

LES SYSTÈMES ADHÉSIFS APRÈS 60 ANS D'ÉVOLUTION : OÙ EN EST-ON EN 2023 ?

AUTEURS

Gauthier WEISROCK
Ancien-AHU,
Aix-Marseille Université,
APHM Marseille.
Co-Rédacteur en chef
de CLINIC.
Exercice libéral à Marseille.

Jacques DEJOU
Professeur émérite,
Aix-Marseille Université.

Liens d'intérêt
Gauthier Weisrock déclare des liens d'intérêt avec Ivoclar en tant que consultant scientifique et déclare que le contenu de cet article ne présente aucun conflit d'intérêts. Jacques Dejou déclare n'avoir aucun lien d'intérêts.

Référencement bibliographique
Weisrock G, Dejou J. Les systèmes adhésifs après 60 ans d'évolution : où en est-on en 2023 ? CLINIC 2023;44(424):??-??.

RÉSUMÉ

Pourquoi et comment ont évolué les systèmes adhésifs depuis 40 ans ? Toutes ces évolutions se sont-elles traduites par des améliorations ? Colle-t-on mieux aujourd'hui sur l'émail et la dentine ? Les adhésifs universels constituent-ils le choix préférentiel aujourd'hui ? L'objectif de cet article est de tenter de répondre à ces questions, avant de proposer des recommandations de choix. On peut résumer brièvement 40 années d'évolutions.

- Les adhésifs simplifiés (M&R2 et SAM1) ne sont pas plus simples à mettre en œuvre que les adhésifs non simplifiés (M&R3 et SAM2).
- Les adhésifs simplifiés ne sont pas plus efficaces que les adhésifs non simplifiés.
- Les adhésifs universels représentent aujourd'hui un bon choix grâce aux monomères fonctionnels qui permettent une réelle adhésion « chimique » à la dentine. Cependant, leur pH ne doit pas être trop acide.
- Le mordançage de l'émail demeure une nécessité, quel que soit le type de système adhésif utilisé. Enfin, des paramètres cliniques tels que l'âge du patient, la profondeur de la cavité, la perméabilité dentinaire, la présence ou non d'émail périphérique et l'impact esthétique d'un vieillissement prématûr du joint dent/restaurations sont aussi à prendre en compte pour le choix d'un système adhésif.

l'adhésion aux tissus dentaires est le résultat d'une aventure scientifique débutée dans les années 1960 et toujours aujourd'hui en constante évolution. Elle a été l'occasion d'un vrai changement de paradigme en odontologie. Auparavant, les restaurations étaient nécessairement encastrées, avec des formes de préparations très mécanistes, pour tenir en « friction » sur les parois dentaires résiduelles. Elles étaient donc couteuses en tissus dentaires (il fallait commencer par mutiler la dent afin de la restaurer ensuite) et risquées sur le plan biologique (nécessitant souvent de dépulper la dent). Avec l'avènement des restaurations collées, la préservation tissulaire et pulinaire est enfin possible, plus fiable, et les options thérapeutiques sont toujours plus nombreuses [1].

DU MORDANÇAGE DE L'ÉMAIL À UNE ADHÉSION DENTINAIRE VÉRITABLE

Les concepts, toujours actuels, d'adhésion à l'émail [2] puis à la dentine [3], fondés sur le mordançage (c'est-à-dire la déminéralisation

partielle) de l'émail et/ou de la dentine, ont constitué une vraie révolution.

Tout commence dans les années 1960, lorsque Buonocore propose de mordancer l'émail avec un acide fort, l'acide phosphorique à 37 % pendant 30 secondes [2]. L'émail, tissu hyperminéralisé et sec, est dissout partiellement en surface, créant ainsi des anfractuosités pouvant être infiltrées aisément par une résine hydrophobe.

Pendant les 30 années suivantes, le mordançage de la dentine est apparu comme une hérésie car considéré comme trop dangereux pour la pulpe.

Et pendant toutes ces années, on a cru adhérer chimiquement à la dentine, tissu minéralisé mais trop humide pour nos résines hydrophobes. On pensait aussi protéger la pulpe en n'éliminant pas la boue dentinaire créée lors de la préparation cavitaire.

