

**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITÉ SAAD DAHLEB DE BLIDA
FACULTÉ DE MÉDECINE
DÉPARTEMENT DE MÉDECINE DENTAIRE**



**MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES
Pour l'obtention
Du diplôme d'état de docteur en médecine dentaire**

Le collage en orthodontie

Promotrice : Madame le professeur **DAHMAS.R** Professeur en Orthopédie Dento-Faciale.

Président : Monsieur le Docteur **BARR** maitre assistant en Orthopédie Dento-Faciale.

Examineur : Madame le Docteur **KHEROUA** maitre assistante en Orthopédie Dento-Faciale.

Mémoire soutenu le 14/07/2021 par :

AISSA Brahim

AMEUR Mohamed Nazim

ALILI Abdelkader

GUIDOUM Rania

AMEUR Mustapha

CHARFI Bisma

Année universitaire : 2020-2021

REMERCIEMENTS

❖ En premier lieu, nous remercions **Allah**, de nous avoir donné la force aussi le courage et la volonté pour mener à bien ce travail jusqu'à la fin.

❖ A notre promotrice **Pr Dahmas.R** - Professeure en Orthopédie Dento-Faciale - :

Nous ne serons assez-vous remercier pour le très grand honneur que vous nous avez fait en nous confiant le sujet de ce mémoire. Qu'il nous soit permis, à travers ce travail de vous exprimer notre profond respect, et de nous témoigner notre estime et notre vive reconnaissance.

La rigueur scientifique et la disponibilité dont vous avez fait preuve en faisant encadrer ce mémoire malgré vos multiples occupations : Ne font que rappeler les qualités qui vous caractérisent.

Votre grandeur, votre pédagogie à transmettre vos connaissances et vos informations force l'admiration de tous.

❖ A notre président de jury **Dr.BARR** - Maitre assistant en Orthopédie Dento-Faciale - :

Vous nous faites grand honneur en ayant accepté de présider notre jury de mémoire.

Nous avons eu le plaisir d'apprécier vos nombreuses qualités humaines, et le privilège de bénéficier de l'immense richesse de vos enseignements.

Nous espérons être à la hauteur de la confiance que vous nous avez accordée.

Veillez trouver ici, l'expression de notre profonde admiration.

❖ A notre examinateur **Dr.KHEROUA** - Maitre assistante en Orthopédie Dento-Faciale - :

Nous sommes très honorés que vous ayez accepté de siéger à ce jury

Votre compétence et votre savoir : nous ont marqué dès nos premiers pas dans cette faculté. Vous étiez là pour prodiguer des conseils à chaque fois que le besoin, s'est fait sentir.

Nous vous sommes très reconnaissants de nous avoir conseillée et motivée au fil de notre cursus.

Veillez trouver ici le témoignage du profond respect que nous portons à votre égard.

DÉDICACES

- Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail aux êtres qui me sont les plus chers :

- ❖ **A mes parents** : quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurais point vous remercier comme il se doit. Votre affection me couvre, votre bienveillance me guide et votre présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles, atteindre mes objectifs et devenir ce que je suis aujourd'hui. En ce jour, j'espère pouvoir réaliser l'un de vos rêves. Que ce travail traduit ma profonde gratitude et mon affection.

- ❖ **A mes très chères frères et sœur** : Ilyes ; Nasr eddine ; Aïcha
Je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de succès et que Dieu, le tout puissant, vous protège et vous garde.

- ❖ **A ma fiancée** :
La meilleure des choses qui me soit arrivée dans la vie, Ta présence au quotidien m'apaise et me comble de bonheur, du courage et de confiance en soi. Que notre complicité dure encore et toujours, que la vie nous réserve un bel et long avenir ensemble...

- ❖ **A toute ma famille** : grand-mères, oncles, tantes, cousins et cousines ; veuillez trouver dans ce travail l'expression de mon respect le plus profond et mon affection la plus sincère.

- Brahim AISSA -

- Je dédie ce travail :
- ❖ **A mes parents** : qui m'ont transmis à travers leur amour, sacrifices et bienveillance des principes et valeurs qui font la base de mon éducation aujourd'hui et le corps même de ce que je suis. Aucun hommage ne sera à la hauteur de ce que vous avez fait pour moi.
- ❖ A ma petite sœur et mes deux petits frères.
- ❖ A tout membre de ma famille qui m'a soutenu et encourager à travers tous ses années
- ❖ A chaque enseignant qui a transmis et partager avec moi savoir et sagesse
- ❖ A toute personne qui a contribué de près ou de loin dans le chemin mon d'éducation

- Mustapha AMEUR -

- Je dédie ce travail :
 - ❖ **À mes chers parents** : qui peuvent trouver ici le résultat de longues années de sacrifices.
 - Merci pour les valeurs nobles, les conseils précieux, l'éducation, le soutien permanent venu de vous, et votre assistance et présence dans ma vie. Puisse dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit.

- Mohamed Nazim AMEUR -

- ❖ Je tiens à exprimer mes remerciements avec un grand plaisir et un grand respect à notre promotrice Pr Dahmas pour ses conseils et sa disponibilité, ses encouragements qui nous ont permis de réaliser ce travail dans de bonnes conditions.

- ❖ J'exprime de même ma gratitude envers tous ce qui ont accordé leur soutien et qui ont contribué de près ou de loin à l'avancement de ce projet.

- ❖ Je profite de cette occasion également pour remercier mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.

- ❖ Je remercie également mon cher mari pour son encouragement permanent, et son soutien.

- ❖ Merci aussi à mes chers frères, et ma chère sœur, pour leur appui et leur encouragement.

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infaillible.

- Rania GUIDOUM -

- Je dédie ce travail :

❖ **A MES CHERS PARENTS** avec tout mon amour :

- Je dédie cette thèse en premier à mon père. Tous les mots ne sauraient exprimer ma gratitude et ma reconnaissance pour ton dévouement et tes sacrifices, tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'épauler. Je te dédie cette thèse, puisse tu y trouver le fruit de tes efforts.
- A ma chère mère. Tous les mots ne pourraient témoigner de ma gratitude, aussi je te dédie cette thèse comme fruit de ton dévouement et l'expression de mon profond amour.

- Abdelkader ALILI -

- ❖ Tout d'abord je tiens à remercier ceux qui m'ont donné vie et m'ont offert une éducation digne de confiance, m'ont soutenue jours et nuits et durent tout mon parcours, et ceux qui étés toujours ma source de bonheur et d'amour. A vous mes chers parents Meriem et Ahmed.
- ❖ A mon amour de ma vie, mon cher mari Hocine. je n'oublierai jamais votre aide et votre soutien dans mes études .que dieu te protège.
- ❖ A ma charmante et ma princesse, ma fille Meriem El Batoul, qui je lui souhaite joie et succès dans sa vie.
- ❖ A mon cher frère Omar et sa femme Khadidja et ses enfants Khalil, Raihana, Ikram, Fella.
- ❖ A ma chère sœur Houria et ses enfants Mohamed, Abd al rahmen , Sanaa.
- ❖ A ma chère sœur Naziha et ses enfants Mohamed, Yassine ,Rania ,Khaled.
- ❖ A ma belle-famille Kassouri.
- ❖ A tous mes professeurs du primaire, CEM, Lycée et la faculté de la médecine dentaire.
- ❖ A tous ceux qui me sont chers et je n'ai pas cité les noms.

Je vous dédié mon projet de fin d'étude, Que dieu vous garde pour moi et Me garde pour vous.

- Besma CHARFI -

Liste des Acronymes

- **CNEOC** = Collège national des enseignants en odontologie conservatrice.
- **PH** = Potentiel hydrogène.
- **M&R** = Mordançage et rinçage.
- **SAM** = Système auto mordançant.
- **HEMA** = Hydroxyéthylméthacrylate.
- **CVIMAR** = Ciment Verre-Ionomère Modifié par adjonction de résine.
- **MC** = Maximum Cure.
- **FF** = Flitek Flow.
- **FA** = Facial Axis.
- **FACC** = Facial Axis of the clinical crown.
- **CFAO** = Conception et fabrication assistées par ordinateur.
- **VPS** = Vinyl polysiloxane.
- **CBCT** = Cone Beam Computed Tomography.
- **VF** = Vacuum Formed.
- **CCD** = Charge Coupled Device.
- **CMOS** = Complementary Metal Oxide Semi-Conductor.
- **AFI** = Accordion Fringe Interferometry.
- **UV** = Ultra-Violet.
- **AL₂O₃** = Oxyde d'aluminium.
- **Cu** = Cuivre
- **Ag** = Argent
- **FDM** = Fused deposition modelling.
- **FFF** = Fused Filament Fabrication.
- **SLA** = Stereolithography Apparatus.
- **DLP** = Digital light processing.
- **SLS** = Selective Laser Sintering.
- **DMLS** = Direct metal laser sintering.
- **EBM** = Electron beam melting.
- **STL** = Standard Tessellation Language.
- **SEM** = Scanning electron microscopy.
- **NaOCl** = Hypochlorite de sodium.
- **MIH** = Molar-incisor hypomineralization.
- **AJODO** = American journal of orthodontics and dentofacial orthopaedics.
- **YAG** = Yttrium aluminium garnet
- **MPa** = Mégapascal.
- **RPM** = Rotation par minute.
- **TEGDMA** = Triéthylène-glycol-diméthacrylate.
- **RCI** = Risque carieux individuel.
- **CPP-ACPF** = Casein phosphorpeptide amorphous calcium phosphate fluoride.

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1: coupe longitudinale d'un assemblage collé (bracket / colle / substrat) | 19 |
| Figure 2 : Représentation schématique de l'imbrication des prismes de l'émail | 20 |
| Figure 3: Les Canalicules dentinaires | 21 |
| Figure 4: Interface de collage selon Hitmi..... | 22 |
| Figure 5: Gel de mordantage | 25 |
| Figure 6 : Système M&R III de chez Ivoclar Vivadent | 25 |
| Figure 7 : Système M&R II de chez Ivoclar Vivadent | 26 |
| Figure 8 : Système SAM II - Système universel pouvant être utilisé comme un SAM I | 26 |
| Figure 9 : Systèmes adhésifs hydrophobes selon le mode de polymérisation | 28 |
| Figure 10 : présentation du produit Concise® Orthodontic Adhesive de 3M Unitek | 28 |
| Figure 11 : présentation du produit Right-on® de TP Orthodontics..... | 29 |
| Figure 12 : présentation du produit Transbond® XT de 3M Unitek..... | 29 |
| Figure 13 : présentation du produit OrthoSolo® d'ORMCO..... | 30 |
| Figure 14 : Transbond® Plus Self Etchning Primer de 3M Unitek..... | 31 |
| Figure 15 : présentation du produit RelyX® Unicem 2 Automix de 3M Espe. | 32 |
| Figure 16: Présentation des deux types de jauges pour le collage direct..... | 37 |
| Figure 17: Protocole de collage direct des attaches orthodontiques d'après le Dr Boileau | 37 |
| Figure 18: point FA d'Andrews et FACC | 38 |
| Figure 19 : Silan de chez pulpdent | 41 |
| Figure 20: représentation schématique de l'action du traitement tribochimique..... | 42 |
| Figure 21: CoJet® (3M ESPE) | 42 |
| Figure 22: Matériel à empreintes à l'alginate..... | 46 |
| Figure 23: Modèle en plâtre (Hitmi 2012)..... | 47 |
| Figure 24: Modèle en plâtre recouvert de vernis coloré (Hitmi 2012) | 47 |
| Figure 25: Modèle en silicone de type Quick-die® (Hitmi 2012) | 48 |
| Figure 26: Positionnement des attaches sur les modèles (Hitmi 2012) | 48 |
| Figure 27: Gouttière en silicone opaque (Hitmi 2012) | 49 |
| Figure 28 : Gouttière monocouche thermoformée (Hitmi 2012) | 49 |
| Figure 29 : Double gouttière thermoformée (Hitmi 2012) | 50 |
| Figure 30 : procédure de collage indirect d'après le Dr L. Hitmi 2012 | 53 |
| Figure 31 : Résumé du flux numérique en orthodontie (Roger 2016) | 55 |
| Figure 32 : Triangulation Laser (Roger 2016)..... | 56 |
| Figure 33 : Projection de franges de lumière – AFI (Roger 2016) | 56 |
| Figure 34 : Imagerie parallèle confocale (Roger 2016) | 57 |
| Figure 35 : Le principe « cameras-Laser », scanner R700 de 3Shape. (Coblentz 2012)..... | 57 |
| Figure 36: Impression de l'écran de contrôle avec une vue immédiate du collage en cours..... | 61 |
| Figure 37 : Lésion de déminéralisation en regard de la 13, d'après l'article de Denis et al..... | 65 |
| Figure 38 : Photographies montrant divers degrés de sévérité chez deux patients atteints de fluorose | 66 |
| Figure 39 : Patient atteint d'amélogénèse imparfaite | 67 |
| Figure 40 : Cas d'un patient avec émail hypoplasique | 67 |
| Figure 41 : Cas d'un patient avec émail hypomature | 68 |
| Figure 42 : Cas d'un patient avec émail atteint de MIH..... | 68 |
| Figure 43 : Effets du meulage sur le bracket | 69 |
| Figure 44 : Effets du sablage sur le bracket | 70 |
| Figure 45 : Effets de la méthode flamme directe sur le bracket | 71 |
| Figure 46 : Effets du bain d'acide sur le bracket..... | 71 |
| Figure 47 : Effets du laser sur le bracket..... | 72 |
| Figure 48 : Exemple d'arrachement amélaire après dépose d'un bracket esthétique selon Swartz..... | 74 |
| Figure 49 : différentes techniques pour la dépose manuelle conventionnelle..... | 75 |
| Figure 50: Sablage avec le système SandTran selon KIM | 79 |
| Figure 51 : Elimination de la colle superficielle à l'aide de fraises boules de taille 207 | 81 |
| Figure 52 : Elimination de la couche de la colle au contact de l'émail grâce à des fraises en composite | 82 |
| Figure 53 : Élimination de la colle et polissage de l'émail après la dépose des attaches ODF | 82 |
| Figure 54 : polissage de l'émail après la dépose des attaches ODF et l'élimination de la colle..... | 83 |
| Figure 55 : Brillantage de l'émail..... | 84 |
| Figure 56 : état de surface obtenu après l'application de la procédure de nettoyage..... | 84 |
| Figure 57 : exemples de kits de nettoyage complets pour obtenir un état de surface de l'émail optimal. | 85 |
| Figure 58 : Sof Lex Dics 3M (CP), Polissoirs en Cupule et ZrO2 Komet (clichés Dr Marche Soligni) | 86 |
| Figure 59 : Micrographie (x 700) d'une surface amélaire traitée par l'acide phosphorique à 37% pendant 30s . | 88 |

| | |
|---|-----|
| Figure 60 : Schéma illustrant la pénétration des monomères dans la dentine déminéralisée | 91 |
| Figure 61 : L'effet de séchage après le mordançage sur la surface dentinaire..... | 92 |
| Figure 62 : Graphique montrant la diminution de l'incidence des lésions en fonction du pourcentage de la dose journalière recommandée en solution de rinçage fluoré | 97 |
| Figure 63 : Exemples d'attaches offrant une dépose facile | 99 |
| Figure 64 : Exemples d'attaches rigides indéformables et sans point de rupture | 99 |
| Figure 65 : Suppression des excès de composite avant polymérisation sur bracket APC, (3M)..... | 100 |
| Figure 66: Une technique de dépose sollicitant l'interface colle/émail..... | 101 |
| Figure 67 : Les étapes de dépose sollicitant l'interface colle/émail | 101 |
| Figure 68 : la pince à déposer les attaches est différente selon le type d'attache..... | 102 |
| Figure 69 : Rupture cohésive dans l'attache | 103 |
| Figure 70 : émail en microscope électronique a transmission..... | 106 |
| Figure 71 : Les prismes sur microscope électronique..... | 106 |
| Figure 72 : Les system d'adhésifs les plus utilisés dans la pratique de l'orthodontie..... | 107 |
| Figure 73 : conditionnement du Rely a Bond®..... | 114 |
| Figure 74 : préparation de l'émail par sablage ou par mordançage acide, suivie d'un rinçage soigneux..... | 114 |
| Figure 75 : application de l'activateur (le liquide) sur un émail séché d'aspect blanc crayeux | 114 |
| Figure 76 : application de l'activateur (le liquide), puis de la pâte sur la base de l'attache | 115 |
| Figure 77 : vue clinique après positionnement des attaches..... | 115 |
| Figure 78 : conditionnement Transbond XT® | 116 |
| Figure 79 : polissage à la ponce | 116 |
| Figure 80 : mordançage acide..... | 116 |
| Figure 81 : rinçage et séchage..... | 117 |
| Figure 82 : application de l'adhésif..... | 117 |
| Figure 83 : application de la pâte sur la base de l'attache..... | 117 |
| Figure 84 : mise en place du bracket et élimination des excès..... | 118 |
| Figure 85 : photopolymérisation cervicale et occlusale, ou mésiale et distale | 118 |
| Figure 86 : vue clinique après positionnement des attaches et mise en place du premier arc..... | 118 |
| Figure 87 : Prise d'une empreinte numérique à l'aide d'un scanner intra-oral | 119 |
| Figure 88 : Positionnement virtuel des attaches orthodontiques sur l'empreinte numérique..... | 119 |
| Figure 89 : Création d'un modèle numérique à imprimer avec une imprimante 3D..... | 119 |
| Figure 90 : Positionnement des attaches orthodontique sur le modèle imprimé | 119 |
| Figure 91 : Réalisation de gouttières individuelles pour le positionnement des attaches en bouche | 119 |
| Figure 92 : Brossage des surfaces dentaires | 119 |
| Figure 93 : Installation d'écarteur à joues, lèvres et langue | 119 |
| Figure 94 : Application d'un gel de traitement des surfaces | 119 |
| Figure 95 : Aspiration du gel, rinçage et séchage des surfaces | 119 |
| Figure 96 : Essayage de la gouttière..... | 120 |
| Figure 97 : Application de colle liquide sur les surfaces dentaires | 120 |
| Figure 98 : Application de la colle dans la gouttière..... | 120 |
| Figure 99 : Installation de la gouttière et durcissement de la colle à l'aide d'une lumière bleue | 120 |
| Figure 100 : Démoulage de la gouttière après durcissement de la colle..... | 120 |
| Figure 101 : Elimination des excès de colle | 120 |
| Figure 102 : Installation de l'arc orthodontique..... | 120 |
| Figure 103 : Prise d'empreinte numérique à l'aide d'un scanner intra-oral..... | 121 |
| Figure 104 : Réalisation d'un set up numérique | 121 |
| Figure 105 : Le design de chaque attache est déterminé au laboratoire de façon individuelle..... | 121 |
| Figure 106 : Les attaches linguales sont customisées en alliage d'or | 121 |
| Figure 107 : Les attaches sont insérées dans des gouttières..... | 121 |
| Figure 108 : Nettoyage des surfaces dentaire avec un sable fin..... | 121 |
| Figure 109 : Installation d'un écarteur à joues, lèvres et langue..... | 121 |
| Figure 110 : Application d'un gel pour le traitement des surfaces dentaires | 121 |
| Figure 111 : Essayage des gouttières en bouche | 121 |
| Figure 112 : Application de la colle dans la gouttière | 122 |
| Figure 113 : Installation de la gouttière et durcissement de la colle à l'aide d'une lampe bleue | 122 |
| Figure 114 : Démoulage de la gouttière après le durcissement de la colle | 122 |
| Figure 115 : Gouttières démoulées et attaches en place | 122 |
| Figure 116 : Toutes les attaches restent collées sur les dents | 122 |
| Figure 117 : Elimination des excès de la colle | 122 |
| Figure 118 : Appareil posé et arc orthodontique installé..... | 122 |

Liste des tableaux

| | |
|--|------------|
| <i>Tableau 1 : Tableau récapitulatif de la préparation de la surface dentaire :</i> | <i>40</i> |
| <i>Tableau 2 : Tableau récapitulatif des Étapes de préparation selon le type de substrats :</i> | <i>44</i> |
| <i>Tableau 3 : les différents types d'imprimantes 3D sur le marché (Dawood 2015)</i> | <i>58</i> |
| <i>Tableau 4 : comparaison entre le moulage en plâtre et le modèle numérique (Coblentz 2012)</i> | <i>60</i> |
| <i>Tableau 5 : Tableau récapitulatif des aides à la dépose.</i> | <i>76</i> |
| <i>Tableau 6 : Tableau récapitulatif des duretés des matériaux utilisés pour éliminer la colle</i> | <i>77</i> |
| <i>Tableau 7 : Les autres systèmes de L'Élimination de la colle.....</i> | <i>79</i> |
| <i>Tableau 8 : La variation de Profondeur des cordons de résine en micromètres selon la Concentration en acide ortho-phosphorique.....</i> | <i>89</i> |
| <i>Tableau 9 : Concentration en fluor (en nmol/mg) au niveau de la plaque dentaire collectée autour des brackets orthodontiques collés avec un CVI ou un composite chez 8 enfants (Hallgren et al., 1993).....</i> | <i>98</i> |
| <i>Tableau 10 : Tableau récapitulatif des systèmes de collage rencontrés en orthodontie ainsi que leurs avantages et inconvénients :</i> | <i>108</i> |
| <i>Tableau 11 : Tableau récapitulatif du protocole clinique des différents produits d'assemblage rencontrés en orthodontie :</i> | <i>109</i> |
| <i>Tableau 12 : Tableau non exhaustif, des systèmes adhésifs et colles composites associés (Mano et Medhi, 2009) :.....</i> | <i>113</i> |

Table des matières

| | |
|--|----|
| Introduction | 19 |
| I. Rappel sur la structure dentaire : | 20 |
| A. Émail : | 20 |
| 1. Structure histologique : | 20 |
| 2. Émail de surface : | 20 |
| B. Dentine : | 20 |
| 3. Composition chimique : | 20 |
| 4. Propriétés physiques : | 21 |
| 5. Structure histologique : | 21 |
| a) Manteau dentinaire : | 21 |
| b) Dentine circumpulpaire : | 21 |
| c) Prédentine : | 21 |
| II. Principe du collage | 22 |
| III. Quels sont les progrès majeurs qu'ont été réalisés dans les 20 dernières années ? : | 23 |
| IV. Matériaux de collage : | 24 |
| A. Les systèmes adhésifs : | 24 |
| 1. Rappels sur les systèmes adhésifs : | 24 |
| 2. Classification Des systèmes adhésifs : | 24 |
| 3. Les différents systèmes adhésifs : | 25 |
| a) Les systèmes M&R II/III : | 25 |
| (1) L'agents mordançant : | 25 |
| (2) Les primaires d'adhésion : | 25 |
| i. Les systèmes M&R III : | 25 |
| ii. Les systèmes M&R II : | 26 |
| b) Les systèmes SAM II et SAM I : | 26 |
| B. Les Résins de collage : | 27 |
| 1. Les colles traditionnelles hydrophobes : | 28 |
| a) Les colles chétopolymérisables : | 28 |
| b) Les colles photopolymérisables : | 29 |
| c) Les colles duales : | 30 |
| 2. Les colles hydrophiles : | 30 |
| 3. Les colles auto-mordançantes : | 31 |
| 4. Les colles auto-adhésives : | 32 |
| 5. Les ciments verre-ionomères modifiés par addition de résine. (CVIMAR) : | 33 |
| 6. Autres matériaux d'assemblage : | 33 |
| C. Choix de système de collage : | 34 |

| | |
|--|----|
| V. Techniques de collage : | 36 |
| A. Le Collage direct : | 36 |
| 1. Collage sur substrats naturels : | 36 |
| a) Définitions : | 36 |
| b) Matériel : | 36 |
| (1) Écarteur de joue. | 36 |
| (2) instruments de consultation : | 36 |
| (3) Les précelles : | 36 |
| (4) Matériels de nettoyage et polissage : | 36 |
| (5) Les attaches orthodontiques : | 36 |
| (6) Les Jauges orthodontiques : | 37 |
| c) Le Protocole de collage : | 37 |
| d) Lors du mordançage, quel protocole choisir pour respecter au mieux la surface amélaire ? le sablage est il une alternative crédible ? : | 39 |
| 2. Collage sur substrats non naturels : | 41 |
| a) Collage sur la céramique : | 41 |
| b) Collage sur de la résine ou sur de la résine composite : | 42 |
| c) Collage sur l'acier et sur alliages non précieux : | 43 |
| d) Collage sur l'or et les métaux précieux : | 43 |
| e) Collage sur l'amalgame: | 43 |
| 3. Avantages/inconvénients du collage direct : | 45 |
| B. Collage indirect conventionnel : | 46 |
| 1. Définitions : | 46 |
| 2. Matériels : | 46 |
| a) Matériau d'empreinte et de positionnement des attaches : | 46 |
| b) Colles pour fixer les attaches sur le modèle réel : | 48 |
| c) Gouttière de transfert : | 49 |
| 3. Protocoles : | 52 |
| a) Prise d'empreinte : | 52 |
| b) Coulée des empreintes : en plâtre et en silicone. | 52 |
| c) Positionnement des attaches sur les moulages : | 52 |
| d) Collage des attaches orthodontiques sur le modèle : | 52 |
| e) Gouttière de transfert : | 53 |
| f) Collage en bouche : | 53 |
| 4. Avantages/Inconvénients du collage indirect conventionnel : | 54 |
| 5. L'apport des techniques informatisées sur le collage indirect : | 55 |
| a) Caméras optiques : | 55 |
| b) Les imprimantes 3D : | 58 |
| 6. Points sur le collage indirect : | 60 |
| a) Etape 1 : empreintes : | 60 |
| b) Etape 2: moulage et positionnement des attaches orthodontiques : | 61 |
| c) Etape 3 : système de transfert des attaches orthodontiques : | 61 |
| 7. le système de collage idéal : | 62 |

| | | |
|-------|--|----|
| VI. | Échecs et Optimisation du collage :..... | 63 |
| A. | Les Échecs du collage :..... | 63 |
| B. | L'Optimisation du collage :..... | 64 |
| 1. | Les grands règles à respecter pour réussir le collage : | 64 |
| 2. | Optimisation du collage selon le cas clinique :..... | 65 |
| a) | Email sain : | 65 |
| b) | Email déminéralisé :..... | 65 |
| c) | Email atteint de Fluorose :..... | 66 |
| d) | Email atteint d'amélogénèse imparfaite : | 67 |
| e) | Cas d'un émail hypoplasique : | 67 |
| f) | Cas d'un émail hypomature : | 68 |
| g) | Email atteint de MIH :..... | 68 |
| VII. | Recyclage et réutilisation des brackets orthodontique :..... | 69 |
| A. | Méthodes de recyclage des brackets :..... | 69 |
| 1. | Méthode au cabinet :..... | 69 |
| a) | Méthode de meulage : | 69 |
| b) | Méthode de sablage :..... | 70 |
| c) | Méthode flamme directe (Méthode thermique) : | 70 |
| d) | Méthode du bain acide :..... | 71 |
| e) | Recyclage au laser :..... | 72 |
| 2. | Méthodes commerciales :..... | 72 |
| a) | Thermique :..... | 72 |
| b) | Chimique : | 72 |
| B. | Recyclage des brackets en céramique :..... | 73 |
| C. | Avantages du recyclage des brackets :..... | 73 |
| D. | Inconvénients du recyclage des brackets :..... | 73 |
| VIII. | Dépose du système d'attache après traitement :..... | 74 |
| A. | Dépose des attaches :..... | 74 |
| 1. | Techniques :..... | 74 |
| a) | Dépose manuelle conventionnelle :..... | 75 |
| b) | Techniques d'aide à la dépose : | 76 |
| c) | Atteintes tissulaires : | 76 |
| B. | Élimination de la colle : | 77 |
| 1. | Techniques :..... | 77 |
| a) | Élimination avec Instruments rotatifs :..... | 77 |
| b) | Élimination avec autres Instruments : | 79 |
| 2. | Atteintes tissulaires : | 80 |
| 3. | Les procédures de l'élimination de la colle dans la littérature :..... | 80 |
| C. | Polissage des surfaces amélaire :..... | 86 |
| 1. | Techniques :..... | 86 |
| 2. | Atteintes tissulaires : | 86 |

| | | |
|------|---|-----|
| IX. | Le collage et modifications des substrats dentaires : | 87 |
| A. | Les modifications des substrats dentaires : | 87 |
| 1. | Lors des étapes du collage : | 87 |
| a) | Sur l'émail : | 87 |
| (1) | Lors de Nettoyage initial des surfaces amélares : | 87 |
| (2) | Lors du Mordançage de l'émail : | 87 |
| i. | Acide orthophosphorique : | 88 |
| ii. | Acide polyacrylique : | 88 |
| iii. | Utilisation d'un adhésif auto-mordançant et atteinte de l'émail : | 89 |
| b) | Sur la dentine : | 90 |
| (1) | Lors du mordançage : | 90 |
| (2) | Lors du collage : | 91 |
| i. | Cytotoxicité des colles et adhésifs : | 92 |
| ii. | Influence des lampes à polymériser : | 93 |
| 2. | Lors du port du dispositif orthodontique : | 94 |
| a) | Rétention de plaque et déminéralisations : | 94 |
| b) | Décollements accidentels: | 94 |
| 3. | Lors du décollement intentionnel des attaches : | 95 |
| a) | Conséquences au niveau de l'émail : | 95 |
| (1) | Les craquelures ou cracks amélares : | 95 |
| (2) | Les fractures amélares : | 95 |
| 4. | Lors des étapes de finition et de polissage : | 95 |
| a) | Pertes d'émail : | 95 |
| b) | Rugosité superficielle : | 95 |
| c) | Zones de déminéralisation : | 96 |
| d) | Résidus de matériau de collage ayant pénétré dans l'émail : | 96 |
| e) | Colorations amélares : | 96 |
| B. | Face aux risques de détérioration de l'émail, faut-il faire signer au patient un consentement éclairé ? | 96 |
| C. | Les mesures préventives : | 97 |
| 1. | Avant la pose de système d'attache : | 97 |
| a) | Application topique des fluorures : | 97 |
| 2. | Lors de la pose de système d'attache : | 99 |
| a) | Incidence du choix de l'attache : | 99 |
| b) | Utilisation des CVIMAR : | 100 |
| c) | Élimination des excès de colle : | 100 |
| 3. | Lors de la dépose de système d'attache : | 101 |
| a) | La technique de dépose des attaches : | 101 |
| b) | La connaissance de maillon faible de l'assemblage : | 102 |
| | Conclusion | 104 |

Introduction :

Le collage est une composante majeure de notre arsenal thérapeutique. L'orthodontiste, comme l'odontologiste, est amené à assembler différents matériaux sur de nombreux substrats (émail, dentine, céramique, résine, acier, amalgame, or...) de façon routinière, notamment chez l'adulte. Cela pose alors potentiellement des problèmes techniques, qui trouvent leurs solutions dans des protocoles techniques adaptés et spécifiques.

La maîtrise de cette étape clinique est un maillon clé de la chaîne technique nécessaire à la fiabilité de l'outil multiattache. Les performances de ce collage participent au bon déroulement du traitement et conditionnent l'organisation du cabinet.

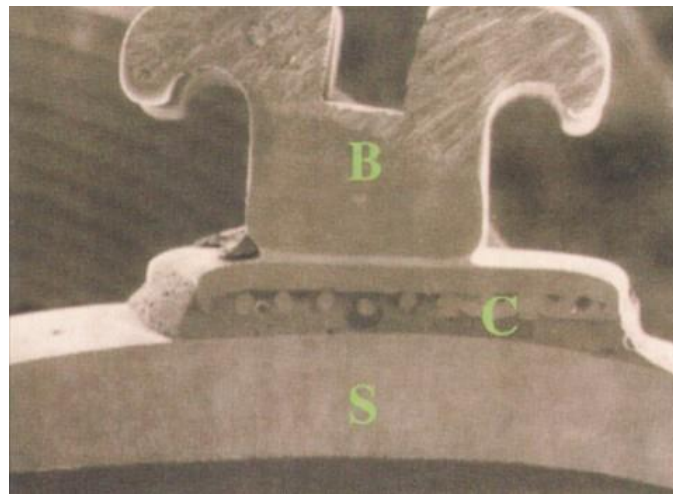
L'assemblage collé en orthodontie est constitué de trois composants :

- le substrat (émail, métal, céramique...);
- la colle ;
- le bracket.

Ces trois composants définissent deux interfaces, colle/substrat et l'interface colle/bracket. C'est l'étude de ces deux interfaces et de la qualité des colles qui nous permet d'optimiser les performances du collage.

La qualité de l'interface colle/substrat dépend de la nature et des propriétés de la colle comme de la nature et du traitement de la surface du substrat qu'est directement praticien dépendant.

La qualité de l'interface colle/bracket dépend également de la nature et des propriétés de la colle, mais aussi et surtout de la nature et du traitement de la base du bracket qui est globalement assumé par le fabricant.



*Figure 1: coupe longitudinale d'un assemblage collé (bracket / colle / substrat).
C : Colle, B : Brackets, S : Substrat*

I. Rappel sur la structure dentaire :

A. Émail :

L'émail est la couche extérieure visible qui recouvre nos dents. C'est le tissu le plus dur et le plus minéralisé de l'organisme. Il est essentiellement constitué de cristaux d'hydroxyapatite qui représente 97 à 98 % de la totalité de l'émail. Ceux-ci forment des rubans longs et minces : les cristaux

La matrice organique de l'émail ne représente que 2 à 3 % du poids total de l'émail. La majeure partie de cette matrice organique est dégradée et réabsorbée par les améloblastes lors de la phase de maturation. La faible quantité restante est composée de protéines et de lipides.

1. Structure histologique :

L'émail est constitué par des éléments minéraux appelés prismes d'émail, qui sont des regroupements de certains cristaux, séparés par la substance inter prismatique qui est minérale et organique. Les prismes ont une forme à peu près cylindrique. Les cristaux situés en leur centre ont une orientation parallèle au grand axe du prisme. Plus on s'éloigne du centre du prisme en se rapprochant de la substance inter prismatique et plus leur orientation est oblique. Les prismes ont une épaisseur qui va de 3 μm au niveau de la jonction émail-dentine, jusqu'à 6 μm près de la surface externe. Au contraire, l'épaisseur de la substance inter prismatique diminue lorsqu'on se rapproche de la surface externe. La substance inter prismatique est constituée de glycoprotéines et de cristaux d'apatite légèrement angulés et beaucoup moins nombreux qu'à l'intérieur du prisme.

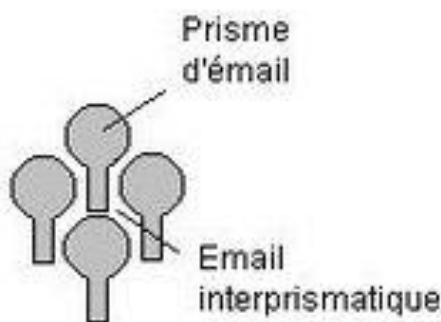


Figure 2 : Représentation schématique de l'imbrication des prismes de l'émail

2. Émail de surface :

l'émail de surface est surtout marqué par les lamelles d'émail. Ce sont des fissures qui partent de la surface et se dirigent vers la jonction améلودentinaire. Elles sont peu minéralisées. À la surface des dents qui viennent juste de faire leur éruption ou des dents incluses, on remarque de petites dépressions qui sont les empreintes des améloblastomes. Elles disparaissent rapidement avec l'usure masticatoire.

B. Dentine :

3. Composition chimique :

Elle contient environ 70 % d'éléments minéraux, 13 % d'eau et 17 % de matrice organique. La composition varie en fonction de l'âge de la dent, puisque la dentine se minéralise tout au long de la vie.

La phase minérale est surtout composée de cristaux d'hydroxyapatite qui sont plus petits que ceux présents dans l'émail. L'eau est essentiellement présente dans les prolongements odontoblastiques ou dans les tubules. Le reste se trouve dans la coque hydratée des cristaux.

La phase organique est constituée en grande partie de collagène de type I qui représente la fraction protéique, mais aussi de chondroïtine sulfate 4 et 6 en ce qui concerne la fraction hydrocarbonée, ainsi que de cholestérol, de phospholipides et de mono-, di- ou tri-glycérides pour la fraction lipidique.

4. Propriétés physiques :

La dentine est de couleur jaunâtre : on la voit par transparence sous l'émail ; la dentine coronaire est plus dure que la dentine radiculaire, et dans la couronne, la dentine est plus dure à la périphérie de la pulpe que sous l'émail ; la perméabilité de la dentine est de 66 soit 16 fois plus importante que celle de l'émail ; elle est relativement dense ^(1,2) ; elle est également relativement élastique ce qui confère à l'émail qui la recouvre une certaine résistance à la fracture, mais celle-ci diminue avec la teneur en eau lorsque la dent est devitalisée.

5. Structure histologique :

La dentine n'est pas un tissu homogène : elle est formée de plusieurs couches distinctes.

a) Manteau dentinaire :

Il se trouve à la périphérie, c'est une couche de faible épaisseur (de 5 à 30 μm mais qui peut aller jusqu'à 150 μ). Elle est moins minéralisée que la dentine sous-jacente. Les fibres de collagène sont également moins denses et elles sont disposées perpendiculairement à la jonction amélodentinaire. Le manteau dentinaire est atubulaire. Au niveau de la racine, il prend le nom de couche hyaline de Hopewell-Smith.

b) Dentine circumpulpaire :

Elle est sous-jacente au manteau dentinaire et est elle-même constituée de trois éléments : les tubules, la dentine péri tubulaire et la dentine inter tubulaire. Elle est formée de la dentine primaire, qui est élaborée jusqu'à la formation de l'apex, et limite la chambre pulpaire de la dent mature, et de la dentine secondaire qui se forme tout au long de la vie. L'apposition constante mais irrégulière de cette dentine secondaire, surtout au niveau du plafond et du plancher pulpaire, entraîne une réduction du volume de la chambre pulpaire. Lorsqu'il se produit une agression pathologique (carie, abrasion) ou thérapeutique (fraisage iatrogène), une dentine tertiaire va être produite par le tissu pulpaire, uniquement par les odontoblastes affectés par l'agression. Elle comprend la dentine réactionnelle et la dentine réparatrice.

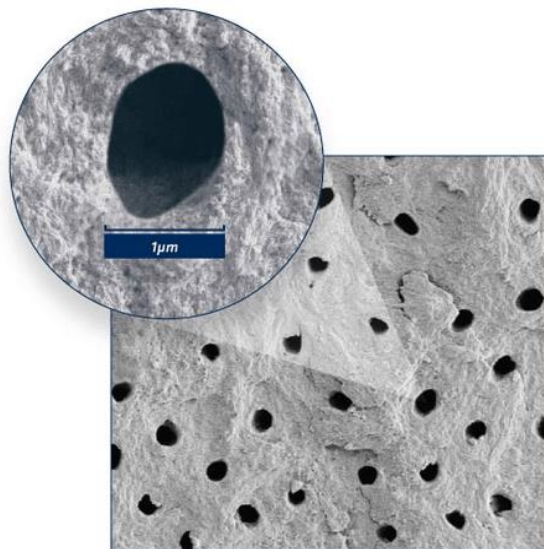


Figure 3: Les Canalicules dentinaires

c) Prédentine :

Elle tapisse la partie la plus interne de la dentine : c'est une matrice non minéralisée. Si elle venait à se minéraliser, elle deviendrait très vulnérable à la résorption par les odontoclastes : cette couche est donc très importante pour le maintien de l'intégrité dentinaire.

