collage dentinaire (difficultés et limites), aux différents protocoles adhésifs actuels, et enfin sur leur rigueur clinique.

Ensuite, il interroge les praticiens sur leurs opinions concernant les protocoles adhésifs actuels et sur l'œil critique qu'ils portent sur leurs restaurations adhésives, pour enfin, savoir si, en connaissance des inconvénients d'un nouveau protocole plus performant (temps et matériels supplémentaires), ils seraient désireux ou non d'améliorer leur performance de collage.

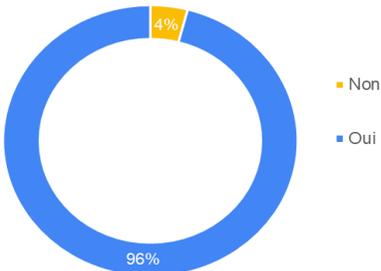
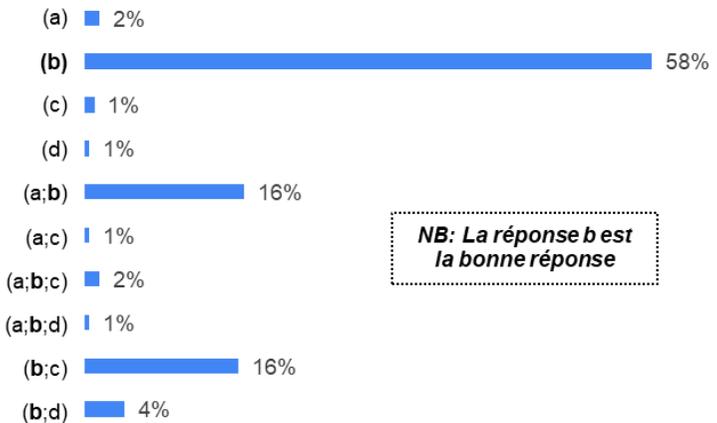
4.1 Éléments caractéristiques du sondage réalisé

- Le questionnaire comprend 10 questions (dont une première demandant le niveau d'expérience de la personne)
- La population a été catégorisée selon 3 segments : i) Etudiants/Praticiens ayant moins de 5 ans d'expérience ; ii) Praticiens ayant moins de 15 ans d'expérience ; iii) Praticiens ayant plus de 15 ans d'expérience
- La taille du panel est de 196 praticiens comprenant 80 étudiants/praticiens ayant moins de 5 ans d'expérience, 63 praticiens ayant moins de 15 ans d'expérience et 53 praticiens ayant plus de 15 ans d'expérience

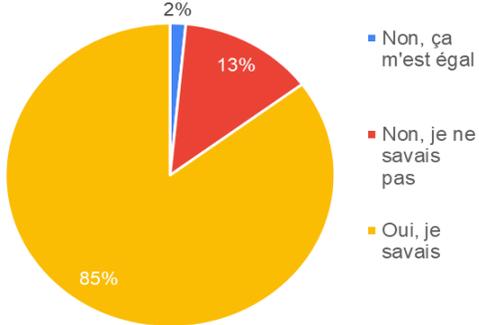
4.2 Présentation des questions adressées et analyse des résultats associés

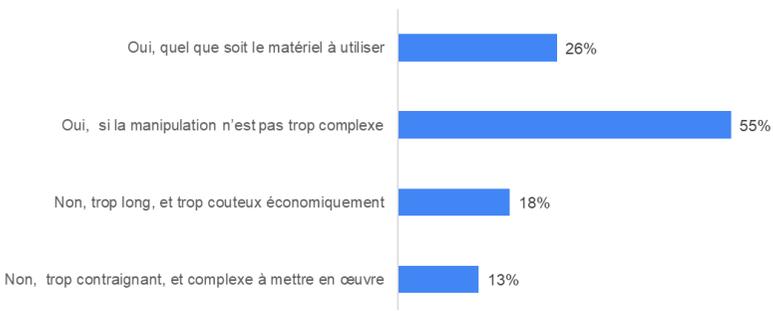
Tableau 2 : Synthèse des questions et résultats du questionnaire lié au collage dentinaire et le vieillissement des restaurations