Finalement, c'est Nakabayashi qui, en 1982, a proposé d'éliminer la boue dentinaire et de dissoudre la partie minérale de la surface de la dentine en la mordançant [3]. Les fibres de

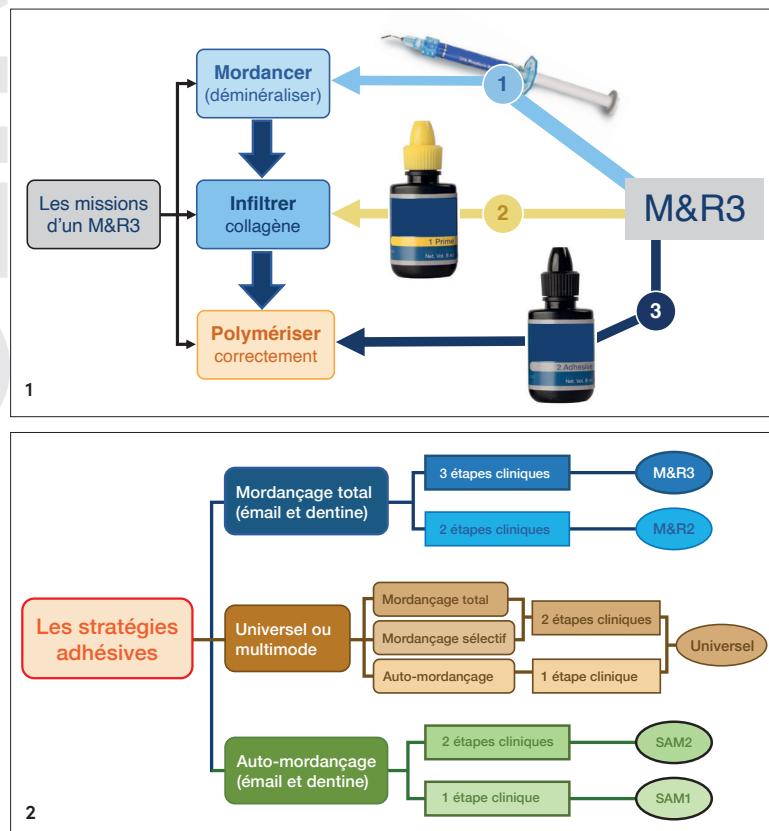


Figure 1
Les missions des 3 composants d'un système adhésif M&R3.

Figure 2
Les 3 familles de systèmes adhésifs en 2023.

collagène de la dentine, qui ne sont pas dissoutes par l'acide, créent un réseau d'anfractuosités, de porosités dans lesquelles une résine peut s'infiltrer pour former ce qui a été appelé la « couche hybride ».

Elle est « hybride », parce qu'elle est composée de 2 polymères :

- un polymère naturel, les fibres de collagène libérées après la déminéralisation de la dentine ;
- un polymère synthétique : la résine infiltrée dans ce réseau de fibres de collagène.

Les premiers systèmes adhésifs conçus pour être utilisés selon ce concept comportaient 3 étapes de mise en œuvre. On les a appelés M&R3 pour Mordançage & Rinçage en 3 étapes.

Chaque étape remplissait (et remplit toujours) une mission unique (figure 1) :

- l'acide phosphorique à 37 % élimine la boue dentinaire et déminéralise la dentine sous-jacente ;
- le primaire (*primer*) infiltré le réseau des fibres de collagènes et remplace l'eau du rinçage par un monomère hydrophile ;
- l'adhésif (*bonding*) hydrophobe crée une

couche étanche en polymérisant correctement et va pouvoir se lier chimiquement avec les matériaux de restauration à base de résine.

Ces systèmes adhésifs sont considérés encore aujourd'hui comme le *gold standard* de la dentisterie adhésive [4].

Depuis 1982, 5 générations de systèmes adhésifs se sont donc succédé et plusieurs alternatives aux M&R3 ont été proposées. Chacune d'entre elles a, bien entendu, rendu obsolètes les générations précédentes alors même qu'aucune étude clinique « sérieuse » n'avait, dans ce cours laps de temps, pu prouver ou non l'efficacité de la génération précédente.

Nous disposons aujourd'hui (figure 2) :

- d'adhésifs avec pré-mordançage acide en 2 ou 3 étapes de mise en œuvre (M&R2 et M&R3) ;
- d'adhésifs auto-mordançants en 1 ou 2 étapes de mise en œuvre (SAM1 et SAM2) ;
- des derniers apparus sur le marché : des adhésifs dits universels ou encore multimodes parce qu'ils peuvent être mis en œuvre avec ou sans mordançage acide de la dentine.