II. Principe du collage

L'adhésion est l'ensemble des interactions qui contribue à unir deux surfaces entre elles, et donc s'oppose à leur séparation (Collège national des enseignants en odontologie conservatrice - CNEOC-, 2010). En orthodontie on veut créer une liaison entre la dent et l'attache orthodontique via un système de colle. Il existe donc deux interfaces : dent ou matériaux de restauration/colle et colle/attache.



Figure 4: Interface de collage selon Hitmi

Deux théories complémentaires au phénomène d'adhésion se distinguent : (3,4)

- Phénomènes mécaniques jouant un rôle essentiel (base des bagues en treillis, et mordançage de l'émail provoquant des rugosités de surface) (Macbain et Hopkins, 1926)
- Phénomènes physico-chimique d'adsorption : liaisons chimiques entre adhésif et surface dentaire ou des attaches par des liaisons primaires ou secondaires (Schonnhorn et Sharpe, 1963)

En orthodontie, les propriétés requises de cette colle sont (5) :

- Cohésion et adhésion durables pour permettre la tenue de l'assemblage toute la durée du traitement
- Etanchéité immédiate et médiate (évite le risque de carie, résistance dans le temps aux variations de potentiel hydrogène - PH -, aux variations thermiques, à la solubilité)
- Biocompatibilité (absence de toxicité, de risque d'allergie) et respect de l'intégrité dentaire (pas de coloration, limiter le risque carieux, non cytotoxique pour la pulpe)
- Elimination aisée sans altération du substrat lors de la dépose
- Résistance aux forces masticatoires et orthodontiques appliquées sur les attaches et aux para-fonctions
- Prévention des fractures par l'élasticité du joint
- Bonne intégration marginale
- Simplicité de manipulation et d'élimination des excès, fiabilité
- Temps de travail suffisant : pour des collages multiples

III. Quels sont les progrès majeurs qu'ont été réalisés dans les 20 dernières années ? ⁽⁷⁾ :

En orthodontie, le collage et l'adhésion ont connu une évolution importante à l'instar de celle qu'à connue la dentisterie.

Les principaux progrès sont les suivants :

- 1 . Les performances élevées du collage à l'email des nouveaux systèmes de collage
2. Le collage efficace dans un environnement humide (molaires et prémolaires) grâce aux systèmes hydrophiles ce qui a permis le remplacement des bagues molaires et prémolaires par des attaches et des tubes collés.
3. La maîtrise du collage sur les différents substrats prothétiques (céramique, composite, amalgame, alliages précieux ou non précieux et les résines des prothèses provisoires) ce qui permis le développement de l'orthodontie de l'adulte.
4. un collage plus respectueux du substrat amélaire. Nous avons observé ces dernières années une diminution des taches de déminéralisation liées aux appareillages orthodontiques grâce au remplacement des bagues scellées par des attaches ou tubes collés et par l'utilisation de matériaux de collage bioactifs (relarguant des ions fluorures).

IV. Matériaux de collage :

A. Les systèmes adhésifs :

1. Rappels sur les systèmes adhésifs :

Les systèmes adhésifs sont constitués de différents biomatériaux appliqués successivement sur les surfaces dentaires. Leur utilisation est très souvent indispensable à la réalisation d'une interface dent-résine de collage cohérente et répondant aux impératifs posés par le collage. Un système adhésif est constitué :

- D'un **agent acide** permettant le mordantage de l'émail et/ou de la dentine.
- D'un **primaire d'adhésion** : à la fois hydrophile et hydrophobe, le primaire permet de lier le substrat, hydrophile, et l'adhésif qui lui, en revanche, est hydrophobe.
- Un **adhésif** : constitué de monomères résineux, il infiltre le substrat dentaire et assure la liaison avec la résine de collage.

2. Classification Des systèmes adhésifs :

peuvent être classés en fonction de leur apparition et de leur évolution au cours des dernières décennies. Cette première classification revêt un caractère historique et permet de distinguer actuellement 7 générations de matériaux d'interface. Néanmoins, la classification la plus communément utilisée est basée sur le nombre d'étapes associées à la préparation des surfaces dentaires et au traitement (ou non) de la boue dentinaire.

Divers systèmes sont ainsi individualisés :

- **Les systèmes Mordantage, rinçage « M&R »** : ils indiquent la réalisation d'une étape de mordantage puis de rinçage.

Le primaire peut être associé à l'adhésif (M&R II) ou non (M&R III).

- **Les système auto mordançant « SAM »** : automordançants, aucune étape de rinçage n'est alors requise. Ils combinent l'acide et le primaire (SAM II) ou l'acide, le primaire et l'adhésif (SAM I).

- **Les adhésifs universels** : ils peuvent être utilisés de deux façons. Soit dans un protocole utilisant le mordantage et le rinçage ; soit dans une approche simplifiée basée sur l'automordantage. Ils peuvent également être utilisés dans le cas d'un mordantage sélectif (où seul l'émail est mordancé).

NB : le chiffre associé au nom du système renseigne sur le nombre d'étapes cliniques lors de la préparation des surfaces dentaires.

3. Les différents systèmes adhésifs :

a) Les systèmes M&R II/III :

(1) L'agents mordançant :

Les systèmes M&R se basent sur un mordantage préalable. Comme vu précédemment, il est réalisé grâce à de l'acide orthophosphorique dont la concentration s'élève en moyenne à 37% et dont le pH est inférieur à 1. Sous forme de gel, leur coloration permet de contrôler leur application au niveau des tissus dentaires. Leur viscosité relative permet également de mordancer de façon sélective les tissus d'intérêt, en évitant que l'acide ne s'étale au-delà de la zone désirée.



Figure 5: Gel de mordantage

(2) Les primaires d'adhésion :

i. Les systèmes M&R III :

Sa mise en œuvre requiert trois étapes cliniques distinctes, chacune d'entre elles correspondant à l'utilisation d'un matériau. Suite au mordantage et au rinçage de l'acide orthophosphorique, le primaire d'adhésion est appliqué.

Les primaires d'adhésion sont retrouvés sur le marché actuellement, chacun présentant, comme tout biomatériau, ses avantages et ses inconvénients



Figure 6 : Système M&R III de chez Ivoclar Vivadent comprenant le gel de mordantage, le primer et l'adhésif

ii. Les systèmes M&R II :

Ces systèmes comprennent deux étapes cliniques : la première est une étape de mordantage, la deuxième correspond à l'application du primaire et de l'adhésif de façon simultanée. Un même flacon contient donc le primaire et l'adhésif, dont la composition sera détaillée ultérieurement. Cette composition hétérogène rend le mélange plus soluble et donc plus enclin à se dégrader dans le temps (6).



Figure 7 : Système M&R II de chez Ivoclar Vivadent : primaire+ adhésif disponible en flacon ou stylo

b) Les systèmes SAM II et SAM I :

Dans le cas d'un **SAM II**, le mordantage et l'application du primaire sont concomitants. Un même flacon contient donc : des monomères acides assurant la déminéralisation des tissus dentaires et leur infiltration ; et le primaire composé de monomères hydroxyéthylméthacrylate - HEMA- et de solvants.

L'utilisation d'un **SAM I**, quant à lui, ne nécessite qu'une seule application : le mordantage, la mise en place du *primer* et de l'adhésif sont ainsi réalisés en une étape seulement. Ils contiennent, à l'instar d'un SAM I, des monomères acides, des monomères HEMA, et des solvants. Leur composition diffère par l'ajout d'un adhésif



Figure 8 : Système SAM II (à gauche) - Système universel pouvant être utilisé comme un SAM I (à droite)

B. Les Résins de collage :

En orthodontie, les propriétés requises de la colle sont ⁽⁹⁾:

- Cohésion et adhésion durables pour permettre la tenue de l'assemblage toute la durée du traitement
- Etanchéité immédiate et médiate (évite le risque de carie, résistance dans le temps aux variations de PH, aux variations thermiques, à la solubilité)
- Biocompatibilité (absence de toxicité, de risque d'allergie) et respect de l'intégrité dentaire (pas de coloration, limiter le risque carieux, non cytotoxique pour la pulpe)
- Elimination aisée sans altération du substrat lors de la dépose
- Résistance aux forces masticatoires et orthodontiques appliquées sur les attaches et aux para-fonctions-Prévention des fractures par l'élasticité du joint-Bonne intégration marginale
- Simplicité de manipulation et d'élimination des excès, fiabilité -Temps de travail suffisant : pour des collages multiples

Cinq familles de colles sont utilisées en orthodontie. ⁽⁹⁾ :

Les colles composites hydrophiles et hydrophobes sont composées d'un adhésif et d'un composite tandis que pour les Ciment Verre-Ionomère Modifié par adjonction de résine - CVIMAR - et les colles auto-mordançantes et auto-adhésives, l'adhésif n'est pas nécessaire.

1. Les colles traditionnelles hydrophobes :

Elles sont classées selon le mode de polymérisation qu'elles ont.(10) (11)

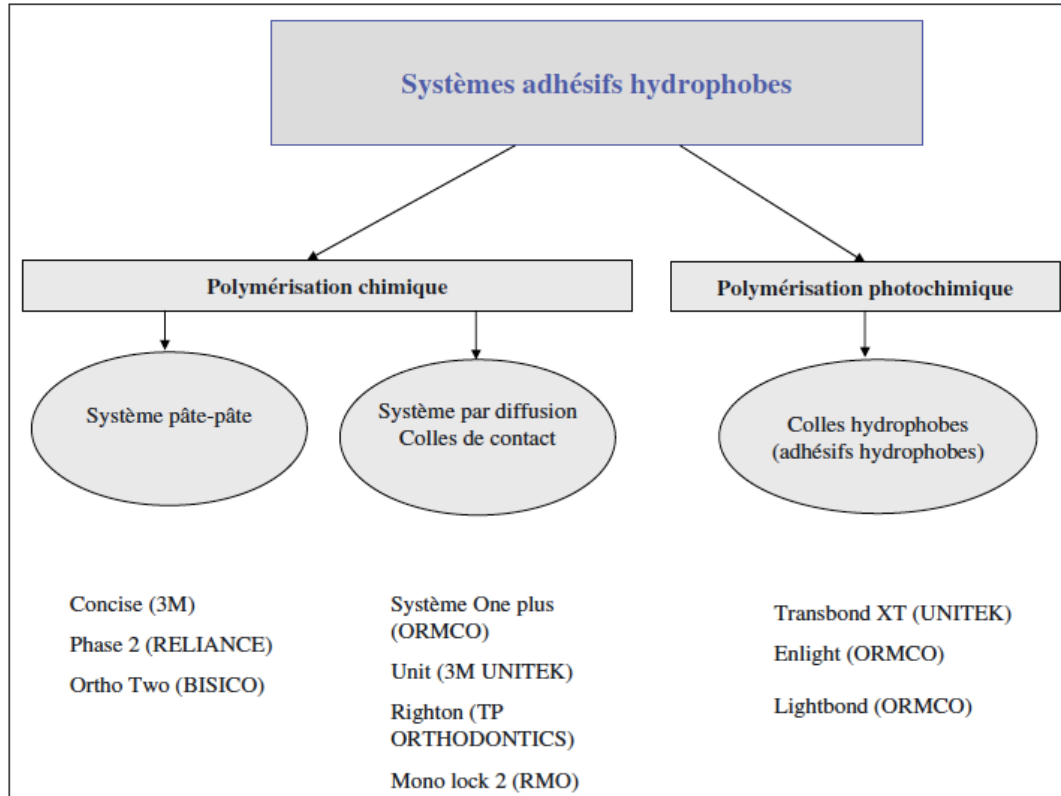


Figure 9 : Systèmes adhésifs hydrophobes selon le mode de polymérisation ⁽¹²⁾

L'adhésif ainsi que le composite sont composés de monomères hydrophobes. Leur mode d'application nécessite une préparation de surface (que l'on n'évoquera pas dans ce travail), un séchage, une application de la colle puis la mise en place de l'attache et la polymérisation peut être par chémo-polymérisation ou photopolymérisation.

On distingue ainsi :

a) Les colles chémo-polymérisables :

- **Pâte/pâte** : en réalité composée de 2 liquides et 2 pâtes dont l'avantage est la prise de masse et le taux de conversion qui sont indépendants de l'opérateur. Cependant le mélange nécessite un travail à quatre mains, le temps de travail disponible est en effet limité. Il existe une possibilité d'incorporation de porosités lors des mélanges et une différence de polymérisation s'il y a une modification du rapport base/catalyseur. De plus des altérations de l'émail sont possibles (davantage lors de la dépose des attaches céramiques)



Figure 10 : présentation du produit Concise® Orthodontic Adhesive de 3M Unitek

- **Pâte/activateur** : L'absence de mélange élimine les risques d'incorporation de porosité et apporte un gain de temps mais il y a une prise par diffusion donc le taux de conversion est fonction de l'épaisseur de la colle et de la qualité d'adaptation de l'attache ce qui provoque un taux d'échec élevé principalement au niveau des prémolaires. Aussi, elle présente un temps de travail disponible limité.



Figure 11 : présentation du produit Right-on® de TP Orthodontics

b) Les colles photopolymérisables :

Il n'y a pas de mélange nécessaire donc pas d'incorporation de porosités, le temps de travail disponible est long mais elle nécessite un conditionnement à l'abri de la lumière et le degré de conversion est dépendant de l'épaisseur de colle, la nature et le taux de charges dans la colle, la nature des attaches orthodontiques (les céramiques diffusent mieux la lumière) la puissance de la lampe à photopolymériser (doit être supérieure à 500mW/cm²), la distance source lumineuse/colle, le temps d'insolation.

Certaines colles comme la GC Ortho® Concept sont auto-adhésive donc ne nécessitent pas l'application d'adhésif mais un mordantage est nécessaire.



Figure 12 : présentation du produit Transbond® XT de 3M Unitek

c) Les colles duales :

Elles sont à la fois chémo et photopolymérisables, nous avons notamment la Nexus 3® de Kerr, qui n'est pas auto-adhésive.

- **Avantages et inconvénients des colles hydrophobes :**

- **Avantages :**

- Valeurs d'adhérence élevées
- Recul clinique important

- **Inconvénients :**

- Sensibilité à la manipulation
- Sensibilité à la contamination humide ou salivaire
- Risque de déminéralisation dentaire voire de perte d'émail
- Dépose difficile (surtout avec les attaches céramiques)
- Peu fluides ce qui est gênant en collage indirect (risque d'avoir une épaisseur de colle trop importante)

2. Les colles hydrophiles :

Elles sont composées d'une résine composite hydrophobe chémo-polymérisable ou photopolymérisable et d'un adhésif (13,14). Seul l'adhésif a été rendu hydrophile de par l'apport de monomères hydrophiles. Un solvant (acétone ou alcool) est ajouté à l'adhésif pour éliminer l'eau de la surface amélaire. Le mode d'application est semblable aux colles hydrophobes et dépendant du mode de polymérisation de l'adhésif et du composite.



Figure 13 : présentation du produit OrthoSolo® d'ORMCO

- **Avantages et inconvénients des colles hydrophiles :**

- **Avantage :**

- Moins sensibles aux conditions humides (Vicente et coll., 2009). En fait cela n'est vrai que pour la phase précédant l'application de l'adhésif car le composite est hydrophobe
- Valeurs d'adhérence élevée
- Bonnes propriétés mécaniques
- Confort de la photopolymérisation

- **Inconvénients :**

- Risque de perte d'émail de part le mordantage agressif et la rigidité du composite
- Difficulté de dépose (surtout dans le cas d'attaches céramiques) due aux propriétés mécaniques élevées
- Protocole long
- Temps de travail limité en cas d'utilisation de systèmes chémo-polymérisables
- Les colles chémo-polymérisables sont peu fluides ce qui est gênant en collage indirect (risque d'avoir une épaisseur de colle trop importante).

3. Les colles auto-mordançantes :

De même que pour les colles hydrophiles, seul l'adhésif est auto-mordançant, pas le composite. Dans ce système, il existe une déminéralisation et une infiltration simultanée de la résine adhésive⁽¹⁵⁾. Le système est photopolymérisable. La composition est semblable à celle des adhésifs hydrophiles avec en plus un pH situé entre 0,8 et 2 dû à l'ajout de monomères acides (hydroxy-éthyle méthacrylate ou HEMA). D'après Mano et Medhi en 2009⁽¹²⁾ la pénétration de résine est identique à la profondeur de mordantage.⁽¹⁰⁾



Figure 14 : Transbond® Plus Self Etching Primer de 3M Unitek

- **Avantages et inconvénients des colles auto-mordançantes :**

- **Avantages** ⁽¹⁶⁾ :

- Moins agressif pour l'émail car l'attaque acide est plus faible
- Manipulation aisée et ergonomique (présentation sous forme de sucette)
- Pas de problème de contrôle de l'humidité vu qu'il n'y a pas de rinçage
- Bonne efficacité (comparable aux colles non auto-mordançantes) ^(17,18,19,20,21)

- **Inconvénients** ⁽¹⁶⁾ :

- Sensibles à la contamination humide ou salivaire après application de l'adhésif

4. Les colles auto-adhésives :

Ce sont les matériaux les plus récents, normalement elles ne nécessitent aucun traitement de surface de mordantage ou de mise en place d'adhésif ⁽²²⁾. Ces colles ont un effet micromécanique et chimique d'adhésion. Cette adhésion chimique serait liée à des liaisons chimiques entre les ions calcium des tissus dentaires et des groupements phosphates des monomères acides de la colle. Elle pourrait être utile en orthodontie d'après Al-Saleh. ⁽²³⁾

En réalité cela est vrai pour l'adhésion à la dentine, mais l'adhérence à l'émail n'est pas suffisante en orthodontie. ^(24,25,13)

Ainsi pour contrer cette déficience, il faut ajouter un mordantage préalable à l'application de la colle auto-adhésive ^(26,27,28)



Figure 15 : présentation du produit RelyX® Unicem 2 Automix de 3M Espe.

- **Avantages et inconvénients des colles auto-adhésives :**

- **Avantages** ⁽²⁹⁾ :

- Simple, rapide, ergonomique (moins d'étapes, présentation idéale, pas de spatulation)
- Diminution du risque d'erreur, du nombre d'interfaces et des risques de contamination de part la suppression de la mise en place d'un adhésif
- Viscosité idéale pour le collage indirect

- **Inconvénients** ⁽²⁹⁾ :

- Collage direct impossible du fait de la faible viscosité, l'attache glisse et on perd de la précision de collage. Cette viscosité est idéale pour un collage indirect ⁽²⁸⁾
- Temps d'exécution long dû à la viscosité, il faut photopolymériser après chaque application

5. Les ciments verre-ionomères modifiés par addition de résine. (CVIMAR) :

Ces matériaux combinent les propriétés des ciments verre-ionomères et la résistance des composites, donc ils allient les avantages des composites (meilleure force d'adhésion) et des CVI (pas de modifications des surfaces dentaires après dépose des attaches).^(30,31,32) Le mode d'application est similaire.⁽³³⁾

- **Avantages et inconvénients des CVIMAR :**

- **Avantages :**

- Cohésion faible, ⁽¹⁶⁾ donc il existe une fragilité mécanique permettant la dépose facile et une élimination aisée en fin de traitement (bien pour les attaches indéformables, ou lors d'un collage proche de la zone cervicale ou l'émail est fin) ⁽³⁰⁾
- Biocompatibles, libérant des ions fluorures et capables de se recharger en ions fluorures pour en relarguer plus tard donc diminue la déminéralisation de l'émail autour des attaches ^(34,35)
- Meilleur respect de l'intégrité de l'émail ⁽³⁵⁾
- Tolérants vis à vis de l'humidité (hydrophile et mono-composant)⁽³⁶⁾

- **Inconvénients :**

- Nécessité de mordantage à l'acide polyacrylique
- Adhérence inférieure aux autres systèmes ⁽⁸⁾

Pour améliorer l'adhésion physicochimique et micromécanique il est possible d'associer un CVIMAR à un adhésif auto-mordançant ce qui permet une meilleure adhésion⁽²⁹⁾ avec une augmentation de 70% de la tenue de l'assemblage par rapport à l'utilisation d'acide polyacrylique, une bonne tolérance à l'humidité et une facilité de dépose des attaches et d'élimination de la colle.

6. Autres matériaux d'assemblage :

Les résines 4 META et MDP ne s'utilisent pas sur l'émail ou la dentine car ils sont trop efficaces mais peuvent être utilisés sur les métaux et la céramique.

C. Choix de système de collage : (39)

Il est nécessaire que l'orthodontiste puisse se repérer dans cette multitude de systèmes de collage proposés, car aucun système ne répond à l'ensemble des cahiers des charges d'une colle orthodontique. Il n'y a pas de système idéal. Chaque système a ses avantages et ses inconvénients. L'orthodontiste doit les connaître pour choisir le système le plus adapté à sa situation clinique.

Les colles traditionnelles quel que soit leur mode de polymérisation (chémo ou photo) sont des systèmes qui nécessitent un mordantage préalable à l'acide phosphorique et qui ne supportent aucune contamination humide ou salivaire. Ces systèmes ont des performances limitées dans les secteurs prémolaires et molaires à cause de l'hygrométrie de la cavité buccale liée à la respiration du patient.

La version chémo-polymérisable reste la seule colle adaptée au collage indirect avec une gouttière en silicone opaque. Cette dernière ne transmettant pas de lumière requiert l'utilisation d'un système chémo-polymérisable. En dehors des colles traditionnelles, il n'existe pas de système de collage chémo-polymérisable.

Les systèmes hydrophiles sont basés sur le même principe de collage que les colles traditionnelles (mordantage préalable).

Cependant, l'adjonction dans leur composition de monomères hydrophiles et d'un solvant (éthanol ou acétone) leur permet d'assurer une excellente tenue de l'assemblage en milieu humide. Ils sont plus performants que les précédents dans les secteurs latéraux et postérieurs.

Cependant, les systèmes traditionnels et les systèmes hydrophiles sont plus agressifs sur l'émail que sur les autres systèmes. Le traitement de surface par déminéralisation requis et la pénétration du liquide en profondeur des zones déminéralisées associées aux propriétés mécaniques élevées de la pâte composite rendent la dépose des attaches à la fin du traitement et le nettoyage de la colle plus difficile avec un risque élevé d'altération de l'émail.

Les systèmes automordantants présentent l'avantage d'être plus ergonomiques, plus rapides et plus simples d'utilisation. L'adhésif acide prépare la surface amélaire par déminéralisation et infiltre l'émail déminéralisé en même temps. Les étapes de mordantage et de rinçage de l'acide sont supprimées. Ces systèmes représentent, également d'être beaucoup moins agressif que les deux précédents.

Cependant, ils sont opérateurs dépendants. Ils requièrent une grande vigilance en terme de nettoyage de surfaces avant le collage. Tout débris organique résiduels sera à l'origine de l'altération des performances mécaniques ou de l'étanchéité de l'assemblage collé.

Les ciments verres ionomères modifiés par addition de résine (CVIMRs), grâce à leur mode d'adhésion physicochimique, ont l'avantage d'avoir des performances suffisantes sans nécessiter de traitement de déminéralisation. Un traitement à l'acide polyacrylique est suffisant. Il s'agit d'une simple dépollution des surfaces et de leur conditionnement pour une meilleure mouillabilité du CVIMAR.

Les CVIMARs présentent également l'avantage d'être bioactifs grâce à leur fonctionnement comme une pompe à ions fluorures. Ils relarguent des ions fluorures autour des attaches et se rechargent à partir des applications topiques par l'intermédiaires de pâtes dentifrices, de bains de bouche ou de gels fluorés.

Ils ont l'avantage d'avoir une faible cohésion. Ceci rend la dépose des attaches et le nettoyage de la colle à la fin du traitement plus aisés. C'est le système de collage recommandé pour les

attaches indéformable (céramique). Cependant la faible cohésion des CVIMARs peut être considérée comme un inconvénient pour le collage des attaches au niveau des zones soumises à des fortes contraintes liées à la mastication ou à des interférences (les secteurs postérieurs).

Les colles auto-adhésives présentent l'avantage de ne pas nécessiter d'adhésif. L'interface la plus sensible d'un assemblage collé est l'interface adhésif-composite. Avec les colles auto-adhésives, cette interface se trouve supprimée et le risque d'erreur se trouve réduit.

Sur l'émail, les colles auto-adhésives associent une adhésion micromécanique, par infiltration de l'émail déminéralisé, et une adhésion chimique. Elles présentent également l'avantage d'offrir une adhésion chimique aux substrats prothétiques (alliages métalliques, céramiques, et composites).

Les colles auto-adhésives sont également automordançante. Cependant leur pouvoir automordançant n'est pas suffisant sur l'émail orthodontique (non fraisé). Il est nécessaire de réaliser un mordantage préalable. Leur principal inconvénient est leur viscosité qui n'est pas adaptée au collage direct des attaches ODF à cause du glissement de l'attache lors de son positionnement. Leur viscosité est plus adaptée au collage indirect des attaches orthodontiques.

Revue de la littérature à études statistiques :

L'étude de Miles P.G en 2005,⁽³⁷⁾ compare une colle chémo-polymérisable (Maximum Cure MC) et une colle photopolymérisable (Flitek Flow FF) dans une technique de collage indirect.

112 patients ont été collé secteur droit avec la colle MC et secteur gauche avec la colle FF, ils ont été suivi pendant 6 mois. Sur 2468 supports placés 36 (taux d'échec 2,9%) avec MC se sont détachées et 30 dans le groupe FF (taux d'échec 2,4%), ainsi les taux d'échecs sont faibles et comparables pour les deux. Le choix de la colle dépend plus de l'usage clinique préféré.

L'étude de Shah J. en 2009⁽³⁸⁾ dans un essai clinique randomisé et une revue de littérature compare un système de collage en une étape (avec utilisation de SEP auto-mordançant) et un système de collage en deux étapes (Transbond®). Le taux de décollement était de 2,0% pour le Transbond® et de 1,7% à 6 mois et 7,4% tout au long du traitement et pour les SEP à 6 mois il était de 1,7% et plus tard dans le traitement à 7,0%. En conclusion le taux de décollement est comparable pour les deux il n'y a pas de différence significative.

V. Techniques de collage :

A. Le Collage direct ⁽⁴⁴⁾ :

1. Collage sur substrats naturels :

a) Définitions :

La méthode de collage direct consiste à positionner directement en bouche les attaches orthodontiques une à une sur les dents préparées à l'emplacement souhaité. Elle ne nécessite pas d'étape de laboratoire préalable.

b) Matériel :

- (1) Écarteur de joue.
- (2) instruments de consultation :
 - Sonde orthodontique
 - Le Miroir

(3) Les précelles :

Les attaches orthodontiques sont placées à l'aide d'une précelle classique ou d'une précelle orthodontique autobloquante droites ou coudées pour les tubes.

(4) Matériels de nettoyage et polissage :

- Contre angle bague bleu
- Brossette et cupule

(5) Les attaches orthodontiques :

- Les attaches utilisées peuvent être en métal précieux ou non ou en céramique (zircone, oxyde d'alumine mono ou bi cristalline).

- Il existe de nombreux types d'attaches et les bases ont été conçues de façon à augmenter la rétention.

- Il existe pour les attaches métalliques :

- le système de grille simple soudée externe en deux parties (Mesh) ou interne (usiné/monoblocs) en un seul bloc grâce à des encoches, rainures horizontales ou verticales

- la base mordancée et poreuse par un procédé de photo-mordantage ou par l'application d'une poudre inoxydable

- le système dont la base est sculptée au laser

- Pour les attaches céramiques :

- Artifices de rétention taillés dans la base

- Possède des irrégularités en pointes de diamant

- L'ajout de silane sur la base jouant un rôle dans l'adhésion chimique (Le silane est un agent de couplage se liant d'un côté à la céramique contenant de la silice et de l'autre à la colle composite. L'acide fluorhydrique attaque la matrice vitreuse et le silane crée des ponts organo-minéraux avec l'adhésif et le composite de collage. Le couplage acide fluorhydrique et silane reste à ce jour le meilleur traitement de surface de céramique.)

- Il existe un système d'attaches préencollées (3M) pour lesquelles il n'y a aucun mélange, aucune spatulation, la colle est déjà sur la base de l'attache. Elles sont présentées dans des blisters sur lesquels figurent la référence, les valeurs de torque et d'angulation, la date de péremption et la notation Palmer. Leur stockage est pratique et individuel avec une gestion simplifiée, la colle est assez fluide pour pouvoir positionner les attaches avec précision et suffisamment visqueuse pour éviter tout déplacement involontaire de l'attache. Seule une préparation de surface suivie de l'application de l'adhésif précède l'application de l'attache que la surface dentaire.

(6) Les Jauges orthodontiques :

Une jauge de hauteur est souvent utilisée pour un bon contrôle de la hauteur de positionnement des attaches. Il existe deux types de jauges : la jauge droite et la jauge étoilée. Une étude clinique de 2006 réalisée par H. Moustarfir ⁽⁴⁵⁾ comparait le positionnement des attaches orthodontiques selon l'utilisation des deux jauges, la jauge étoilée serait plus précise au niveau de la hauteur de positionnement de l'attache sauf sur l'incisive latérale ou la jauge droite serait plus précise en vertical et au niveau de l'angulation.

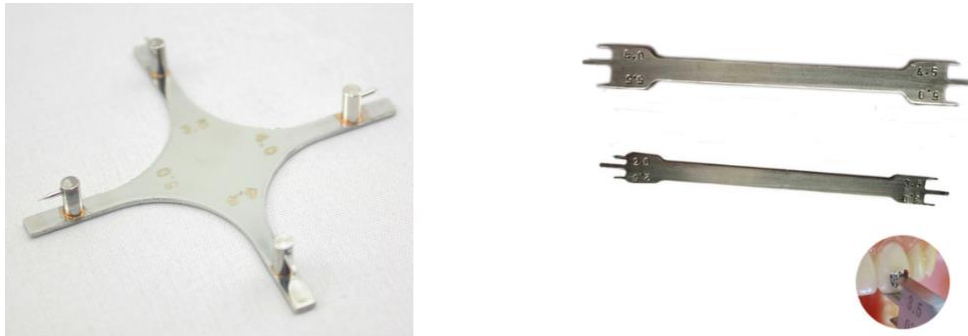


Figure 16: Présentation des deux types de jauges pour le collage direct.

c) Le Protocole de collage :



Figure 17: Protocole de collage direct des attaches orthodontiques d'après le Dr Boileau ⁽⁴⁹⁾

1. Placez l'écarteur de joue
2. Séchez sans assécher les surfaces amélares
3. Nettoyage de la surface amélaire avec meulette en caoutchouc 2 à 3 secondes par dent ou une bossette enduite de pâte prophylactique (se sont des pâtes de différentes granulométries pour répondre aux différents besoins. L'élimination des taches tenaces et de la plaque dentaire nécessite une pâte d'une granulométrie élevée , c'est-à-dire avec une action de nettoyage intensif, Cette action est assurée par les particules abrasives, telles que la pierre ponce, contenues dans la pâte) .
4. Déminéralisation de l'émail par attaque acide seule (système M&R ou pour les CVIMAR) ou avec simultanément la pénétration de la colle (système SAM)
5. Pénétration de la colle sur les zones déminéralisées
6. Mise en place de l'attache et contrôle de la hauteur, de la position centrée en mésio-distal et de l'axe de l'attache par rapport à l'axe corono-radiculaire (on fait un contrôle en vestibulaire et en palatin ou lingual à l'aide du miroir de bouche de la position mésio-distale et de l'axe de l'attache et à l'aide de la jauge on vérifie la hauteur)

Les critères de positionnement des attaches sont :

- La valeur d'angulation selon l'axe de la dent
- La valeur d'inclinaison selon la hauteur de collage
- Le centrage mésio-distal selon le bombé de chaque dent.
- Andrews a permis de standardiser et d'optimiser les normes de position selon les dents. ⁽⁴⁶⁾

Il a établi le point « FA (Facial Axis) » qui est le point médian de l'axe coronaire (partant du milieu du bord libre des incisives, des points cuspidiennes des secteurs latéraux et du sillon vestibulaire des molaires jusqu'au collet dentaire).

- En reliant les points « FA » on obtient le plan d'occlusion d'Andrews, cela est utilisé pour la technique d'arc droit. Cependant il y a une insuffisance d'individualisation, on ne tient pas compte de la typologie, des fonctions et des inégalités entre les dents.

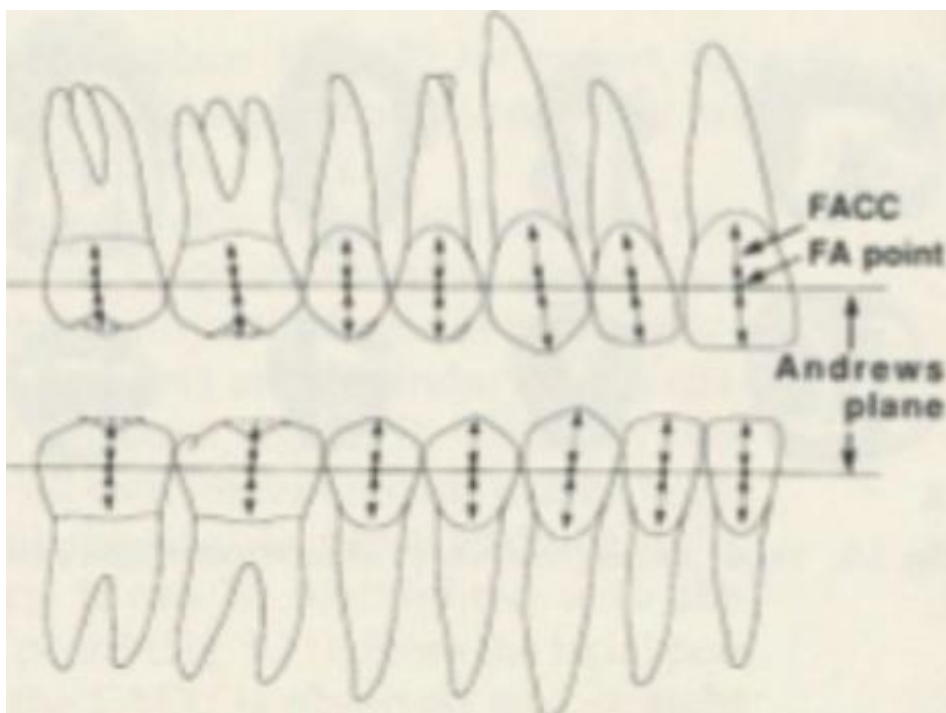


Figure 18: point FA d'Andrews (d'après un cours de Sylvain Chamberland) et FACC (Facial Axis for the Clinical Crown)

7. Retrait des excès de colle .
8. Polymérisation de la colle selon le mécanisme de polymérisation : chémo-polymérisable (la réaction est initiée lors du mélange) ou photo-polymérisable (la réaction est initiée par l'exposition à la lampe à photopolymériser).

d) Lors du mordantage, quel protocole choisir pour respecter au mieux la surface amélaire ? le sablage est il une alternative crédible ? ⁽⁸¹⁾ :

- Il existe différents produits de mordantage en dentisterie adhésive : acide phosphorique, acide maléique, acide citrique, acide polyacrylique...etc. En orthodontie nous collons sur l'émail sain non travaillé (non fraisé). L'acide phosphorique est le produit de mordantage universel.
- Il doit être appliqué sous forme de liquide, gel ou semi gel. La présentation de l'acide n'a pas d'influence sur la qualité de mordantage. Cependant, le semi gel est plus apprécié. Sa viscosité permet une application simple avec une bonne maîtrise de l'étalement sur la surface souhaitée.
- La concentration de l'acide n'a pas d'influence sur les performances de l'assemblage en termes d'adhérence. Elle influence uniquement l'aspect visuel et la morphologie au microscope électronique à balayage du relief de l'émail déminéralisé. En effet, l'aspect blanc crayeux de l'émail qui nous permet de contrôler la qualité du mordantage, n'est obtenu qu'à partir d'une concentration de 20% . En ODF, nous avons l'habitude d'utiliser des concentrations entre 32 et 40%.
- Le temps de mordantage recommandé est de 15 à 30 secondes. Il n'y a aucune différence en termes d'adhérence entre 15 et 30 secondes de mordantage. Cet intervalle de temps assure une grande souplesse pour le multicollage en ODF (1 ou 2 arcades). Cependant, au-delà d'une minute de mordantage, un phénomène de réprécipitation des cristaux minéraux s'amorcerait, masquerait le relief créé par le mordantage acide, le séchage jusqu'à l'obtention de l'aspect crayeux est indispensable en cas d'utilisation des systèmes de collage hydrophobes.
- Le mordantage à l'acide phosphorique entraîne une perte de 8µ d'épaisseur d'émail, en dehors de la déminéralisation des zones intra et interprismatiques, qui permettront la formation de brides résineuses indispensables à l'ancrage micromécanique des systèmes de collage. La perte de 8µ ne représente rien devant les 100 à 250µ de perte totale de l'émail à la suite de la dépose des attaches et du nettoyage de la colle à la fin du traitement ODF. Cette perte est observée dans le cadre d'utilisation de systèmes de collage nécessitant un mordantage et associant un liquide et une pâte. La viscosité du liquide lui permet de s'infiltrer en profondeur de l'émail déminéralisé et d'être à l'origine d'une perte significative de l'émail à la fin du traitement.
- Ce n'est pas le mordantage acide en soi qui est agressif mais son association avec un système sous forme d'un liquide et d'une pâte (famille des colles traditionnelles et hydrophiles).
- Le sablage seul est un traitement de surface agressif et non suffisant sur l'émail. Le sablage associé à un mordantage acide n'améliore pas la tenue de l'assemblage vestibulaire par rapport à un mordantage seul. Cependant, il s'avère indispensable pour le collage en lingual. Quand au collage aux CVIMARs, il est recommandé de faire un traitement à l'acide polyacrylique sans réelle déminéralisation. Leur principe d'adhésion micromécanique en plus de l'adhésion physico-chimique peut augmenter la tenue de l'assemblage au CVIMARs. L'association des deux modes d'adhésion peut être intéressante pour les secteurs postérieurs.
- Le mode d'adhésion micromécanique peut être obtenu par mordantage à l'acide phosphorique ou sablage. Etant donné l'agressivité du sablage sur l'émail et la toxicité de l'Oxyde d'aluminium utilisé (AL2O3), ce traitement de surface ne semble pas justifié pour le collage aux CVIMARs en vestibulaire chez les enfants. Nous perdons le principal avantage des CVIMARs qui est le respect de l'intégrité amélaire.