Question adressée	Analyse des résultats	Schéma illustratif des réponses																				
<p>1) Vous êtes :</p> <p>a) Etudiant(e) ou praticien(ne) <5 ans</p> <p>b) Praticien(ne) < 15 ans</p> <p>c) Praticien(ne) > 15 ans</p>	<p>Parmi le panel de dentistes interrogées et ayant répondu à l'enquête, la plus grande partie correspond aux étudiants/jeunes praticiens de <5 ans (41%), suivi des praticiens <15 ans (32%) et enfin des praticiens ayant plus de 15 ans d'expérience.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Catégorie</th> <th>Nombre</th> <th>Pourcentage</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Etudiant/Praticien <5 ans</td> <td>80</td> <td>41%</td> </tr> <tr> <td>Praticien < 15 ans</td> <td>63</td> <td>32%</td> </tr> <tr> <td>Praticien > 15 ans</td> <td>53</td> <td>27%</td> </tr> </tbody> </table>	Catégorie	Nombre	Pourcentage	Etudiant/Praticien <5 ans	80	41%	Praticien < 15 ans	63	32%	Praticien > 15 ans	53	27%								
Catégorie	Nombre	Pourcentage																				
Etudiant/Praticien <5 ans	80	41%																				
Praticien < 15 ans	63	32%																				
Praticien > 15 ans	53	27%																				
<p>2) Posez-vous la digue lors de vos collages ?</p> <p>a) Oui, systématiquement</p> <p>b) Oui, dans certaines conditions (collage de pièces prothétiques/ endo, / quand j'ai le temps)</p> <p>c) Non, jamais</p>	<ul style="list-style-type: none"> Plus d'un tiers des dentistes posent la digue systématiquement Environ la moitié des étudiants/jeunes praticiens <5ans (54%) le font systématiquement et une proportion quasi équitable des <15 ans le font systématiquement (41%) ou sous certaines conditions (43%) Parmi ceux qui ne posent pas la digue, la majorité sont ceux de plus de 15 ans 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Réponse</th> <th>Etudiant/Praticien <5 ans</th> <th>Praticien<15 ans</th> <th>Praticien> 15 ans</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Non, jamais</td> <td>11%</td> <td>16%</td> <td>32%</td> <td>18%</td> </tr> <tr> <td>Oui, dans certaines conditions</td> <td>35%</td> <td>43%</td> <td>43%</td> <td>40%</td> </tr> <tr> <td>Oui, systématiquement</td> <td>54%</td> <td>41%</td> <td>25%</td> <td>42%</td> </tr> </tbody> </table>	Réponse	Etudiant/Praticien <5 ans	Praticien<15 ans	Praticien> 15 ans	Total	Non, jamais	11%	16%	32%	18%	Oui, dans certaines conditions	35%	43%	43%	40%	Oui, systématiquement	54%	41%	25%	42%
Réponse	Etudiant/Praticien <5 ans	Praticien<15 ans	Praticien> 15 ans	Total																		
Non, jamais	11%	16%	32%	18%																		
Oui, dans certaines conditions	35%	43%	43%	40%																		
Oui, systématiquement	54%	41%	25%	42%																		

Question adressée	Analyse des résultats	Schéma illustratif des réponses
<p>3) Connaissez-vous le type d'adhésif que vous utilisez ?</p> <p>a) Oui. b) Non.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La majorité des personnes considèrent connaître le type d'adhésif utilisé. • Parmi les quelques dentistes qui ne le connaissent pas, la population la plus concernée est celle des praticiens de < 15 ans. 	 <p>A donut chart with a legend. The legend shows a yellow square for 'Non' and a blue square for 'Oui'. The donut chart has a small yellow slice representing 4% and a large blue slice representing 96%.</p>
<p>4) Parmi les réponses proposées ci-dessous, lesquelles sont vraies ?</p> <p>a) La fraise utilisée pour la préparation de la dent n'a pas d'impact sur la qualité du collage.</p> <p>b) Le temps de mordantage influe sur la qualité de collage</p> <p>c) Le séchage complet de la dentine améliore la qualité de collage.</p> <p>d) La façon d'appliquer l'adhésif n'influe pas sur la qualité de collage.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La majorité des personnes ont mis la bonne réponse (b) et uniquement la bonne réponse (58%) • Ceux qui ont mis la bonne réponse mais aussi une mauvaise réponse représentent 35% de l'échantillon de dentistes. <ul style="list-style-type: none"> ○ Ceux qui ont mis ((b;c), 16%) n'ont soit pas compris la proposition « c », soit font une véritable erreur de manipulation. ○ La question « a » étant piègeuse, ceux qui ont mis (a;b) comme réponses (16%) semblent être familier avec le collage. • 5% n'ont jamais cité la bonne réponse. 	 <p>A horizontal bar chart showing the distribution of responses. The bars are blue. The legend indicates: (a) 2%, (b) 58%, (c) 1%, (d) 1%, (a;b) 16%, (a;c) 1%, (a;b;c) 2%, (a;b;d) 1%, (b;c) 16%, (b;d) 4%. A dashed box contains the text: NB: La réponse b est la bonne réponse.</p>