ÉVOLUTIONS DES SYSTÈMES ADHÉSIFS : VERS PLUS DE SIMPLICITÉ ?

De M&R3 vers M&R2

La première idée de simplification a consisté à modifier les adhésifs avec pré-mordançage acide en 3 étapes (M&R3) en supprimant l'étape intermédiaire du *primer* et en proposant une étape 2 unique constituée d'un mélange de monomères hydrophiles et hydrophobes dans le même flacon !

Cette simplification avait pour objectif de proposer des matériaux plus simples à utiliser et donc, peut-être, moins sensibles aux erreurs de manipulation, comme un séchage excessif après rinçage de l'acide phosphorique.

L'absence d'une couche de liaison hydrophobe séparée dans les adhésifs M&R en 2 étapes rend les interfaces résine/dentine plus sensibles à la dégradation *in vitro* et en clinique.

En conséquence, les résultats cliniques des adhésifs M&R en 2 étapes sont moins bons que ceux de leurs prédecesseurs, les adhésifs M&R en 3 étapes.

De M&R vers SAM2 puis SAM1

Après le concept du mordançage/rinçage (M&R), l'autre étape importante du développement des systèmes adhésifs a consisté à supprimer le mordançage à l'acide phosphorique, jugé trop agressif et parfois dangereux pour la pulpe.

Ce nouveau concept a été appelé « adhésion-décalcification ». Il est toujours pertinent.

Ces systèmes ont été nommés Systèmes Auto-Mordançants (SAM).

C'est ainsi que les premiers SAM2 (système auto-mordançant en 2 étapes) ont été mis sur le marché, bientôt suivis par des SAM1 avec 1 seule étape de mise en œuvre.

Quelques remarques concernant les SAM.

- La procédure de mise en œuvre des SAM2 nécessite une étape 2 qui consiste à appliquer puis photopolymériser une résine hydrophobe sur le primaire hydrophile. Cette couche (le *bonding*) est essentielle pour assurer la stabilité à long terme de la couche d'adhésif.

- L'omission de la résine de liaison hydrophobe dans les adhésifs SAM1 les rend plus vulnérables à la dégradation *in vitro* et cette dégradation conduit à de mauvaises performances cliniques [6].

- Les matériaux de restauration (résines composites) et la plupart des colles sont hydrophobes et adhèrent difficilement à un substrat (l'adhésif) contenant de l'eau.

- Du fait de leur nature, les SAM sont acides. Ils sont donc classés en 4 catégories en fonction de leur pH [7] :

- ultradoux ($\text{pH} \geq 2,5$) ;
- doux ($2 \leq \text{pH} < 2,5$) ;
- moyennement fort ($1 \leq \text{pH} < 2$) ;
- fort ($\text{pH} < 1$).

UNE SIMPLIFICATION POUR PLUS D'EFFICACITÉ ?

Les M&R2 sont-ils plus efficaces que les M&R3 ? NON

Dans les adhésifs M&R en 2 étapes, l'absence de la couche de résine hydrophobe séparée (comme dans les M&R3) rend les interfaces résine/dentine plus sensibles à la dégradation *in vitro* et en clinique.

En conséquence, les résultats cliniques des adhésifs M&R en 2 étapes sont moins bons que ceux de leurs prédecesseurs, les adhésifs M&R en 3 étapes.

Les adhésifs avec mordançage et rinçage en 2 étapes ne sont donc ni plus simples à mettre en œuvre, ni plus tolérants, ni plus efficaces que les M&R3 [5].

Leur pH influence-t-il l'efficacité des systèmes auto-mordançants sur la dentine ? OUI

Le pH des adhésifs auto-mordançants détermine leur efficacité [8].

Les adhésifs « doux » ne dissolvent que partiellement la dentine sur une profondeur inférieure à 1 µm, laissant derrière eux une quantité significative de cristallites d'hydroxyapatite qui interagissent chimiquement avec les monomères fonctionnels de l'adhésif.

Le mécanisme d'adhésion dans ce cas est double :

- enchevêtrement micromécanique de l'adhésif avec la dentine partiellement décalcifiée pour former une couche hybride submicrométrique ;
- interaction chimique (ionique) de monomères fonctionnels, tels que des phosphates ou carboxylates, avec le calcium dans l'hydroxyapatite.