Tableau 1 : Tableau récapitulatif de la préparation de la surface dentaire :

| Substrats | Étapes de préparation afin de rendre le substrat prêt à recevoir les matériaux d'assemblage |
|----------------|--|
| Email | <ul style="list-style-type: none"> - Brossette enduite de ponce ou meulette en caoutchouc 2 à 3 secondes par dent - Mordançage : <ul style="list-style-type: none"> - Acide orthophosphorique à 37% pendant 15 à 30 secondes, aspiration de l'acide ou - Acide maléique à 10% (altère la qualité de l'émail et donc du collage) pas ou peu utilisé ou - Acide polyacrylique à 10% pendant 20 secondes, utilisé pour le collage des CVI et de leurs dérivés - Rinçage abondant - Séchage Ou - Sablage ou micro-sablage avec des particules d'oxyde d'alumine de 29 µm pendant 2 à 3 secondes par dent, avec une pression de 3 bars - Rinçage - Séchage Ou - Laser 1,5 W pendant 15 secondes |
| Dentine | <ul style="list-style-type: none"> - Système M&R : <ul style="list-style-type: none"> - En 3 temps : <ul style="list-style-type: none"> - Mordançage à l'acide orthophosphorique à 37% pendant 15 secondes - Aspiration et rinçage abondant - Séchage sans déshydrater la dentine - Application du primaire d'adhésion - Séchage - En 2 temps <ul style="list-style-type: none"> - Mordançage à l'acide orthophosphorique à 37% pendant 15 secondes - Aspiration et rinçage abondant - Séchage sans déshydrater la dentine - Application du primaire d'adhésion et de l'adhésif prémélangés ou conditionnés en un seul flacon - SAM : <ul style="list-style-type: none"> - Brossette enduite de ponce ou meulette en caoutchouc 2 à 3 secondes ou micro-sablage avec de la poudre de bicarbonate de sodium <ul style="list-style-type: none"> - En 2 temps <ul style="list-style-type: none"> - Application du primaire acide pendant 20 à 30 secondes - Séchage léger - En 1 temps <ul style="list-style-type: none"> - Application d'un seul produit regroupant le mordançage, le primaire et la résine adhésive - Séchage léger - NB : Pour les ciments verre-ionomères, leurs dérivés et quelques rares colles autoadhésives : <ul style="list-style-type: none"> - Brossette enduite de ponce ou meulette en caoutchouc 2 à 3 secondes ou micro-sablage avec de la poudre de bicarbonate de sodium - Mordançage à l'acide polyacrylique et rinçage-séchage (cette étape de mordançage n'est pas obligatoire) |

2. Collage sur substrats non naturels :

a) Collage sur la céramique : (Sorel et coll., 2009) :

Les couronnes céramiques peuvent être de différentes natures. Les couronnes céramométalliques présentent une surface vestibulaire en céramique et souvent une surface linguale en grande partie métallique. Il faut donc bien veiller à adapter son collage à la surface considérée.

Quelque soit le type de restauration en céramique (céramo-métallique, zircone...), la couche de céramique cosmétique superficielle qui donne la couleur et l'aspect brillant à la dent est une céramique feldspathique (céramique à matrice vitreuse à base de silice) glacée à la cuisson (Janda et coll., 2003).

L'adhésion directe est donc impossible et le glaçage rend la surface résistante aux attaques acides classiques. Une préparation de la surface est donc nécessaire. Plusieurs étapes sont donc à mettre en oeuvre :

- Micro-sablage de la céramique avec de l'alumine à 50 µm (Turkkahraman et Kucukesmen, 2006) : cette action détruit la pellicule superficielle de glaçage de la céramique, une fraise diamantée sur turbine peut être utilisée à défaut. Cette pellicule peut être reconstituée après dépose du collage par un réglage mécanique avec des meulettes adaptées. Cette étape permet aussi d'éliminer le biofilm.

- Attaque acide de la céramique : un gel d'acide fluorhydrique à 10 % est mis en place et conservé pendant deux minutes au contact de la céramique (Sarac et coll., 2007). Il est déposé sur une surface sèche, ce qui évite à l'acide de glisser, à l'aide d'une micro-brosse pour appliquer une quantité nécessaire et suffisante (la plus petite possible). L'acide est, après 2 min, aspiré. La surface est alors rincée abondamment pendant 60 secondes puis séchée.

- Silanisation de la céramique (Atsu et coll., 2006 ; Turk et coll., 2006) : trois couches de silane sont déposées sur la surface sèche de la céramique préparée. Le silane se fixe sur les particules de silice dégagées par l'attaque acide, les trois couches ont pour but de saturer les particules de silice. L'adhésion chimique (covalente) du silane à la silice crée une couche fortement liée à la surface de la céramique. La résine va réagir avec la couche du silane en établissant aussi une liaison chimique forte.



Figure 19 : Silan de chez pulpdent

Actuellement, dans certaines techniques de CFAO (Conception et fabrication assistées par ordinateur) , directes, au fauteuil en une seule séance, le praticien peut élaborer des pièces prothétiques (inlays, onlays ou couronnes unitaires) (Cerec®, Sirona) dans des blocs de céramiques renforcées, avec un simple polissage terminal, même si un glaçage est recommandé. Le collage à la céramique renforcée sans phase vitreuse peut alors poser problème car ni le traitement à l'acide fluorhydrique, ni les silanes ne sont efficaces sur ces substrats. Le protocole va alors changer :

- Micro-sablage de la céramique avec de l'alumine à 50 µm, comme décrit précédemment.

- Traitement tribochimique : dépôt artificiel de silice par sablage réactif avec des particules d'alumines recouvertes de silice projetées sous une pression de 3 bars minimum (Cojet®, 3M ESPE) (Ozcan et Vallittu, 2003)

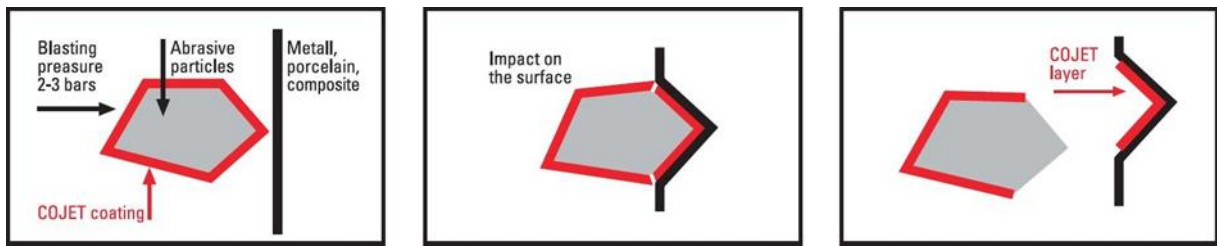


Figure 20: représentation schématique de l'action du traitement tribochimique ; brochure 3M ESPE CoJet® Intraoral System



Figure 21: CoJet® (3M ESPE)

b) Collage sur de la résine ou sur de la résine composite :

Les résines composites sont aussi employées dans des techniques restauratrices indirectes (inlay, onlay, couronne provisoire ou transitoire). Ces pièces prothétiques réalisées au laboratoire vont être soumises à une polymérisation intensive et à un traitement thermique afin d'augmenter leurs propriétés mécaniques. Mais cette polymérisation la plus aboutie possible va limiter les possibilités de collage, en effet la résine ne possède alors plus de fonction pour créer avec la colle une liaison forte (Guastalla et coll., 2005).

De plus, certaines couronnes provisoires en résine présentent une surface glacée qui fait écran au collage.

La préparation de ces surfaces est alors nécessaire. Nous utilisons le même protocole que pour la céramique. Ce protocole a pour but, comme pour la céramique, de dégager les particules de silice qui constituent une grande partie de la phase dispersée. C'est sur cette charge de silice que se lie le silane (Sorel et coll., 2009).

Il est aussi possible de réaliser des rétentions mécaniques à l'aides d'une fraise boule diamantée, sur les prothèses provisoires ou transitoires.

c) Collage sur l'acier et sur alliages non précieux :

Plusieurs grandes classes d'alliages peuvent être distinguées : les alliages à base de nickel et de chrome, les alliages à base de cobalt et de chrome et les alliages à base de titane.

Pour ces alliages non précieux, les principaux constituants sont donc le nickel, le chrome, le cobalt et le titane.

Cependant, il est nécessaire de préparer la surface de ces couronnes avec différentes étapes :

- Micro-sablage de la surface à coller : ce micro-sablage a pour but l'éviction du biofilm et d'une partie de la couche superficielle qui recouvre la prothèse. L'acier prend alors un aspect mat, dépoli. Les oxydes de surface permettent une liaison avec les monomères résineux, il est contre-indiqué de les éliminer. Le sablage peut donc sembler contre-indiqué. Nous le pratiquons afin d'éliminer les dépôts biologiques qui recouvrent la surface de la couronne et qui agissent comme un film isolant. Le sablage pose le même problème ici qu'avec la céramique car il est bien difficile de repolir les métaux en bouche. La technique linguale est ici plus simple, dans la mesure où l'aspect esthétique des surfaces linguales est moins visible.

- Mise en place d'un primaire métal : comme le principe du silane, le primaire métal crée un lien chimique entre le métal et l'adhésif. Les primaires d'adhésion (*alloy primers*) vont tenter, d'une part, de constituer des liaisons avec la surface de l'alliage, principalement au niveau des atomes de Cu (Cuivre) et d'Ag (Argent) et, d'autre part, de se lier à la colle (Hikage *et coll.*, 2003 ; Ohno *et coll.*, 2004 ; Suzuki *et coll.*, 2002). Ces molécules peuvent contenir différents types de groupements fonctionnels : groupements thiols, phosphates, phosphonates, etc.

Une fois déposé sur la couronne métallique, le primer doit être séché afin d'évaporer les solvants. Cette surface ne doit plus être souillée, ni rincée. Elle est prête pour le collage.

d) Collage sur l'or et les métaux précieux :

L'or est un métal sur lequel il est très difficile de coller. Les sites d'accrochages forts, comme les oxydes de nickel ou de chrome, sont absents dans ces alliages nobles (Gregoire *et coll.*, 2009).

Il va falloir créer une surface intermédiaire entre l'or et l'adhésif, qui fera le lien entre ces deux matériaux. Plusieurs étapes sont à mettre en place :

- Micro-sablage : il est réalisé de la même façon que pour les autres substrats et pour les mêmes raisons (Vallittu *et Forss*, 1997).
- Silanisation, comme décrit précédemment pour la céramique.

e) Collage sur l'amalgame:

Le même protocole que pour l'acier est indiqué. La méthode décrite pour les métaux précieux peut aussi s'appliquer.

Tableau 2 : Tableau récapitulatif des Étapes de préparation selon le type de substrats :

| Substrats | Étapes de préparation afin de rendre le substrat prêt à recevoir les matériaux d'assemblage |
|---|--|
| Céramique | <ul style="list-style-type: none"> - Micro-sablage avec de l'alumine à 50 µm - Rinçage - Mordançage à l'acide fluorhydrique à 10 % pendant 2 minutes - Aspiration, rincage abondamment pendant 60 secondes, puis séchage - Silanisation : trois couches de silane sont déposées sur surface sèche - Séchage léger, pour faire évaporer les solvants |
| Céramique renforcée (sans phase vitreuse) | <ul style="list-style-type: none"> - Micro-sablage avec de l'alumine à 50 µm - Rinçage et séchage - Traitement tribochimique avec des particules d'oxyde d'aluminium recouvertes de silice - Rinçage et séchage - Silanisation : trois couches de silane - Séchage léger, pour faire évaporer les solvants |
| Résine composite | <p>Même protocole que pour la céramique</p> <p>Il est aussi possible de réaliser des rétentions mécaniques à l'aides d'une fraise boule diamantée</p> |
| Acier et alliages non précieux | <ul style="list-style-type: none"> - Micro-sablage avec de l'alumine à 50 µm - Rinçage et séchage - Application du primaire métal - Séchage léger, pour faire évaporer les solvants |
| Or et métaux précieux | <ul style="list-style-type: none"> - Micro-sablage avec de l'alumine à 50 µm - Rinçage et séchage - Application du primaire métal - Séchage léger, pour faire évaporer les solvants <p>Ou</p> <ul style="list-style-type: none"> - Micro-sablage avec de l'alumine à 50 µm - Rinçage et séchage - Traitement tribochimique avec des particules d'oxyde d'aluminium recouvertes de silice - Rinçage et séchage - Silanisation : trois couches de silane - Séchage léger, pour faire évaporer les solvants |
| Amalgame | <p>Même protocole que acier et alliages non précieux ou que or et métaux précieux</p> |

3. Avantages/inconvénients du collage direct :

Avantages : (47)

- Le coût faible
- Pas d'intervention de laboratoire extérieur ni d'étape de laboratoire supplémentaire
- Le positionnement est la responsabilité du praticien sans assistance ce qui est d'autant plus important avec la technique par arc droit.
- moins de risque pour l'attache d'être déplacée par le mouvement d'une gouttière de transfert

Inconvénients : (48)

- Long temps de collage
- Augmente le risque de contamination des surfaces dentaires préparées par la multitude des étapes clinique donc augmente le risque de décollement des attaches
- Moins de précision de positionnement des attaches car :
 - o Pas de repère sur la dent lors du collage
 - o L'œil est moins performant qu'une machine pour le contrôle des axes et des dimensions
 - o L'accès visuel n'est pas toujours possible par vision directe (en secteur postérieur et en lingual)

B. Collage indirect conventionnel :

1. Définitions :

Silverman et Cohen cité par Shiau et coll en 1993 ont introduit en 1972 la méthode de collage indirecte ^(49,50). Cela consiste à positionner les attaches sur un moulage lors d'une étape de laboratoire et nécessite donc la prise d'une empreinte préalable (à l'alginate) pour être coulée en plâtre ou en silicone. Puis il faut enregistrer leur position à l'aide d'une gouttière de transfert permettant de les reporter en bouche par un collage en une seule manœuvre. ⁽⁴⁴⁾

La technique de collage indirect se réalise en trois temps majeur :

1. Prise d'empreinte
2. Réalisation des modèles et positionnement des attaches sur moulages
3. Enregistrement de la position des attaches et moyen de transfert pour report en bouche.

Intérêts : ⁽⁵¹⁾

- En collage vestibulaire :
 - Positionnement plus précis des attaches surtout dans les secteurs latéraux
 - Diminution du risque de contamination des surfaces dentaires préparée
 - Rapidité de collage : gain de temps au fauteuil, rendez-vous préprogrammés, confortable pour le patient et le praticien.
-
- En collage lingual : indispensable car on perdrait en précision et en étanchéité avec la langue omniprésente, le collage serait très long.

2. Matériels :

a) Matériau d'empreinte et de positionnement des attaches :

- Matériel de prise d'empreinte : alginate, bol et spatule, et porte-empreintes adaptés non perforés type RIM-LOCK (préconisé par Altounian) ⁽⁵²⁾ ou perforés .



Figure 22: Matériel à empreintes à l'alginate.

- Matériel de coulée : plâtre ou silicone (Quick Die® ou Mach-2 Die Silicone®), bol et spatule +/- vibreur.

- Avantages du plâtre ⁽⁴¹⁾ :
 - Faible coût
 - Possibilité de tracer au crayon les positions sur les modèles
- Inconvénients du plâtre ⁽⁴¹⁾ :
 - Matériaux salissant
 - Matériel spécifique : taille plâtre et système de récupération...
 - Procédure longue 40minutes de temps de prise et 24heures de temps de séchage du modèle
 - Risque de contamination des talons de composite par le vernis d'espacement du plâtre (la solution est d'utiliser un colorant dans le vernis pour repérer les contaminations) ou par arrachage du plâtre (la solution est de réaliser les gouttières de transfert immédiatement après polymérisation du composite et de les désinsérer rapidement)
 - Risque de perte des talons qui restent sur le plâtre
- Avantages du silicone de coulée ⁽⁴¹⁾ :
 - Pas de matériel particulier
 - Dureté élevée idéal pour les modèles
 - Temps de prise très court de 30 secondes à 2-3minutes et le modèle est utilisable dès la prise du matériau
 - Pas besoin d'isolation donc moins de risque de contamination
 - Pas de risque de perte de talons ou de contamination par le silicone
- Inconvénients des silicones ⁽⁴¹⁾ :
 - Impossibilité de tracer les positions sur les modèles
 - Coût du matériel plus élevé



Figure 23: Modèle en plâtre (Hitmi 2012) ⁽⁴¹⁾



Figure 24: Modèle en plâtre recouvert de vernis coloré (Hitmi 2012) ⁽⁴¹⁾



Figure 25: Modèle en silicone de type Quick-die® (Hitmi 2012) ⁽⁴¹⁾

- Positionnement manuel (46) : crayon mine noir 0,03mm et crayon graphite rouge 0,05mm, stylomine jauge pointe dure 7/10e d'épaisseur, compas.



Figure 26: Positionnement des attaches sur les modèles (Hitmi 2012) ⁽⁴¹⁾

b) Colles pour fixer les attaches sur le modèle réel :

La colle a pour but de solidariser l'attache orthodontique au modèle dans la position choisie. Elle peut être de plusieurs types :

- Colle hydrosoluble décrite par Chabre et Bassigny ⁽⁵³⁾ : Unitek® : le temps de prise est de 15 minutes et elle s'élimine à l'eau et au bistouri après confection de la gouttière, ainsi le praticien collera avec des attaches nues. ⁽⁴³⁾
- Colle non soluble, biocompatible, qui restera sur la base de l'attache ; On aura donc une interface entre un talon de composite sur la base de l'attache et la surface dentaire. Cette liaison est chimique :
 - Autopolymérisable : Concice® de 3M ^(54,55,56) ou Phase II® Reliance ⁽⁵⁷⁾
 - Photopolymérisable : Enlight LV® ⁽⁵⁸⁾ ou Light Bond® d'Ormco ⁽⁵⁷⁾
 - Thermopolymérisable : Therma Cure® Reliance ^(59,57) qui durcit en 15 minutes à 325°C avec un temps de travail illimité
- APC® bracket : attaches préencollées (elles devront être désinfectées à l'aide de chloroforme pour permettre la liaison chimique entre l'attache préencollées et l'émail) ^(54,57)

c) Gouttière de transfert :

Les gouttières dans la méthode classique peuvent être réalisées :

- En silicone : opaque ou transparent selon le type de colle utilisée, le silicone opaque sera utilisée avec une colle chémozpolymérisable et le transparent en cas d'utilisation de colle photopolymérisable (53,57,58,60)
- Avantages :
 - Bonne stabilité dimensionnelle et reproduction
 - Possibilité de vérification si silicone translucide
 - Colle photopolymérisable possible si translucide
- Inconvénients :
 - Manipulation complexe et soigneuse
 - Temps de travail court
 - Coût élevé

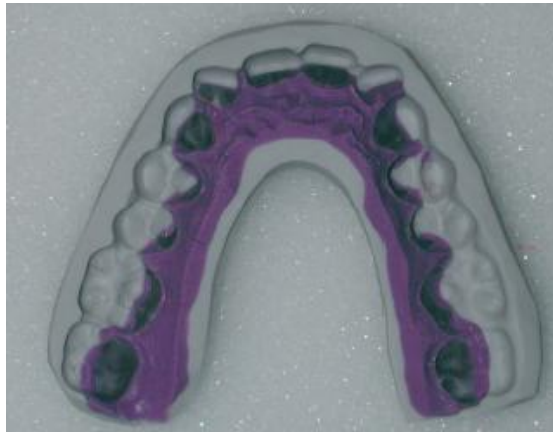


Figure 27: Gouttière en silicone opaque (Hitmi 2012) (41)

- En matériaux thermoplastiques : dur-élastiques, sandwich ou molle-élastiques (55,61) soit en monocouche ou double gouttière thermoformée
- Avantages :
 - Souplesse
 - Possibilité de vérification car gouttière translucide
 - Colle photopolymérisable possible
- Inconvénients :
 - Recollage instable et imprécis

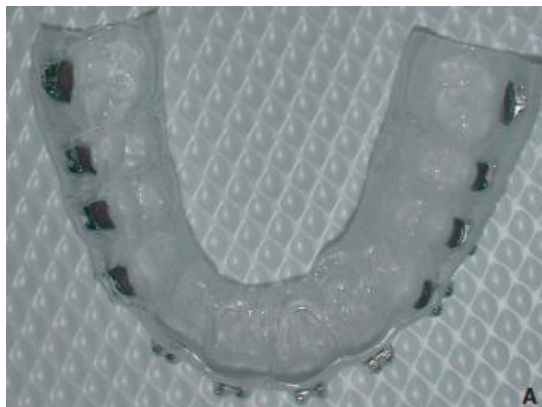


Figure 28 : Gouttière monocouche thermoformée (Hitmi 2012) (41)

- Avantages de la double gouttière thermoformée (41) :
 - Bonne stabilité grâce à la rigidité de la gouttière dure (Duran® de 0,75mm d'épaisseur : résine polyester)
 - Bonne précision de positionnement grâce à l'ajustement de la gouttière molle (Bioplast™ 1,5mm d'épaisseur : acétate de vinyl éthyle)
 - Dépose aisée grâce à la découpe au dessus des contre-dépouilles de la gouttière rigide et à la souplesse de la gouttière souple.



Figure 29 : Double gouttière thermoformée (Hitmi 2012) (41)

- En 3 couches : silicone léger, lourd et matériau thermoformé (54)
 - Avantages :
 - Plus précis
 - Inconvénients :
 - Plus longue
 - Coût supérieur
- En résine (62) : ex : Gouttière de Triad® de Dentsply
- Mixtes (59) : silicone + matériau thermoplastique et composite de collage thermopolymérisable
- Unitaire en composite ou résine ou silicone. Ex Gouttière triad light-cure acrylic ® (Dentsply) (63,64)

- L'étude de Grünheid T et coll en 2016 ⁽⁶⁵⁾ qui a étudié la position de 163 attaches orthodontiques collées (dont 136 réellement évaluées après les exclusions) posées sur 8 sujets à l'Université de Minnesota, a montré que l'utilisation des gouttières en vinyl polysiloxane (VPS) était un moyen de transfert avec une grande précision (80,15% de précision pour le torque et 98,53% pour la position mésio-distale et vestibulo-linguale). Dans cette étude des empreintes à l'alginat ont été réalisées sur les 8 sujets, elles ont été coulées en plâtre puis les attaches orthodontiques ont été placées et collées avec du Transbond XT® de 3M Unitek. Un CBCT (Cone Beam Computed Tomography) a été réalisé sur ces moulages. Ensuite, les gouttières ont été réalisées sur les moulages avec du vinyl polysiloxane putty (Express STD® de 3M) par le même opérateur, puis les attaches ont été collées indirectement par quatre internes en orthodontie. Enfin un CBCT a été réalisé sur les patients afin de comparer le positionnement des attaches en bouche par rapport à celui des moulages.
- L'article de Castilla A.E de 2014 ⁽⁶⁶⁾ a comparé la précision de transfert de 5 gouttières de transfert la double polyvinylsiloxane PVS, la double gouttière thermoformée (VF), la mixte (une gouttière en polyvinyl siloxane et l'autre en thermoformée) (PVS-VF(-vacuum-formed-)), l'association d'une gouttière en polyvinyl siloxane et l'autre en silicone putty (PV-putty) et la gouttière simple thermoformée (single-VF). 25 modèles et patients ont été analysés. La double-VF était la moins précise (n=6) et la PVS-VF la plus précise (n=1) avec n=nombre de dents avec différences significatives entre les positions sur le moulage et sur le patient. Leur conclusion est que les gouttières à base de silicone ont une plus grande précision que les méthodes basées uniquement sur le vide (thermoformées).
- Les attaches orthodontiques en vestibulaire peuvent être les mêmes qu'en collage direct ou peuvent être individualisées (système Insignia®).

3. Protocoles ^(40,42) :

a) Prise d'empreinte :

On procède classiquement au mélange eau-poudre puis à la spatulation de l'alginate que l'on insère dans le porte-empreinte. Ensuite on insère le porte-empreinte en bouche que l'on insère en bouche et que l'on désinsère une fois la prise du matériau.

Il est possible de faire une prise d'empreinte avec caméra optique et impression du moulage par imprimante 3D avant positionnement classique comme un collage indirect conventionnel, nous reparlerons de ces technologies par la suite. Il serait dommage si on est équipé en numérique de ne pas se servir de la CFAO jusqu'au bout de la chaîne de conception.

b) Coulée des empreintes : en plâtre et en silicone.

c) Positionnement des attaches sur les moulages :

Les critères en indirect sont les mêmes qu'en collage direct avec une valeur d'angulation selon l'axe de la dent, une valeur d'inclinaison selon la hauteur de collage et le centrage mésio-distal selon le bombé de chaque dent.

Il est possible de placer les attaches orthodontiques manuellement.

Kalange en 2007 ⁽⁴²⁾ a défini des marqueurs horizontaux et verticaux :

- Marqueurs verticaux : l'axe de la dent est marqué en noir, pour aider au positionnement nous pouvons nous aider d'un bilan radiographique ou voir l'anatomie radulaire
- Marqueurs horizontaux : marqué en rouge, soit selon des calibres prédéfinis grâce à la jauge, soit selon la méthode suivante :
 - o Relier le point de contact mésial et distal de chaque dent pour créer la ligne marginale d'arête
 - o Utiliser un compas en l'écartant d'une distance (1,5 à 2,5mm selon la taille des dents) apicalement à cette ligne passant par l'axe de la dent pour marquer la position de la gorge de l'attache
 - o On reporte la distance entre le sommet de la cuspide de la 1^e prémolaire et la position de la gorge que l'on reporte à l'incisive centrale (environ 4,5mm), on soustrait de 0,5mm pour l'incisive latérale et on ajoute 0,5mm pour la canine.

d) Collage des attaches orthodontiques sur le modèle :

Une fois la position prédéfinie il faut solidariser l'attache orthodontique au modèle en plâtre, afin de reporter en bouche la position avec le plus d'exactitude possible grâce à une gouttière de transfert.

Une couche d'isolant est déposée sur le modèle en plâtre, les attaches orthodontiques sont repositionnées sur le point choisi et une vérification de la position est effectuée. Enfin une colle hydrosoluble, ou non hydrosoluble ou une attache préencollée permet de stabiliser les attaches orthodontiques sur le modèle.

L'épaisseur du matériau de collage doit être supérieure à l'espace entre la dent et la base de l'attache orthodontique afin que la colle soit comprimée par la gouttière.

e) Gouttière de transfert :

On réalise ensuite une gouttière de transfert. Elle doit être très précisément ajustée au moulage pour exercer une pression horizontale à la surface dentaire. ⁽⁵⁴⁾

f) Collage en bouche :

- Essayage de la gouttière et dégraissage à l'acétone
- Nettoyage des surfaces de collage : détartrage, brosse à dents avec pâte abrasive et micro-sablage des surfaces à l'aide d'oxyde d'aluminium 25microns (éviter saignement gingival)
- Rinçage et séchage
- Siccité du champ opératoire : utilisation de cotons salivaires, pompes à salive, écarteurs de type : Nola Dry Field et cotons triangulaires de type Dry tips ®
- Préparation de la surface selon le type de substrat et la colle utilisée
- Micro-sablage des bases des attaches à l'aide de particules d'oxyde d'alumine de 50microns et rinçage à l'eau distillée puis séchage (si cela n'a pas déjà été réalisé par le laboratoire)
- Applications de l'agent de liaison sur l'émail et sur la face interne de l'attache ou utilisation d'attaches préencollées
- Polymérisation selon le système utilisé
- Dépose de la gouttière
- Elimination des excès de colle au shure et fil dentaire de soie
- Contrôle de l'occlusion et d'interférence (surtout si collage lingual)



Procédure de collage à l'aide d'un couple adhésif hydrophile (Orthosolo®) plus un composite fluide (Transbond LV®).

- A. Nettoyage des surfaces dentaires à l'aide d'une brosse à dents enduite de pâte de nettoyage (ponce plus eau).
- B. Après le rinçage et le séchage, application de l'acide phosphorique à 35% pendant 15 à 30 secondes.
- C. Aspiration de l'acide de mordant, rinçage et séchage des surfaces dentaires et de tout l'environnement de collage et vérification de l'aspect blanc crayeux de l'émail.
- D. Mise en place de l'adhésif sur les surfaces de collage et évaporation du solvant de l'adhésif à l'aide d'un spray à air.
- E. Mise en place du composite fluide sur les talons de composite. Un grain de semoule est suffisant.
- F. Mise en place de la gouttière en appliquant une pression sur chaque attache.
- G. Polymérisation selon le temps recommandé par le fabricant : 10 secondes par attache. Commencer par l'extrémité de l'arcade d'un côté.
- H. Photopolymérisation de l'autre extrémité de l'arcade.
- I. Photopolymérisation du reste de l'arcade.

Figure 30 : procédure de collage indirect d'après le Dr L. Hitmi 2012 ⁽⁴¹⁾

4. Avantages/Inconvénients du collage indirect conventionnel :

- Avantages :
 - Positionnement plus précis des attaches surtout dans les secteurs latéraux ⁽⁶⁷⁾
 - Diminution du risque de contamination des surfaces dentaires préparées
 - Rapidité de collage : gain de temps au fauteuil, rendez-vous préprogrammés, confortable
 - Autorise la diminution de la durée des traitements ⁽⁸²⁾
 - Permet le respect du parodonte affaibli et évite les résorptions radiculaires en diminuant les mouvements de va et vient liés aux imprécisions de collage
- Inconvénients :
 - Nécessité d'intervention d'un laboratoire externe (en l'absence de CFAO), étape laboratoire supplémentaire
 - Coût supérieur (travail de laboratoire, matériel coûteux)
 - Nombreux échecs observés dès la dépose de la gouttière de transfert.(liés à l'utilisation d'un modèle en plâtre, de son isolation par un vernis, de l'emploi de système de transferts non performants et l'absence de matériaux de collage adaptés) ⁽⁸²⁾
 - Des études ont discuté la précision de collage :
 - HODGE et coll en 2004 ⁽⁶⁸⁾ et THIYAGARAHAG et coll en 2006 ⁽⁶⁹⁾ ont montré une absence de différence significative de précision dans les 3 sens de l'espace entre le collage direct et indirect lors d'une étude in vivo. L'étude de Hodge portait sur 26 patients et celle de Thiyagarajah sur 23 patients (14 attaches perdues sur 553 collées en. Indirect soit un taux d'échec de 2,5% comparable à celui du collage direct)
 - THOMAS en 2007 ⁽⁵⁶⁾ a montré une différence uniquement au niveau de la hauteur de collage, mais aucune différence d'angulation et de position mésio-distale. D'après Thomas les études de Thiyagarajah et Hodge sont critiquables du fait des difficultés des études in vivo, de l'absence de moyens comparatifs et d'hétérogénéité dans le choix des malocclusions.
 - Des études ont discuté la force de collage :
 - YI et coll en 2003 ⁽⁷⁰⁾ et LINN et coll en 2006 ⁽⁷¹⁾ : aucune différence de forces de collage entre le collage direct et indirect. En effet les forces moyennes de résistance au cisaillement étaient pour le groupe de dents collées en indirect 11,3MPa et pour le groupe en direct de 10,9MPa (dépassant toutes les deux la plage minimale de résistance au cisaillement de 5,9 à 7,8 MPa citée généralement dans la littérature pour une réussite clinique)

NB : Le collage indirect est conseillé chez les adultes et les adolescents. Cependant, il perd son intérêt chez les enfants en denture mixte, dans le cadre des traitements d'interception pour le collage de 4 ou 6 dents, et chez les jeunes adolescents avant l'éruption complète des prémolaires. ⁽⁸²⁾

5. L'apport des techniques informatisées sur le collage indirect :

L'évolution technologique a permis au collage indirect d'évoluer en améliorant sa précision, en réduisant les délais de laboratoire et en permettant une organisation appréciable (dossier numérique).

Nous pouvons réaliser les empreintes à l'aide d'un scanner (caméra) optique au cabinet afin d'obtenir des moulages virtuels (sur lesquels nous pouvons réaliser des mesures, faire des analyses), il est possible d'imprimer ces moulages par imprimantes 3D. Nous pouvons également transmettre le fichier issu de l'empreinte optique et la transférer au laboratoire qui peut réaliser des setups virtuels (avec notamment la possibilité de positionner les attaches orthodontiques) afin de réaliser des appareils vestibulaires ou linguaux ou des systèmes de transfert ou encore des aligneurs ou de appareils amovibles (plaque de Hawley...)

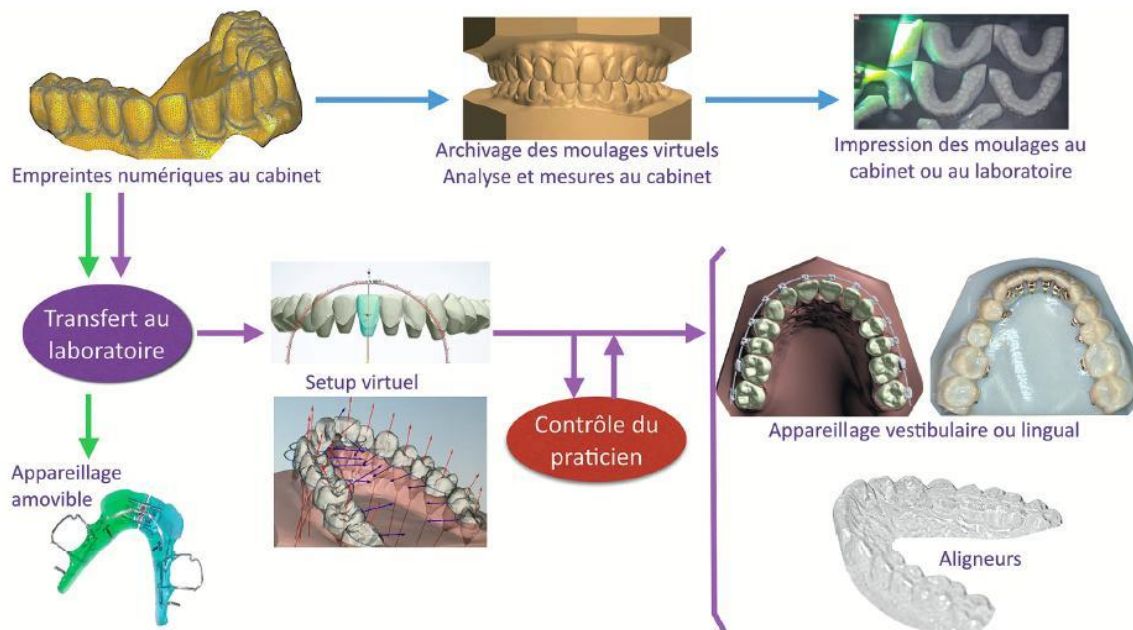


Figure 31 : Résumé du flux numérique en orthodontie (Roger 2016) ⁽⁷²⁾

a) Caméras optiques :

Il existe deux types de caméras ⁽⁷²⁾ :

- Le scanner intra-oral
- Le scanner de table pour numériser les modèles en plâtre ou l'empreinte (que nous n'étudierons pas ici, en effet l'étude de Roger de 2016 montre que la précision du scan intra-oral direct est 5 fois meilleure à celle du scan du modèle)

La caméra envoie à distance, sur les surfaces dentaires et les tissus mous par balayage un faisceau lumineux incident qui est réfléchi par la surface à scanner puis enregistré par le capteur CCD (charge coupled device) ou CMOS (Complementary Metal Oxide Semi-Conductor) de la caméra, celle-ci convertira le signal lumineux en signal électrique.

Un logiciel permettra de transformer ce signal en un fichier STL (Standard Tessellation Language) , lisible par de nombreux logiciels et transférable par Internet.

L'acquisition des points peut se faire : (73,74)

- Par triangulation :
 - o Des lignes sont produites dans les 3 sens de l'espace puis assemblées en centaines de triangles formant une image 3D. La triangulation est composé d'un émetteur laser, d'un récepteur et d'un point laser sur la surface. Comme la position et l'orientation de l'émetteur et du récepteur sont connues, il suffit de calculer la forme et dimensions du triangle pour déterminer la position du point laser. Il existe cependant une distorsion du triangle, source d'imprécisions.
 - o Système Cerec Bluecam® de Sirona

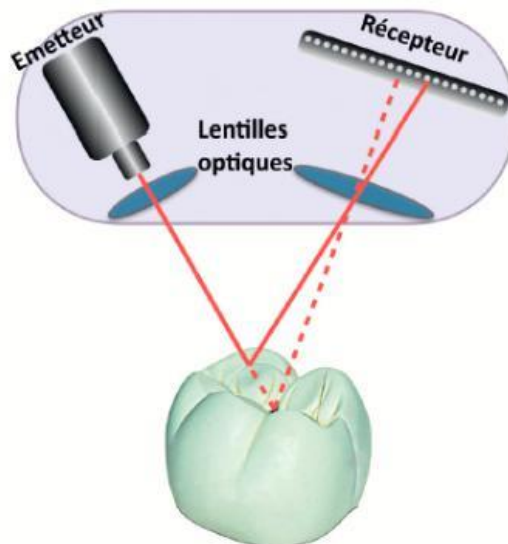


Figure 32 : Triangulation Laser (Roger 2016) (72)

- Par projection de franges de lumière dit scanner AFI (Accordion Fringe Interferometry) :
 - o Un motif de lumière structurée sous forme de franges est projeté par un laser ou un vidéoprojecteur à travers des filtres. Ces franges se déforment sur les surfaces à enregistrer formant des courbes qui sont enregistrées par une caméra HD. La technique de calcul est semblable à celle par triangulation pour l'enregistrement.

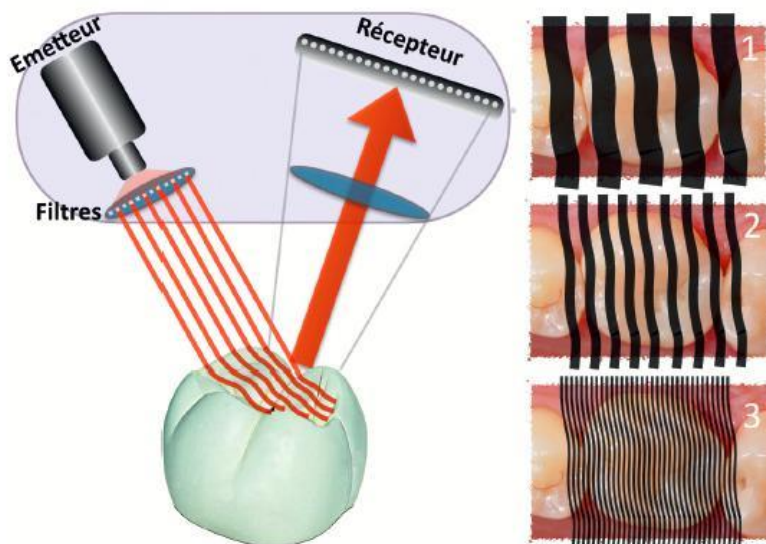


Figure 33 : Projection de franges de lumière – AFI (Roger 2016) (72)

- Par imagerie parallèle confocale :

- Une lumière laser est projetée à travers un sténopé (très petite ouverture), le faisceau réfléchi passe par un cristal biréfringent puis capté par un capteur CCD à travers un sténopé. Ainsi la lumière réfléchie se trouvant en dehors du plan focal est éliminée et seuls les points se trouvant sur le plan focal sont enregistrés. Ils forment des coupes tomographiques de l'objet (l'objet est coupé en milliers de tranches qui sont ensuite assemblées pour former l'image 3D). Ce système permet de mesurer des cavités et reliefs profonds et de angles supérieurs à 85° ce que ne permettent pas les deux autres.
- Système iTero® d'Align Technology et Trios® de 3Shape.