Question adressée	Analyse des résultats	Schéma illustratif des réponses																				
<p>5) Selon vous, le protocole de collage dentinaire est-il plus simple à mettre en œuvre que le collage amélaire ?</p> <p>a) Oui. b) Non.</p>	<ul style="list-style-type: none"> La grande majorité des dentistes sont conscients de la difficulté plus importante du collage dentinaire par rapport au collage amélaire : 92 % (dont une légère majorité qui comprend les étudiants/praticiens de moins de 5 ans d'expérience) 	<p>■ Non ■ Oui</p>																				
<p>6) Que pensez-vous des protocoles de collage actuels ?</p> <p>a) Satisfaisants b) Trop longs c) Trop compliqués techniquement d) Nécessite trop de matériel</p>	<ul style="list-style-type: none"> Même si la plupart des personnes sont satisfaites (69 %) une part relativement élevée de la population ne l'est pas malgré tout, la majorité en raison de la durée jugée trop importante. Parmi les dentistes qui considèrent que les protocoles actuels sont trop longs, les étudiants/praticiens < 5 ans représentent un part deux fois plus élevée que chacune des autres populations 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Réponse</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Satisfaisants</td> <td>69%</td> </tr> <tr> <td>Trop longs</td> <td>21%</td> </tr> <tr> <td>Nécessitent trop de matériel</td> <td>15%</td> </tr> <tr> <td>Trop compliqués techniquement</td> <td>14%</td> </tr> </tbody> </table>	Réponse	Total	Satisfaisants	69%	Trop longs	21%	Nécessitent trop de matériel	15%	Trop compliqués techniquement	14%										
Réponse	Total																					
Satisfaisants	69%																					
Trop longs	21%																					
Nécessitent trop de matériel	15%																					
Trop compliqués techniquement	14%																					
<p>7) Etes-vous satisfaits de vos collages ou trouvez-vous que vos restaurations collées vieillissent trop vite dans le temps ?</p> <p>a) Satisfait b) Insatisfait c) Je n'ai pas encore assez de recul clinique sur mes restaurations collées.</p>	<ul style="list-style-type: none"> 39 % de la population général est satisfaite, la majorité des dentistes (44%) estime ne pas avoir assez de recul clinique logiquement portée par les moins expérimentés (étudiants ou jeunes praticiens < 15 ans). Parmi les insatisfaits, cela concerne essentiellement les plus expérimentés (en majorité ceux > 15 ans) 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Réponse</th> <th>Etudiant/Praticien <5 ans</th> <th>Praticien <15 ans</th> <th>Praticien > 15 ans</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Insatisfait</td> <td>8%</td> <td>14%</td> <td>36%</td> <td>17%</td> </tr> <tr> <td>Je n'ai pas encore assez de recul clinique sur mes restaurations collées</td> <td>74%</td> <td>40%</td> <td>4%</td> <td>44%</td> </tr> <tr> <td>Satisfait</td> <td>19%</td> <td>46%</td> <td>60%</td> <td>39%</td> </tr> </tbody> </table>	Réponse	Etudiant/Praticien <5 ans	Praticien <15 ans	Praticien > 15 ans	Total	Insatisfait	8%	14%	36%	17%	Je n'ai pas encore assez de recul clinique sur mes restaurations collées	74%	40%	4%	44%	Satisfait	19%	46%	60%	39%
Réponse	Etudiant/Praticien <5 ans	Praticien <15 ans	Praticien > 15 ans	Total																		
Insatisfait	8%	14%	36%	17%																		
Je n'ai pas encore assez de recul clinique sur mes restaurations collées	74%	40%	4%	44%																		
Satisfait	19%	46%	60%	39%																		

Question adressée	Analyse des résultats	Schéma illustratif des réponses															
<p>8) Saviez-vous qu'il reste toujours de l'eau dans la dentine après application des adhésifs actuels ?</p> <p>a) Oui, je savais b) Non, je ne savais pas c) Non, ça m'est égal</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Une grande majorité de l'échantillon (85%) semble savoir qu'il reste de l'eau dans la dentine. 	 <p>■ Non, ça m'est égal ■ Non, je ne savais pas ■ Oui, je savais</p>															
<p>9) Saviez-vous que la manipulation d'un MR3 (adhésif en 3 étapes mordançage/primaire/adhésif), nécessite 3-4 min ? Celle d'un adhésif Universel 2-3min ?</p> <p>a) Oui, je savais b) Non, je ne savais pas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La grande majorité le sait (70 %) • Parmi les 30 % qui ne le savent pas, plus de la moitié correspond aux moins expérimentés (étudiants ou jeunes praticiens) 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Réponse</th> <th>Etudiant/Praticien <5 ans</th> <th>Praticien <15 ans</th> <th>Praticien > 15 ans</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Non, je ne savais pas</td> <td>39%</td> <td>33%</td> <td>13%</td> <td>30%</td> </tr> <tr> <td>Oui, je savais</td> <td>61%</td> <td>67%</td> <td>87%</td> <td>70%</td> </tr> </tbody> </table>	Réponse	Etudiant/Praticien <5 ans	Praticien <15 ans	Praticien > 15 ans	Total	Non, je ne savais pas	39%	33%	13%	30%	Oui, je savais	61%	67%	87%	70%
Réponse	Etudiant/Praticien <5 ans	Praticien <15 ans	Praticien > 15 ans	Total													
Non, je ne savais pas	39%	33%	13%	30%													
Oui, je savais	61%	67%	87%	70%													