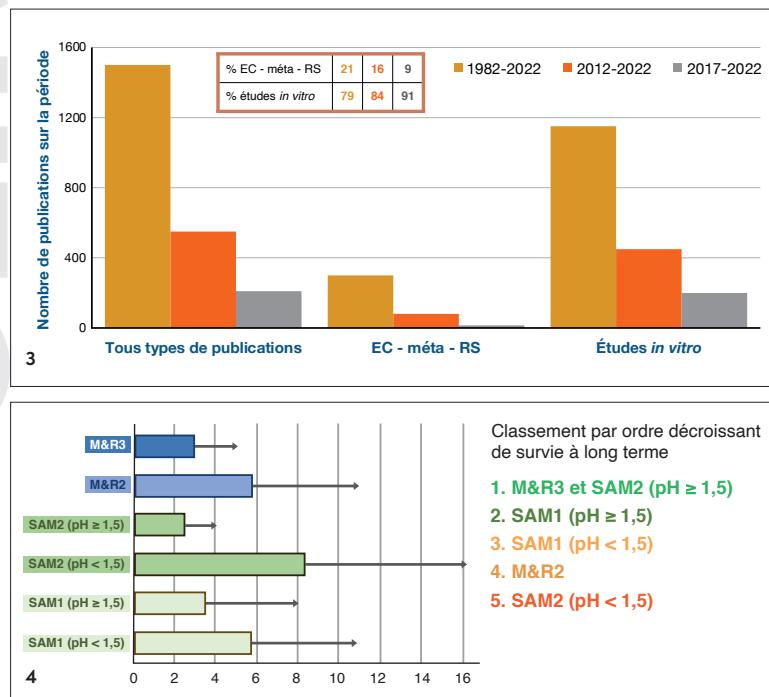
Lorsque le pH est très bas (très acide), la dissolution de l'hydroxyapatite (HAP) au sein de la zone traitée est « totale ». Il n'y a donc plus d'interaction possible entre l'hydroxyapatite et les monomères acides.

Les systèmes auto-mordançants permettent-ils de correctement adhérer à l'émail ? NON

Un des inconvénients majeurs de ces adhésifs est leur difficulté à mordancer l'émail de manière adéquate car ils entraînent un motif de mordançage de l'émail peu profond et mal défini.

Ce défaut peut entraîner la formation d'un hiatus marginal, entraînant une discoloration marginale.

Cependant, ce comportement dépend de leur acidité, du temps d'application et du mode d'application [9].

**Figure 3**

Les publications concernant les performances des systèmes adhésifs. EC : étude clinique. Meta : méta-analyse, RS : Revue systématique de littérature.

Figure 4

Taux d'échec annuel des restaurations en fonction du type d'adhésif mis en œuvre.

Par ailleurs, on a vu que certains de ces adhésifs (ceux dont le pH n'est pas trop faible) peuvent aussi interagir et se lier chimiquement avec la HAP de l'émail.

- Néanmoins, il est recommandé de mordancer systématiquement avec de l'acide phosphorique un émail « non préparé », afin d'éliminer la couche la plus superficielle dont la structure cristalline moins bien organisée ne permet pas la formation d'une rugosité efficace pour une adhésion micro-mécanique.
- Et, dans la plupart des situations, il est fortement recommandé de mordancer sélectivement l'émail lorsqu'on utilise des adhésifs auto-mordançants à $\text{pH} \geq 1,5$ [10].

La réduction des étapes et la suppression du mordançage acide ont-elles amélioré les performances des systèmes adhésifs ? NON

Les essais cliniques sont les seuls qui permettent vraiment d'évaluer le comportement à court, moyen et long terme des adhésifs. Les résultats sont donc exploitables tardivement et souvent après que l'adhésif a été remplacé par une nouvelle version « dite » plus performante. On ne dispose donc que de peu de publications rapportant de tels essais dans la littérature.

En effet, la plupart des essais concernant les matériaux de restauration (dont les adhésifs) sont réalisés *in vitro* (au laboratoire) avec beaucoup de protocoles et de produits différents.

Les résultats sont obtenus rapidement et il y a donc beaucoup de publications (*figure 3*). Malheureusement, ils sont assez souvent peu reproductibles d'une étude à l'autre.

Il existe cependant des méthodes statistiques qui permettent de regrouper les résultats de plusieurs études pour en tirer des conclusions plus larges. Ces méthodes permettent de réaliser des méta-analyses d'essais cliniques, une sorte de *gold standard* de l'évaluation. C'est ce qu'a fait l'équipe de Bart Van Meerbeek en 2014 [5]. Les résultats obtenus sont très instructifs. Sur le graphique (*figure 4*), plus la barre horizontale est longue et plus le taux d'échecs annuels est élevé. Donc les barres les plus courtes sont celles des « meilleurs » systèmes adhésifs.