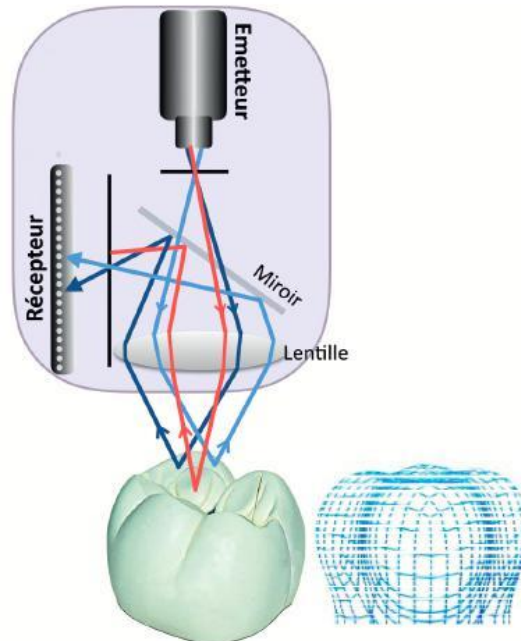


Figure 34 : Imagerie parallèle confocale (Roger 2016) ⁽⁷²⁾

- Par vidéo stéréophotogrammétrique :

- Un éclairage par une source de lumière blanche ou une source de lumière laser est nécessaire. Des caméras vidéos HD décalées dans l'espace captent des vues précises des différentes surfaces à scanner et les calculs de distance sont faites selon au moins deux perspectives donnant des coordonnées 3D.
- Système True Definition® de 3M

Certaines caméras comme la True Definition® de 3M nécessite pour une meilleure réflexion un poudrage de dioxyde de titane.

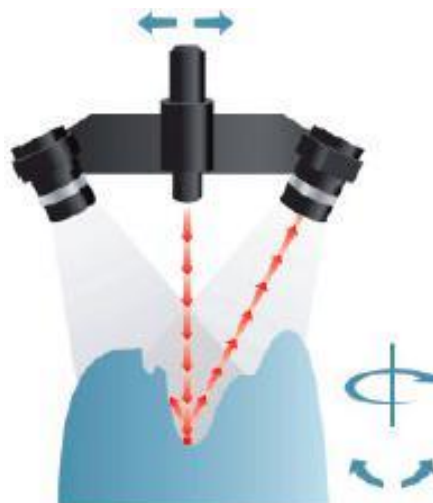


Figure 35 : Le principe « cameras-Laser », scanner R700 de 3Shape. (Coblentz 2012) ⁽⁷⁵⁾

Les prises de vue sont répétées selon différents angles de vue pour couvrir toute la surface, elles se superposent partiellement les unes aux autres permettant une reconstruction précise et complète du modèle scanné. Le logiciel de la caméra va sélectionner et trier les points importants et définir la résolution ainsi plus il y a de points, plus la distance entre les points est courte et meilleure est la résolution. Cette résolution peut être améliorée par des mises à jour du logiciel interne à la caméra.

L'image finale sur l'écran est complète et en 3D composée de pixels car nous avons eu une numérisation de surface

b) Les imprimantes 3D :

Différents types d'imprimantes existent, on peut les classer en 4 catégories : ⁽⁷²⁾

Tableau 3 : les différents types d'imprimantes 3D sur le marché (Dawood 2015) ⁽⁷⁶⁾

| Techniques | Avantages | Inconvénients |
|---|--|---|
| Thermoplastique | | |
| FDM (Fused deposition modelling) ou FFF (Fused Filament Fabrication) : un puissant laser à fibre optique permet d'agglomérer les particules de métal ou céramique sous forme de poudre. Mais cette technologie est une solution actuellement uniquement industrielle. | <ul style="list-style-type: none"> - Résistance mécanique variable - Matériaux et équipement de faible ou moyen coût - Certains matériaux peuvent être stérilisés à la chaleur | <ul style="list-style-type: none"> - Haute porosité - Faible précision dans les équipements à faible coût - Matériaux limités (uniquement thermoplastiques) - Complexité de forme limitée pour les matériaux biologiques - Qualité faible pour les modèles et les gouttières |
| Résine photopolymérisable | | |
| Stéréolithographie SLA (Stereolithography Apparatus) : une résine liquide photopolymérisable est utilisée par addition. Le plateau d'impression est plongé dans un bac avec de la résine liquide et un faisceau de lumière (laser ou projection d'image de couche) est projetée activant les photo-initiateurs. Cette méthode est plus précise et permet de créer | <ul style="list-style-type: none"> - Fabrication rapide. - Coût du matériel moins cher si acheté en lot. - Capable de créer des formes complexes avec une résolution élevée (des modèles d'étude et de travail, des résines calcinables, des résines biocompatibles transparents, des résines pour porte-empreinte individuel ou couronnes provisoires) | <ul style="list-style-type: none"> - Uniquement disponible pour des polymères liquides photodurcissables. - Les matériaux de support doivent être retirés à la fin. - Résine salissante et peut être irritante au contact ou à l'inhalation - Durée de conservation limitée et durée de vie de la cuve limitée - Ne peut pas être stérilisé à la chaleur - Technologie à coût élevé |
| Polyjet : proche de la technique par SLA mais la résine photopolymérisable est projetée en de fines gouttelettes sur le plateau d'impression puis polymérisée, le support est en cire | <ul style="list-style-type: none"> - Relativement rapide - Haute résolution, finition de haute qualité - Plusieurs matériaux disponibles de différentes couleurs et propriétés physique, (matériaux élastiques...) sont projetables en même temps - Technologie à moindre coût | <ul style="list-style-type: none"> - Le matériau de support peut provoquer une irritation de la peau - Ne peut pas être stérilisé à la chaleur - Matériaux à coût élevé |
| DLP (digital light processing) : une résine liquide est durcie couche par couche par projection de lumière. L'objet est construit à l'envers sur une plateforme élévatrice incrémentielle | <ul style="list-style-type: none"> - Bonne précision, surfaces lisses, relativement rapide - Technologie à moindre coût | <ul style="list-style-type: none"> - Les matériaux de support doivent être retirés - Résine salissante pouvant irriter la peau - Durée de conservation et durée de vie de la cuve limitées - Ne peut être stérilisé à la chaleur - Matériaux plus coûteux |

Liant en poudre

| | | |
|---|--|--|
| <p>Du plâtre ou ciment est fixé par des gouttes d'eau colorées injectée par la tête d'impression. L'objet est construit couche par couche dans un lit de poudre, sur une plateforme qui descend petit à petit</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Matériaux et technologie à moindre coût - Peut imprimer en couleur - Pas de support - Process relativement rapide - Matériaux surs | <ul style="list-style-type: none"> - Basse résolution - Poudre désordonnée - Faible résistance - Ne peut pas être trempé ou stérilisé à la chaleur |
|---|--|--|

Poudre à fritter

| | | |
|---|--|--|
| <p>SLS (Selective Laser Sintering) pour polymères : l'objet est construit couche par couche dans un lit de poudre. Des chaudières montent en température le matériau juste au-dessous du point de fusion. Le laser à balayage fritte ensuite la poudre couche par couche dans un lit qui descend.</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Large gamme de matériaux : polymères avec nylon, élastomères et composites - Pièce robuste et précise - Processus autosupporté - Matériaux polymères peuvent être autoclavés - Possibilité d'action mécanique des pièces (assemblage...) - Matériaux moins chers si commandés en grand volume | <ul style="list-style-type: none"> - Infrastructure importante requise (contrôle de la pression de l'air et du climat) - Poudres désordonnées - Risque d'inhalation - Technologie à coût élevée - Surface rugueuse des pièces |
| <p>SLS pour métaux et alliages métaux : appelé SLM (selective laser melting) ou DMLS (direct metal laser sintering). Le laser à balayage fritte la poudre de métal couche par couche dans une chambre de construction à froid tandis que la plate-forme de construction descend.</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Objets à haute résistance - Contrôle de la porosité - Grande variété de matériaux (titane et alliage, chrome cobalt, acier inoxydable...) - Possibilité de recyclage des matériaux - Détails précis | <ul style="list-style-type: none"> - Infrastructure importante requise - Technique extrêmement coûteuse et matériaux moyennement coûteux - Poussière peut être nocive pour la santé - Risque d'explosion - Surface rugueuse - Post-traitement requis pour soulager les contraintes internes dans les objets comprimés - Support difficile à enlever - Process lent |
| <p>EBM Arcam (Electron beam melting) : la poudre est frittée couche par couche par le balayage du faisceau d'électrons sur la plate-forme de construction qui descend</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Processus à haute température ne nécessitant aucun support ou traitement thermique - Haute vitesse - Pièces denses à porosité contrôlée | <ul style="list-style-type: none"> - Technologie extrêmement coûteuse, matériaux modérément coûteux - Poussière peut être nocive pour la santé - Basse résolution |

S.Y Kim et coll en 2008, ⁽⁷⁷⁾ ont comparé les différentes imprimantes 3D (polyjet, DLP, FFF et SLA) pour la précision des moulages, ils ont montré qu'il y avait des différences significatives dans les mesures. En effet l'imprimante Polyjet (68+/-9microns) est la plus précise puis vient la DLP (76+/-14microns) et enfin la SLA (88+/-14microns) puis la FFF(99+/-14microns) avec (P<0,05).

En 2018 C.S Favero et coll ⁽⁷⁸⁾ .

Les avantages du numérique sont la simplicité de réalisation des empreintes, du stockage des dossiers numériques des patients, l'outil de communication avec le patient et les confrères. Pour certains l'absence de manipulation manuelle est un souci, facilement résolvable par l'impression des moulages.

Les praticiens utilisent principalement les imprimantes filaires qui sont les moins onéreuses et permettent une impression des moulages correctes. Afin de réaliser des gouttières il faut une imprimante avec une résine photopolymérisable et ce sont les imprimantes STL ou Polyjet qui sont les plus largement utilisées.

6. Points sur le collage indirect :

Dans cette partie nous reprendrons les 3 étapes principales de collage indirect en y mettant en avant les dernières avancées numériques.

a) Etape 1 : empreintes :

Les avantages de l'empreinte optique et de l'obtention de moulages numériques sont nombreux par rapport aux moulages en plâtre :

Tableau 4 : comparaison entre le moulage en plâtre et le modèle numérique (Coblentz 2012) ⁽⁷⁵⁾

| | Moulages en plâtre | Moulages numériques |
|-------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| Coût | Faible | Suivant amortissement |
| Set-up | Procédure de labo | Virtuel et simple |
| Stockage – Place | Importante | Nulle |
| Stockage – Coût | Selon localisation | Nul |
| Retrouver un moulage | Assez rapide | Immédiat |
| Risque d'endommager | Existant | Nul |
| Duplication (transfert...) | Procédure de labo | Instantanée |
| Lien avec la gestion | Non | Possible suivant logiciel |
| Explications au patient | Oui, classique | Oui, imagée |
| Explications au correspondant | Idem | Idem |
| Analyse du cas | Analyses multiples délicates | Analyses multiples, aisées et rapides |

b) Etape 2: moulage et positionnement des attaches orthodontiques :

Le positionnement s'effectue après paramétrage du type d'attaches utilisées (selon les informations qu'elles possèdent), et des informations voulues.

Il est possible de combiner sur les logiciels les images 3D obtenues par l'empreinte numérique et celles obtenues par un cone beam, ce qui permet de visualiser avec précision les rapports entre racine et couronne et racine et tissus parodontaux. ⁽⁷⁹⁾

OrthoCAD® propose en plus du positionnement numérique des attaches un système de vérification du positionnement des attaches lors du collage via une caméra qui contrôle et indique sur l'écran la position attendue de l'attache. En effet ce type de logiciel permet donc un rétrocontrôle du positionnement des attaches en temps réel. ⁽⁸⁰⁾

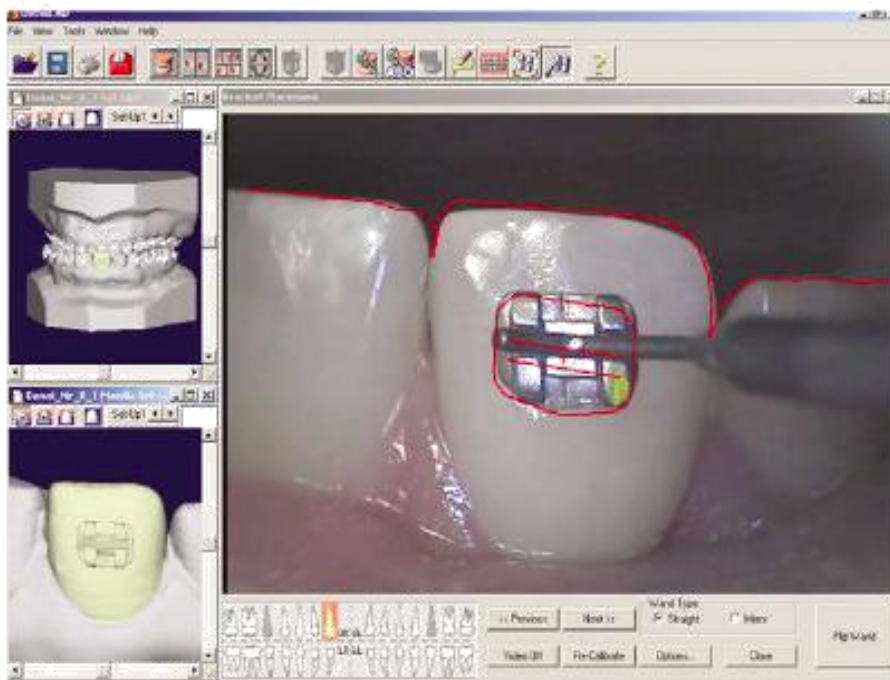


Figure 36: Impression de l'écran de contrôle avec une vue immédiate du collage en cours avec une indication en rouge du positionnement attendu (Redmond 2004)

c) Etape 3 : système de transfert des attaches orthodontiques :

Les moulages virtuels peuvent être ensuite imprimés et les attaches placées à la main comme dans la technique conventionnelle de collage indirect. Dans une autre technique le placement des attaches peut se faire sur le logiciel de façon virtuelle avec une impression d'un moulage comportant des encoches pour replacer les attaches dessus. Il est envisageable de placer numériquement les attaches orthodontiques et d'imprimer en 3D les gouttières de transfert directement.

Il y a un post-traitement spécifique à chaque résine afin d'éliminer la résine non polymérisée à la sortie du bain de l'imprimante, pour rendre ces résines biocompatibles dans le cas de réalisation de gouttière directement par CFAO, sinon ce post-traitement n'est pas nécessaire. Si les moulages sont réalisés en résine et que le collage indirect se fait avec talon de colle sur le moulage il n'y a pas besoin de ce post-traitement.

Ce post-traitement se réalise en deux étapes avec d'abord un nettoyage avec de l'alcool isopropylique puis un traitement aux UVs (Ultra-Violet).

Chez Formlabs il existe deux types de résine biocompatibles, une de classe I molle et une de classe II rigide et translucide ce qui permet la réalisation d'une double gouttière de transfert (la partie molle soutient les attaches et la partie rigide permet de contenir l'ensemble)

On peut également imprimer les moulages par imprimante 3D avec un système d'encoches pour positionner les attaches dessus puis réaliser un système de transfert conventionnel (gouttière en silicone ou par gouttière thermoformée)

7. le système de collage idéal ⁽⁸³⁾ :

Un système de collage idéal est un système qui permettra une très bonne tenue d'assemblage et ceci pendant toute la durée du traitement orthodontique et une très bonne étanchéité de l'assemblage immédiate mais aussi médiate.

Un système qui sera stable sans risque de solubilité dans la salive et résistera aux variations physicochimiques de la cavité buccale (ph salivaire et variations thermiques). Il aura un coefficient de dilatation proche de celui de la dent il sera biocompatible mais aussi bioactif. Il se basera sur un principe de collage sans traitement agressif de l'émail permettant une bonne préservation tissulaire. Ce système aura des propriétés mécaniques suffisantes pour résister aux contraintes du traitement, de la mastication et des parafunctions. Ces propriétés mécaniques ne doivent pas être excessives au risque d'endommager les tissus à la dépose. Un tel système permet un nettoyage aisé de la colle en respectant l'intégrité amélaire. Il autoriserait un temps de travail suffisamment long pour pouvoir faire un multicollage d'une ou deux arcades. Ces propriétés optiques permettraient le repérage facile des excès à éliminer. Il serait tolérant à la contamination par l'humidité liée à l'hygrométrie de la cavité buccale.

Malheureusement un tel système n'existe pas, les systèmes de collage commercialisés ne répondent que partiellement à ce cahier des charges

VI. Échecs et Optimisation du collage :

A. Les Échecs du collage : (83)

Les taux de décollement reportés dans la littérature sont très variables en fonction des types de colles.

Un taux de décollement inférieur à 7% reste acceptable et raisonnable en orthodontie. Dans ces conditions, les échecs ne sont pas forcément liés à une faible performance de l'assemblage mais souvent à des contraintes mécaniques élevées exercées sur l'assemblage.

C'est le maillon « faible » qui cède (l'interface colle/attache, interface colle/substrat ou la colle). Un système de collage plus performant peut entraîner une rupture cohésive dans l'émail.

Cependant un taux de décollement plus important peut être lié à plusieurs paramètres :

- Une base de l'attache pas assez rétentive ou souillée.
- Utilisation de brackets recyclés.
- Un système de collage non adapté à la situation clinique.
- Utilisation de produit périmé involontairement.
- Rarement, mauvaise qualité du composite orthodontique.
- Des surfaces dentaires non correctement nettoyées et préparées.
- Le non-respect du protocole du collage et/ou de polymérisation.
- Une contamination humide, salivaire ou sanguine pendant le collage.
- Un manque d'enseignement des consignes alimentaires et comportementales pendant le traitement.
- Le non-respect du temps entre la procédure du collage et la prise du repas.

B. L'Optimisation du collage :

1. Les grands règles à respecter pour réussir le collage : ⁽⁸³⁾

Règle n°1 : bien choisir la base de l'attache. Cette dernière doit être suffisamment rétentive. Le traitement de surface des attaches est fait par le fabricant, la qualité de la rétention est différente d'un fabricant à l'autre.

Règle n°2 : ne pas souiller la base de l'attache lors de la manipulation.

Règle n°3 : travailler sur des surfaces très propres. Le nettoyage des surfaces avant leurs traitements de surface spécifiques est une étape primordiale.

Différents moyens sont à notre disposition : détartrage, nettoyage à la brosse et à la ponce, aéro-polissage et le sablage.

En fonction de l'état des surfaces et de la situation vestibulaire ou linguale du collage nous devons choisir un ou plusieurs moyens de nettoyage.

Règle n°4 : réussir le traitement spécifique des surfaces. Cette étape dépend de la nature de substrat à coller (émail ou substrat non amélaire : céramique, composites ou alliage métallique) et de la nature de la colle (avec mordantage préalable ou automordançante).

Règle n°5 : optimiser l'interface dent/colle. Cette règle est basée sur le choix de la colle qui doit être adaptée à la situation clinique (exemple : une colle hydrophile pour le collage dans un environnement humide) et par le respect et la rigueur dans l'application des protocoles d'utilisation de la colle choisie.

Règle n°6 : le collage doit se faire en dehors de tout risque de contamination salivaire ou sanguine. Il faut bien choisir et correctement installer un champ de collage. Il existe des moyens efficaces : Dry Tips et différents types d'écarteurs à lèvres, à joues et à la langue des plus simples aux plus complexes (type Nola).

L'installation d'un champ de collage efficace permet de travailler en sécurité par rapport à tout risque de contamination salivaire et sans stress.

Règle n°7 : optimiser l'interface entre l'adhésif et le composite. C'est une interface très sensible et souvent négligée. Une contamination humide est fréquente lors de l'étalement de l'adhésif et/ou l'évaporation du solvant contenu dans l'adhésif par un jet d'air. Il est indispensable que l'orthodontiste vérifie sa seringue à air. Il est préférable d'éviter les seringues avec des systèmes de sortie commune eau et air.

Règle n°8 : assurer une polymérisation correcte de l'assemblage. Ce paramètre dépend du choix de la lampe à polymériser (puissance et spectre d'émission), de l'entretien de la lampe et du respect du temps d'insolation et de la distance entre la source et la cible lors de la polymérisation.

Règle n°9 : utiliser une colle qui a des propriétés mécaniques intrinsèques suffisantes mais non excessives. L'assemblage doit supporter les contraintes liées aux activations du traitement, à la mastication et aux paras fonctions. Cependant la dépose des attaches doit être aisée sans risque d'altération de l'émail.

Règle n°10 : enseigner aux patients les consignes alimentaires et comportementales à respecter pendant le traitement.

2. Optimisation du collage selon le cas clinique :

❖ Analyse rigoureuse du cas clinique :

La qualité de la mise en œuvre du protocole de collage est certes, fondamentale. Mais au-delà de cet aspect purement « technique », son succès est indissociable d'une analyse pertinente, en amont, des particularités cliniques inhérentes aux substrats. S'interroger sur les éléments influençant la qualité du collage va permettre au chirurgien dentiste, d'une part, de choisir les biomatériaux les plus adaptées à la situation clinique ; et d'autre part, de déterminer le caractère prédictif quant au succès, ou non, de la procédure d'assemblage.

a) Email sain :

Hautement minéralisé et non humide, contrairement à la dentine, l'émail est un excellent substrat de collage⁽⁸⁵⁾. Bien que non problématique, le choix du système adhésif va néanmoins influencer la qualité du joint dento-prothétique mis en jeu. Qu'est-il alors judicieux de choisir ? De nombreuses études ont montré l'importance d'un mordantage préalable des surfaces amélaire, à l'acide orthophosphorique, afin d'optimiser l'adhésion. Partie intégrante du protocole d'un système M&R, dans le cas d'un SAM ou d'un adhésif universel, la procédure d'etching préalable augmente indéniablement les valeurs d'adhérence retrouvées⁽⁸⁶⁾. Elle s'avère particulièrement indispensable en présence d'émail aprismatique, non fraisé préalablement. Le fraisage est cependant fortement recommandé, afin de réaliser le collage sur un émail prismatique. Moins acides, les SAM et les adhésifs universels ne permettent pas, en effet, d'obtenir un profil de mordantage suffisamment favorable au microclavetage de la résine dans les anfractuosités de l'émail⁽⁸⁶⁾.

- Lorsque l'émail constitue le seul substrat de collage, les systèmes M&R sont donc à privilégier, leur supériorité ayant été démontrée lors de nombreuses études. Lorsque le collage concerne aussi bien l'émail que la dentine, et que l'on a opté pour une approche automordancante, le mordantage sélectif de l'émail est alors recommandé. Un etching préalable est opéré en regard des surfaces amélaire, sans déborder sur les surfaces dentinaires. Ces dernières seront traitées ultérieurement par le SAM choisi.

b) Email déminéralisé :

La progression d'une lésion carieuse s'accompagne inéluctablement d'une déminéralisation de l'émail. Celui-ci constitue un substrat peu propice à une adhésion durable. Les valeurs d'adhérence enregistrées sont, en effet, inférieures à celles pouvant être observées dans le cas d'un émail sain⁽⁸⁷⁾. L'émail constituant la véritable clé de voute de l'adhésion, il est recommandé, et selon le type de restauration envisagée, de placer les limites de préparation dans des plages d'émail sain ou reminéralisé.



Figure 37 : Lésion de déminéralisation en regard de la 13, d'après l'article de Denis et al. portant sur les taches blanches de l'émail⁽⁸⁸⁾

c) Email atteint de Fluorose :

La fluorose se caractérise par un développement aberrant de l'émail, lorsque les taux de fluor ingérés sont supérieurs à la normale. L'émail est alors coloré et peut présenter diverses formes cliniques (taches blanchâtres ou au contraire brunâtres). On notera également une porosité plus marquée et des plages d'hypominéralisation en subsurface, sous un émail d'apparence hyperminéralisé ^(88,89).

Avant toute considération, il est important de déterminer la sévérité de la fluorose, les approches thérapeutiques étant variables selon sa gravité. Il faut, pour cela, se référer à la classification Thylstrup et Fejerskov établie en 1978, par exemple ⁽⁹⁰⁾. Néanmoins, peu importe son degré, un émail atteint de fluorose présente des valeurs d'adhérence plus faibles comparées à celles d'un émail sain ^(91,92).



Figure 38 : Photographies montrant divers degrés de sévérité chez deux patients atteints de fluorose, d'après l'article de Lilian Rigo et al. ⁽⁹³⁾

Cas d'une fluorose légère : Un fraisage superficiel de l'émail permettrait d'augmenter la qualité de l'adhésion ^(92,94). Les systèmes M&R sont également recommandés ⁽⁹¹⁾ avec une durée de mordantage de 15 secondes, à l'acide orthophosphorique. ⁽⁹⁵⁾

Cas d'une fluorose modérée : Le fraisage est également recommandé ^(92,96). L'efficacité des systèmes M&R diminuant avec l'augmentation de la gravité de la fluorose ⁽⁹¹⁾, on peut aussi porter son choix sur une approche automordancante. Les M&R ne sont néanmoins pas contre-indiqués, et la durée du mordantage la plus adéquate serait de 30 secondes. ⁽⁹⁵⁾

Cas d'une fluorose sévère : L'émail étant relativement fragile, le fraisage préalable est déconseillé ⁽⁸⁴⁾ ainsi que l'utilisation des systèmes M&R ⁽⁹¹⁾. Il est à noter que l'augmentation du temps de mordantage dans ce cas est délétère ⁽⁹⁵⁾. L'approche automordancante, plus douce, est donc le choix le plus adapté dans le cas d'une fluorose sévère ⁽⁹¹⁾.

d) Email atteint d'amélogénèse imparfaite :

L'amélogénèse imparfaite se traduit par un développement anormal de l'émail, sa structure et son apparence étant altérées par la présence de mutations génétiques, impliquées dans l'activité de protéines majeures (amélogénine par exemple) ⁽⁹⁷⁾.



Figure 39 : Patient atteint d'amélogénèse imparfaite, (d'après l'article du Journal Canadian Dental Association (2013;79:d38))

Trois grandes formes cliniques sont à distinguer : on peut ainsi retrouver un émail hypoplasique, hypominéralisé ou encore hypomature ^(97,98). L'émail hypoplasique est peu épais, et présent en quantité moindre. Les formes hypominéralisées ou hypomatures, quant à elles, sont associées à des anomalies qualitatives : défaut de minéralisation et défaut de transformation de la trame organique ⁽⁹⁷⁾.

e) Cas d'un émail hypoplasique :

Associé à une mutation de l'amélogénine, il ne possède que très peu de structure prismatique, pourtant indispensable au collage. Son aspect au SEM (scanning electron microscopy) est celui d'une surface rugueuse, non uniforme et son profil de mordantage est anormal. Les valeurs d'adhérence retrouvées sont également plus faibles quant à celles de l'émail contrôle, et cela peu importe le système adhésif utilisé ⁽⁹⁷⁾. La qualité de l'adhésion serait favorisée par l'utilisation de systèmes automordançants, ces derniers présentant les meilleurs taux succès comparés à des systèmes de mordantage-rinçage, trop agressifs (acides) pour un émail fragile ⁽⁹⁷⁾. En revanche, l'utilisation d'un système M&R ou d'un SAM n'a pas montré de différence significative quant à la qualité de l'adhésion.

D'autres éléments sont nécessaires pour conclure quant à la supériorité ou non des systèmes automordançants. Selon Pugach et al. la deprotéinisation par hypochlorite de sodium (NaOCl) n'est pas recommandée, celle-ci altérant la trame minérale restante, qui n'est plus soutenue ⁽⁹⁹⁾.



Figure 40 : Cas d'un patient avec émail hypoplasique

f) Cas d'un émail hypomature :

Etudié ici en invalidant le gène d'une métalloprotéinase, l'émail est hypoplasique-hypomature. Fragile, il se sépare facilement de la dentine, montrant une atteinte de la jonction amérodentinaire. Son profil de mordançage est peu marqué et difficilement différenciable de son profil non mordancé⁽⁹⁷⁾. D'autres études, sur des « modèles humains » cette fois-ci, ont mis en exergue les anomalies ultrastructurales ainsi que chimiques de ce type d'émail⁽¹⁰⁰⁾. Le contenu protéique est, par exemple, largement supérieur à celui retrouvé dans le cas d'un émail sain⁽¹⁰¹⁾

Sur les souris, l'emploi d'un système M&R a significativement fait chuter les valeurs d'adhérence. Non mordancé, les microreliefs retrouvés s'approchent de ceux retrouvés à la surface d'un émail sain mordancé⁽⁹⁷⁾: L'approche la plus judicieuse serait donc l'utilisation de systèmes automordancants, plus doux et préservant au maximum la structure amélaire.⁽⁹⁷⁾



Figure 41 : Cas d'un patient avec émail hypomature

g) Email atteint de MIH :

L'hypominéralisation molaire-incisive, ou MIH (molar-incisor hypomineralization), se définit comme un défaut de minéralisation de l'émail, notamment retrouvé au niveau des molaires et des incisives, comme la terminologie l'indique. Son étiologie reste encore floue. Le collage à l'émail dans ce contexte clinique est délicat à gérer et l'ajout d'une déprotéinisation dans le protocole⁽⁸⁸⁾, à l'hypochlorite de sodium à 5% pendant 1 minute, est malgré tout conseillé. L'utilisation de l'OptiBond FL, un M&R III, a également obtenu les valeurs d'adhérence les plus satisfaisantes.⁽¹⁰²⁾



Figure 42 : Cas d'un patient avec émail atteint de MIH

❖ **Qualité de la mise en œuvre :**

Au delà d'une bonne analyse du contexte clinique, la qualité de la mise en œuvre de la procédure d'assemblage est tout aussi primordiale.

La mise en place de la digue : L'importance de la digue dans le domaine du collage n'est plus à prouver et son emploi reste un prérequis indispensable. Elle permet d'isoler les substrats de collage de tous les fluides buccaux contaminants et septiques, pouvant compromettre la qualité du collage^(103,104), elle évite également au patient d'être en contact avec des produits allergisants ou encore toxiques.⁽¹⁰⁵⁾

Respect des recommandations des fabricants: Le choix d'un système adhésif adapté à la situation clinique doit être accompagné d'une bonne connaissance des produits employés. Leur mise en œuvre ne doit en aucun cas être « hasardeuse », les biomatériaux ayant été conçus pour être optimaux seulement dans certaines conditions d'utilisation. Les recommandations figurant sur la notice doivent donc être lues attentivement.

VII. Recyclage et réutilisation des brackets orthodontique :

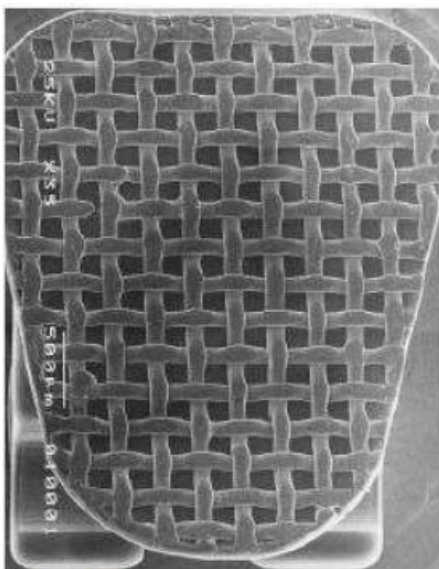
- Les orthodontistes sont souvent confrontés à la décision de ce qu'il faut faire avec les brackets mal positionnés ou décollés lors du port de l'appareil orthodontique qui nécessitent une solution consiste à recycler les brackets pour une éventuelle réutilisation .
- Le but de tout système de recyclage des brackets est de retirer la colle complètement de la base du support sans causer des dommages structurels afin d'éliminer toutes les impuretés liées au traitement orthodontique, de sorte que le bracket puisse être recollé à l'émail produisant une adhésion efficace et une résistance adéquate.

A. Méthodes de recyclage des brackets :

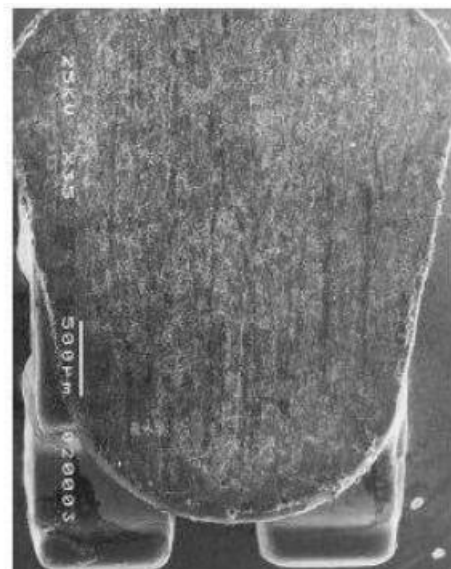
- Deux méthodes de recyclage des brackets en acier inoxydable sont possibles :
 - 1- Méthode au cabinet.
 - 2- Méthodes commerciales.
- 1. Méthode au cabinet :**
- a) Méthode de meulage.
 - b) Méthode de sablage.
 - c) Méthode flamme directe.
 - d) Méthode du bain acide.
 - e) Recyclage au laser.

a) Méthode de meulage :

- Une fraise en carbure de tungstène montée sur pièce à main lente à une vitesse de 25 000 tours par minute pendant environ 25 secondes, le meulage adhésif mécanique est rapide, simple et facile à réaliser en tant que procédure au fauteuil.
- Les supports meulés montrent une résine continue qui couvre et bloque toutes les zones de rétention.
- Effets du meulage sur le bracket :
 - Un aplatissement et une perte de maillage ont été observés.
 - Réduction de la force de liaison du bracket (Wright et pouvoirs, 1985).
 - C'est la méthode la moins efficace.



1- Bracket témoin

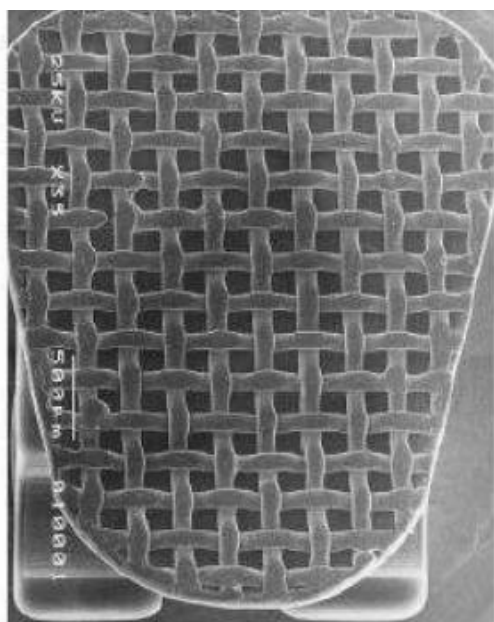


2- Brackets subi au meulage

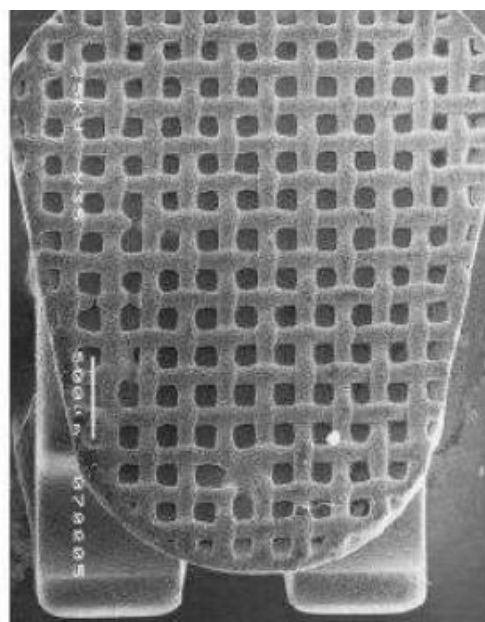
Figure 43 : Effets du meulage sur le bracket

b) Méthode de sablage :

- Unité de sablage portable Danville avec une poudre abrasive a l'oxyde d'aluminium 25, 50,110 μm .
- La distance entre la base du support et la tête de la pièce à main est fixée à une distance de 10 mm.
- La base du bracket est sablée pendant 20 à 40 secondes sous 5 bars .
- Pour le recyclage en clinique dentaire, l'utilisation de sablage avec des particules d'oxyde d'aluminium d'une taille de 25 μm est recommandée.
- Effets du sablage sur le bracket :
 - Regan et al (1993) ont signalé une réduction significative de l'effet des forces de cisaillement après sablage.
 - technique de sablage augmente la force d'adhérence et le temps de survie des nouveaux brackets, Sonis (1996),Millet et al (1993), MacColl et al (1998) Sonis AJODO (American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics) 1996.
 - L'augmentation des valeurs de résistance aux forces de cisaillements peut être attribuée à la micro-rugosité créée par les particules d'alumine, ce qui crée donc une augmentation de surface de collage indispensable pour la rétention.



1- Bracket témoin



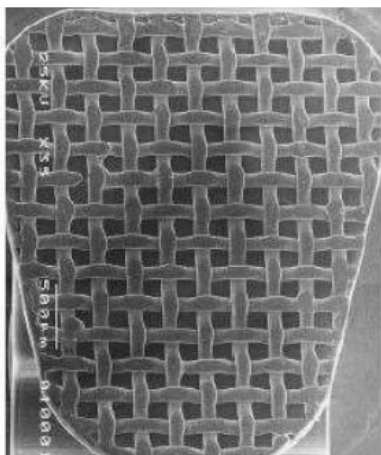
2- Bracket subi au sablage

Figure 44 : Effets du sablage sur le bracket

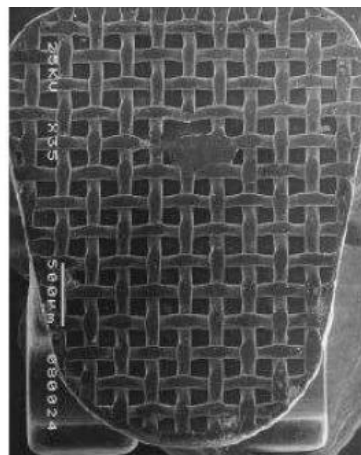
c) Méthode flamme directe (Méthode thermique) :

- La pointe de la flamme d'un chalumeau à gaz est pointée vers la base du bracket pendant 3 secondes, pendant lesquelles la colle commence à s'enflammer et à brûler.
- Ensuite, le support est immédiatement trempé dans l'eau à température ambiante et séchée à l'air.

- Effets de la méthode flamme directe sur le bracket :
 - Si l'acier est chauffé à des températures élevées, une précipité de carbure de chrome se forme et, comme par conséquent, devient susceptible à la corrosion, entraînant un affaiblissement général de la structure du bracket.
 - Le bracket peut se décolorer.
 - Le métal est ramolli par le processus de chauffage et est donc plus vulnérable aux dommages masticatoires.
 - La dureté et la résistance sont diminuées dans le traitement thermique.



1- Brackets Témoin



2- Brackets subi à une flamme directe

Figure 45 : Effets de la méthode flamme directe sur le bracket

d) Méthode du bain acide :

- Technique de Salahudheen et d'Omana Gheevarghese.
- Après que la colle a été brûlée elle est immergée pendant cinq à 15 secondes dans une solution d'acide chlorhydrique à 32% et acide nitrique 55%, mélangé dans un rapport $\frac{1}{4}$, l'acide doit être manipulé avec une grande prudence, et il est absolument essentiel que le support soit abondamment rincé sous l'eau courante pendant 30 à 60 secondes après le bain d'acide.
- Le support est ensuite séché à l'air et prêt pour le recollage.
- Effets du bain d'acide sur le bracket :
 - Elargissement de la lumière du bracket.
 - Aplatissement de la base du bracket.