Question adressée	Analyse des résultats	Schéma illustratif des réponses										
<p>10) Si un nouveau protocole permettait d'éviter la dégradation hydrique du joint collé dans le temps, seriez-vous prêt à l'apprendre ? <i>Ce protocole prendrait 6 à 7 min et nécessiterait du matériel supplémentaire.</i></p> <p>a) Oui, quel que soit le matériel à utiliser.</p> <p>b) Oui, si la manipulation n'est pas trop complexe.</p> <p>c) Non, trop long, et trop couteux économiquement.</p> <p>d) Non, trop contraignant à mettre en œuvre.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 26 % de la population est prête à apprendre ce nouveau protocole peu importe le temps, coût ou complexité technique que cela implique. • Une bonne proportion des dentistes (55 %) sont enclins à apprendre si cela n'est pas trop complexe. • A l'inverse près de 31 % ne désire pas le faire, principalement pour des raisons de temps et d'argent (orienté principalement par les étudiants et jeunes dentistes qui n'ont pas plus de 15 ans d'expérience) 	 <table border="1"> <caption>Données du schéma illustratif des réponses</caption> <thead> <tr> <th>Réponse</th> <th>Pourcentage</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Oui, quel que soit le matériel à utiliser</td> <td>26%</td> </tr> <tr> <td>Oui, si la manipulation n'est pas trop complexe</td> <td>55%</td> </tr> <tr> <td>Non, trop long, et trop couteux économiquement</td> <td>18%</td> </tr> <tr> <td>Non, trop contraignant, et complexe à mettre en œuvre</td> <td>13%</td> </tr> </tbody> </table>	Réponse	Pourcentage	Oui, quel que soit le matériel à utiliser	26%	Oui, si la manipulation n'est pas trop complexe	55%	Non, trop long, et trop couteux économiquement	18%	Non, trop contraignant, et complexe à mettre en œuvre	13%
Réponse	Pourcentage											
Oui, quel que soit le matériel à utiliser	26%											
Oui, si la manipulation n'est pas trop complexe	55%											
Non, trop long, et trop couteux économiquement	18%											
Non, trop contraignant, et complexe à mettre en œuvre	13%											

Source : Auteur , Enquête externe menée auprès d'un panel de chirurgiens-dentistes sur le thème « collage dentinaire et vieillissement des restaurations » , 2020.

4.3 Synthèse

D'après les résultats obtenus ci-dessus, sur un échantillon de 196 dentistes interrogés, la majorité des dentistes (81 %) sont motivés à utiliser un nouveau protocole pour améliorer leur performance de collage sur la dentine : 26 % sont prêts à le faire quel que soit le matériel utilisé et 55 % sous condition que la manipulation ne soit pas trop complexe.

On peut supposer que parmi les dentistes qui ne désirent pas apprendre le protocole, une bonne proportion ne pose pas la digue. En effet, ceux qui ne posent pas la digue, considèrent probablement qu'elle est une contrainte supplémentaire et ne pourraient donc passer à un protocole nécessitant encore plus de rigueur de l'EWB.

Une question subsiste sur le fait qu'une partie non négligeable de la population (50 %) soit insatisfaite des protocoles adhésifs actuels (notamment pour des raisons de durée et de difficulté technique), alors qu'en parallèle seulement 31 % des praticiens sondés ne sont pas désireux d'apprendre un nouveau protocole pour ces mêmes raisons.

Il en résulte que certains praticiens seraient potentiellement prêts à faire des compromis quant à la durée supplémentaire et/ou la complexité du traitement, si on leur offrait la possibilité d'améliorer leurs soins. En effet, la majorité des dentistes sont bien conscients des difficultés liées au collage dentinaire et même si pour la plupart, ils semblent satisfaits de leurs restaurations collées, d'autres ne le sont visiblement pas et souhaiteraient en ce sens faire évoluer ces pratiques actuelles.

Il est intéressant de noter que pour les praticiens entre cinq et quinze ans d'expérience, il y a tout de même 40 % qui considèrent ne pas avoir encore assez de recul clinique sur leur restauration. Il est d'ailleurs étonnant d'avoir ce résultat, sachant que la longévité d'une restauration directe est en moyenne de sept ans. En effet, les praticiens entre cinq et quinze ans d'expérience devraient commencer à se considérer comme ayant un début de recul clinique.

Par ailleurs, une option intéressante serait de pousser les laboratoires pharmaceutiques à investiguer des travaux R&D sur le sujet d'EWB, afin d'aboutir à un protocole peu complexe de collage EWB en concentration croissante d'éthanol, puisqu' environ 81 % des dentistes se disent prêts à l'utiliser.

Bien que ces résultats soient prometteurs dans l'ensemble, ils doivent toutefois être mis en regard de la taille de l'échantillon, et du fait que ce questionnaire ait été diffusé principalement sur les réseaux sociaux et dans les services odontologiques de l'APHP. En effet, cela explique une part plus importante des réponses des jeunes étudiants ou praticiens de moins de quinze ans d'expérience.

Conclusion

À travers cette revue narrative de la littérature, les différentes études sur l'EWB ont montré depuis 2007, son efficacité in vitro. Cette technique lutte contre le vieillissement de la couche hybride dans le temps et améliore la longévité du collage par rapport à la WWB, par de meilleures valeurs d'adhérence dans le temps.

Mais, l'efficacité de l'EWB in vitro n'a pas toujours été démontrée in vivo. En effet, si cette technique n'a pas d'impact biologique négatif sur la pulpe, en revanche, dans certaines études in vivo, la pression pulpaire serait capable de dégrader la couche hybride et donc d'altérer l'efficacité de l'EWB. Ces études présentent néanmoins des limites puisque, pour les rendre moins contraignantes, c'est le plus souvent le protocole simplifié qui a été utilisé. Ce protocole qui n'élimine pas toute l'eau en excès dans la dentine, a pu influencer négativement les résultats des études. Une question reste encore non résolue actuellement, les échecs de l'EWB in vivo sont-ils dus à l'eau issue d'un protocole insuffisant et/ou à l'eau de la pression pulpaire ?