Les adhésifs M&R3 et SAM2 dont le pH est $\geq 1,5$ sont les systèmes qui permettent d'obtenir le taux d'échec le plus faible. Ces résultats confirment deux informations :

- les adhésifs simplifiés sont moins performants que leurs grands frères non simplifiés. Cela signifie que, si vous souhaitez utiliser un M&R, utilisez un M&R3 et, si vous utilisez un SAM, choisissez un SAM2 ;
- les adhésifs auto-mordançants à pH très bas sont moins performants que ceux dont le pH est plus élevé. C'est bien la conjonction d'un ancrage micromécanique et de la liaison chimique avec l'hydroxyapatite qui permet d'obtenir de bons résultats.

ULTIME ÉVOLUTION : DES SAM VERS LES ADHÉSIFS UNIVERSELS OU MULTIMODES

On appelle ces adhésifs universels ou multimodes mais, en fait, ils constituent l'évolution actuelle des adhésifs SAM1 (*figure 5*).

Ils peuvent être utilisés comme des adhésifs de type SAM1 sans mordançage sélectif de l'émail ou avec mordançage sélectif de l'émail. Mais ils sont proposés aussi avec un pré-mordançage total à l'acide phosphorique un peu à la manière des M&R2. Ce mode est spécifique aux adhésifs universels.

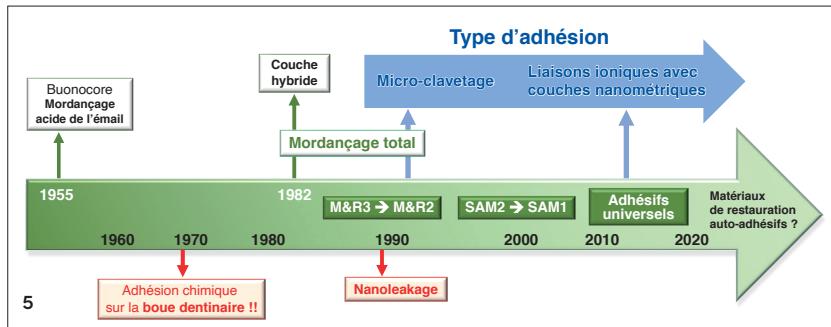


Figure 5
Plus de 60 ans d'évolution des concepts de l'adhésion et des adhésifs.

Les adhésifs universels sont le résultat de l'adjonction de monomères acides fonctionnalisés dans la composition des adhésifs de type SAM1. La molécule la plus utilisée aujourd'hui est le 10-MDP. Cette molécule interagit avec l'hydroxyapatite selon deux mécanismes [11] : - une liaison ionique stable au calcium est formée par l'intermédiaire d'une nano-couche de sels de MDP-Ca à l'interface avec l'hydroxyapatite ; - un plus grand potentiel d'attaque de l'émail pour le MDP par rapport aux autres monomères fonctionnels acides.

Le pH des adhésifs universels influence-t-il la qualité de leur résultat (comme les SAM) ? OUI (tableau 1)

Deux publications récentes (2019) le confirment [12, 13].

- Sur l'émail et quel que soit le pH de l'adhésif, un mordançage sélectif avec de l'acide phosphorique est recommandé.
- Sur la dentine :
 - les adhésifs fortement acides ($\text{pH} < 1,5$) semblent donner des résultats cliniques peu stables ;

Tableau 1 Les systèmes adhésifs universels : composition (monomères et solvants), pH, catégorie, présence ou non de silane dans leur composition et existence d'un activateur pour les résines composites et colles duales (d'après Perdigao et al. [11]).