1- Bracket témoin

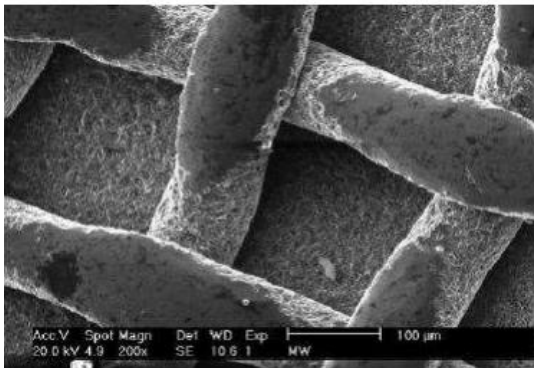


2- Bracket immergée dans un bain acid

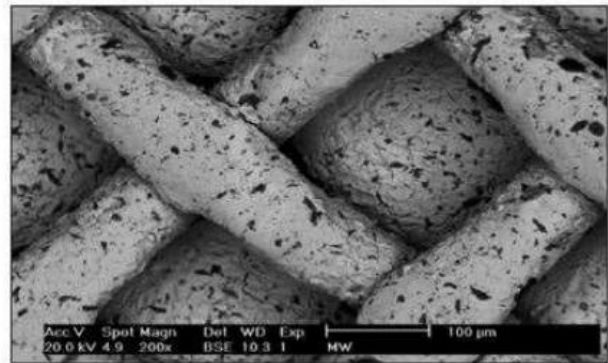
Figure 46 : Effets du bain d'acide sur le bracket

e) Recyclage au laser :

- Le développement de l'erbium : Yttrium laser (Er : YAG - yttrium aluminium garnet -) a permis l'ablation des tissus mous et durs sans tout effet secondaire thermique.
- La colle s'enlève en tenant le bracket avec une précelle et puis le laser est appliqué du haut jusqu'en bas.
- Lunettes de protection fournies par le fabricant doivent être utilisées durant l'ensemble de la procédure.
- Le retrait de l'adhésif s'est avéré presque complet avec cette méthode.
- La base du support ressemblait beaucoup à un support témoin.
- Le reste d'adhésif sur la base du support est négligeable.
- Effets du laser sur le bracket :
 - Négligeable et le retrait de colle est presque total.



1- Bracket témoin



2- Bracket subi au traitement laser

Figure 47 : Effets du laser sur le bracket

2. Méthodes commerciales :

- Les principaux procédés commerciaux de recyclage des brackets orthodontiques sont thermiques ou chimiques.

a) Thermique :

- Procédé de recyclage utilisé par l'Esmadent Entreprise (Highland Park, Illinois, États-Unis). Avec ce système, les supports sont chauffés à 454°C pendant 45 minutes. Ensuite, les supports chauds sont immergés dans un solvant froid et nettoyé par ultrasons pendant 10-15 minutes.
- Les brackets sont ensuite lavés, séchés et électropoli pendant 30-45 secondes et placé dans une solution de bicarbonate de sodium, suivi d'un rinçage à l'eau chaude. Cinquante micromètres de métal sont enlevés par cette méthode.
- Effets de recyclage thermique :
 - Petite diminution de la dureté et de la résistance à la traction.
 - Séparation des carbures de granules métalliques.

b) Chimique :

- Méthode utilisée par la société Orthocycle (Hollywood, Floride, États-Unis).
- Un procédé de décapage des solvants associé à des vibrations à haute fréquence est effectué à une température inférieures à 100°C pour éliminer les composite. Ceci est suivi d'un chauffage à 250°C pour la stérilisation et un électropolissage très court (45 secondes).
- L'entreprise déclare que 5 à 10 µm de métal sont supprimé (Postlethwaite, 1992).
- Effets de recyclage chimique :
 - Aucun changement dans la dureté, la résistance.

B. Recyclage des brackets en céramique :

- De nombreux fabricants déclarent que les brackets en céramique sont « à usage unique ». Selon les instructions émises par GAC (GAC International, Inc., Commack, NY, États-Unis),
- Des microfissures de céramique pourraient se produire, nuisant ainsi la qualité du collage et les propriétés mécanique du bracket recyclé.

C. Avantages du recyclage des brackets :

- Le principal avantage du recyclage est la rentabilité, qui pourrait atteindre 90 %, en raison du fait qu'un seul bracket puisse être réutilisé jusqu'à cinq fois.
- Support plus lisse et plus résistant à la corrosion après électropolissage, et la stérilité en raison de la température utilisée dans le processus de recyclage.

D. Inconvénients du recyclage des brackets :

- Réduction de la qualité des brackets.
- Perte des marques d'identification.
- Le recyclage commercial, que ce soit par la chaleur ou moyen chimique, conduit à un certain degré de perte de métal dans certaines zones du bracket.

VIII. Dépose du système d'attache après traitement :

A. Dépose des attaches :

La facilité de dépose des attaches orthodontiques est fonction des valeurs d'adhérence du système de collage. Ces valeurs sont d'environ 12 à 29 MPa (Mégapascal) pour les résines composites, et de 19,6 MPa pour les CVIMAR. Pour Murray et al (2003), la valeur d'adhérence suffisante à la bonne tenue des attaches orthodontiques est entre 5,9 à 7,8 MPa ^(111,112). Hitmi a, quant à elle, montré que les valeurs d'adhérence diffèrent selon la colle et donc la force nécessaire à sa dépose aussi ⁽¹⁰⁶⁾. En effet l'adhérence correspond à la force nécessaire à la séparation d'un assemblage collé. L'application d'une force permet d'initier une fissure à partir d'un défaut préexistant, aboutissant à une rupture pouvant être de deux types : cohésive (à l'intérieur du matériau de collage, ou du matériau collé), ou adhésive (à l'interface colle/matériau collé).



Figure 48 : Exemple d'arrachement amélaire après dépose d'un bracket esthétique selon Swartz ⁽¹⁰⁸⁾

1. Techniques :

Nos matériaux doivent permettre une tenue suffisante des brackets pour éviter les décollements pendant le traitement orthodontique, mais également une dépose suffisamment aisée pour se faire sans dommages amélaire. Les forces nécessaires à la dépose dépendent de plusieurs facteurs : le type de préparation amélaire (acide orthophosphorique, acide polyacrylique, système auto-mordançant), le type de colle, le type de bracket, et l'architecture de sa base. Plus la force exercée est importante, plus le risque de dommages sur l'émail est présent.

a) Dépose manuelle conventionnelle :

En pratique quotidienne, la dépose se fait grâce à une pince coupante, une pince à débayer ou une pince de Weingart. Elle consiste à appliquer une force douce de levier à la base de l'attache, avec une rupture du joint collé faite préférentiellement au niveau de la colle. Holdberg et al en 2013 ⁽¹¹³⁾ ont étudié diverses méthodes et les conséquences sur l'émail des différentes techniques de dépose :

- compression des ailettes dans le sens mésio-distal ou occluso-gingival.
- force de cisaillement avec une pince coupante en appliquant un mouvement de torsion.
- force de cisaillement ou d'arrachement avec une pince à débayer entre le bord libre des dents et les ailettes gingivales.
- méthode de délaminage en appliquant une force de cisaillement sur la couche adhésive entre la base et la surface amélaire (effet de coin).



a. b. Techniques de compression des ailettes.

c. Technique d'arrachement avec la pince à débayer selon Holberg ⁽¹¹³⁾

Figure 49 : différentes techniques pour la dépose manuelle conventionnelle

- Selon Swartz et al. ⁽¹²⁵⁾ en 2008, les protocoles de décollement sont différents selon les types d'attaches :
 - Brackets métalliques biplots : décollement par déformation de la base en exerçant une pression tendant à rapprocher les plots.
 - Brackets métalliques monoplots, tubes, boutons vestibulaires, brackets autoligaturants : décollement par pelage en insérant un mors d'une pince coupante au niveau du matériau de collage, et l'autre mors au-dessus de l'attache. Une légère pression sur la pince, sans mouvement de torsion, permet de décoller l'attache sans risque pour l'émail.
 - Brackets en plastique : décollement en insérant une pince coupante à la base du bracket pour le déformer.
 - Brackets en céramique : décollement soit en utilisant un matériel et une technique donnée par le fabricant, soit en écrasant et en meulant le bracket à l'aide d'une fraise. Le caractère cassant et la rigidité de ce type de brackets rend le décollement délicat.
- Pour Zarrinnia et al. ⁽¹²⁶⁾, dans une étude de 1995, le protocole suivant doit être adopté pour le décollement des attaches orthodontiques:
 - Eviction du bracket à l'aide d'une pince à déposer les brackets, afin de créer un trait de fracture à l'interface bracket-matériau de collage.

b) Techniques d'aide à la dépose :

Les procédures permettant de faciliter la dépose des attaches orthodontiques provoquent toutes une émission de chaleur. La littérature se base sur la valeur critique à ne pas dépasser pour ne pas provoquer de dégâts sur la pulpe dentaire pour évaluer l'utilisation de ces procédures en pratique quotidienne. Selon Zach et Cohen, à +5,5°C au niveau de la pulpe dentaire, 40% des primates testés montrent une inflammation irréversible, et pour une augmentation de 16°C et plus, la pulpe dentaire se nécrose systématiquement ⁽¹¹⁴⁾.

Tableau 5 : Tableau récapitulatif des aides à la dépose.

| Procédures de dépose | Avantages | Inconvénients | Auteurs |
|--------------------------------|---|--|---|
| Ultrasons | <ul style="list-style-type: none"> - Pas d'arrachement d'émail - Force appliquée faible - Rupture située à l'interface attache /matériau de collage | <ul style="list-style-type: none"> - Durée de la procédure (38 à 50sec, 1sec à la pince) - Onéreuse - Risque de sensibilités dentinaires | <ul style="list-style-type: none"> - Non recommandée (même pour les CVIMAR) pour Boyer et al ⁽¹¹⁵⁾ |
| Dépose électro-chimique | <ul style="list-style-type: none"> - Ramollissement de la résine Diminue la force de décollement nécessaire pour les attaches collées sur les facettes ⁽¹¹⁶⁾ - Pas d'atteinte pulpaire - Pas de déformation de l'attache - Temps de dépose comparable à l'utilisation de pinces à déposer les attaches | <ul style="list-style-type: none"> - Formation de dentine réactionnelle à 1 semaine et 1 mois sur les pulpes testées - Apparition de craquelures dues au choc thermique - Douleurs | <ul style="list-style-type: none"> - Non recommandée pour Dovgan et al ⁽¹¹⁷⁾ |
| Laser | <ul style="list-style-type: none"> - Dégradation de la résine par ramollissement thermique, photo ablation ou ablation thermique - Pas d'augmentation de la température pulpaire pour Feldon et al ⁽¹¹⁸⁾ - Risques de lésions amélares diminués par rapport à une dépose à l'aide de pinces en raison des forces très faibles | <ul style="list-style-type: none"> - Toujours des restes de résine à la surface amélaire (pas de vaporisation totale) - Risques de dommage pulpaire par élévation de la température pulpaire | <ul style="list-style-type: none"> - Indication limitée pour Azzeah et al ⁽¹¹⁹⁾ - Recommandé pour la dépose des brackets céramiques ⁽¹²⁰⁾ |

c) Atteintes tissulaires :

Lors de la dépose conventionnelle, le risque principal est la perte d'émail par fracture lors du décollage, par un mauvais positionnement de la pince ou l'application d'une force trop grande, avec pour conséquence une fracture au niveau du joint émail/colle et donc un arrachement des prismes d'émail ⁽¹²¹⁾. L'obtention d'une surface amélaire lisse en fin de traitement sera d'autant plus difficile que de petits fragments d'émail peuvent être arrachés.

La technique de cisaillement entrainerait trop de risques amélares pour Su et al en 2012 ⁽¹²²⁾. Swartz, quant à lui, préconise d'éviter les mouvements de rotation qui augmentent le risque de lésion amélaire au niveau du joint adhésif/émail. Pour Holberg la compression des ailettes est la technique transmettant le moins de forces aux racines (notamment dans le cas de problèmes parodontaux) ⁽¹¹³⁾, mais elle laisse aussi plus de résidus d'adhésif sur la dent ⁽¹²³⁾.

B. Élimination de la colle :

Quelle que soit la procédure de dépose utilisée, il reste souvent de l'adhésif résiduel, en quantité variable, sur la surface amélaire. La difficulté de cette étape consiste à bien repérer la colle restante et à l'éliminer sans dommages pour rendre à l'émail son aspect initial.

1. Techniques :

Les instruments tels que les pinces à couper les ligatures, les ciseaux à composites, les pinces à gratter les résines de collage sont à proscrire puisqu'elles rayent profondément l'émail, et selon Gwinnet et Gorelick (1977) ⁽¹⁴⁸⁾ ces rayures persistent même après un polissage soigneux. De plus, ces auteurs déconseillent l'emploi d'instruments manuels en alliage acier, car les matériaux dont ils sont constitués sont plus durs que l'émail (leur dureté varie de 7 à 9 selon l'échelle de Mohs, alors que celle de l'émail est de 5), et peuvent donc l'endommager.

a) Élimination avec Instruments rotatifs :

La littérature comporte de nombreuses études à propos des instruments rotatifs, tels que les fraises. Elles agissent soit par abrasion (diamant, pierre, composite) ou par phénomène de coupe grâce à l'affutage du matériau (carbure de tungstène, acier, céramique). L'échelle de Mohs (inventée en 1812), indiquant la résistance des matériaux aux rayures, permet de comparer facilement la dureté des matériaux entre eux, et avec l'émail ⁽¹²⁷⁾.

Tableau 6 : Tableau récapitulatif des duretés des matériaux utilisés pour éliminer la colle ⁽¹²⁷⁾

| Matériau | Echelle de Moh |
|----------------------|----------------|
| Email | 5 |
| Diamant | 10 |
| Carbure de tungstène | 9 |
| Céramique | 6--7 |
| Résine Composite | 5--7 |
| Pierre d'Arkansas | 6,5 |
| Oxyde de zirconium | 7,5 |
| Ponce | 6--7 |

Le choix de la fraise utilisée est donc important, et nécessite de réfléchir à un certain nombre de critères (forme, lames, spray d'eau ou non, vitesse...). En orthodontie, le passage de la fraise doit respecter au maximum l'anatomie de la dent. Ainsi les formes fissure et congé sont les plus utilisées en vestibulaire, en lingual les fraises boules ou olives sont plus faciles à mettre en œuvre, notamment pour respecter les reliefs des incisives. De plus le nombre de lames est également important : en effet selon Jonke et al, l'augmentation du nombre de lames permet de diminuer la température générée ⁽¹²⁸⁾. Il préconise par exemple d'effectuer une pause toutes les 5 à 10 secondes pour une fraise à 6 lames afin d'éviter un échauffement trop important. De même le choix de la vitesse de rotation doit se faire en fonction des indications données par le fabricant (vitesse optimale et vitesse maximale). Enfin l'utilisation du spray eau/air diminue le contraste entre l'émail et l'adhésif résiduel, rendant plus difficile le contrôle visuel de la dépose ^(129,130), mais il présente comme avantage de protéger la pulpe des augmentations de température, qui peuvent être importantes à haute vitesse ⁽¹³¹⁾. L'étude de Uysal en 2005 montre qu'une fraise carbure de tungstène utilisée à haute vitesse (290 000 tr/min) sans eau provoque une augmentation de température de 5,23°C à 10,14°C.

Quand on rajoute un système de refroidissement eau/air dans les mêmes conditions, une diminution de $5,34^{\circ}\text{C} \pm 1,21^{\circ}\text{C}$ est observée⁽¹³¹⁾. Dans la littérature, l'intérêt des fraises carbure de tungstène pour la dépose de la résine est reconnu depuis 1977⁽¹³²⁾, et de nombreuses publications ont cherché à comparer leur effet en fonction de différents paramètres comme la vitesse de rotation.

- Les fraises diamantées sont trop agressives, même pour des granulométries fines, et il est fortement déconseillé de les utiliser. En effet elle provoque d'importantes rayures (la dureté du diamant est de 10 selon l'échelle de Mohs, c'est la plus élevée) (Palucha, 2002⁽¹⁴⁹⁾). L'élimination complète des rayures obtenues est impossible, même après polissage (Zachrisson et Artun, 1979⁽¹⁵⁰⁾).
- Les fraises en carbure de tungstène : selon Campbell (1995)⁽¹⁵¹⁾ et Hosein et al. (2004),⁽¹⁵²⁾ la technique la plus appropriée pour déposer l'adhésif résiduel serait l'utilisation de fraises en carbures de tungstène (8 ou 12 pans) à grande vitesse. Il y a apparition de rayures discrètes parallèles dans la surface de l'émail, qui peuvent être éliminées (dans leur quasi-totalité) par polissage (Zachrisson et Artun, 1979).⁽¹⁵⁰⁾ Campbell et Hosein⁽¹⁵¹⁾ préconisent donc ensuite l'utilisation de pointes et cupules en caoutchouc (Dentsply International, York, Pa), suivie d'une pâte à polir pour obtenir une surface douce avant le polissage final, qui sera réalisé à sec à l'aide de cupules vertes et grises, pour obtenir un aspect clinique final glacé à l'émail. Selon Hosein et al., la perte minimum d'émail est remarquée lorsque l'on utilise un adhésif automordançant pour le collage et lorsque au moment de la dépose, le polissage de l'émail est effectué par une fraise en carbure de tungstène tournant à faible vitesse.
- En 1977, Gwinnett et Gorelick⁽¹⁴⁸⁾ reconnaissent déjà l'intérêt des fraises en carbure de tungstène pour la dépose de tous les types de résines. Pour eux, leur efficacité est augmentée lorsqu'elles travaillent à grande vitesse (20 000 tr/min) plutôt qu'à vitesse lente (2 000 tr/min), mais en contrepartie, les vitesses rapides entraînent plus de dommages amélaire. Les « scratches » produites par les fraises sont atténués par le polissage, mais les facettes et les larges fissures persistent.
- Les fraises acier : le retrait de l'adhésif à l'aide de fraises acier à vitesse lente est difficile (Palucha, 2002). De plus, selon Retief et Denys (1979)⁽¹⁵³⁾ et Zarrinnia et al. (1995),⁽¹⁵⁴⁾ l'élimination des rayures qu'elles provoquent à la surface de l'émail est compliquée.

b) Élimination avec autres Instruments :

Les fraises ne sont pas le seul système de dépose, même si elles sont le plus couramment utilisées en terme de confort pour le patient et d'efficacité pour le praticien.



Figure 50: Sablage avec le système SandTran selon KIM ⁽¹²⁹⁾

Tableau 7 : Les autres systèmes de L'Élimination de la colle.

| Système de dépose de la colle | Avantages | Inconvénients | Auteurs |
|--|--|---|---|
| Sablage | <ul style="list-style-type: none"> - Pas de vibrations. - amélioration du confort du patient - Pas d'augmentation de la température intra pulpaire - Surface plus homogène | <ul style="list-style-type: none"> - Manipulation moins aisée que la fraise - Temps de manipulation plus long | <ul style="list-style-type: none"> - Alternative acceptable pour Kim et al ⁽¹²⁹⁾ - Meilleur état de surface pour Mhatre et al ⁽¹³⁰⁾ par rapport à la fraise carbure de tungstène |
| Laser Er : YAG | <ul style="list-style-type: none"> - Dépose de la colle plus efficace que les procédures traditionnelles (fraises) | <ul style="list-style-type: none"> - Délabrement identique à celui de la fraise diamantée - Dommages amélaire plus sévères que pour la fraise en carbure de tungstène | <ul style="list-style-type: none"> - Non recommandé pour Ahrari et al ⁽¹³³⁾ pour éliminer l'adhésif - Almeida et al ⁽¹³⁴⁾ recommandent d'autres études pour spécifier les conditions d'utilisation des lasers |
| Ultrasons | <ul style="list-style-type: none"> - Moins de perte d'émail | <ul style="list-style-type: none"> - Risque d'inconfort pour le patient - Autant de perte amélaire pour la fraise en carbure de tungstène à haute vitesse que les ultrasons | <ul style="list-style-type: none"> - Recommandé associé à une pince à débagueur (plus rapide) pour Krell et al ⁽¹³⁵⁾ - Non recommandé pour Hosein et al ⁽¹³⁸⁾ et Ireland et al ⁽¹³⁷⁾ |
| Disques abrasifs | <ul style="list-style-type: none"> - Bon état de surface | <ul style="list-style-type: none"> - Risque d'aplanissement et de création d'une facette large d'abrasion | <ul style="list-style-type: none"> - Tufekçi et al ⁽¹³⁶⁾ |
| Pincés à gratter et ciseaux à composites | <ul style="list-style-type: none"> - Simples d'utilisation | <ul style="list-style-type: none"> - Rayures larges et profondes (dureté 7-10 sur l'échelle de Mohs) | <ul style="list-style-type: none"> - A proscrire pour Gwinnet et Gorelick ⁽¹³²⁾ |

2. Atteintes tissulaires :

La quantité d'adhésif présent à la surface de l'émail après la dépose des attaches est variable en fonction de la localisation du site de rupture : elle est plus importante lorsqu'il se situe à l'interface attache/adhésif. Quoi qu'il en soit cet adhésif doit être déposé à son tour. Le problème est que grâce au mordantage il a pu pénétrer à l'intérieur de l'émail formant des « tags » résineux. La profondeur de ces languettes de résine varie selon les auteurs : de 10 à 25 µm pour Gwinnet et Matsui (1967) ⁽¹⁴⁰⁾, à 80 µm en moyenne pour Dietrich, 1981). ⁽¹⁴¹⁾ Malheureusement De tous les protocoles de dépose de l'adhésif résiduel, aucun ne permet de récupérer une surface amélaire intacte, comme elle l'était avant le traitement. Pour toutes ces différentes techniques, l'efficacité de l'élimination de la colle et l'innocuité à l'égard de l'émail sont inversement proportionnelles à la taille, la forme et la distribution de particules abrasives employées, et à la vitesse de rotation et la pression appliquées.

3. Les procédures de l'élimination de la colle dans la littérature :

Aucun consensus n'est actuellement présent dans la littérature mais plusieurs auteurs ont proposé leur protocole de dépose de la colle.

Gwinnet et Gorelick en 1977 ⁽¹¹⁰⁾ montrent une efficacité supérieure des disques verts en caoutchouc pour la dépose de la colle par rapport à la fraise carbure de tungstène, contredits dès 1979 par Zachrisson et Arthun qui, eux, mettent en évidence le contraire ⁽¹⁰⁷⁾.

Zarrinia, en 1995, a proposé comme séquence ⁽¹²³⁾ :

- Utilisation d'une pince à déposer les brackets.
- Utilisation d'une fraise carbure de tungstène 12 lames à une vitesse de 200 000 tr/min, pour l'élimination du plus important de la résine.
- Utilisation de disques Sof lex avec une séquence medium, fin et ultra-fin à une vitesse de 10 000 tr/min pour l'élimination de la résine résiduelle et le polissage.
- Utilisation d'une cupule en caoutchouc avec de la pâte Zircate pour finir le polissage.

En 2014, Janiszewska-Olszowska a réalisé une revue de littérature dont le but était d'étudier les différentes procédures de débague ⁽¹²⁴⁾. 44 articles ont été analysés, 41 ont été inclus. Parmi eux, l'étude s'est portée sur 28 études qualitatives, dont 13 basées sur les indices de surface amélaire, et 13 études quantitatives. L'auteur a cependant souligné la difficulté de comparer les différentes études entre elles, en raison de l'importante diversité des mesures et des résultats. Plusieurs conclusions de cette revue de littérature ont guidé l'établissement de notre propre protocole :

- Des nombreux matériaux testés, la fraise carbure de tungstène est la plus populaire.
- Les principales dents étudiées sont des prémolaires.
- La pierre d'Arkansas, les fraises diamantées, les fraises aciers, les lasers ne devraient pas être utilisés pour la dépose de l'adhésif résiduel.
- Les fraises carbure de tungstène sont plus efficaces et rapides que les disques Sof-Lex, les instruments ultrasons, les instruments manuels, en caoutchouc ou les fraises composites.
- Tous les auteurs utilisant la fraise carbure de tungstène ont recommandé une étape de polissage.
- Les disques Sof-Lex et la pâte ponce sont la technique de polissage la plus fiable.

Cette revue a également mis l'accent sur les dommages irréversibles causés par les systèmes orthodontiques fixés à l'émail dentaire et sur le fait que d'autres matériaux et méthodes doivent être trouvés. Ces nouveaux matériaux doivent permettre, d'une part une dépose complète de l'adhésif résiduel en minimisant la perte amélaire et d'autre part, de retrouver une surface lisse.

Lors des Journées de l'orthodontie en 2015, Laïla Hitmi a également donné son procédé de dépose de la colle ⁽¹⁰⁹⁾ :

Une procédure de nettoyage complète et rigoureuse nécessite 4 étapes :

- 1 : élimination de la colle superficielle,
- 2 : élimination de la colle au contact de l'émail,
- 3 : polissage
- 4 : recherche de la brillance et de l'éclat de surface.

La réussite de chaque étape est basée sur le bon choix de la nature et de la nature et de la forme des instruments rotatifs, de la vitesse de leur rotation et de l'association du spray d'eau ou pas.

• **Etape 1 : élimination de la colle superficielle :**

- Il est fortement déconseillé d'utiliser des fraises diamantées quelle que soit leur granulométrie (15).
- Le diamant qui a une dureté de 10 sur l'échelle de Mohs raye l'émail qui a une dureté beaucoup plus faible.
- Il est conseillé d'utiliser des fraises en carbure de tungstène 8/12 lames ou en céramique (**fig. 46**)
- En effet, la dureté de ces matériaux est proche de celle de l'émail entraînant moins de risque de rayures de l'émail.
- Les fraises bague rouge sont conseillées pour les systèmes de collage à base de CVIMAR dont la cohésion est faible (exemple, référence : H41 314 Komet).
- Les fraises bague verte sont plutôt conseillée pour les systèmes de collage à base de résine composite (exemple, référence : H1S 204 Komet) (**fig. 46a**).
- Les fraises céramique (exemple : référence K1SM 204 Komet) sont également utilisables pour l'élimination de la colle orthodontique avec un bon respect de l'émail (**fig. 46b**). Cependant, la fragilité de leur matériau requiert un entretien délicat et adapté sous peine de les rendre vite inefficaces.
- Il est préférable d'utiliser des fraises boules plutôt que les fraises cylindriques. En effet, nous avons deux matériaux de duretés différentes : l'émail et la colle (résine composite ou CVIMAR de collage).
- Le processus qui consiste à éliminer la colle sans altérer l'émail ressemble à l'exercice du praticien face à l'excavation de la dentine cariée sans abimer la dentine saine. Dans ce procédé les fraises boules sont efficaces en travail latéral avec une simple pression légère. Leur utilisation à moyenne vitesse avec un contre angle bague bleue et sans irrigation permet un double contrôle visuel et tactile en appréhendant le contact avec l'émail.

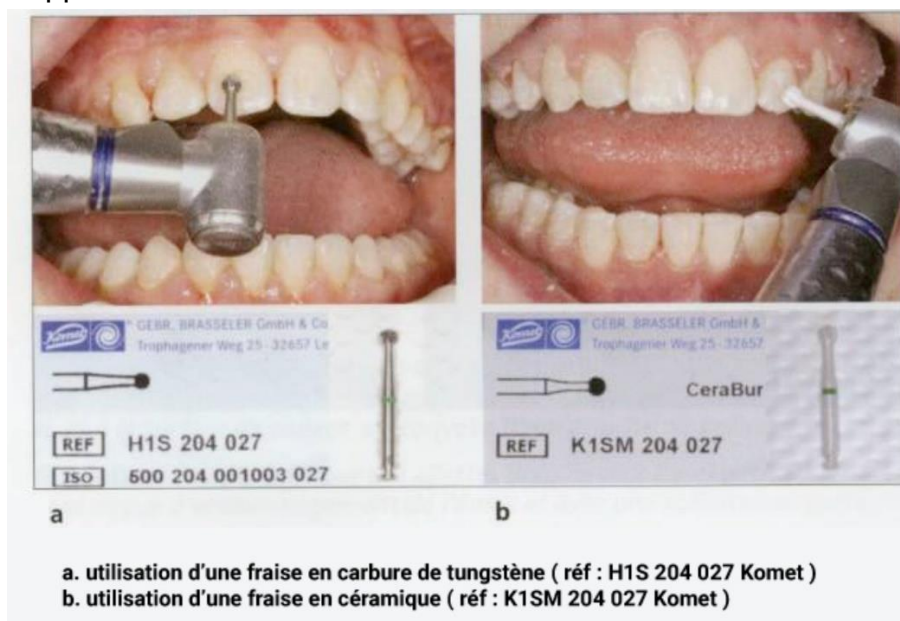


Figure 51 : Elimination de la colle superficielle à l'aide de fraises boules de taille 207

- **Etape 2 : élimination de la colle au contact de l'émail :**

- La colle résiduelle sur la surface de l'émail sera éliminée grâce à des fraises composite lisses, sans lames, sous irrigation sur contre-angle bague bleue et à faible vitesse 5000 et 20000 rpm (rotation per minute) (**fig. 47**).
- Au contact de l'émail, c'est la fraise qui doit s'user et non l'inverse. Cela représente la garantie du non altération de l'émail lors de l'élimination de la dernière couche de colle orthodontique.



Figure 52 : Elimination de la couche de la colle au contact de l'émail grâce à des fraises en composite, lisses et sans lames

- **Etape 3 : polissage :**

- L'étape suivante consiste à faire un polissage des surfaces grâce à des disques abrasifs (Opti-Disc Kerr ou Sof-Lex 3M Espe). Les disques existent en 4 granulométrie décroissantes allant de 80-90 μ m à 8-15 μ m. Les disques gros grains (80-90 μ m) sont déconseillées pour le polissage postorthodontique de l'émail à cause de leur haut potentiel abrasif avec un risque accru d'entraîner une perte d'épaisseur d'émail. Les disques à grains moyen (42-45 μ m) peuvent être utilisés avec une très grande prudence et sous très faible pression. Les deux dernières granulométries à grains fins (20-30 μ m) et grains superfins (8-15 μ m) sont les plus conseillées pour obtenir un bon polissage sans altération de l'émail (**fig. 48**).

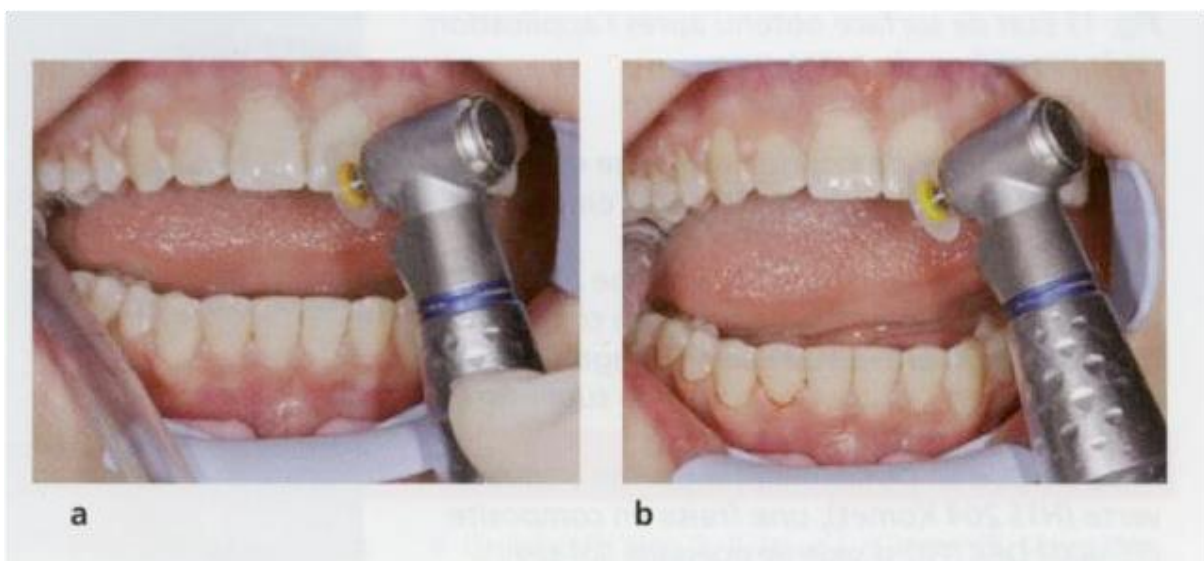


Figure 53 : Élimination de la colle et polissage de l'émail après la dépose des attaches ODF avec des disques Opti-disc (Kerr) à grains fins (a) puis à grains superfins (b)

- Pour un bon polissage de surface, 2 ou 3 granulométries décroissantes sont nécessaires. Les disques cités ci-dessus sont utilisés sous irrigation, à faible vitesse et faible pression.
- Les disques Sof-Lex roues spirales (3M ESPE) utilisés sur contre-angle à une vitesse 10000 à 20000 tours /min donnent également un très bon polissage et une excellente brillance de surface après la dépose des attaches. Il existe deux références, le disque beige remplace le disque abrasif à grain fin et le disque blanc remplace le disque abrasif à grain superfin (**fig. 49**). Ils présentent une bonne adaptation à toutes les surfaces dentaires antérieures et postérieures (plates, convexes ou concaves). Leur faible échauffement autorise leur utilisation sans eau évitant les éclaboussures. Le risque de blessure des tissus mous environnants se trouve également réduit.

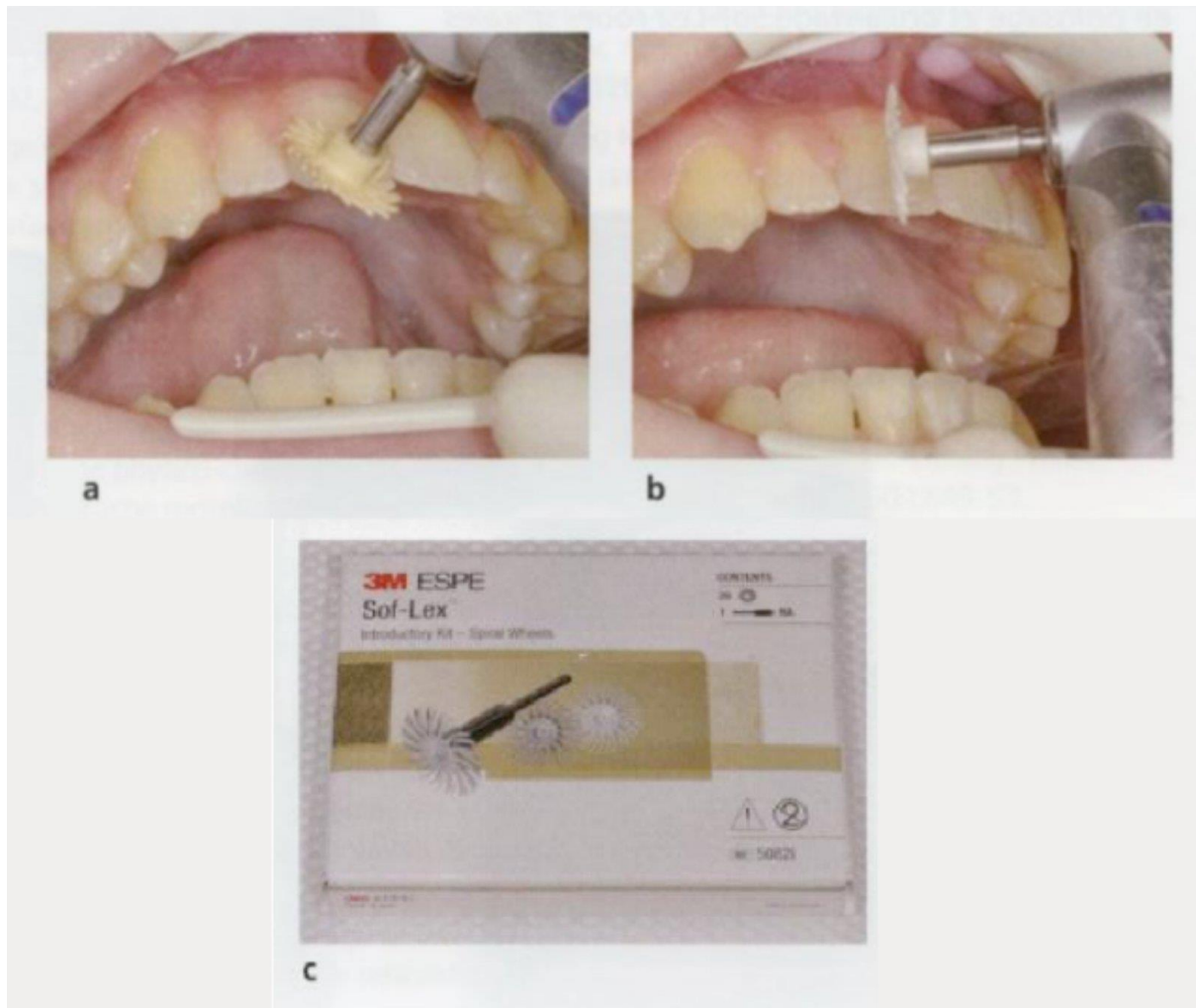


Figure 54 : polissage de l'émail après la dépose des attaches ODF et l'élimination de la colle avec des disques Sof-Lex roues spirales (3M ESPE) beige puis blanc .

- **Etape 4 : recherche de la brillance et de l'éclat de surface :**

- Après l'utilisation des disques abrasifs de polissage, un brillantage de surface peut être obtenu grâce à une pâte de polissage à base de perlite (Cleanic Kerr) sur une cupule (Prop-Cup Junior Kerr) (**fig. 50**).



Figure 55 : Brillantage de l'émail grâce à l'utilisation d'une pâte de polissage à base de perlite (Cleanic Kerr) et d'une cupule (Prop-Cup Junior Kerr)

- L'avantage de cette pâte se résume dans la forme évolutive de ses particules abrasives lors de leur utilisation. Initialement, les particules ont une forme plate, avec des bords tranchants et aiguisés. Lors de l'utilisation de la pâte, la pression et la friction des particules entre elles cassent et usent ces dernières. Les bords deviennent arrondis et les particules plus douces et fur à mesure qu'on utilise la pâte. Cela permet de remplacer l'utilisation de deux ou plusieurs pâtes de polissage de granulométries différentes.
- Dans le cas où le polissage est réalisé avec les disques roues spirales, le brillantage est obtenu en même temps que le polissage avec le disque spirale blanc. Le poli de surface, la brillance et l'éclat de l'émail après la dépose des attaches viennent donner la touche finale au rendu esthétique de l'alignement et du sourire obtenue grâce au traitement orthodontique (**fig. 51**).



Figure 56 : état de surface obtenu après l'application de la procédure de nettoyage et de la colle orthodontique décrite

Il n'existe pas aujourd'hui, de kit de nettoyage orthodontique complet pour obtenir un état de surface optimal. L'orthodontiste le composer personnellement (**fig. 52**).