Cependant, l'eau pulpaire n'a pas toujours d'effet sur le collage. Pour évaluer le risque potentiel de contamination par la pression pulpaire, il est impératif, avant de réaliser le collage, de procéder à une analyse des tissus dentinaires, de leur perméabilité et enfin, du type de cavité. En effet, pour une cavité à proximité pulpaire, l'EWB sera efficace sur une CAD, imperméable au liquide pulpaire alors que sur une dentine saine et donc perméable au liquide pulpaire, son efficacité pourra être altérée. L'EWB est sensible à la technique et une petite quantité d'eau suffit à diminuer les valeurs d'adhérence des adhésifs.

Mais finalement, puisque le substrat dentinaire le plus souvent rencontré par les praticiens est la CAD, le risque de contamination par la pression pulpaire est moins présent. De plus, un moyen simple de diminuer la pression pulpaire est d'utiliser des anesthésiques avec vasoconstricteurs.

Outre cela, si avant 2015, l'EWB semblait être efficace uniquement avec les adhésifs MR. Aujourd'hui, d'après les études, ce protocole est efficace aussi bien avec les adhésifs MR qu'avec les adhésifs universels et SAM. Cependant, pour optimiser davantage l'efficacité de l'EWB, l'adhésif choisit doit être le plus hydrophobe possible et doit contenir un solvant tel que l'éthanol (son efficacité par rapport aux autres solvants ayant été démontré) pour diminuer sa viscosité et faciliter sa pénétration interfibrillaire.

Une question peut se poser sur l'intérêt des molécules hydrophiles présent dans les primaires des adhésifs MR avec l'EWB. Puisque l'éthanol élimine à priori toute l'eau libre, et que l'eau liée restante

ne semble pas empêcher l'infiltration des monomères hydrophobes, on peut se demander si ces molécules hydrophiles n'augmenteraient pas au contraire l'humidité. Comme il est difficile de contrôler tous les composants des adhésifs, il serait intéressant de concevoir un adhésif spécifique et vendu avec l'éthanol.

Enfin, les connaissances sur l'interaction de l'éthanol sur l'eau de la matrice dentinaire ont évolué mais restent actuellement limitées car trop générales. De manière plus précise, nous ne connaissons pas aujourd'hui la nature de l'eau résiduelle selon le protocole utilisé (simplifié ou en concentration croissante).

Les réponses à cette interrogation ainsi qu'aux questions relatives à l'efficacité de l'EWB in vivo, viendront d'autres études de l'EWB in vivo utilisant différents protocoles (notamment le protocole en concentration croissante d'éthanol, le plus efficace actuellement) sur de plus grands échantillons de dentines et sur de longues périodes d'évaluation.

Ainsi, si l'efficacité de l'EWB in vivo venait à être prouvée dans le futur. D'après le sondage précédent sur le collage dentinaire, les chirurgiens-dentistes seraient, pour la plupart d'entre eux, intéressés d'intégrer à leur pratique de nouvelles solutions pour améliorer leurs performances de collage, surtout si la manipulation n'est pas trop fastidieuse.

Ces dernières années, la recherche en dentisterie s'est de plus en plus intéressée aux extraits de plantes, en particulier pour le collage dentinaire. En effet, dans des études de 2015 mais également, plus récemment en 2019, un nouveau moyen d'optimiser la technique de l'EWB simplifié a été évoqué grâce à la baicalein⁶⁴ ou l'epigallocatechine-3-gallate (EGCG)⁶⁵. Ce sont deux composés naturels, aux propriétés multiples : inhibiteur de MMP, activité antibactérienne, antioxydant, biocompatibles, et qui, utilisés à une certaine concentration dans un mélange avec de l'éthanol absolu, entrainerait une diminution des nanofuites et une augmentation des valeurs d'adhérence. Ce protocole serait-il plus efficace que le protocole en concentration croissante d'éthanol qui, comprend plusieurs étapes et peut être chronophage pour une utilisation clinique ? Dans tous les cas, qu'importe le protocole le plus efficace, celui-ci devra très certainement être essayé avant d'être appliqué cliniquement.

⁶⁴ Yi et al., « Combination of baicalein and ethanol-wet-bonding improves dentin bonding durability ».

⁶⁵ Yang et al., « Effect of adjunctive application of epigallocatechin-3-gallate and ethanol-wet bonding on adhesive-dentin bonds ».