	Monomère(s) fonctionnel(s)	Solvant(s)	pH ¹	Catégorie	Silane	Activateur DC séparé ²
All-Bond Universal (Bisco)	MDP	Éthanol, eau	3,2	Extra doux	non	non
Adhese Universal (Ivoclar)	MDP, MCAP	Éthanol, eau	2,8	Doux	non	non
Clearfil Universal Bond Quick (Kuraray Noritake)	MDP	Éthanol, eau	2,3	Doux	oui	oui
Futurabond U (VOCO)	MDP	Éthanol, eau	2,3	Doux	non	non ³
G-Premio Bond (GC Europe)	MDP, 4-MET, MDP	Acétone, eau	1,5	Moyennement fort	non	oui
One Coat 7 Universal (Coltene)	MDP	Éthanol, eau	2,8	Doux	non	oui
OptiBond Universal (Kerr Europe)	GPDM	Eau, acétone, éthanol	2,5	Doux	non	non
Prime&Bond active ou Prime&Bond universal (Dentply Sirona)	MDP, PENTA	Eau, alcool isopropylique	2,5	Doux	non	oui
Scotchbond Universal Adhesive (3M Oral Care)	MDP, PAC	Éthanol, eau	2,7	Doux	oui	oui
Scotchbond Universal Plus Adhesive (3M Oral care)	MDP, PAC	Éthanol, eau	2,7	Doux	oui ⁴	non
Universal Bond (Tokuyama dental)	MOEP, MTU-6	Eau, acétone, alcool isopropylique	2,2	Doux	oui	non

¹ Plus l'adhésif est acide et plus il est recommandé d'utiliser un activateur DC avec une résine composite (ou colle) duale ou auto-polymérisable, contenant une amine tertiaire dans son système d'amorçage.

² L'activateur est mélangé à l'adhésif universel lorsque celui-ci est utilisé avec une résine composite (ou colle) duale ou auto-polymérisable contenant une amine tertiaire dans son système d'amorçage. Tous les adhésifs universels peuvent être utilisés sans activateur DC lorsqu'ils sont mis en œuvre avec des colles qui ne contiennent pas d'amine tertiaire dans leur système d'amorçage.

³ Adhésif dual.

⁴ Contient 2 silanes : 3-(aminopropyl) triethoxysilane et γ -methacryloxypropyltriethoxysilane.

Abréviations : GPDM : glycerophosphate diméthacrylate ; MCAP : methacrylated carboxylic acid polymer ; MDP : 10-methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate ; MDP : methacryloyloxydecyl dihydrogen thiophosphate ; 4-MET : 4-methacryloyloxyethyl trimellitic acid ; MOEP : 2-hydroxyethyl methacrylate phosphate ; MTU-6 : 6-methacryloyloxyhexyl 2-thiouracil-5-carboxylate ; PAC : polyalenoic acid copolymer ; PENTA : dipentaerythritol penta acrylate monophosphate.

- les adhésifs ultradoux avec un $\text{pH} \geq 2,8$, qui pourrait nécessiter un pré-mordançage acide total, semblent moins stables après pré-mordançage acide ;
- les adhésifs doux avec un $2,3 \leq \text{pH} < 2,8$ semblent les plus stables après mordançage total. C'est donc avec ces matériaux qu'un mordançage de la dentine pourrait être envisagé, mais en veillant aux effets biologiques pulpaires [14].

L'agressivité des gels de mordançage influence-t-elle l'adhésion des universels ? OUI

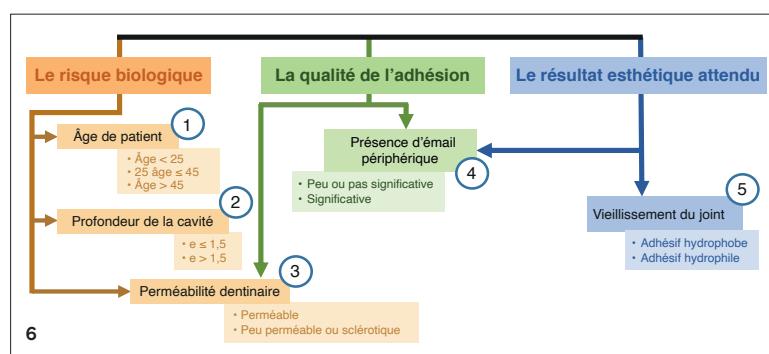
Les gels de mordançage « classiques » sont agressifs et non recommandés par les fabricants qui proposent des gels adaptés qui ne déminéralisent que sur de faibles épaisseurs : 1,6 μm pour le gel fourni avec les Scotchbond universel (3M) et SB universel Plus, contre 4 à 5 μm avec un gel de mordançage classique [15]. Bien que les études concernant ce problème soient peu nombreuses et les évidences encore insuffisantes, on peut conseiller de systématiquement utiliser le gel de mordançage fourni par le fabricant avec « son » adhésif universel.

Doit-on ajouter une couche hydrophobe sur la couche d'adhésifs ? OUI et NON

Les SAM1 sont moins performants que les SAM2, en raison justement de l'absence de cette couche hydrophobe. En est-il de même pour les adhésifs universels ?