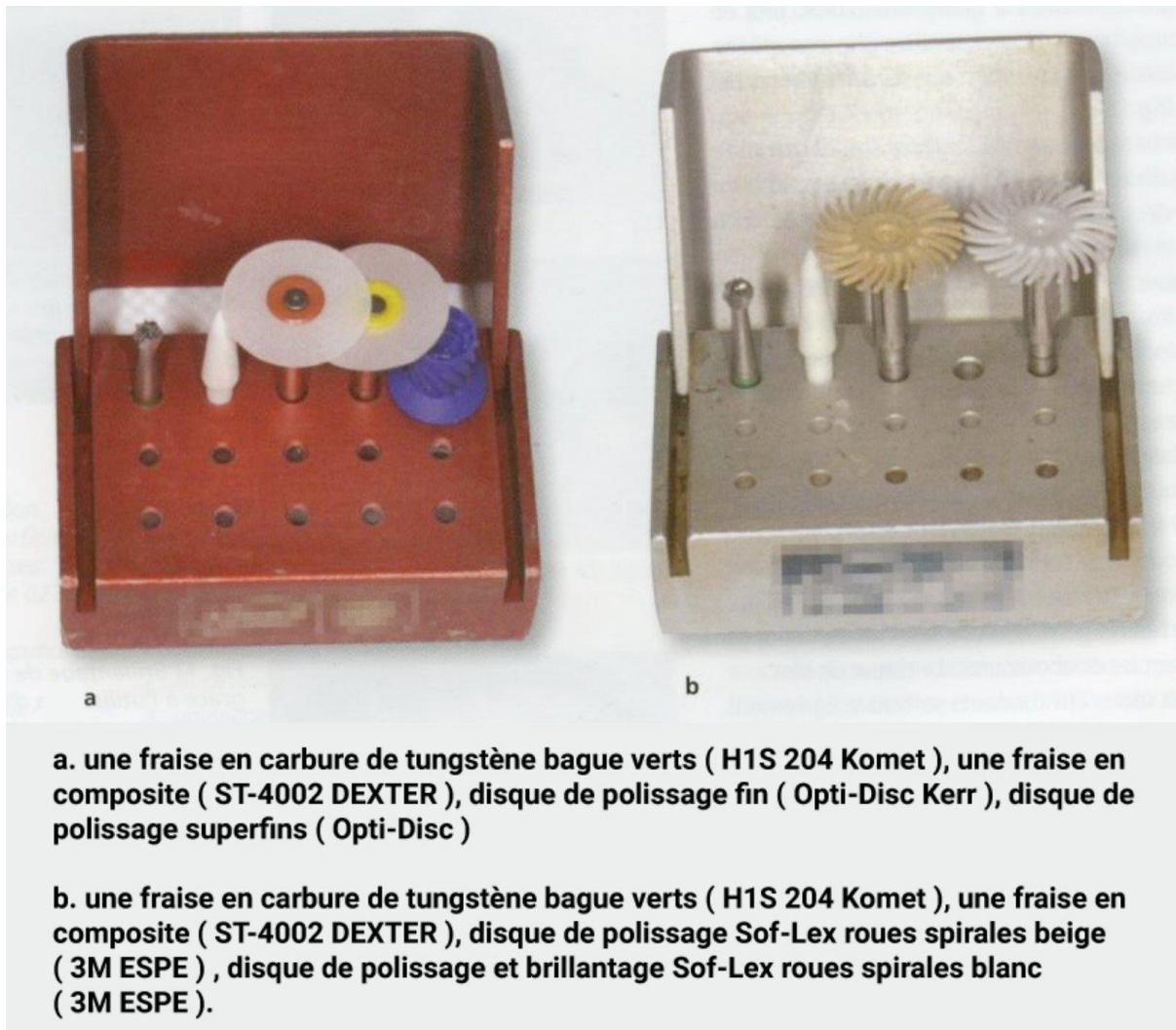


Figure 57 : exemples de kits de nettoyage complets pour obtenir un état de surface de l'émail optimal.

C. Polissage des surfaces amélaire :

L'étape de polissage a pour but de rendre la surface amélaire la plus lisse et brillante possible, tout en évitant les dommages par abrasion. Les matériaux abrasifs sont par ailleurs les plus utilisés par les praticiens pour cette phase. En effet, après le mordantage et la dépose des attaches, la surface amélaire est rugueuse. L'émail est plus poreux et donc plus sensible aux décalcifications et aux colorations ⁽¹⁴²⁾. De plus d'après Zachrisson, l'émail est plus sensible aux fissures après un traitement orthodontique ⁽¹³⁹⁾. Le polissage permet alors d'éliminer ou d'atténuer les rayures pour les plus importantes.

1. Techniques :

Il existe un grand nombre de matériaux abrasifs : disques, polissoirs (en caoutchouc, avec des particules d'oxyde de zircon, en silicone, ...) ; mais aussi des fraises à finir en carbure de tungstène par exemple.

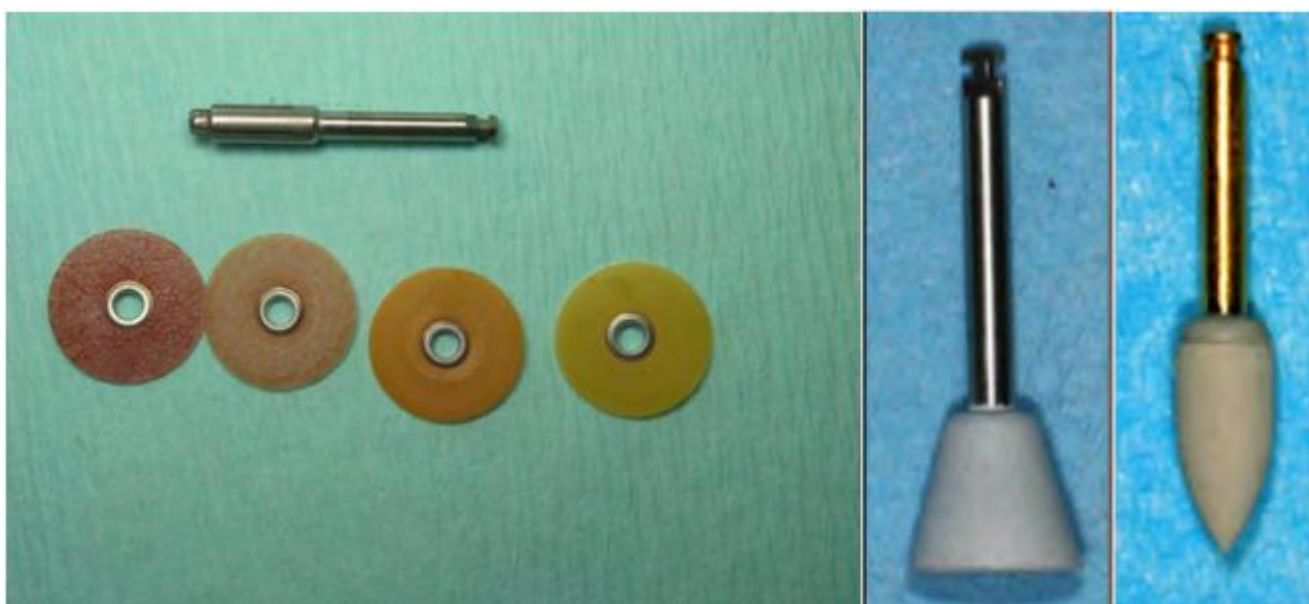


Figure 58 : Sof Lex Dics 3M (CP), Polissoirs en Cupule et ZrO₂ Komet (clichés Dr Marche Soligni ⁽¹⁴³⁾)

De plus, pour terminer le polissage, Chabre recommande l'utilisation d'une pâte à polir prophylactique à base de fluor associée à une cupule en caoutchouc ⁽¹⁴⁴⁾

2. Atteintes tissulaires :

Le risque de lésion est plus limité, il faut cependant être vigilant quant aux matériaux utilisés et à leurs propriétés abrasives. Il faut vérifier les granulométries utilisées pour ne pas être trop abrasif et risquer de créer une facette d'abrasion sur la surface dentaire et donc de modifier la forme initiale de la dent. Il est important de bien suivre les recommandations des fabricants, comme pour toutes les étapes ⁽¹³⁶⁾. Pour de nombreux auteurs le polissage est une étape indispensable du protocole de débagueage ^(133,145,146). En effet pour Ryf et al, l'utilisation d'une fraise seule expose à une perte amélaire plus importante, et le rendu final est moins bon. Les différents systèmes de polissage comparés dans son étude comportent des différences d'efficacité, cependant non statistiquement significatives ⁽¹⁴⁷⁾.

IX. Le collage et modifications des substrats dentaires :

A. Les modifications des substrats dentaires :

1. Lors des étapes du collage :

a) Sur l'émail :

(1) Lors de Nettoyage initial des surfaces amélares :

L'étalement de la colle au substrat dentaire est une condition indispensable à une bonne adhésion. Pour que cet étalement soit optimal, il faut augmenter la réactivité des surfaces dentaires, ce qui permet d'augmenter la mouillabilité. Hitmi et al. (2002) ⁽¹⁷¹⁾ ont montré que la valeur de l'angle de contact (qui est l'angle formé par la tangente de la goutte au pied la goutte, et l'horizontale) diminuait de moitié après un nettoyage initial des surfaces dentaires réalisé simplement avec une brosette enduite de ponce. Ce nettoyage initial a pour but de supprimer, avant le mordantage à l'acide la pellicule d'émail organique et la plaque bactérienne qui empêcherait tout contact intime du matériau à la surface dentaire. (Hitmi, 2004). ⁽¹⁷²⁾

- Atteintes de l'émail :

Ce geste dont l'objectif ne semble donc plus contestable, n'est néanmoins pas anodin pour la surface de l'émail. Les travaux de Hosein et al. en 2004 ⁽¹⁷³⁾ ont en effet montré que la perte amélaire lorsque ce nettoyage est réalisé à l'aide d'une brosette enduite de ponce est en moyenne de 10,7 μm , mais qu'elle semble réduite à 5 μm lorsqu'on utilise une meulette caoutchouc, ce qui confirme l'étude réalisée préalablement par Thompson et al. (1981) ⁽¹⁷⁴⁾ qui trouvaient des valeurs de pertes amélares respectivement de 14,38 μm et 6,90 μm pour la brosette enduite de ponce et la cupule en caoutchouc. À cette perte amélaire, il faut signaler aussi la présence de stries de l'émail générées par le brossage à la ponce (observations réalisées au microscope électronique à balayage JEOL).

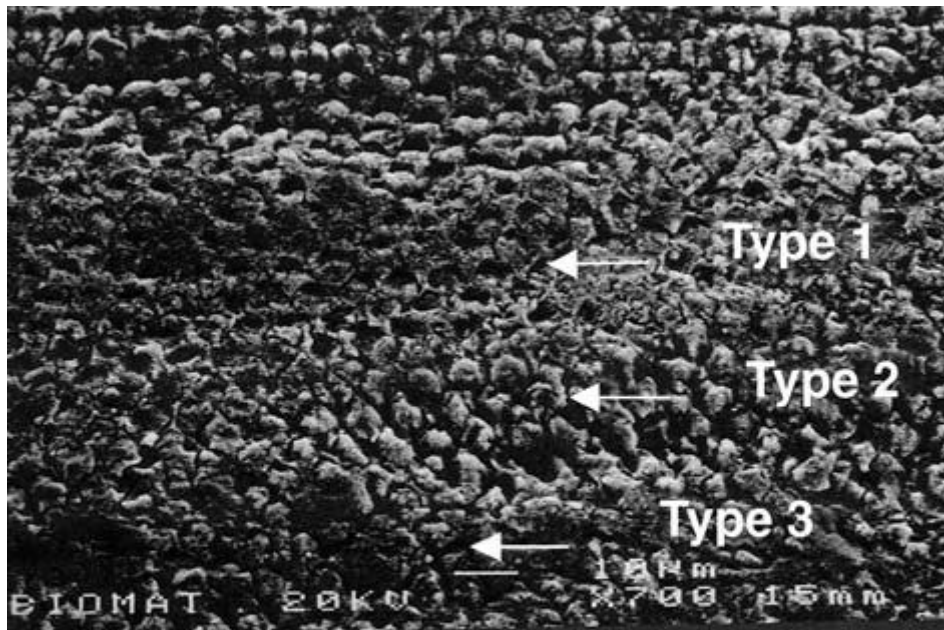
(2) Lors du Mordantage de l'émail :

L'émail non traité est lisse, donc non rétentif. Il est donc préalablement traité à l'aide d'une solution acide, ce qui permet la création d'un relief favorable à l'ancrage de la colle sous forme de brides résineuses (ancrage micromécanique), en obtenant une surface rugueuse après dissociation des prismes d'émail. Ceci optimise l'adhérence à l'émail en augmentant l'énergie de surface et donc la mouillabilité de l'adhésif.

- Atteintes de l'émail :

Les cristaux formant les prismes sont dissous sélectivement par l'acide selon leur position dans le prisme. L'étude de la morphologie de ces prismes montre différentes orientations des cristaux qui sont donc attaqués de façon différente, créant ainsi une surface cratériforme, la périphérie ou le cœur des prismes ayant disparu (Hitmi et al. 2002). ⁽¹⁷¹⁾ Ces destructions préférentielles créent selon Silverstone (1975) ⁽¹⁷⁵⁾ trois types de reliefs :

- **type I** : il correspond à une attaque intraprismatique, le cœur des prismes est dissous, la substance interprismatique est indemne. On voit alors apparaître une structure en nid d'abeilles.
- **type II** : dissolution de l'émail interprismatique. On voit alors se former une structure en doigt de gant ;
- **type III** : l'attaque est indifférenciée (type I et type II) l'émail traité présente une irrégularité de surface, l'émail paraît coagulé ; La perte amélaire pendant le mordantage dépend de l'acide utilisé, de sa constante de dissociation, de sa concentration, du temps d'application à la surface de l'émail, et enfin de l'orientation des prismes amélares.



Type 1 : attaque intraprismatique

Type 2 : attaque interprismatique

Type 3 : attaque indifférenciée

Figure 59 : Micrographie (x 700) d'une surface amélaire traitée par l'acide phosphorique à 37% pendant 30 s. (Hitmi, 2004)

i. Acide orthophosphorique :

C'est l'acide le plus fréquemment utilisé préalablement au collage avec des résines composites classiques. Actuellement il est admis de l'utiliser à un titrage à 37 % pendant 15 à 30 secondes. (Roulet et Degrange, 2000). ⁽¹⁷⁶⁾ Il n'est cependant pas possible en orthodontie d'obtenir un temps d'attaque précis et identique pour toutes les dents lors d'un multicollage des brackets. Le mordantage à l'acide orthophosphorique est la technique la plus efficace pour la préparation de la surface de l'émail, mais c'est une technique agressive, puisque ce mordantage entraîne une perte de la couche superficielle de l'émail qui peut atteindre 8 à 15 μm (Hitmi et al., 2002), ⁽¹⁷¹⁾ avec en plus des variations importantes à la surface de l'émail.

Le traitement de l'émail à l'acide polyacrylique aurait une action plus écologique que le traitement à l'acide orthophosphorique.

ii. Acide polyacrylique :

Il est utilisé pour le conditionnement de la surface amélaire avant le collage par des CVI ; modifié par adjonction de résine (CVIMAR). On utilise de l'acide polyacrylique à 10 % pendant environ 20 secondes (Hitmi et al. 2001). ⁽¹⁷⁷⁾ Silverman et al. (1998) ⁽¹⁷⁸⁾ ne préconisent pas son utilisation, cependant une étude in vivo réalisée par Gaworski et al. en 1999 ⁽¹⁷⁹⁾ a montré que le taux de décollement des brackets collés au Fuji Ortho LC (CVIMAR utilisé en orthodontie) sans prétraitement à l'acide polyacrylique pouvait atteindre 24,8 %. Selon Hitmi et al. (2001), ⁽¹⁷⁷⁾

Pour Attal ⁽¹⁵⁷⁾ et al en 1999, l'action de l'acide polyacrylique permet :

- La dépollution de la surface amélaire
- L'activation de son énergie superficielle
- La facilitation de l'étalement du C.V.I.M.A.R. qui contient la même molécule (acide polyacrylique adsorbé au niveau de l'émail, persistant même après rinçage)

La perte d'émail induite par le mordantage acide dépend : ⁽¹⁶⁴⁾

- Du type d'acide utilisé
- De sa constante de dissociation
- De sa concentration
- De sa durée de contact avec l'émail

Une étude de Shinchi et al. ⁽¹⁶⁵⁾ réalisée en 2000 a pour objectif de déterminer la relation entre la profondeur de pénétration et l'adhérence d'une résine photopolymérisable appliquée sur un émail mordancé et l'efficacité des agents mordançants à des concentrations d'acide ortho-phosphorique variant de 3 % à 65 %. Les différences d'adhérence de la résine appliquée sur l'émail mordancé ne sont pas significatives entre les échantillons mordancés par les différentes concentrations d'acide ortho-phosphorique. En revanche, la profondeur des cordons de résine varie significativement :

Tableau 8 : La variation de Profondeur des cordons de résine en micromètres selon la Concentration en acide ortho-phosphorique

| Profondeur des cordons de résine en micromètres | Concentration en acide ortho-phosphorique |
|---|---|
| 22 | 35% |
| 12 | 20% |
| 9 | 5%, 10%, 65% |
| 5 | 3% |

La profondeur de pénétration de la résine a peu d'influence sur l'adhérence. Le paramètre important est la capacité de la résine à investir les espaces entre les cristaux d'émail. Des résultats satisfaisants peuvent être obtenus même avec des concentrations inférieures à 10 %. L'utilisation de concentrations en acide orthophosphorique inférieures à celles classiquement employées pourrait réduire les effets indésirables au niveau du substrat amélaire en diminuant l'agressivité du mordantage total. ⁽¹⁶⁵⁾

iii. Utilisation d'un adhésif auto-mordançant et atteinte de l'émail :

Leur principe d'action repose sur une déminéralisation et une infiltration simultanée de la résine (Hitmi et al. 2002). ⁽¹⁷¹⁾ Leur utilisation a été proposée par Degrange ⁽¹⁸⁰⁾ en mai 1999 dans le cadre du collage en orthodontie.

Les avantages de ces adhésifs automordançants sont indéniables, Ils ont une efficacité comparable aux colles nécessitant un mordantage préalable à l'acide orthophosphorique, mais surtout l'attaque est beaucoup moins agressive qu'avec un mordantage à l'acide orthophosphorique. On note en effet des variations significatives entre les pertes d'émail observées à la suite d'un mordantage à l'acide orthophosphorique à 37 % et celles obtenues après utilisation d'un adhésif automordançant. Après nettoyage et l'etching conventionnel, les pertes cumulatives étaient en moyenne de 30 μm à 170 μm en cas d'attaque sélective en profondeur interprismatique, alors qu'avec un adhésif automordançant, elles ne sont que de 0,03 à 0,74 μm (Hosein et al., 2004). ⁽¹⁷³⁾

• Atteintes de l'émail :

- La déminéralisation procurée par les adhésifs automordançants est moins agressive sur l'émail que celle de l'acide orthophosphorique et respecte mieux l'intégrité amélaire.
- Le risque de rupture cohésive dans l'émail lors de la dépose des attaches est moindre qu'avec une résine nécessitant un traitement acide. Le décollement se fait plus fréquemment au niveau de l'interface émail-adhésif
- De ce fait, en fin de traitement, la dépose est facile et le nettoyage de la colle est plus aisé. Larmour et Strippus (2003) ⁽¹⁸¹⁾ ont montré que lors de la dépose des attaches orthodontiques collées à l'aide d'un SAM (Système Auto-mordançant), il y a moins de rétention de colle sur la surface amélaire que lors du collage à l'aide d'un adhésif conventionnel.

b) Sur la dentine :

Toutes les études de la revue de littérature portent sur le collage sur la dentine. On peut donc penser qu'ils ne s'appliquent pas au collage en orthodontie qui s'effectue sur l'émail. Cependant dans plusieurs cas la dentine peut être concernée :

- dans les cas d'anomalie génétique de l'émail : hypoplasie de l'émail ou amélogénèse imparfaite. S'il reste de l'émail, il est souvent de mauvaise qualité, fragile, poreux, et les matériaux de collage peuvent facilement atteindre la dentine.
- lorsque le collage est réalisé au niveau cervical. À ce niveau de la dent, l'épaisseur d'émail est moins importante, la proximité avec la dentine est plus grande. À ce niveau, il peut également y avoir des défauts de recouvrement de la dentine par l'émail ou le ciment. Il y a en effet trois types de jonction émail-cément :
 - o soit l'émail et le ciment se trouvent bord à bord : c'est la normalité ;
 - o soit le ciment recouvre légèrement l'émail ;
 - o soit, c'est le cas le plus défavorable, il existe une plage de dentine non recouverte par le ciment ou l'émail. Dans ce cas-là, lors du collage des attaches dans une zone cervicale, il y a un risque pour que les matériaux se trouvent au contact de la dentine.
- La dentine peut également être concernée lorsque l'émail présente des microfissures, ou des fêlures, ce qui le rend perméable aux matériaux qui peuvent atteindre la dentine. Puisque les matériaux s'infiltrant dans le substrat dentinaire, il est important d'étudier les réactions qu'ils provoquent au niveau de l'organe dentinopulpaire.

(1) Lors du mordantage :

Les agents de conditionnement utilisés avec les résines composites sont actifs biologiquement et peuvent avoir un effet néfaste sur l'organe dentinopulpaire, mais aucune étude n'a montré les effets immédiats des matériaux d'*etching* appliqués sur une épaisseur fine et constante de dentine. Dans leur expérience sur des incisives de rats, Ivanyi et al. (2001) ⁽¹⁹⁴⁾ ont essayé de montrer l'effet du mordantage sur la microcirculation pulpaire. Ils ont ainsi établi que l'application d'acide phosphorique à 36 % (comme cela est indiqué par les fabricants) altérerait la circulation sanguine. Par microscopie vitale, ils ont étudié les variations de diamètre des vaisseaux avant, et 5, 15, 30, 60 minutes après que l'acide ait été appliqué sur la dentine. Ils ont alors pu remarquer une vasodilatation, bien que ces variations ne soient statistiquement pas significatives par rapport aux groupes de contrôle traités avec une solution saline.

Ces résultats suggèrent que le temps d'exposition à l'acide est crucial pour la microcirculation pulpaire, c'est-à-dire que le conditionnement acide réalisé comme cela est indiqué par les fabricants (15 à 20 secondes) sur une mince couche de dentine n'affecte que très légèrement la pulpe dentaire, cependant un temps prolongé d'*etching* a comme conséquence une défaillance de la circulation pulpaire.

D'autres auteurs ont étudié la cytotoxicité des systèmes adhésifs automordantants. Ainsi De Souza Costa et al. (2001), ⁽¹⁹⁵⁾ ont étudié dans leur expérience la réponse pulpaire après coiffage pulpaire direct avec un adhésif automordantant en comparaison avec un groupe témoin où le coiffage est réalisé à l'hydroxyde de calcium. En regard de l'exposition pulpaire, lorsque le coiffage était réalisé avec le système adhésif, ils ont observé une inflammation faible à modérée, avec vasoconstriction ou vasodilatation des vaisseaux en regard de ce site. Avec le temps, on remarque une phagocytose des particules de matériau présentes au niveau de ce site pulpaire par les macrophages et les cellules géantes multinucléées.

La réponse inflammatoire chronique déclenchée par les fragments de matériau déplacés dans la pulpe n'a pas permis la réparation pulpaire et la formation d'un pont dentinaire. Cependant, pendant l'expérience il n'a été observé aucune lésion périapicale, aucun épaissement ligamentaire et la lamina dura est restée intacte (même à long terme).

(2) Lors du collage :

Après élimination des cristaux d'hydroxyapatite par l'attaque de l'acide, la matrice dentinaire a été décrite comme pouvant s'effondrer rapidement si elle est séchée à l'air. De par l'anatomie et l'histologie de la dentine, lorsque le collage se fait sur celle-ci, les matériaux pénètrent dans les canalicules (espaces intratubulaires) et les espaces intertubulaires. La pénétration des espaces intertubulaires nécessite une humidité qui sert à maintenir en place le réseau tridimensionnel de collagène et qui libère les espaces intertubulaires. La résine s'infiltre dans les canalicules et latéralement dans leurs anastomoses (zone intertubulaire) en formant des « agrafes de résine » (Degrange, 1999 ⁽¹⁸⁰⁾), encore appelées « tags de résine », ce qui participe à la rétention. (Fig.55)

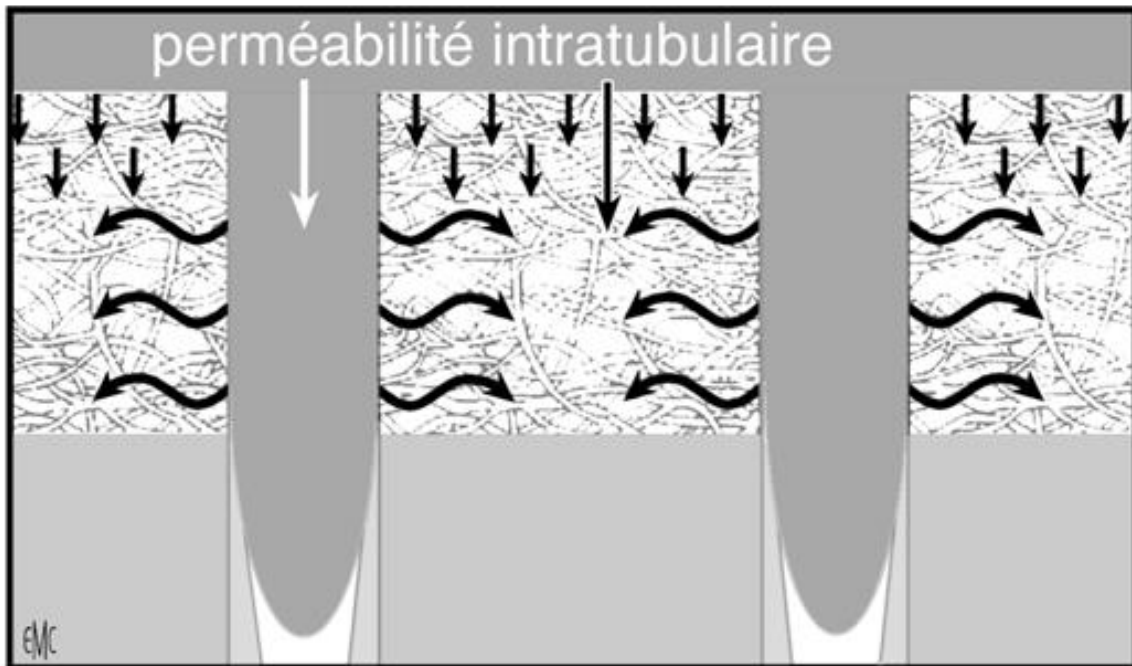


Figure 60 : Schéma illustrant la pénétration des monomères dans la dentine déminéralisée via les tubules (perméabilité intratubulaire) et via les espaces entourant les fibres de collagène de la dentine intertubulaire (perméabilité intertubulaire), (Nakabayashi et Pashley 1998).

La diffusion des matériaux est fonction de leur poids moléculaire : l'infiltration des monomères de bas poids moléculaire (comme l'HydroxyEthyl MétAcrylate HEMA, polymère hydrophile incorporé dans les CVIMAR) peut être beaucoup plus importante que celle des monomères de haut poids moléculaire.

Cette infiltration est également dépendante de la mouillabilité de la surface dentinaire considérée (mouillabilité et interpénétration sont deux facteurs interdépendants et indispensables à l'adhésion). En effet, pour qu'il y ait une bonne pénétration du matériau, il faut qu'il y ait un contact intime entre la dentine et le produit de collage. Pour étudier ce facteur, on étudie l'angle de contact du liquide sur la dentine déminéralisée, qui est un substrat poreux. L'évolution de cet angle de contact est en fonction de l'étalement du liquide et de la variation du volume de liquide à la surface de la dentine, qui, en l'absence d'évaporation, est due à la pénétration de ce liquide dans le substrat.

Plusieurs facteurs influencent la mouillabilité, en particulier le séchage de la dentine (Hitmi, 2004 ⁽¹⁷²⁾) : le séchage de la dentine mordancée augmente de façon importante l'angle de contact. Celui-ci augmente également avec la durée du séchage. Il y a diminution des espaces interfibrillaires par la création d'un collapsus du réseau de collagène, ce qui rend la dentine moins perméable. Ceci aura pour conséquence une diminution de l'adhésion du matériau de collage à la dentine (Fig. 56)

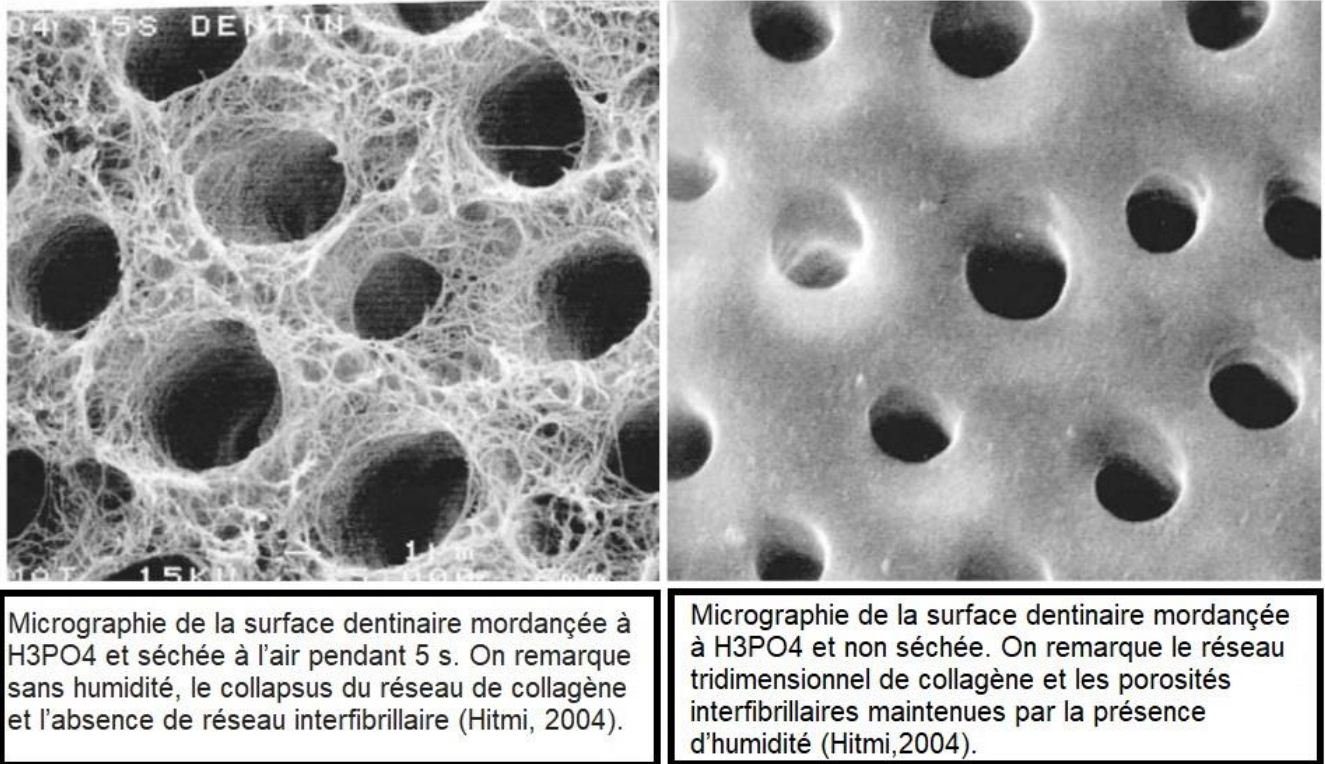


Figure 61 : L'effet de séchage après le mordantage sur la surface dentinaire

i. Cytotoxicité des colles et adhésifs :

Les matériaux composites dentaires et les adhésifs relarguent des monomères à cause des procédés de dégradation et de la polymérisation incomplète. Il a été démontré que ces substances pouvaient être cytotoxique pour l'organe dentinopulpaire.

La cytotoxicité est habituellement indiquée par la diminution de la prolifération cellulaire, de l'activité mitochondriale, et de la synthèse des protéines et des acides nucléiques. Spagnuolo et al. (2004) ⁽¹⁹⁶⁾ ont étudié la cytotoxicité d'un co-monomère, le Triéthylène-glycol-diméthacrylate (TEGDMA) en examinant la nécrose (phénomène passif de mort cellulaire) et l'apoptose (phénomène actif) induites par ces matériaux sur des cellules pulpaires humaines. Ils ont montré que le pourcentage de cellules en nécrose et en apoptose dépendait linéairement des concentrations en TEGDMA.

Demarco et al. (2001) ⁽¹⁹⁷⁾ ont étudié la cytotoxicité de deux systèmes adhésifs (*Clearfil Liner Bond* et *Scotchbond Multi purpose*). Ces deux matériaux ont été appliqués en coiffage pulpaire direct. Une inflammation pulpaire légère et la formation d'un pont dentinaire furent observées après 90 jours sur 50 % des spécimens traités avec *Liner Bond 2*. Les pulpes traitées avec *Scotchbond Multi-Purpose* ont présenté des inflammations légères à sévères, et aucune formation de tissu minéralisé ne fut détectée. Aucune bactérie ne fut relevée dans aucun des spécimens. Selon cette étude il serait donc possible d'obtenir une guérison pulpaire à plus ou moins long terme après un coiffage pulpaire direct avec un adhésif, ce qui veut dire que ces produits appliqués sur la dentine (ou a fortiori l'émail) ne présenteraient qu'une très faible cytotoxicité.

Dans leur étude, Muray et al. (2003) ⁽¹⁹⁸⁾ ont étudié la bio compatibilité de 5 systèmes adhésifs. Ils comparent les dommages pulpaire occasionnés en étudiant la survie des odontoblastes, la régénération dentinaire ou la formation de dentine réactionnelle. Les réactions pulpaire observées avec tous les systèmes adhésifs furent généralement minimales, bien que quelques systèmes aient permis une microcolonisation bactérienne dans 32 % des restaurations, et que d'autres aient entraîné une inflammation pulpaire dans 27 % des cas. Ces observations suggèrent donc que les systèmes adhésifs fournissent une biocompatibilité acceptable.

Huang et al. (2002) ⁽¹⁹⁹⁾ ont, eux, comparé la cytotoxicité de différents matériaux à base de résine : 2 CVIMAR (Fuji II LC et Fuji IX) ; un compomère (Dyract) et deux résines composites (Tetric et Superfil). Les effets de ces résines sur les cellules pulpaire humaines ont été évalués par des analyses de la cytotoxicité et de l'activité mitochondriale. Les résultats ont montré que tous ces matériaux étaient cytotoxiques pour les cellules pulpaire humaines. En outre, Superfil, Fuji IX et Tetric inhibent l'activité mitochondriale. Il a également été démontré que la résine Superfil était le matériau le plus toxique parmi tous les produits testés. On peut dire que la cytotoxicité dépend du matériau testé, mais que les compomères et les CVIMAR pourraient réagir plus favorablement.

En conclusion cette cytotoxicité reste faible et dans le cadre du collage en orthodontie, puisque l'inflammation pulpaire générée, lorsqu'elle existe, est réversible et ne met pas en jeu l'intégrité de l'organe dentinopulpaire. Rappelons que le collage en ODF reste généralement éloigné de la dentine donc généralement sans risque sur la vitalité pulpaire.

ii. Influence des lampes à polymériser :

Le choix de la lampe à polymériser semble jouer un rôle dans la cytotoxicité des systèmes adhésifs. Yap et al. (2004) ⁽²⁰⁰⁾ ont fait des tests avec trois types de lampes : des LED, des lampes halogènes basse intensité, et des lampes halogènes haute intensité. Ils ont obtenu moins de cytotoxicité sur les échantillons polymérisés avec les lampes halogènes basse intensité. Leur étude montre également que la cytotoxicité liée aux LED est très opérateur-dépendante.

Dans une autre étude Danesh et al. (2004) ⁽²⁰¹⁾ ont évalué l'augmentation de température dans la chambre pulpaire induite par deux types de lampes : une lampe halogène classique et une lampe à arc plasma. Les résultats montrent que l'élévation de température est moins importante avec une lampe à arc plasma.

2. Lors du port du dispositif orthodontique :

a) Rétention de plaque et déminéralisations :

Les appareillages orthodontiques rendent le contrôle de plaque délicat, à cause de la rétention de plaque au niveau des attaches orthodontiques, des arcs et des ligatures. Il en résulte des déminéralisations rapides au niveau du substrat amélaire.

Lors du port d'un dispositif orthodontique, une rétention accrue de plaque est observée au niveau des faces gingivales des brackets. La diminution de l'efficacité du brossage, du flux salivaire et de la mastication est en faveur de l'accumulation de plaque responsable de déminéralisations⁽¹⁶⁰⁾.

Smales et al. ⁽¹⁶⁶⁾ ont prouvé en 1981 que l'accumulation de plaque bactérienne était plus importante au niveau des résines qu'au niveau de l'émail.

La présence de plaque perturbe l'équilibre déminéralisation/reminéralisation et entraîne l'apparition de déminéralisations amélares appelées white spots. L'incidence des déminéralisations varie avec l'âge des patients : 51,61% des adolescents ayant participé à une étude menée en 2002 par Kukleva et al. ⁽¹⁶²⁾ présentaient des zones de déminéralisation amélares vestibulaires après dépose des brackets (contre 6,92% de déminéralisations pour le groupe d'adultes jeunes).

b) Décollements accidentels ⁽¹⁶⁷⁾ :

Les décollements accidentels nous conduisent à réaliser une deuxième fois un collage. La répétition des traitements amélares nécessaires au collage induit une modification supplémentaire du substrat.

Les décollements peuvent se produire à différents niveaux :

- A la surface de l'émail
- A l'intérieur de l'adhésif
- Au niveau du bracket

Nous pouvons rencontrer des décollements intéressant une combinaison des différentes zones précitées.

Les échecs d'adhérence sont responsables d'un décollement situé à la surface de l'émail. Ce sont les échecs les plus fréquemment rencontrés. Ils résultent d'une liaison inadéquate au niveau de l'émail. La contamination salivaire lors de la mise en place des attaches orthodontiques est la cause la plus fréquente de ces échecs d'adhésion. Ce type d'échec est plus fréquemment rencontré chez les patients dont les attaches orthodontiques ont été collées avec des systèmes adhésifs automordançants ou avec des C.V.I.

Les échecs de cohésion sont responsables d'un décollement situé à la surface de l'attache orthodontique. Les causes les plus fréquentes sont :

- Occlusion du patient
- Déplacement du bracket dans les phases initiales de la polymérisation ou de la réaction de prise du matériau de collage
- Forces excessives pendant le durcissement du matériau

Il est donc nécessaire pour éviter ces échecs de travailler à l'abri de la salive et de contrôler la mise en charge des attaches : nous veillerons à utiliser des forces très légères et des ligatures élastomériques pour la mise en place des arcs lors de la première séance (séance de collage).

3. Lors du décollement intentionnel des attaches :

Le décollement cohésif ⁽¹⁶⁷⁾ est recherché lors de la dépose intentionnelle du bracket afin d'éviter d'exercer des forces iatrogènes sur le substrat amélaire. Ainsi, lors de la dépose des attaches orthodontiques, notre objectif est de retrouver le matériau de collage sur l'émail, la zone de décollement étant située à l'interface bracket-matériau de collage.

a) Conséquences au niveau de l'émail :

Lors de la dépose des attaches, plusieurs types de dommages peuvent survenir. Ces conséquences apparaissent lorsque la zone de rupture est située à l'interface émail/matériau ou au niveau de l'émail.