Bibliographie

- Agee, K.A., A. Prakki, T. Abu-Haimed, G. H. Naguib, M. Abu Nawareg, A. Tezvergil-Mutluay, D. L. S. Scheffel, et al. « Water distribution in dentin matrices : bound vs. unbound water ». *Dental materials* 31, no 3 (2015): 205-16. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2014.12.007>.
- Aggarwal, V., M. Singla, R. Sharma, S. Miglani, et S. S. Bhasin. « Effects of simplified ethanol-wet bonding technique on immediate bond strength with normal versus caries-affected dentin ». *Journal of conservative dentistry* 19, n° 5 (2016): 419-23. <https://doi.org/10.4103/0972-0707.190009>.
- Ahn, J., K.H. Jung, S.A. Son, B. Hur, Y.H. Kwon, et J.K. Park. « Effect of additional etching and ethanol-wet bonding on the dentin bond strength of one-step self-etch adhesives ». *Restorative dentistry & endodontics* 40, n° 1 (2015): 68-74. <https://doi.org/10.5395/rde.2015.40.1.68>.
- Araújo, C., L. Prieto, G. Abuna, R. Rocha, E. Coppini, D. Oliveira, et L. Paulillo. « Simplified ethanol wet-bonding technique : an alternative strategy for resin-dentin bonding in root canals ». *General dentistry* 67 (2019): e1-5.
- Ayar, M. K. « A review of ethanol wet-bonding : principles and techniques ». *European journal of dentistry* 10, n° 1 (2016): 155-59. <https://doi.org/10.4103/1305-7456.175687>.
- . « Effect of simplified ethanol-wet bonding on microtensile bond strengths of dentin adhesive agents with different solvents ». *Journal of dental sciences* 10, n° 3 (2015): 270-74. <https://doi.org/10.1016/j.jds.2014.06.001>.
- Bianchi, L., A. P. Dias Ribeiro, M. R. de Oliveira Carrilho, D. H. Pashley, C. A. de Souza Costa, et J. Hebling. « Transdental cytotoxicity of experimental adhesive systems of different hydrophilicity applied to ethanol-saturated dentin ». *Dental materials* 29, n° 9 (2013): 980-90. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2013.07.006>.
- Chiba, A., J. Zhou, M. Nakajima, J. Tan, J. Tagami, D. L. S. Scheffel, J. Hebling, et al. « The effects of ethanol on the size-exclusion characteristics of type I dentin collagen to adhesive resin monomers ». *Acta biomaterialia* 33 (2016): 235-41. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2016.01.040>.
- Guimarães, L. A., J. C. F. Almeida, L. Wang, P. H. P. D'Alpino, et F. C. P. Garcia. « Effectiveness of immediate bonding of etch-and-rinse adhesives to simplified ethanol-saturated dentin ». *Brazilian oral research* 26, n° 2 (2012): 177-82. <https://doi.org/10.1590/S1806-83242012000200015>.
- Huang, X., L. Li, C. Huang, et X. Du. « Effect of ethanol-wet bonding with hydrophobic adhesive on caries-affected dentine ». *European journal of oral sciences* 119, n° 4 (2011): 310-15. <https://doi-org.sirius.parisdescartes.fr/10.1111/j.1600-0722.2011.00830.x>.
- Ito, S., M. Hashimoto, B. Wadgaonkar, N. Svizero, R. M. Carvalho, C. Yiu, F. A. Rueggeberg, et al. « Effects of resin hydrophilicity on water sorption and changes in modulus of elasticity ». *Biomaterials* 26, n° 33 (2005): 6449-59. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2005.04.052>.
- Jariyanuwat, T., V. Sirimaharaj, et S. Wanachantararak. « Effect of different intrapulpal pressure simulation on bond strength and resin tags length in primary incisors ». *Dental journal* 36, n° 2 (2016): 8.
- Jee, S. E., J. Zhou, J. Tan, L. Breschi, F. R. Tay, G. Grégoire, D. H. Pashley, et S. S. Jang. « Investigation of ethanol infiltration into demineralized dentin collagen fibrils using molecular dynamics simulations ». *Acta biomaterialia* 36 (2016): 175-85. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2016.03.012>.
- Khoroushi, M., M. Rafizadeh, et P. Samimi. « Bond strength of composite resin to enamel : assessment of two ethanol wet-bonding techniques ». *Journal of dentistry* 11, n° 2 (2014): 150-60.