Quelques données *in vitro* semblent montrer que cette couche hydrophobe serait souhaitable [16], alors que les résultats cliniques ne semblent pas le justifier [17].

Figure 6
Arbre décisionnel des 5 paramètres cliniques pour le choix d'un système adhésif.



LONGÉVITÉ DES RESTAURATIONS ADHÉSIVES

Elle est étroitement liée à la stabilité de la couche hybride. Il y a deux principaux mécanismes responsables de ce vieillissement :

- l'hydrolyse des adhésifs mal polymérisés qui absorbent de l'eau ;
 - la dégradation du collagène dans la couche hybride par des molécules appelées collagénases (ici des métalloprotéinases, MMP) présentes naturellement dans la dentine et libérées et activées par le mordançage acide [18].
- On a longtemps pensé que le mécanisme de vieillissement prépondérant était la dégradation du collagène de la couche hybride par les collagénases. On a donc proposé d'inhiber ces collagénases avec des molécules comme la chlorhexidine. Il semble aujourd'hui que le mécanisme le plus impliqué dans la dégradation de la couche hybride soit l'hydrolyse des adhésifs mal polymérisés qui absorbent donc de l'eau.

La chlorhexidine, longtemps considérée comme un inhibiteur de ces collagénases, n'est pas particulièrement recommandée aujourd'hui [19-21].

COMMENT CHOISIR UN SYSTÈME ADHÉSIF ?

L'arbre décisionnel de la *figure 6* propose une série de critères cliniques à prendre en compte au moment du choix.

Risques biologiques

Ils sont essentiellement pulpaires, liés à la mise en œuvre de l'adhésif.

- L'âge du patient : les jeunes ont des dents au volume pulinaire plus important et des tubules de diamètre et de densité plus élevés.
- La profondeur de la cavité : plus la cavité est profonde, plus l'épaisseur de dentine résiduelle est faible, plus un mordançage agressif acide aura pour conséquence d'augmenter l'humidité dentinaire. Dans ces conditions l'utilisation d'un adhésif universel en mode mordançage total et de son gel de mordançage spécifique permet d'éviter les sensibilités post-opératoires [22].
- La perméabilité dentinaire, qui dépend de l'âge mais aussi du passé physiopathologique

de la pulpe : caries antérieures, para-fonctions, type de lésion (carie, usure, abfraction...).

Qualité de l'adhésion

- La perméabilité dentinaire : une dentine très perméable signifie beaucoup d'eau au contact de l'adhésif et donc une mauvaise polymérisation.
- La présence d'email périphérique : l'adhésion à l'email est la garantie de l'étanchéité et de la pérennité du résultat dans le temps.

Résultat esthétique attendu (à court et long terme)

- La présence d'email périphérique est là aussi un critère déterminant.
- Le vieillissement du joint dent/restauration : les adhésifs simplifiés sont en effet des matériaux hydrophiles susceptibles d'absorber de l'eau et de se dégrader. Cela peut entraîner une coloration du joint peu souhaitable, surtout pour les restaurations antérieures.

CONCLUSION

La réduction du nombre d'étapes et de la complexité de mise en œuvre des systèmes adhésifs semble être l'objectif principal des

industriels. Il est certain que plus une procédure est simple à mettre en œuvre et plus la probabilité que cette procédure soit strictement respectée est élevée. Cependant, un compromis doit être trouvé **en** la sur-simplification des procédures de mise en œuvre et les résultats cliniques à long terme attendus.

Quelques recommandations de bon usage.

- Le mordançage de l'email avec de l'acide phosphorique est encore indispensable pour obtenir une étanchéité marginale à long terme et éviter la coloration des joints.
- Les adhésifs simplifiés sont moins efficaces à long terme que ceux qui incluent dans leur mise en œuvre l'application d'une résine hydrophobe (M&R3 et SAM2).
- Le mordançage sélectif de l'email est fortement recommandé avec les adhésifs universels.
- Les adhésifs universels peuvent interagir avec l'hydroxyapatite, à condition de ne pas avoir préalablement sévèrement mordancé la dentine avec de l'acide phosphorique.
- Un adhésif universel doit être frotté vigoureusement sur la dentine pendant au moins 15 à 20 secondes puis le solvant doit être soigneusement évaporé pendant 20 secondes, afin d'optimiser les résultats.