(1) Les craquelures ou cracks amélaire :

Les lésions les moins spectaculaires sont les craquelures ou cracks amélaire. Les craquelures sont également retrouvées chez des patients n'ayant pas bénéficié d'un traitement orthodontique. En effet, les craquelures peuvent être induites par des chocs thermiques lors de l'alimentation. Il est important lors de l'examen clinique de dépister les craquelures, d'en informer le patient et éventuellement de prendre des clichés photographiques les mettant en évidence, afin de s'assurer qu'elles ne sont pas dues au décollement. ⁽¹⁷⁰⁾

(2) Les fractures amélaire :

Des fractures amélaire peuvent être dues au décollement orthodontique. Selon Viazis et al. en 1990, ces fractures peuvent être modérées ou atteindre la jonction amélo-dentinaire. ⁽¹⁶⁸⁾

Deux études montrent qu'une des conséquences de la dépose des attaches est l'arrachement de prismes amélaire. ^{(163), (169)}

Dans une étude de Habibi et al en 2007, les risques de dommages amélaire lors du décollement des attaches orthodontiques ne sont pas significativement différents entre brackets en métal et brackets en céramique. ⁽¹⁵⁹⁾

4. Lors des étapes de finition et de polissage :

a) Pertes d'émail :

(Mentionnée dans la partie « Élimination de la colle »)

b) Rugosité superficielle :

Il est illusoire d'espérer obtenir une surface amélaire présentant une rugosité comparable à la rugosité initiale. Des imperfections persistent après polissage, mais elles seront atténuées par l'usure dentaire. ⁽¹⁵⁶⁾

c) Zones de déminéralisation :

L'émail est en permanence soumis à des processus de déminéralisation / reminéralisation en milieu oral. L'émail doit être débarrassé de la résine pour être concerné par ce phénomène.

Aknin et al. ⁽¹⁵⁶⁾ confrontent des études aux conclusions contradictoires :

- « L'émail mordancé non recouvert de résine est capable de se reminéraliser et les caractéristiques de l'émail redeviennent normales dans un délai de 48 à 96 heures. » selon Silverstone, Albert et Grenoble cités par Aknin ⁽¹⁵⁶⁾. La reminéralisation complète de l'émail serait visible par diminution de son opacité et restitution de sa brillance et de sa transparence selon Diedrich ⁽¹⁵⁸⁾.
- Selon Aknin ⁽¹⁵⁶⁾, aucune preuve micromorphologique ne valide ces résultats cliniques. Après 4 mois, l'émail ne serait pas totalement reminéralisé.

d) Résidus de matériau de collage ayant pénétré dans l'émail :

Lors du décollement des attaches orthodontiques, les résidus de matériau de collage sont plus importants avec des systèmes adhésifs à mordançage total, qu'avec des systèmes adhésifs automordançants. ⁽¹⁶¹⁾

e) Colorations amélaire :

Des dyschromies inesthétiques par vieillissement de la résine ayant pénétré dans les espaces interprismatiques ont été décrites.

Cependant, l'usure en milieu oral permet l'élimination rapide des résidus persistants d'adhésifs peu ou non chargés. ⁽¹⁵⁶⁾

B. Face aux risques de détérioration de l'émail, faut-il faire signer au patient un consentement éclairé ? ⁽⁷⁾

La détérioration de l'émail suite à un traitement orthodontique peut apparaître sous forme de taches de déminéralisation autour des attaches ou sous forme d'altération de l'émail à la dépose des attaches ou au nettoyage de la colle. Il est indispensable de faire signer consentement éclairé concernant les taches de déminéralisation. Cependant, le praticien doit prendre des mesures préventives adaptées à chaque patient pour éviter tout risque de déminéralisation amélaire autour des attaches (white spot). Des la première consultation, le praticien doit évaluer le risque carieux individuel du patient (RCI) et doit agir en conséquence par l'enseignement à l'hygiène bucco dentaire et à la motivation par des moyens ludiques. Il doit demander un scellement des sillons et/ou un assainissement dentaire et parodontal si nécessaire avant le début du traitement.

En cours du traitement, il est indispensable de faire une surveillance stricte de l'hygiène bucco-dentaire, une réévaluation du RCI qui est évolutif pendant les traitements ODF à cause de l'encombrement des dispositifs, de la modification de la flore bactérienne buccale et de la psychologie de l'adolescent. Des mesures prophylactiques complémentaires doivent être prises par application topique de fluor (sous forme de pâte dentifrice, solution dentaire, et de vernis fluoré) en association avec la chlorhexidine et/ou le CPP-ACPF (casein phosphopeptide amorphous calcium phosphate fluoride).

La détérioration de l'émail à la fin du traitement est fortement liée au mauvais choix de la colle ou du ciment utilisé et/ou à l'utilisation d'instruments rotatifs de nettoyage agressif et non adaptés. La responsabilité du praticien est fortement engagée.

C. Les mesures préventives :

1. Avant la pose de système d'attache :

a) Application topique des fluorures :

Bien que les orthodontistes aient depuis longtemps reconnu ce problème de déminéralisation, cela reste un effet secondaire gênant majeur. C'est pourquoi les applications topiques de fluor ont été massivement utilisées afin de prévenir l'apparition des *white spots* (Todd et al., 1999).⁽¹⁸⁴⁾ Geiger et al. (1992)⁽¹⁸⁵⁾ rapportent une diminution de 25 % du nombre de patients présentant des déminéralisations grâce à l'utilisation d'un bain de bouche fluoré. De même, Stratemann et Shannon⁽¹⁸⁶⁾ ont montré que seulement 2 % des patients ayant un régime fluoré développent des lésions contre 58 % pour les patients n'ayant pas d'apport fluoré. Mais même si l'on a démontré que ces techniques sont efficaces, elles conservent un inconvénient majeur : elles nécessitent la participation active des patients. Ainsi Geiger et al.⁽¹⁸⁵⁾ ont montré que seulement 50 % des patients suivaient correctement le traitement dans le cadre d'un rinçage fluoré, ainsi qu'une nette association entre l'augmentation des lésions et la diminution des doses de fluor appliquées d'une part, et de la coopération des patients d'autre part. Il était donc nécessaire de développer des thérapeutiques préventives ne nécessitant pas la participation des patients (**fig. 57**).

Selon Todd et al. (1999),⁽¹⁸⁴⁾ les colles relarguant du fluor sont relativement efficaces pour diminuer la déminéralisation autour des attaches orthodontiques. Il y a deux facteurs importants qui confirment l'efficacité de ce type de colles : la force de collage doit être adéquate, et elles doivent relarguer du fluor de façon soutenue. Selon ces mêmes auteurs, l'action des résines composites relarguant du fluor sur la déminéralisation est incertaine, et la force de collage serait moins importante que celle obtenue avec les résines composites conventionnelles. Les CVI hybrides seraient cependant plus efficaces. Ils ont la capacité de capter du fluor et de le libérer de façon continue par la suite. La force de collage obtenue avec ces ciments serait comparable à celle des résines composites. Cependant, ils ne peuvent protéger qu'une surface limitée de l'émail exposée autour des brackets, et les patients avec une hygiène insuffisante peuvent développer des zones de décalcification entre la base du bracket et la gencive marginale (**tableau.9**).

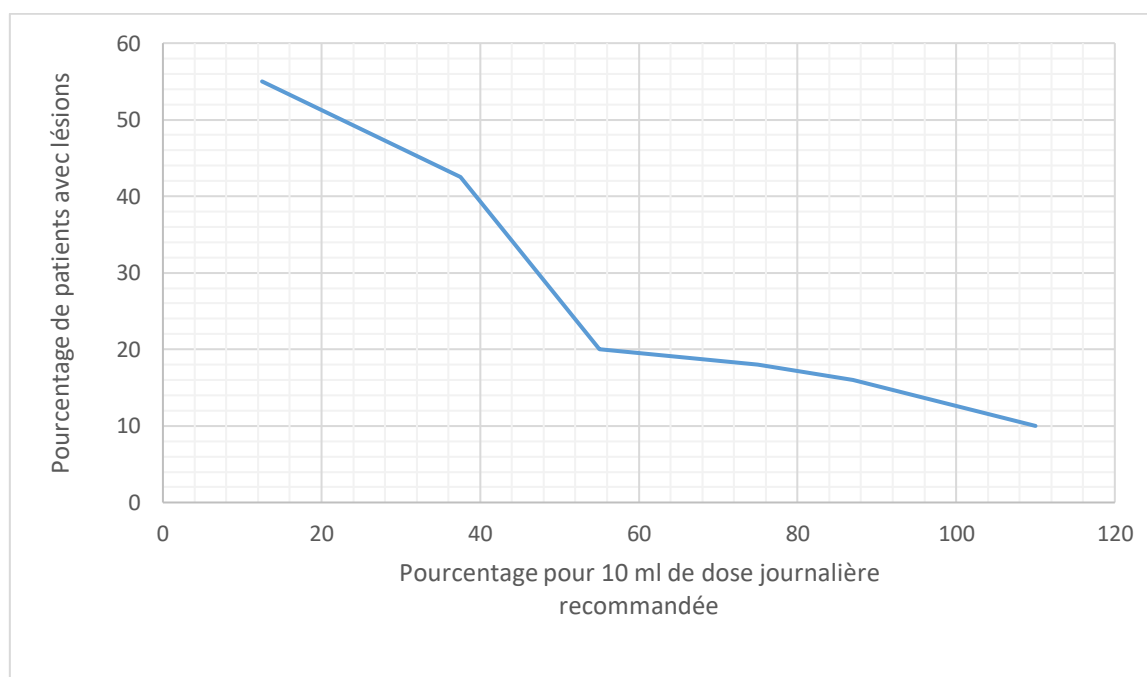


Figure 62 : Graphique montrant la diminution de l'incidence des lésions en fonction du pourcentage de la dose journalière recommandée en solution de rinçage fluoré (i.e. 10 ml), (Geiger et al., 1992).

Tableau 9 : Concentration en fluor (en nmol/mg) au niveau de la plaque dentaire collectée autour des brackets orthodontiques collés avec un CVI ou un composite chez 8 enfants (Hallgren et al., 1993)

| Temps | Ciment-verre-ionomère | Composite |
|---------|-----------------------|-----------|
| 3 jours | 15,93 | 0,36 |
| 8 jours | 4,3 | 0,20 |
| 1 mois | 2,36 | 0,07 |
| 6 mois | 1,02 | 0,09 |

Brudevold et al. (1967) ⁽¹⁸⁷⁾ ont observé que l'efficacité des applications topiques de fluor était directement en relation avec le temps d'exposition des surfaces dentaires. Une longue période d'exposition augmente la quantité de fluor retenue par l'émail, et permet la formation de cristaux de fluoroapatite qui rendent l'émail plus résistant aux attaques acides.

Ainsi, Todd et al. (1999) ⁽¹⁸⁵⁾ ont testé l'efficacité des applications professionnelles de vernis fluoré autour des attaches orthodontiques. Elles fourniraient en effet une protection contre la déminéralisation, et autorisent l'utilisation de résines composites pour le collage. Plusieurs études confirment l'hypothèse que les vernis fluorés augmentent la quantité de fluor déposée dans l'émail. L'étude in vitro de Todd et al. ⁽¹⁸⁴⁾ a porté sur trois groupes de dents extraites indemnes de caries : un groupe de contrôle, non traité, un groupe de dents non fluorées sur lesquelles a été appliqué un vernis placebo, et un groupe test, avec application de vernis fluoré. Tous les groupes ont été placés dans un milieu artificiel cariogène pendant une heure deux fois par jour et pendant 37 jours, et brossés avec une brosse à dent de dureté moyenne.

Les résultats ont montré que les dents traitées avec une seule application de vernis fluoré ont développé 50 % de moins de déminéralisation que les dents non traitées. D'autre part, l'utilisation d'un vernis non fluoré afin de fournir un « manteau protecteur » à l'émail s'est avérée inefficace, voire contre indiquée, puisque dans cette étude, les auteurs ont remarqué une aggravation de la déminéralisation dans ce groupe de dents. En conclusion, les vernis contenant du fluor pourraient être utilisés en prévention afin d'inhiber la déminéralisation autour des attaches orthodontiques, particulièrement chez les patients peu coopérants avec une hygiène insuffisante et qui, seuls, ne réaliseraient pas régulièrement les rinçages fluorés prescrits.

Ces applications de vernis peuvent avoir lieu :

- avant le mordantage (selon Zachrisson en 1976, ⁽¹⁸⁸⁾ l'une des premières étapes d'un traitement orthodontique est d'instaurer un programme de fluoration afin de prévenir les lésions iatrogènes dues au traitement).
- pendant le mordantage (Meng et al. en 1997 ⁽¹⁸⁹⁾ ont montré que lorsqu'on incorporait du fluorure de sodium à 1,23 % à l'acide orthophosphorique au moment du mordantage on retrouvait du fluor dans l'émail sans que cela ne modifie la force de collage ou ne fragilise l'émail).
- ou bien après le mordantage. Cependant Meng et al. (1998) ⁽¹⁹⁰⁾ ont montré que l'application de fluor après le mordantage entraîne une diminution de la force de collage et serait responsable de plus de fractures de l'émail au moment de la dépose des attaches. Bryant et al. (1985), ⁽¹⁹¹⁾ d'après leur étude in vitro, suggèrent l'application topique des fluorures sept jours avant le collage des attaches : l'émail peut ainsi capter le fluor sans que cela ne perturbe l'adhérence.

2. Lors de la pose de système d'attache :

a) Incidence du choix de l'attache ⁽¹⁰⁹⁾ :

Deux caractéristiques de l'attache jouent un rôle important dans le respect de l'émail à la fin du traitement orthodontique : sa rigidité et le traitement de sa base. Leurs implications sont indépendantes avec le choix du système de collage.

L'assemblage collé doit avoir un maillon faible pour une dépose sans sollicitation de l'interface colle/émail.

Si l'attache est métallique et déformable ou céramique avec un point de rupture, nous avons plus de liberté dans le choix de la colle quel que soit le traitement de la base de l'attache (**fig. 58**).

Plus l'attache est rigide (en céramique sans point de rupture ou métallique non déformable avec une porte rigide) et le traitement de sa base est très rétentif, plus sa dépose est difficile avec un risque important d'endommagement de l'émail surtout quand la colle utilisée est trop performante en termes d'adhérence et de propriétés mécaniques (**fig. 59**).

Dans des conditions de rigidité élevée de l'attache, le maillon faible de l'assemblage, indispensable à la dépose sans risque sur l'émail, est recherché dans le système de collage qui doit avoir une faible cohésion. Le CVIMAR est recommandé dans ces conditions.



Figure 63 : Exemples d'attaches offrant une dépose facile.

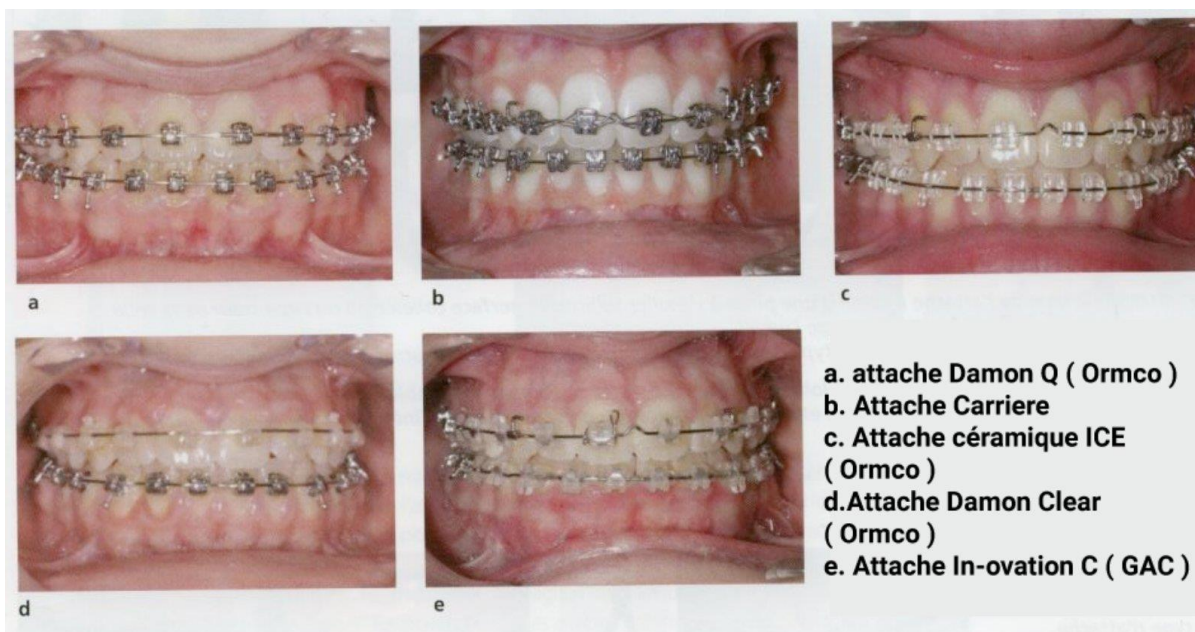


Figure 64 : Exemples d'attaches rigides indéformables et sans point de rupture nécessitant l'utilisation d'un système de collage avec une cohésion adaptée à une dépose aisée et sans risque d'endommager l'émail.

b) Utilisation des CVIMAR :

Les CVIMAR sont actuellement une alternative très intéressante saine aux composites de collage. Ils combinent les propriétés des ciments verres ionomères avec la résistance des composites due à la polymérisation des composants résineux. Ils procurent donc une force d'adhésion supérieure aux ciments verres ionomères traditionnels, et présentent l'avantage de ne pas entraîner de modification des surfaces dentaires après la dépose

Des attaches orthodontiques (Komori et al. 1997).⁽¹⁸²⁾ Outre les nombreux avantages qu'ils présentent, ils sont également capables de relarguer des ions fluorures sans faire diminuer la force d'adhésion du ciment, ou encore de se recharger en ions fluorures à partir de sources externes pour en relarguer (Jacquot et Panighi, 1997). Pascotto et al.⁽¹⁸³⁾ ont montré qu'ils pouvaient réduire la déminéralisation de l'émail autour des brackets orthodontiques, particulièrement au niveau des surfaces dentaires représentant un risque important de développer des caries.

Les CVIMAR sont des matériaux biocompatibles qui présentent une adhésion intrinsèque à l'émail sans déminéralisation préalable (Cook, 1990) et sans rétention micromécanique. Ils présentent une excellente tolérance à l'humidité et présentent un potentiel d'interaction ionique (relargage ions F⁻, Ca²⁺, Al³⁺) avec leur environnement. Pour optimiser le collage des attaches orthodontiques, le traitement de surface à l'acide polyacrylique reste cependant nécessaire. Les CVIMAR associés à l'adhésif automordant permettent une facilité de dépose des attaches et de nettoyage de la colle. Ceci permet un meilleur respect de l'intégrité amélaire et un moindre risque de générer une rupture cohésive dans l'émail lors de la dépose des attaches. Les CVIMAR présentent cependant une adhérence statistiquement inférieure aux colles résineuses qui restent encore recommandées dans les zones de fortes contraintes occlusales. Sachant que la pratique orthodontique quotidienne nécessite une adhérence de 14 MPa, l'adhérence moyenne des CVIMAR est de 15,1 MPa, (Hitmi, 2004).⁽¹⁷²⁾ Les résines offrent une adhérence moyenne de 20 MPa (25 MPa avec Transbond XT et acide orthophosphorique, Hitmi 2004).⁽¹⁷²⁾ Si le bracket est collé près d'une zone cervicale où l'épaisseur d'émail est réduite ou dans une zone dysplasique où l'on est proche de la dentine, l'utilisation de CVIMAR lors des procédures de collage est particulièrement indiquée alors que des résines classiques peuvent être retenues pour le collage des molaires inférieures.

c) Élimination des excès de colle :

Quel que soit le type de colle utilisé, il est indispensable d'éliminer les débordements avant la prise afin qu'ils ne constituent pas un facteur de rétention de plaque bactérienne. Les résines peu ou pas chargées et photopolymérisables sont plus faciles à éliminer, car moins visqueuses, et parce qu'elles offrent un temps de travail plus long. L'inconvénient majeur est le risque de faire glisser l'attache de sa position considérée comme optimale. Les CVIMAR sont à ce niveau également très intéressants car il peut être envisagé de les polymériser partiellement pendant 5 secondes puis d'éliminer les excès (Bishara et al. 2000).⁽¹⁹²⁾

De plus le joint périphérique ne doit pas prendre la forme d'un bourrelet qui créerait des zones « aveugles » en contre dépouille, qui entraîne l'accumulation de plaque en dépit d'une hygiène correcte. Idéalement, selon Palot et al.⁽¹⁹³⁾ ce joint doit avoir la forme d'un biseau aigu pour faciliter le passage du flux salivaire et le brossage.

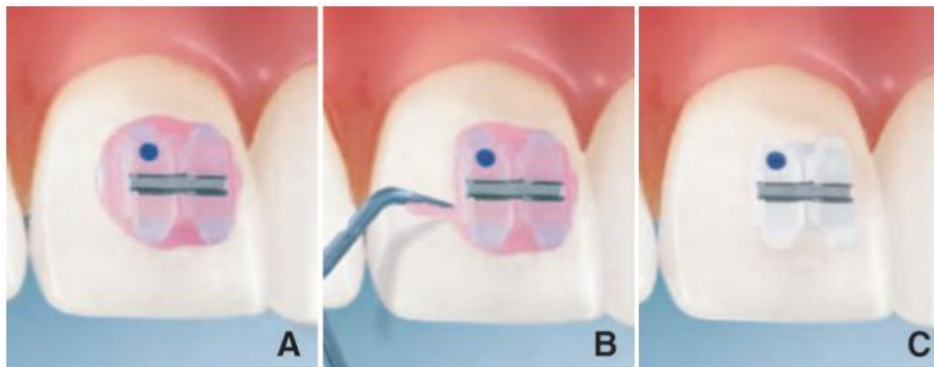


Figure 65 : Suppression des excès de composite avant polymérisation sur bracket APC, (3M).

3. Lors de la dépose de système d'attache :

a) La technique de dépose des attaches (109) :

Tout orthodontiste averti est conscient que dans un souci de respect de l'intégrité et pour éviter tout risque de fissures, d'arrachements microscopiques de l'émail, la dépose des attaches orthodontiques doit se faire par sollicitation et rupture de l'interface colle/attache.

Toute la colle doit rester sur l'émail, elle est éliminée dans un second temps grâce à une procédure de nettoyage rigoureuse et à l'aide d'instruments adaptés (fig. 61).

Une technique de dépose sollicitant l'interface colle/émail ou l'épaisseur de la colle peut entraîner un endommagement de l'émail. Toute technique de dépose qui consiste à installer la pince autour de la base des attaches nécessite une force très importante pour rompre l'assemblage. Cette technique s'avère douloureuse et risque d'endommager l'émail. En effet, elle sollicite l'assemblage au niveau de l'interface colle/émail ou dans l'épaisseur de la colle (fig. 62a).

Le risque d'altération de l'émail peut être aggravé par une morphologie très convexe de la surface de collage (collage au niveau des prémolaires) (fig. 62b).

La pince de dépose des attaches doit être insérée autour des ailettes le plus loin possibles de la base de l'attache.

Grâce à la loi du bras de levier, la force nécessaire pour rompre l'assemblage est faible, non douloureuse et sans risque d'endommagement de l'émail. Cette technique permet de solliciter l'assemblage préférentiellement au niveau de l'interface base de l'attache / colle (fig. 62c).

Le choix de la pince à déposer les attaches est important pour une dépose aisée et moins de risque iatrogène. Il sera différent en fonction du type d'attache (autoligaturante ou non), de l'épaisseur des ailettes, de la nature de l'attache (céramique ou métallique), avec ou sans point de rupture (fig. 63).

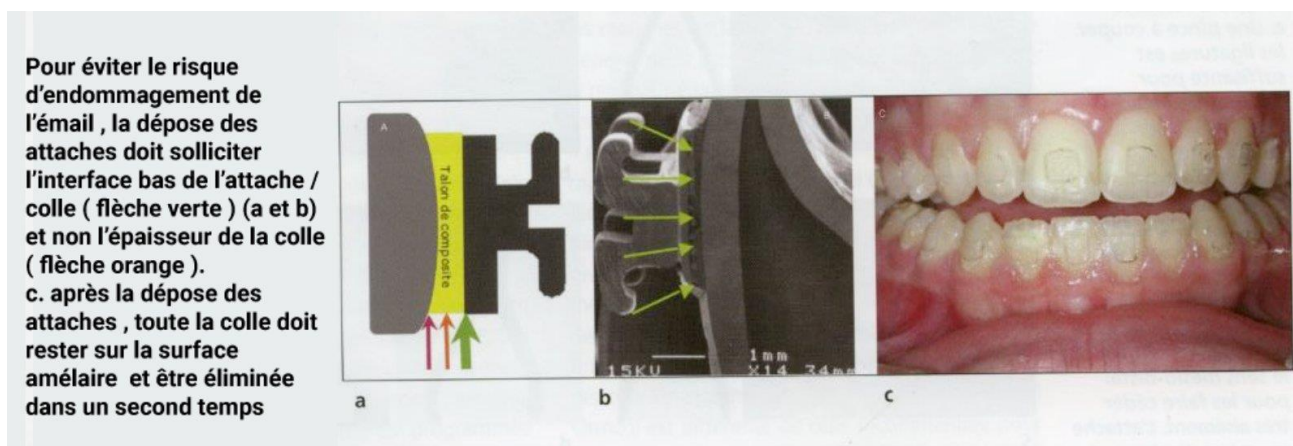
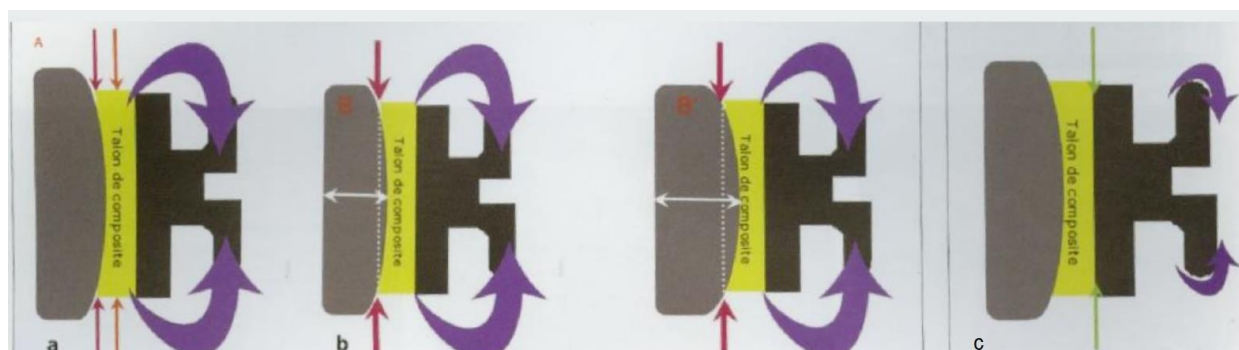


Figure 66: Une technique de dépose sollicitant l'interface colle/émail



a. attraper la base de l'attache à l'aide d'une pince à décoller sollicite l'interface colle/émail ou l'épaisseur de la colle avec un risque élevé d'endommagement de l'émail

b. plus la surface de collage est convexe (type attache de prémolaire) plus le risque iatrogène est important .

c. agripper l'attache autour des ailette (loin de leur base) permet de rompre l'assemblage sous une faible contrainte, sans risque d'endommagement de l'émail et avec une sollicitation préférentielle de l'interface colle / basse de l'attache

Figure 67 : Les étapes de dépose sollicitant l'interface colle/émail

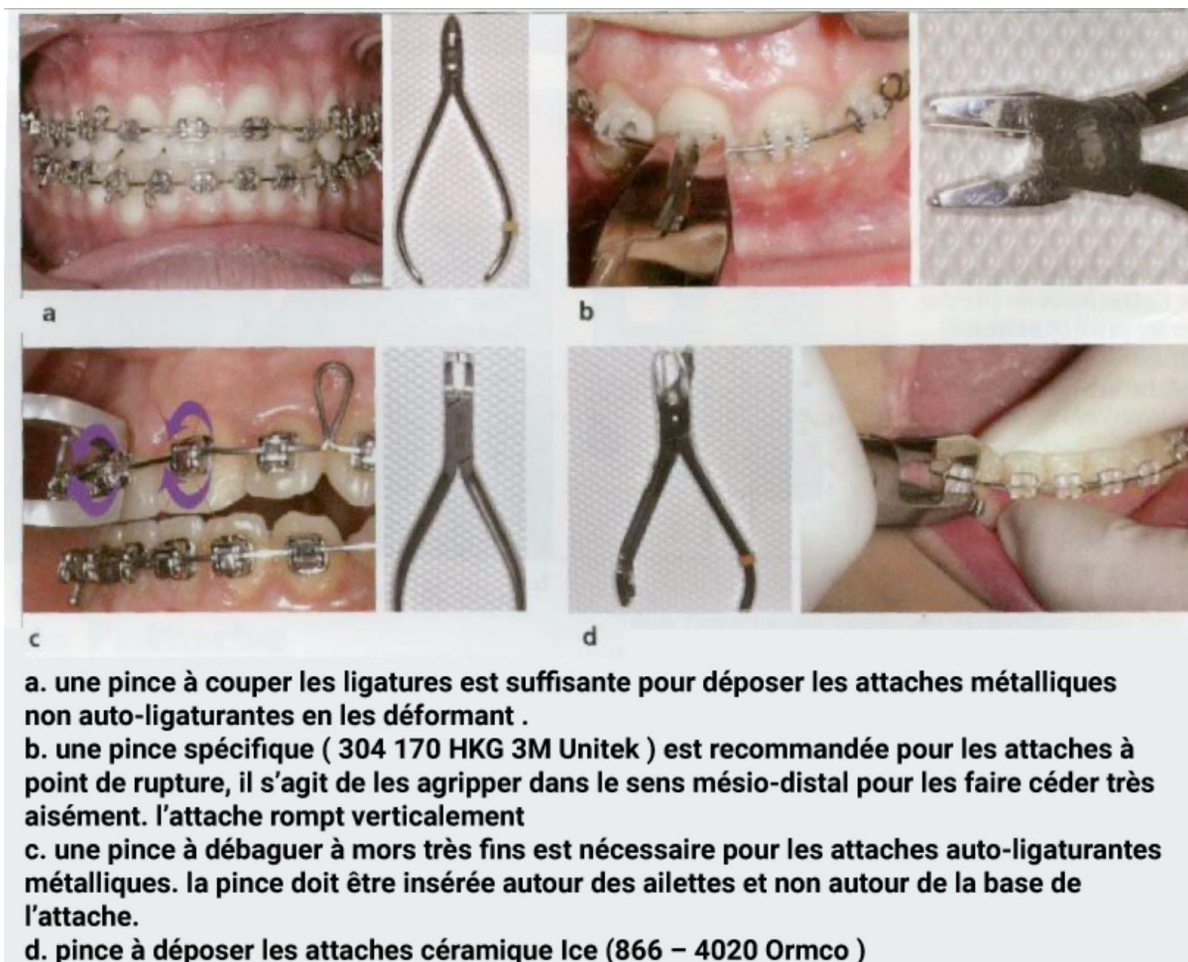


Figure 68 : la pince à déposer les attaches est différente selon le type d'attache

b) La connaissance de maillon faible de l'assemblage ⁽¹⁰⁹⁾ :

Le praticien doit connaître le maillon faible de l'assemblage pour le solliciter en premier et rompre facilement l'assemblage.

Dans le cadre des attaches métalliques non auto-ligurantes, le maillon faible de l'assemblage est l'attache car il est facilement déformable. L'utilisation d'une pince à couper « abîmée » est très adaptée. Il s'agit de saisir l'attache pour la déformer dans le sens mésiodistal ou occlusogingival en fonction du design de l'attache (**fig. 63a**).

Dans le cadre des attaches céramiques avec point de rupture (clarity™, 3M Unitek, Clarity SL™, 3M Unitek et Clarity Advanced™, 3M Unitek), le maillon faible de l'assemblage est également l'attache. La dépose est facile car l'attache est programmée pour se rompre verticalement au moment de sa dépose. Il existe des pinces spéciales (réf : «304 170 HKG 3M Unitek) qui permettent d'agripper l'attache dans le sens mésiodistal et la faire céder (**fig. 63b**).

Dans le cas des attaches métalliques auto-ligurante le maillon faible de l'assemblage est la base de l'attache et non l'attache qui n'est pas déformable. Une pince à débager à mors très fins est nécessaire. Il s'agit d'accrocher l'attache au niveau de ses ailettes dans le sens occlusogingival et de serrer les manches de la pince pour rompre l'assemblage (**fig. 63c**).

Pour les attaches céramiques sans point de rupture, la difficulté réside de la rigidité de l'assemblage et la fragilité de la céramique. Une grande vigilance est nécessaire avec ce type d'attache. Il s'agit d'installer une pince à mors très fins autours des ailettes dans le sens occlusogingival et de serrer les manches de la pince. La réussite de la dépose dépend de la pression exercée sur les manches de la pince. Une pression importante entraine un éclatement de l'attache céramique en petits morceaux.

Il existe des pinces avec une butée de serrage des manches pour éviter ce risque d'éclatement de l'attache sous la pince (**fig. 63d**).

Cependant, il faut une pince par type d'attache car la hauteur occlusogingivale est différente d'une attache à l'autre. Chez le même fabricant, les pinces de dépose recommandées peuvent différer d'une référence d'attache à une autre. Exemple : la pince recommandée pour déposer les attaches Ice (réf : 09B39B/866-4020 Ormco) est différente de celle recommandée pour les attaches Damon Clear (réf : 031434429/4019 Ormco).

Une pince à déposer non adaptée ou un assemblage collé très rigide sans maillon faible, réalisé avec un système de collage non conforme aux caractéristiques de l'attache, peuvent entraîner une rupture cohésive dans l'émail ou dans l'attache.

Une rupture cohésive dans l'attache nécessite des instruments rotatifs adaptés au matériau de l'attache avant l'utilisation des instruments de nettoyage de la colle (**fig. 64**).



Figure 69 : Rupture cohésive dans l'attache

CONCLUSION

L'adhésion est un phénomène complexe, qui est le résultat d'une totale combinaison et interaction des forces mécaniques, physiques et chimiques, et qui varie en fonction des différents substrats rencontrés en bouche et des différents matériaux d'assemblage utilisés. L'orthodontie moderne et le traitement des adultes nous conduit à coller des attaches sur des supports multiples. Il est nécessaire de connaître et de maîtriser les protocoles de collage adaptés aux spécificités de chaque substrat.

Les produits à notre disposition pour le collage en orthodontie sont nombreux. Le matériau de collage universel n'existe pas. Un choix raisonné permet de répondre aux exigences du praticien et à une situation clinique spécifique (Hitmi et coll., 2002). Les conditions cliniques de collage ne facilitent pas la tâche, mais coller reste simple et à la portée de tous. La rigueur dans l'application de protocole adapté, le respect des consignes des fabricants qui proposent des suites de produits compatibles, permettent d'assurer la régularité et la fiabilité des collages.

L'orthodontie est régulièrement incriminée dans l'apparition iatrogène de lésions tissulaires observées essentiellement au cours du collage des attaches et de leur dépose (colorations dentaires, déminéralisations, caries, fêlures, fractures, arrachements). Le collage des attaches est donc conseillé avec des matériaux les moins préjudiciables pour les surfaces dentaires. Avec l'avènement des matériaux hybrides et de leurs remarquables propriétés biologiques, on peut espérer à l'avenir une orthodontie non iatrogène pour les substrats dentaires.

L'acide polyacrylique ou les systèmes automordants en association avec les CVIMAR seraient donc une solution. Les excès de colle doivent être parfaitement éliminés (GebeileChauty et coll., 2012).

L'apparition de lésions tissulaires à type de déminéralisation peuvent être considérées comme un échec thérapeutique et la responsabilité du praticien peut être engagée. De ce fait, des moyens préventifs et curatifs se développent.

Il est cependant à noter qu'à ce jour, certains produits ou instruments intéressants sur le plan de l'innocuité ne semblent pas encore répondre au cahier des charges en termes de force de collage, de facilité d'utilisation pour le praticien et de confort pour le patient

Quel que soit le système utilisé, la maîtrise du protocole de collage et la rigueur du clinicien déterminent le succès de cette étape. Aucune étape ne doit être sous-estimée pour avoir la garantie que la stabilité des attaches soit une réalité au cours de tout le traitement. Savoir maîtriser les différentes préparations de surface des substrats et des différents systèmes de collage, pour en apprivoiser leurs avantages et désavantages, mais aussi renouveler sa pratique se révèlent indispensables.

LES ANNEXES :

Sommaire des annexes

Annexe 1 : Vue microscopique des différentes structures de l'émail et leur disposition.

Annexe 2 : La classification des adhésifs utilisés en orthodontie.

Annexe 3 : Systèmes de collage (Avantages, inconvénient, Protocole)

Annexe 4 : Technique de collage direct des attaches orthodontiques.

Annexe 5 : Technique de collage indirect des attaches orthodontiques.

Annexe 6 : Technique de collage d'appareil lingual.

Annexe 7 : Exemple de Formulaire de consentement éclairé pour le collage orthodontique.