- Kuhn, E., P. Farhat, A. P. Teitelbaum, A. Mena-Serrano, A. D. Loguercio, A. Reis, et D. H. Pashley. « Ethanol-wet bonding technique : clinical versus laboratory findings ». *Dental materials* 31, n° 9 (2015): 1030-37. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2015.05.010>.
- Li, F., X.Y. Liu, L. Zhang, J.J. Kang, et J.H. Chen. « Ethanol-wet bonding technique may enhance the bonding performance of contemporary etch-and-rinse dental adhesives ». *The journal of adhesive dentistry* 14, n° 2 (2011): 113-20. <https://doi.org/10.3290/j.jad.a21853>.
- Li, M.Z., J.R. Wang, H. Liu, X. Wang, K. Gan, X.J. Liu, D.L. Niu, et X.Q. Song. « Effects of light curing modes and ethanol-wet bonding on dentin bonding properties ». *Journal of zhejiang university-science b* 17, n° 9 (2016): 703-11. <https://doi.org/10.1631/jzus.B1600055>.
- Malacarne, J., R. M. Carvalho, M. F. de Goes, N. Svizero, David H. Pashley, F. R. Tay, C. K. Yiu, et M. R. de Oliveira Carrilho. « Water sorption/solubility of dental adhesive resins ». *Dental materials* 22, n° 10 (2006): 973-80. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2005.11.020>.
- Nagpal, R., N. Manuja, et I. K. Pandit. « Effect of ethanol wet bonding technique on the durability of resin- dentin bond with contemporary adhesive systems ». *The journal of clinical pediatric dentistry* 39, n° 2 (2015): 133-42. <https://doi.org/10.17796/jcpd.39.2.p14u4x3q14272452>.
- Pantoja, C. A. M. S, D. H. Da Silva, A. J. Soares, C. C. R. Ferraz, B. P. F. A Gomes, A. A. Zaia, et J. F. A. Almeida. « Influence of ethanol on dentin roughness, surface free energy, and interaction between AH Plus and root dentin ». *Brazilian oral research* 32 (2018). <https://doi.org/10.1590/1807-3107bor-2018.vol32.0033>.
- Pashley, D. H., F. R. Tay, R. M. Carvalho, F. A. Rueggeberg, K. A. Agee, M. Carrilho, A. Donnelly, et F. García-Godoy. « From dry bonding to water-wet bonding to ethanol-wet bonding . a review of the interactions between dentin matrix and solvated resins using a macromodel of the hybrid layer ». *American journal of dentistry* 20, n° 1 (2007): 7-20.
- Pei, D., X. Huang, C. Huang, Y. Wang, X. Ouyang, et J. Zhang. « Ethanol-wet bonding may improve root dentine bonding performance of hydrophobic adhesive ». *Journal of dentistry* 40, n° 5 (2012): 433-41. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2012.02.005>.
- Reis, A. F., M. Giannini, et P. N. R. Pereira. « Effects of a peripheral enamel bond on the long-term effectiveness of dentin bonding agents exposed to water in vitro ». *Journal of biomedical materials research* 85, n° 1 (2008): 10-17. <https://doi.org/10.1002/jbm.b.30909>.
- Rosales-Leal, J. I., F. J. de la Torre-Moreno, et M. Bravo. « Effect of pulp pressure on the micropermeability and sealing ability of etch & rinse and self-etching adhesives ». *Operative dentistry* 32, n° 3 (2007): 242-50. <https://doi.org/10.2341/06-69>.
- Sadek, F. T., A. Mazzoni, L. Breschi, F. R. Tay, et R. R. Braga. « Six-month evaluation of adhesives interface created by a hydrophobic adhesive to acid-etched ethanol-wet bonded dentine with simplified dehydration protocols ». *Journal of dentistry* 38, n° 4 (2010): 276-83. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2009.11.007>.
- Sartori, N, L. D. Peruchi, J.H. Phark, M. M. Lopes, É. Araújo, L. C. C. Vieira, R. Belli, et S. Duarte. « Permeation of intrinsic water into ethanol- and water-saturated , monomer-infiltrated dentin bond interfaces ». *Dental materials* 31, n° 11 (2015): 1385-95. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2015.08.159>.
- Sauro, S., R. Osorio, T. F. Watson, et M. Toledano. « Assessment of the quality of resin–dentin bonded interfaces : an AFM nano-indentation, μ TBS and confocal ultramorphology study ». *Dental materials* 28, n° 6 (2012): 622-31.
- Scheffel, D. L. S., N. T. Sacono, A. P. D. Ribeiro, D. G. Soares, F. G. Basso, D. H. Pashley, C. S. Costa, et J. Hebling. « Immediate human pulp response to ethanol-wet bonding technique ». *Journal of dentistry* 43, n° 5 (2015): 537-45. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2015.02.014>.
- Silva, F. C. F. A., V. P. Feitosa, et V. P. A. Sabóia. « Ethanol as dentin pretreatment on the bonding performance of a two-step etch-and-rinse adhesive : an In vivo study ». In *European journal of dentistry*, 13:137-42, 2019. <https://doi.org/10.1055/s-0039-1696584>.
- Souza, M. Y., R. Di Nicoló, et E. Bresciani. « Influence of ethanol-wet dentin , adhesive mode of application , and aging on bond strength of universal adhesive ». *Brazilian oral research* 32 (2018). <https://doi.org/10.1590/1807-3107bor-2018.vol32.0102>.

- Souza, M.Y., A. L. B. Jurema, T. M. F. Caneppele, et E. Bresciani. « Six-month performance of restorations produced with the ethanol-wet-bonding technique : a randomized trial ». *Brazilian oral research* 33 (2019). <https://doi.org/10.1590/1807-3107bor-2019.vol33.0052>.
- Yang, H., J. Guo, D. Deng, Z. Chen, et C. Huang. « Effect of adjunctive application of epigallocatechin-3-gallate and ethanol-wet bonding on adhesive-dentin bonds ». *Journal of dentistry* 44 (2016): 44-49. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2015.12.001>.
- Yeşilyurt, C., M. K. Ayar, T. Yıldırım, et M. S. Akdağ. « Effect of simplified ethanol-wet bonding on dentin bonding durability of etchand-rinse adhesives . » *Dental materials journal* 34, n° 4 (2015): 441-48. <https://doi.org/10.4012/dmj.2014-335>.
- Yi, L., J. Yu, L. Han, T. Li, Y. Yang, et C. Huang. « Combination of baicalein and ethanol-wet-bonding improves dentin bonding durability ». *Journal of dentistry* 90 (2019): 103-207. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2019.103207>.