1. Perdigão J. Current perspectives on dental adhesion. (I) Dentin adhesion – not there yet. *Jpn Dent Sci Rev* 2020;56:190-207.
2. Buonocore MG. A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *J Dent Res* 1955;34:849-853.
3. Nakabayashi N, Kojima K, Masuhara E. The promotion of adhesion by the infiltration of monomers into tooth substrates. *J Biomed Mater Res* 1982;16:265-273.
4. Van Meerbeek B, Yoshihara K, Van Landuyt K, Yoshida Y, Peumans M. From Buonocore's pioneering acid-etch technique to self-adhering restoratives. A status perspective of rapidly advancing dental adhesive technology. *J Adhes Dent* 2020;22:7-34.
5. Peumans M, De Munck J, Van Landuyt K, Van Meerbeek B. Thirteen-year randomized controlled clinical trial of a two-step self-etch adhesive in non-carious cervical lesions. *Dent Mater* 2015;31:308-314.
6. Peumans M, De Munck J, Mine A, Van Meerbeek B. Clinical effectiveness of contemporary adhesives for the restoration of non-carious cervical lesions. A systematic review. *Dent Mater* 2014;30:1089-1103.
7. Van Meerbeek B, Yoshihara K, Yoshida Y, Mine A, De Munck J, Van Landuyt KL. State of the art of self-etch adhesives. *Dent Mater* 2011;27:17-28.
8. Moura SK, Pelizzaro A, Dal Bianco K, et al. Does the acidity of self-etching primers affect bond strength and surface morphology of enamel? *J Adhes Dent* 2006;8:75-83.
9. Perdigão J, Lopes MM, Gomes G. *In vitro* bonding performance of self-etch adhesives: II-ultramorphological evaluation. *Oper Dent* 2008;33:534-549.
10. Szesz A, Parreira S, Reis A, Loguercio A. Selective enamel etching in cervical lesions for self-etch adhesives: A systematic review and meta-analysis. *J Dent* 2016;53:1-11.
11. Perdigão J, Arajo E, Ramos RQ, Gomes G, Pizzolotto L. Adhesive dentistry: current concepts and clinical considerations. *J Esthet Restor Dent* 2021;33:51-68.
12. Cuevas-Suárez CE, de Oliveira da Rosa WL, Lund RG, Fernandes da Silva A, Piva E. Bonding performance of universal adhesives: An updated systematic review and meta-analysis. *J Adhes Dent* 2019;21:7-26.
13. Nagarkar S, Theis-Mahon N, Perdigão J. Universal dental adhesives: Current status, laboratory testing and clinical performances. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2019;107:2121-2131.
14. da Rosa LS, Follak AC, Lenzi TL, Rocha RO, Soares FZM. Phosphoric acid containing chlorhexidine compromises bonding of universal adhesive. *J Adhes Dent* 2018;20:243-247.
15. Campos MFTP, Moura DMD, Borges BCD, et al. Influence of acid etching and universal adhesives on the bond strength to dentin. *Braz Dent J* 2020;31:272-280.
16. Ermis RB, Ugurlu M, Ahmed MH, Van Meerbeek B. Universal adhesive benefit from an extra hydrophobic adhesive layer before-hand. *J Adhes Dent* 2019;21:179-188.
17. Perdigão J, Ceballos L, Giráldez I, Baracco B, Fuentes MV. Effect of a hydrophobic bonding resin on the 36-month performance of a universal adhesive-a randomized clinical trial. *Clin Oral Investig* 2020;24:765-776.
18. Breschi L, Mazzoni A, Nato F, et al. Chlorhexidine stabilizes the adhesive interface: A 2-year *in vitro* study. *Dent Mater* 2010;26:320-325.
- 19.19. Dejou J. L'information en biomatériaux. *Biomatériaux Cliniques* 2022;7:6-7.
20. Göstemeyer G, Schwendicke F. Inhibition of hybrid layer degradation by cavity pretreatment: Meta- and trial sequential analysis. *J Dent* 2016;49:14-21.
21. Kiuru O, Sinervo J, Vähänilkila H, Anttonen V, Tjäderhane L. MMP inhibitors and dentin bonding: Systematic review and meta-analysis. *Int J Dent* 2021;2021:9949699.
22. Castro AS, Maran BM, Gutierrez MF, et al. Effect of dentin moisture in posterior restorations performed with universal adhesive: A randomized clinical trial. *Oper Dent* 2022;47:E91-E105.