Table des figures

Figure 1 : Schéma de la structure dentinaire	6
Figure 2 : Schémas de couche hybride	12
Figure 3 : Fibres de collagène collapsées (à gauche), redressées par l'éthanol lors de l'EWB (à droite)	16
Figure 4 : Micrographie CSLM de Admira (adhésif MR) appliqué sans pression pulpaire. Rhodamine + fluorescéine. (Colocalisation en jaune/orange)	23
Figure 5 : Micrographie CSLM de Admira (adhésif MR) appliqué sans pression pulpaire. Passage du liquide pulpaire marqué à la fluorescéine.....	23
Figure 6 : Micrographie CSLM de Admira (adhésif MR) appliqué avec pression pulpaire. Rhodamine + fluorescéine	24
Figure 7 : Micrographie CSLM de Admira (adhésif MR) appliqué avec pression pulpaire. Fluorescéine Le fluide pulpaire s'écoule des tubules dentinaires (T) à la couche hybride (H) et envahit entièrement la couche adhésive (A).....	24
Figure 8 : Micrographie CSLM de Xeno (SAM) appliqué sans pression pulpaire. Rhodamine + fluorescéine	24
Figure 9 : Micrographie CSLM de Xeno (SAM) appliqué sans pression pulpaire. Fluorescéine.	24
Figure 10 : Micrographie CSLM de Xeno (SAM) appliqué avec pression pulpaire. Rhodamine + fluorescéine	25
Figure 11: Micrographie CSLM de Xeno (SAM) appliqué avec pression pulpaire. Fluorescéine.....	25
Figure 12 : Liaison de l'eau liée au collagène	29
Figure 13 : Solubilisation de l'éthanol dans l'eau.....	29
Figure 14 : Schéma représentant à l'échelle moléculaire l'infiltration de monomères (BisGMA) dans la matrice collagénique saturée en eau (WWT) ou en éthanol (EWB)	30
Figure 15 : Interface résine/dentine saine observée au microscope (r : résine composite, d : dentine, h : couche hybride).....	34
Figure 16 : Interface résine/ dentine affectée par la carie observée au microscope	34
Figure 17 : Microscopies à balayage rétrodiffusées des interfaces adhésives des groupes expérimentaux : les nanofuites.....	38
Figure 18 : SEM photographies de l'interface dentine-adhésif en WWB par adhésif contemporain MR Tetric N-Bond après 6 mois de stockage dans l'eau.....	41

Figure 19 : SEM photographies de l'interface dentine-adhésif en EWB par adhésif contemporain MR Tetric N-Bond après 6 mois de stockage dans l'eau..... 42

Table des tableaux

Tableau 1 : Valeurs d'adhérence (MPa) obtenues en fonction des stratégies adhésives (WWT ou EWB) et des substrats dentinaires (CAD ou dentine saine)	33
Tableau 2 : Synthèse des questions et résultats du questionnaire lié au collage dentinaire et le vieillissement des restaurations.....	50

Annexes

Critères d'évaluation de l'USPHS (United States of Public Health Service) des restaurations coronaires :

- La rétention ;
- L'adaptation marginale ;
- La coloration marginale ;
- La présence de caries secondaires ;
- La présence de de sensibilités post-opératoires ;
- La qualité de surface.

SCORES	USPHS modified criteria
Retention	
Alfa (A)	No restorative material loss
Charlie (C)	Partial or complete loss of restorative material
Marginal discoloration	
Alfa (A)	No discoloration between tooth structure and restorative material
Bravo (B)	Marginal discoloration which can be polished away
Charlie (C)	Discoloration in interface restorative material and tooth, no able to polish
Marginal adaptation	
Alfa (A)	Closely adapted, no detectable margin
Bravo (B)	Detectable marginal discrepancy clinically acceptable
Charlie (C)	Marginal crevice, clinically unacceptable
Delta (D)	Mobile restoration, partially or totally fractured
Secondary caries	
Alfa (A)	No caries present
Charlie (C)	Caries present
Anatomic form	
Alfa (A)	Continuous, well contoured
Bravo (B)	Slight discontinuity or under contoured without dentin exposure, clinically acceptable
Charlie (C)	Discontinuous, sever under contoured, with dentin exposure, clinically unacceptable
Post-operative sensitivity	
Alfa (A)	No post-operative
Bravo (B)	Sensitive but with intensity decreasing
Charlie (C)	Constant sensitivity, without intensity decreasing
Surface texture	
Alfa (A)	Texture such as enamel
Bravo (B)	Texture such as resin composite
Charlie (C)	Surface with pores or cracks, with dental pick retention

Vu, le Directeur de thèse

Vu, le Doyen de l'UFR d'Odontologie - Montrouge



Docteur Thibaut DROUHET



Professeur Louis MAMAN

Vu, le Président d'université de Paris

Professeur Christine CLERICI

Pour le Président et par délégation,



Le Doyen Louis MAMAN

L'éthanol wet bonding : revue narrative de la littérature sur les treize dernières années

Karen Amanou. L'éthanol wet bonding : revue narrative de la littérature sur les treize dernières années. 2021. 64 p. : ill., tabl. Réf. bibliographiques p. 58-60.

Sous la direction de M. le Docteur Thibaut Drouhet.

Université de Paris
UFR d'Odontologie - Montrouge
1, rue Maurice Arnoux - 92120 Montrouge