Annexe 1

Vue microscopique des différentes structures de l'émail et leur disposition

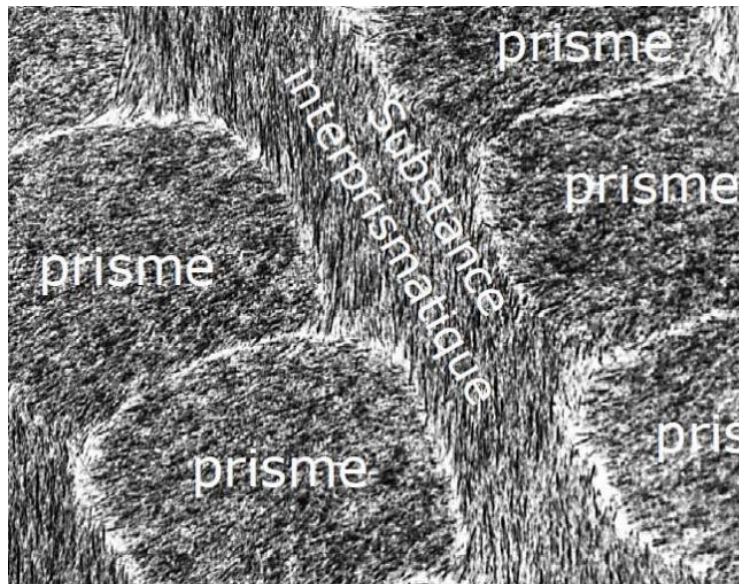


Figure 70 : émail en microscope électronique a transmission

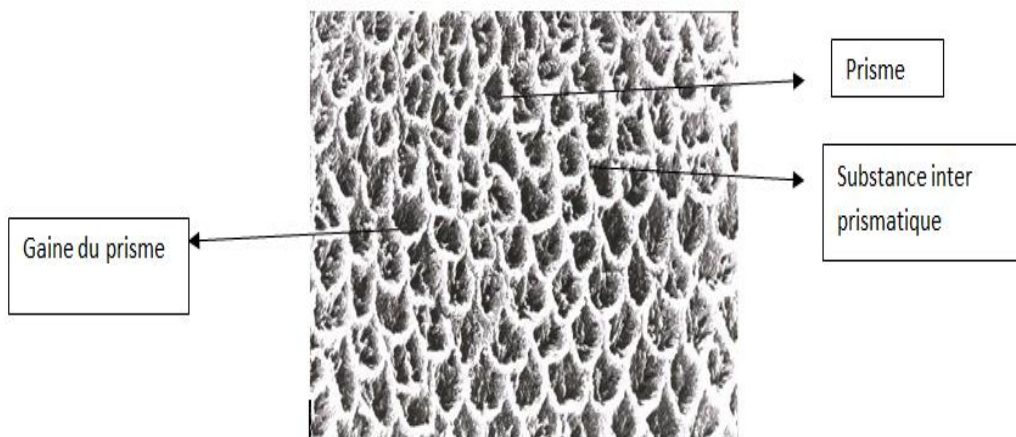


Figure 71 : Les prismes sur microscope électronique

Annexe 2

La classification des adhésifs utilisés en orthodontie

LA CLASSIFICATION DES ADHESIFS

www.thedentalist.fr



Figure 72 : Les system d'adhésifs les plus utilisés dans la pratique de l'orthodontie

Annexe 3

Tableau 10 : Tableau récapitulatif des systèmes de collage rencontrés en orthodontie ainsi que leurs avantages et inconvénients :

| Systèmes de collage | Types | Avantages | Inconvénients |
|--------------------------|--|---|--|
| Hydrophobes | <ul style="list-style-type: none"> - Les colles chémo-polymérisable - Les colles photo-polymérisables - Les colles duales | <ul style="list-style-type: none"> - Valeurs d'adhérence élevées - Recul clinique important | <ul style="list-style-type: none"> - Sensibilité à la manipulation - Sensibilité à la contamination humide - Risque de déminéralisation dentaire - Dépose difficile - Peu fluides |
| Hydrophiles | <ul style="list-style-type: none"> - Photo-polymérisable - Chémo-polymérisable | <ul style="list-style-type: none"> - Moins sensibles aux conditions humides - Valeurs d'adhérence élevée - Bonnes propriétés mécaniques - Confort de la photo-polymérisation | <ul style="list-style-type: none"> - mordançage agressif - Difficulté de dépose - Protocole long - systèmes chémo-polymérisables peu fluide avec temps de travail limité |
| Auto-mordançantes | <ul style="list-style-type: none"> - Photo-polymérisable | <ul style="list-style-type: none"> - Moins agressif pour l'émail - Manipulation aisée et ergonomique - pas d'étape de rinçage - Bonne efficacité | <ul style="list-style-type: none"> - Sensibles à la contamination humide ou salivaire après application de l'adhésif |
| Auto-adhésives | <ul style="list-style-type: none"> - Photo-polymérisable | <ul style="list-style-type: none"> - Simple, rapide, ergonomique - Diminution du risque d'erreur, du nombre d'interfaces et des risques de contamination de part la suppression de la mise en place d'un adhésif - Viscosité idéale pour le collage indirect | <ul style="list-style-type: none"> - l'attache glisse suite à la faible viscosité et on perd de la précision de collage - photo-polymériser après chaque application - Temps d'exécution long dû à la viscosité |
| CVIMAR | <ul style="list-style-type: none"> - Photo-polymérisable | <ul style="list-style-type: none"> - dépose facile et une élimination aisée en fin de traitement - Biocompatibles, libérant des ions fluorures - diminue la déminéralisation - Tolérants vis à vis de l'humidité | <ul style="list-style-type: none"> - Nécessité de mordançage à l'acide polyacrylique - Adhérence inférieure aux autres systèmes |

Tableau 11 : Tableau récapitulatif du protocole clinique des différents produits d'assemblage rencontrés en orthodontie :

| Système de collage | | Protocole clinique |
|--------------------|---|--|
| Colle composite | <ul style="list-style-type: none"> - colle hydrophobe - chémopolymérisable - pâte - pâte | <ul style="list-style-type: none"> - Préparation et séchage de la surface amélaire jusqu'à l'obtention de l'aspect blanc crayeux. - Application du mélange des liquides (base + activateur) sur le substrat. Application du mélange sur la base du bracket (pas obligatoire). - Application du mélange pâte-pâte (base + activateur) sur la base de l'attache. - Mise en place du bracket, élimination des excès avant la prise. - Attente de la prise complète avant mise en place d'un arc. |
| | <ul style="list-style-type: none"> - de «contact» | <ul style="list-style-type: none"> - Préparation et séchage de la surface amélaire jusqu'à l'obtention de l'aspect blanc crayeux. - Application du liquide (l'adhésif) sur le substrat et sur la base du bracket. - Application de la pâte sur la base de l'attache. - Mise en place du bracket, élimination des excès avant la prise. - Attente de la prise complète avant mise en place d'un arc. |

| Système de collage | | Protocole clinique |
|--------------------|----------------------|--|
| Colle composite | - photopolymérisable | <ul style="list-style-type: none"> - Préparation et séchage de la surface amélaire jusqu'à l'obtention de l'aspect blanc crayeux. - Application du liquide sur le substrat. - Application de la pâte sur la base de l'attache. - Mise en place du bracket et élimination des excès. - Photopolymérisation cervicale et occlusale, ou mésiale et distale. |
| | - colle hydrophile | <ul style="list-style-type: none"> - Préparation et séchage de la surface amélaire jusqu'à l'obtention de l'aspect blanc crayeux. - Application du liquide sur le substrat. - Séchage pour faire évaporer le solvant. - Colle chémozopolymérisable. <ul style="list-style-type: none"> - Photopolymérisation de l'adhésif. - Application de la pâte sur la base de l'attache, mise en place du bracket et élimination des excès avant la prise. - Colle photopolymérisable. <ul style="list-style-type: none"> - Application de la pâte sur la base de l'attache, mise en place du bracket et élimination des excès. - Photopolymérisation cervicale et occlusale, ou mésiale et distale. |

| Système de collage | | Protocole clinique |
|--------------------|--------------------------|---|
| Colle composite | - colle auto-mordançante | <ul style="list-style-type: none"> - Nettoyage du substrat à l'aide d'une brosse enduite de ponce. - Application de l'adhésif sur l'émail, après un rinçage soigneux de la ponce. - Laisser agir 15 secondes, sans aucun brossage ni rinçage. - Sécher légèrement, afin de faire évaporer le solvant. - Colle chémopolymérisable. <ul style="list-style-type: none"> - Photopolymérisation de l'adhésif. - Application de la pâte sur la base de l'attache, mise en place du bracket et élimination des excès avant la prise. - Colle photopolymérisable. <ul style="list-style-type: none"> - Application de la pâte sur la base de l'attache, mise en place du bracket et élimination des excès. - Photopolymérisation cervicale et occlusale, ou mésiale et distale. |
| | - colle auto-adhésive | <ul style="list-style-type: none"> - Traitement de surface à l'acide phosphorique pendant 15 à 30 secondes, puis rinçage abondant. - Séchage de la surface amélaire jusqu'à l'obtention de l'aspect blanc crayeux. - Application de la colle sur la base de l'attache, mise en place du bracket et élimination des excès. - Photopolymérisation pendant 5 secondes en occlusal et 5 secondes en cervical, en compression (à l'aide d'un instrument). |

| Système de collage | | Protocole clinique |
|--------------------|--------------------------------|--|
| CVIMAR | - CVIMAR + acide polyacrylique | <ul style="list-style-type: none"> - Préparation de la surface du substrat. - Rinçage et séchage. - Application du CVIMAR sur la base de l'attache et mise en place du bracket - Photopolymérisation pendant 5 secondes en occlusal et 5 secondes en cervical. - Elimination des excès. |
| | - CVIMAR + SAM | <ul style="list-style-type: none"> - Nettoyage à l'aide d'une brosse enduite de ponce. - Application de l'adhésif sur le substrat, après un rinçage soigneux de la ponce. - Laisser agir environ 15 secondes, sans aucun brossage ni rinçage. - Sécher légèrement, afin de faire évaporer le solvant. - Application du CVIMAR sur la base de l'attache et mise en place du bracket - Photopolymérisation pendant 5 secondes en occlusal et 5 secondes en cervical. - Elimination des excès. |

Tableau 12 : Tableau non exhaustif, des systèmes adhésifs et colles composites associés (Mano et Medhi, 2009) :

| Système M & R | | SAM | |
|-------------------------|---|---|--|
| Système hydrophobe | | Système hydrophile ou hydrotolérant | |
| Polymérisation chimique | | Polymérisation photochimique + composite chémo-polymérisable (pâte-pâte), photopolymérisable ou dual, hydrophobe | |
| Système pâte-pâte | Système pâte-activateur ou de «contact» | | |
| Concise (3M) | Mono lock 2 (RMO) | Enlight (ORMCO) | Orthosolo (ORMCO) |
| Ortho Two (BISICO) | Rely a bond (RELIANCE) | Lightbond (ORMCO) | Transbond MIP (3M UNITEK) |
| Phase 2 (RELIANCE) | Righton (TP ORTHODONTICS) | Transbond XT (3M UNITEK) | Optibond All in One (KERR) |
| | Système One plus (ORMCO) | | Prompt L Pop (ESPE) |
| | Unit (3M UNITEK) | | Transbond plus self-etching primer (3M UNITEK) |

Exemple de colle composite photopolymérisable ou dual : Band Cement (RMO), Blugloo (ORMCO), Con Te c LC (DENTAURUM), Grengloo (ORMCO), Heliosit Orthodontic (IVOCLAR VIVADENT), Nexus 3 Dual (ORMCO)...

Annexe 4

Technique de collage direct des attaches orthodontiques

➤ **Collage à l'aide d'une colle composite chémo-polymérisable :**

Colle hydrophobe, pâte-activateur, dite de « contact » : Rely a Bond® (Reliance)



Figure 73 : conditionnement du Rely a Bond® : l'acide de mordantage (liquide vert), l'activateur (le liquide) et la pâte



Figure 74 : : préparation de l'émail par sablage ou par mordantage acide, suivie d'un rinçage soigneux



Figure 75 : : application de l'activateur (le liquide) sur un émail séché d'aspect blanc crayeux



Figure 76 : application de l'activateur (le liquide), puis de la pâte sur la base de l'attache



Figure 77 : vue clinique après positionnement des attaches

Après prise complète du matériau d'assemblage, un rinçage est effectué pour éliminer l'excès d'activateur qui n'a pas polymérisé avec la pâte. Un arc peut alors être inséré.

➤ **Collage à l'aide d'une colle photopolymérisable :**

Colle hydrophobe photopolymérisable : Transbond XT® (3M Unitek)



Figure 78 : conditionnement Transbond XT® : l'acide de mordantage (seringue bleue), l'adhésif (le liquide) et la pâte

Préparation de la surface amélaire avec un polissage à la pierre ponce et un mordantage à l'acide orthophosphorique (figures 74, 75), suivi d'un rinçage abondant et d'un séchage soigneux jusqu'à l'obtention de l'aspect blanc crayeux (figure 76).



Figure 79 : polissage à la ponce



Figure 80 : mordantage acide



Figure 81 : rinçage et séchage

Application de l'adhésif sur le substrat et éventuellement sur la base de l'attache (figure 77). Puis, la pâte (la colle composite) est appliquée en faible quantité sur la base de l'attache (figure 78). Celle-ci est positionnée sur la dent à un endroit précis en fonction de l'anatomie coronaire et radulaire. Les excès sont éliminés avant la photo-polymérisation.



Figure 82 : application de l'adhésif



Figure 83 : application de la pâte sur la base de l'attache

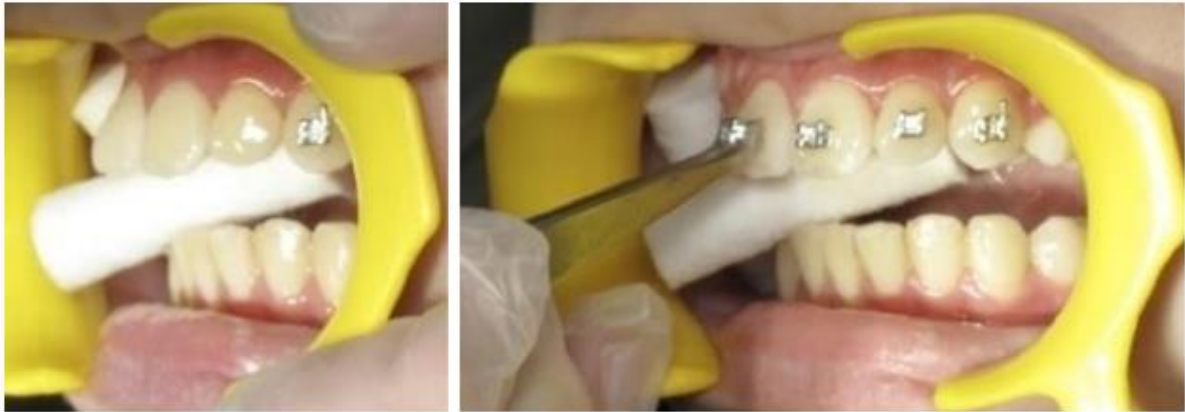


Figure 84 : mise en place du bracket et élimination des excès



Figure 85 : photopolymérisation cervicale et occlusale, ou mésiale et distale



Figure 86 : vue clinique après positionnement des attaches et mise en place du premier arc

Annexe 5

Technique de collage indirect des attaches orthodontiques



Figure 87 : Prise d'une empreinte numérique à l'aide d'un scanner intra-oral

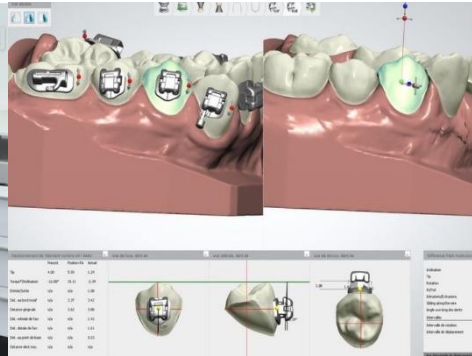


Figure 88 : Positionnement virtuel des attaches orthodontiques sur l'empreinte numérique

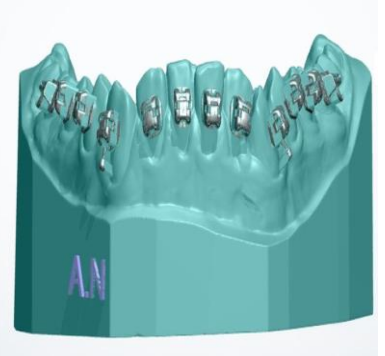


Figure 89 : Création d'un modèle numérique à imprimer avec une imprimante 3D



Figure 90 : Positionnement des attaches orthodontique sur le modèle imprimé



Figure 91 : Réalisation de gouttières individuelles (moules) pour le positionnement des attaches en bouche



Figure 92 : Brossage des surfaces dentaires



Figure 93 : Installation d'écarteur à joues, lèvres et langue



Figure 94 : Application d'un gel de traitement des surfaces



Figure 95 : Aspiration du gel, rinçage et séchage des surfaces



Figure 96 : Essai de la gouttière



Figure 97 : Application de colle liquide sur les surfaces dentaires



Figure 98 : Application de la colle dans la gouttière



Figure 99 : Installation de la gouttière et durcissement de la colle à l'aide d'une lumière bleue



Figure 100 : Démoulage de la gouttière après durcissement de la colle



Figure 101 : Élimination des excès de colle



Figure 102 : Installation de l'arc orthodontique

Annexe 6 Technique de collage d'appareil lingual

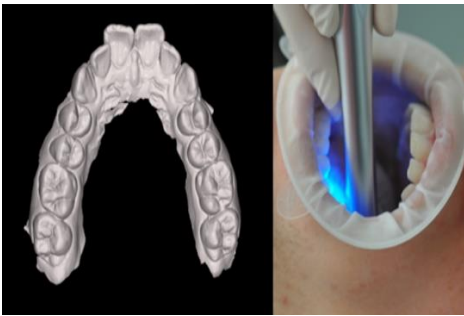


Figure 103 : Prise d'empreinte numérique à l'aide d'un scanner intra-oral

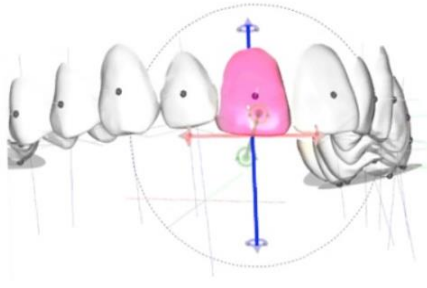


Figure 104 : Réalisation d'un set up numérique

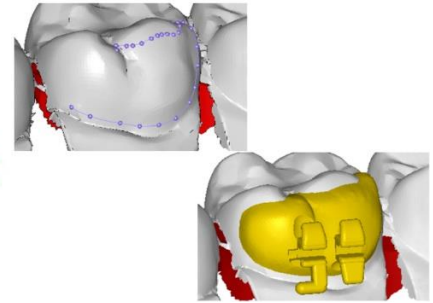


Figure 105 : Le design de chaque attache est déterminé au laboratoire de façon individuelle



Figure 106 : Les attaches linguales sont customisées en alliage d'or



Figure 107 : Les attaches sont insérées dans des gouttières



Figure 108 : Nettoyage des surfaces dentaire avec un sable fin



Figure 109 : Installation d'un écarteur à joues, lèvres et langue



Figure 110 : Application d'un gel pour le traitement des surfaces dentaires



Figure 111 : Essayage des gouttières en bouche



Figure 112 : Application de la colle dans la gouttière

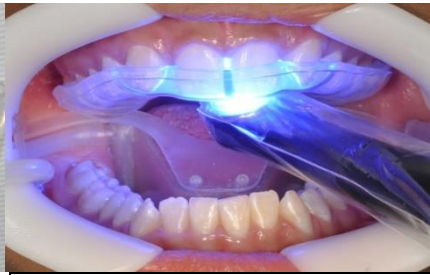


Figure 113 : Installation de la gouttière et durcissement de la colle à l'aide d'une lampe bleue



Figure 114 : Démoulage de la gouttière après le durcissement de la colle



Figure 115 : Gouttières démoulées et attaches en place



Figure 116 : Toutes les attaches restent collées sur les dents



Figure 117 : Elimination des excès de la colle



Figure 118 : Appareil posé et arc orthodontique installé

Annexe 7

Exemple de Formulaire de consentement éclairé pour le collage orthodontique

Formulaire de consentement éclairé pour le collage orthodontique

Nom du patient : Prénom : Nom :

Date de naissance : / /

Sexe : masculin féminin

J'autorise par la présence le médecin dentiste nommé ci-dessous, ainsi que les assistants associés qu'il/elle peut désigner pour me pratiquer le collage indiqué

Dr.

Procédure :

Ecrivez ici ...

BIBLIOGRAPHIE

1. Portier R, Bandon D, Brun-Croese N, Tardieu C. Thérapeutiques dentino-pulpaire des dents temporaires. *Encycl Méd Chir (Elsevier SAS, Paris), Odontologie*, 23-410-G-10, 1997: 9p.
2. Degrange M. Le point sur les adhésifs. *Clinic (Paris)* 1999;20:523-33.
3. Roth P. Les composites. Paris: Masson, 1991.
4. Roulet J.F et Degranges M. Collage et adhésion, la révolution silencieuse . ed. Q.Internationale. 2000, Paris.
5. Hitmi L, Attal J-P, Degrange M. Les différentes familles de colles composites : présentation et expérimentation. *Orthod Fr.* 2002;73(1):20.
6. Etienne O, Anckenmann L. Restaurations esthétiques en céramique collée. CdP. 2016. 353 p. (JPIO; vol. 1).
7. Hitmi L, L'orthodontiste une regard vers le futur , *Espace Id*, vol 2 – n°3 septembre 2012 , p16
8. Hitmi L. Étude et optimisation de l'adhésion à l'émail et à la dentine. Du laboratoire à la clinique. 2004.
9. Hitmi L, Attal J-P, Degrange M. Les différentes familles de colles composites : présentation et expérimentation. *Orthod Fr.* 2002;73(1):20.
10. Degrange M. Systèmes adhésifs auto-mordçoants, une mode ou la voie du futur? *Inf Dent* 2004;15:917-925
11. Hitmi L. Les matériaux de collage en orthodontie. Séminaire Ormodent 2006.
12. Mano M-C, Mehdi S. Les systèmes de collage à l'émail en orthodontie. *Orthod Fr* 2009;80:153–165
13. Vicente A. et coll. A comparison of the shear bond strength of a resin cement and two orthodontic resin adhesive systems. *Angle Orthod*, 2005. 75(1): p. 109-13.
14. Vicente A., Mena A., Ortiz A.J., et Bravo L.A., Water and saliva contamination effect on shear bond strength of brackets bonded with a moisture-tolerant light cure system. *Angle Orthod*, 2009. 79(1): p. 127-32.
15. Cinader D. Chémical processes and performance comparisons of Transbond Plus Self Etching Pirmer. *Orthodontic perspectives; VII(1):5-6*, 2001.
16. Hitmi L., Muller C., Roussarie F., et Attal J.P., Le collage des brackets en orthodontie. *Clinic*, 2001. 22 p. 165-79.
17. Banks P., et Thiruvengkatachari B., Long-term clinical evaluation of bracket failure with a selfetching primer: a randomized controlled trial. *J Orthod*, 2007. 34(4): p. 243-51.
18. Cal-Neto J.P., et Miguel J.A., An in vivo evaluation of bond failure rates with hydrophilic and self-etching primer systems. *J Clin Orthod*, 2005. 39(12): p. 701-2.
19. Elekdag-Turk S., Isci D., Turk T., et Cakmak F., Six-month bracket failure rate evaluation of a self-etching primer. *Eur J Orthod*, 2008. 30(2): p. 211-6.
20. Pandis N., Polychronopoulou A., et Eliades T., Failure rate of self-ligating and edgewise brackets bonded with conventional acid etching and a self-etching primer: a prospective in vivo study. *Angle Orthod*, 2006. 76(1): p. 119-22.
21. Shah J., et Chadwick S., [Comparison of 1-stage orthodontic bonding systems and 2-stage bonding systems: a review of the literature and the results of a randomized clinical trial]. *Orthod Fr*, 2009. 80(2): p. 167-78.
22. Radovic I, et coll. Self-adhesive resin cements: a literature reviez. *J Adhes Dent*, 2008. 10(4): p. 251-8
23. Al-Saleh M., et El-Mowafy O., Bond strength of orthodontic brackets with new selfadhesive resin cements. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2010. 137(4): p. 528-33.
24. Bishara S.E., et coll., Early shear bond strength of a one-step self-adhesive on orthodontic brackets. *Angle Orthod*, 2006. 76(4): p. 689-93.
25. Faltermeier A., Behr M., et Mussig D., A comparative evaluation of bracket bonding with 1-, 2-, and 3-component adhesive systems. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2007. 132(2): p. 144 e1-5.
26. Duarte S., Jr., Botta A.C., Meire M., et Sadan A., Microtensile bond strengths and scanning electron microscopic evaluation of self-adhesive and self-etch resin cements to intact and etched enamel. *J Prosthet Dent*, 2008. 100(3): p. 203-10.
27. Dursun E., Hitmi L., et Attal J.P., Les 10 points clés en odontologie ; le collage en pratique quotidienne : les colles auto-adhésives : une nouvelle famille de colles en orthodontie. 11es72 journées de la Fédération Française d'Orthodontie, 2008. p. 70-8
28. Hitmi L., Dursun E., et Attal J.P., Nouveau protocole. Intégrez les colles autoadhésives dans votre pratique. *Orthophile*, 2008. 4 p. 82-7.
29. Hitmi L., Collage indirect des attaches orthodontiques vestibulaires. *EMC - Odontologie;7(3):1-17 [Article 23-490-C-60]*, 2012.

30. Gebeile-Chauty S, Molle A, Valéro C, et Aknin J.J. Attaches orthodontiques et modifications de l'émail et de l'organe pulpodentinaire. EMC - Odontologie, 2012.(:1-13 Article 23-490-A- 05).
31. Komori A, et Ishikawa H, Evaluation of a resin-reinforced glass ionomer cement for use as an orthodontic bonding agent. Angle Orthod, 1997. 67(3): p. 189-95
32. Altounian G. Orthodontic bonding with glass ionomer cements: from theory to practice. Rev Orthop Dento Faciale 2000;34:557-600
33. McCarthy M.F, Hondrum SO. Mechinal and bond strength properties of light-cured and chemically cured glass ionomer cements. Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod. Févr 1994;105(2):135-41.
34. Pascotto R.C, Navarro M.F, Capelozza Filho L, et Cury J.A. In vivo effect of a resin-modified glass ionomer cement on enamel demineralization around orthodontic brackets. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2004. 125(1): p. 36-41.
35. Lavernhe P, Lodter C, Sharrock P et Gregoire G. Biocompatibility of orthodontic bonding agents: the contribution of glass ionomer cements. Rev Orthop Dento Faciale 2000;34:539- 554.
36. Cook P.A. Direct bonding with glass ionomer cement. J Clin Orthod, 1990. 24(8): p. 509-11.
37. Miles P.G et Weyant R.J. A comparison of two indirect bonding adhesives. Angle Orthod 2005;75:1019-1023.
38. Shah J et Chadwick S. Comparaison entre un système de collage orthodontique en une étape et un système de collage en deux étapes: revue de littérature et résultats d'un essai clinique randomisé. Orthod Fr 2009;80:167-178
39. Hitmi L, L'orthodontiste une regard vers le futur , Espace Id, vol 2 – n°3 septembre 2012 , p17
40. Hitmi L. Étude et optimisation de l'adhésion à l'émail et à la dentine. Du laboratoire à la clinique. 2004.
41. Hitmi L., Collage indirect des attaches orthodontiques vestibulaires. EMC - Odontologie;7(3):1-17 [Article 23-490-C-60], 2012.
42. Pascotto R.C, Navarro M.F, Capelozza Filho L, et Cury J.A. In vivo effect of a resin-modified glass ionomer cement on enamel demineralization around orthodontic brackets. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2004. 125(1): p. 36-41.
43. Shah J et Chadwick S. Comparaison entre un système de collage orthodontique en une étape et un système de collage en deux étapes: revue de littérature et résultats d'un essai clinique randomisé. Orthod Fr 2009;80:167-178.
44. Boileau M.J. Orthodontie de l'enfant et du jeune adulte. Principes et moyens thérapeutiques tome 1. Edition Elsevier Masson.
45. Moustarhfir H. Mise en place des brackets orthodontiques par collage direct: étude clinique, thèse soutenue en 2006 à Casablanca (Maroc).
46. Andrews L.F. The six keys to normal occlusion. Am I Orthod 1972;62(3):296-309.
47. Newman G.F. Adhesion and orthodontic plastic attachments. Am J Orthod 1969;56:573-588.
48. Silverman E, Cohen M. A report on a major improvement in the indirect bonding technique. J Clin Orthod 1975;9:270-276
49. Silverman E, Cohen M, Gianely A.A, Dietz V.S. A universal direct bonding system for bot metal and plastic brackets. Am J Orthod 1972;62:236-244.
50. Shiau J.Y, Rasmussen S.T, Phelps A.E et coll. Bond strength of aged composites found in brackets placed by an indirect technique. Angle Orthod 1993;63(3):213-220.
51. Moreau A. SIBSystem: une innovation dans le domaine du collage des attaches orthodontiques? Orthod Fr 2013;84:201-209.
52. Altounian G. Une méthode de collage en orthodontie. Paris : J prélat, 1979..
53. Chabre C et Bassigny F. An Indirect bonding technic using a double mixture. Rev Orthop Dento Faciale 1985;19(4):595-602.
54. Altounian G. The developent of indirect bonding in combination with pre-bonded appliances. Orthod Fr 1987;58(2):775-790..
55. Sedennes V. An indirect bonding technique. Rev Orthop Dento Faciale 1991;25(1):79-83.
56. Kalange J.T et Thomas R.G. Indirect bonding: a comprehensive review of the literature. Semin Orthod 2007;13:3-10.
57. Kalange J.T. Prescription-based precision full arch: Indirect bonding. Semin Orthod 2007;13:19-42.
58. Mc Crostie H.S. Indirect bonding simplified. J Clin Orthod 2003;37(5):248-251
59. Moskowitz E.M. Indirect bonding with a thermal cured composite. Semin Orthod 2007;13:69- 74.
60. Koga M, Watanabe K et Koga T. Quick indirect bonding system (Quick IDBS): an in indirect bonding technique using a double-silicone bracket transfert ray. Semin Orthod 2007;13:11-18.
61. Sondhi A. Efficient and effective indirect bonding. Am J Orthod Dentofac Orthop73 1999;115(4):352-359.

62. Bery A. Collage indirect des verrous d'orthodontie en vue directe. *Rev Orthop Dento Faciale* 1981;15:351-356.
63. Kasrovi P.M, Timmins S. et Shen A. A new approach to indirect bonding using light-cure composites. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1997;111(6):652-656.
64. Tricot-Blestel M.C et Philippe J. Shell bonding, or an indirect unit bonding technic. *Rev Orthop Dento Faciale* 1984;18(3):407-409.
65. Grunheid T et coll. Transfer accuracy of vinyl polysiloxane trays for indirect bonding. *Angle Orthod.* 2016;86:468-474.
66. Castilla A.E et coll. Measurement and comparison of bracket transfer accuracy of five indirect bonding techniques. *Angle Orthod.* 2014;84:607-614.
67. Echarri P. et Kim T.W. Double transfer trays for indirect bonding. *J Clin Orthod* 2004;38(1):8-13.
68. Hodge T.M, Dhopatkar A.A, Rock W.P et Spary D.J. A randomized clinical trial comparing the accuracy of direct versus indirect bracket placement. *J Orthod* 2004;31(2):132-137.
69. Thiyagarajah S, Spary D.J et Rock W.P. A clinical comparison of bracket bond failures in association with direct and indirect bonding. *J Orthod* 2006;33:198-204.
70. Linn B.J, Berzins D.W, Dhuru V.B et Bradley T.G. A comparison of bond strength between direct- and indirect-bonding methods. *Angle Orthod* 2006;76(2):289-294.
71. Yi G.K, Dumn W.J et Taloumis L.J. Shear bond strenght comparison between direct and indirect bonded orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2003;124(5):577-581.
72. Roger B, Roger J.B. Apports de l'impression numérique 3D en ODF. *Rev Orthop Dento Faciale* 2016;50:229-236.
73. Lecocq G. Intra-oral digital scanner: selection and in-office integration. *Rev Orthop Dento Faciale* 2016;50:223-228.
74. Lecoq G. Digital impression-taking: Fundamentals and benefits in orthodontics. *Internation Orthodontics* 2016;14:184-194.
75. Coblentz J.F. Empreintes numériques: mythes et réalité quotidienne. *Orthod Fr* 2012;83:81-82.
76. Dawood A., Marti Marti B., Sauret-Jackson V et Darwood.A. 3D printing in dentistry. *British Dental Journal* 2015;210:521-529.
77. Kim S.Y, Shin Y.S et coll. Precision and trueness of dental models manufactured with different 3-dimensional printing techniques. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2018;153:144- 53).
78. Favero C et coll. Effect of print layer height and printer type on the accuracy of 3-dimensional printed orthodontic models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2017;152:557-65)
79. Kihara T et coll. Construction of orthodontic setup models on a computer.
80. Redmond W.J et coll. The OrthoCAD bracket placement solution. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2004;125:645-6.
81. Hitmi L, L'orthodontiste une regard vers le futur , *Espace Id*, vol 2 – n°3 mars 2013 , p19
82. Hitmi L, L'orthodontiste une regard vers le futur , *Espace Id*, vol 2 – n°3 mars 2013 , p20
83. Hitmi L, L'orthodontiste une regard vers le futur , *Espace Id*, vol 1 – n°3 septembre 2012 , p18
84. Etienne O, Anckenmann L. Restaurations esthétiques en céramique collée. *CdP.* 2016. 353 p. (JPIO; vol. 1).
85. Cardoso MV, de Almeida Neves A, Mine A, Coutinho E, Van Landuyt K, De Munck J, et al. Current aspects on bonding effectiveness and stability in adhesive dentistry. *Aust Dent J.* juin 2011;56 Suppl 1:31 - 44.
86. Matos AB, Trevelin LT, Silva BTF da, Francisconi-Dos-Rios LF, Siriani LK, Cardoso MV. Bonding efficiency and durability: current possibilities. *Braz Oral Res.* 28 août 2017;31(suppl 1):e57.
87. Tedesco TK, Soares FZM, Grande RHM, Filho LER, Rocha R de O. Effect of cariogenic challenge on bond strength of adhesive systems to sound and demineralized primary and permanent enamel. *J Adhes Dent.* oct 2014;16(5):421- 8.
88. Denis M, Atlan A, Vennat E, Tirlet G, Attal J-P. Taches blanches de l'émail: diagnostic et anatomopathologie : deux données indispensables pour bien les traiter (partie 1). 29 avr 2013;
89. Atia G-S, May J. Dental fluorosis in the paediatric patient. *Dent Update.* déc 2013;40(10):836- 9.
90. Akpata ES. Occurrence and management of dental fluorosis. *Int Dent J.* oct 2001;51(5):325- 33.
91. Torres-Gallegos I, A Martinez-Castañon G, Loyola-Rodriguez J-P, Patiño-Marin N, Encinas A, Ruiz F, et al. Effectiveness of bonding resin-based composite to healthy and fluorotic enamel using total-etch and two self-etch adhesive systems. *Dent Mater J.* 2012;31(6):1021- 7.
92. Bassir MM, Rezvani MB, Ghomsheh ET, Hosseini ZM. Effect of Different Surface Treatments on Microtensile Bond Strength of Composite Resin to Normal and Fluorotic Enamel After Microabrasion. *J Dent Tehran Iran.* nov 2016;13(6):431- 7.

93. Rigo L, Lodi L, Garbin RR, Rigo L, Lodi L, Garbin RR. Differential diagnosis of dental fluorosis made by undergraduate dental students. *Einstein São Paulo*. déc 2015;13(4):547- 54.
94. Opinya GN, Pameijer CH. Tensile bond strength of fluorosed Kenyan teeth using the acid etch technique. *Int Dent J*. déc 1986;36(4):225- 9.
95. Torres-Gallegos I, Zavala-Alonso V, Patiño-Marín N, Martínez-Castañón GA, Anusavice K, Loyola-Rodríguez JP. Enamel roughness and depth profile after phosphoric acid etching of healthy and fluorotic enamel. *Aust Dent J*. juin 2012;57(2):151- 6
96. Ermis RB, De Munck J, Cardoso MV, Coutinho E, Van Landuyt KL, Poitevin A, et al. Bonding to ground versus unground enamel in fluorosed teeth. *Dent Mater Off Publ Acad Dent Mater*. oct 2007;23(10):1250-5.
97. Pugach MK, Ozer F, Li Y, Sheth K, Beasley R, Resnick A, et al. The use of mouse models to investigate shear bond strength in amelogenesis imperfecta. *J Dent Res*. nov 2011;90(11):1352- 7.
98. Chaudhary M, Dixit S, Singh A, Kunte S. Amelogenesis imperfecta: Report of a case and review of literature. *J Oral Maxillofac Pathol JOMFP*. 2009;13(2):70- 7.
99. Pugach MK, Ozer F, Mulmadgi R, Li Y, Suggs C, Wright JT, et al. Shear bond strength of dentin and deproteinized enamel of Al mouse incisors. *Pediatr Dent*. 2014;36(5):130- 6.
100. Sa Y, Liang S, Ma X, Lu S, Wang Z, Jiang T, et al. Compositional, structural and mechanical comparisons of normal enamel and hypomaturation enamel. *Acta Biomater*. déc 2014;10(12):5169- 77.
101. Wright JT, Lord V, Robinson C, Shore R. Enamel ultrastructure in pigmented hypomaturation amelogenesis imperfecta. *J Oral Pathol Med Off Publ Int Assoc Oral Pathol Am Acad Oral Pathol*. oct 1992;21(9):390- 4.
102. Krämer N, Bui Khac N-HN, Lückner S, Stachniss V, Frankenberger R. Bonding strategies for MIH-affected enamel and dentin. *Dent Mater Off Publ Acad Dent Mater*. févr 2018;34(2):331- 40.
103. Nair P, Hickel R, Ilie N. Adverse effects of salivary contamination for adhesives in restorative dentistry. A literature review. *Am J Dent*. juin 2017;30(3):156- 64.
104. Taneja S, Kumari M, Bansal S. Effect of saliva and blood contamination on the shear bond strength of fifth-, seventh-, and eighth-generation bonding agents: An in vitro study. *J Conserv Dent JCD*. 2017;20(3):157-60.
105. Wang Y, Li C, Yuan H, Wong MC, Zou J, Shi Z, et al. Rubber dam isolation for restorative treatment in dental patients. *Cochrane Database Syst Rev*. 20 sept 2016;9:CD009858.
106. Hitmi L, Attal J--P, Degrange M. Les différentes familles de colles composites : présentation et expérimentation. *Orthod Fr*. 2002;73(1):20.
107. Zachrisson BU, Årthun J. Enamel surface appearance after various debonding techniques. *Am J Orthod*. févr 1979;75(2):121-37.
108. Swartz ML. Le collage en orthodontie. 16 mai 2008;
109. Hitmi L, L'orthodontiste une regard vers le futur , *Espace Id*, vol 4 – n°5 novembre - décembre 2015.
110. Gwinnett AJ, Gorelick L. Microscopic evaluation of enamel after debonding: Clinical application. *Am J Orthod*. juin 1977;71(6):651-65.
111. Scougall Vilchis RJ, Yamamoto S, Kitai N, Yamamoto K. Shear bond strength of orthodontic brackets bonded with different self--etching adhesives. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod*. sept 2009;136(3):425-30.
112. Murray SD, Hobson RS. Comparison of in vivo and in vitro shear bond strength. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. janv 2003;123(1):2-9.
113. Holberg C, Winterhalder P, Holberg N, Wichelhaus A, Rudzki--Janson I. Orthodontic bracket debonding: risk of enamel fracture. *Clin Oral Investig*. janv 2014;18(1):327-34.
114. Zach L, Cohen G. Pulp response to externally applied heat. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. avr 1965;19:515-30.
115. Boyer DB, Engelhardt G, Bishara SE. Debonding orthodontic ceramic brackets by ultrasonic instrumentation. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod*. sept 1995;108(3):262-6.
116. Lee--Knight CT, Wylie SG, Major PW, Glover KE, Grace M. Mechanical and electrothermal debonding: effect on ceramic veneers and dental pulp. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod*. sept 1997;112(3):263-70.
117. Dovgan JS, Walton RE, Bishara SE. Electrothermal debracketing: patient acceptance and effects on the dental pulp. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod*. sept 1995;108(3):249-55.
118. Feldon PJ, Murray PE, Burch JG, Meister M, Freedman MA. Diode laser debonding of ceramic brackets. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod*. oct 2010;138(4):458-62.

119. Azzeh E, Feldon PJ. Laser debonding of ceramic brackets: a comprehensive review. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* janv 2003;123(1):79-83.
120. Nalcaci R, Cokakoglu S. Lasers in orthodontics. *Eur J Dent.* sept 2013;7(Suppl 1):S119-25.
121. Reynolds IR. A Review of Direct Orthodontic Bonding. *Br J Orthod.* 1 juill 1975;2(3):171-8.
122. Su M--Z, Lai EH--H, Chang JZ--C, Chen H--J, Chang FH--F, Chiang Y--C, et al. Effect of simulated debracketing on enamel damage. *J Formos Med Assoc Taiwan Yi Zhi.* oct 2012;111(10):560-6.
123. Zarrinnia K, Eid NM, Kehoe MJ. The effect of different debonding techniques on the enamel surface: An in vitro qualitative study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* sept 1995;108(3):284-93.
124. Janiszewska--Olszowska J, Szatkiewicz T, Tomkowski R, Tandecka K, Grocholewicz K. Effect of orthodontic debonding and adhesive removal on the enamel -- current knowledge and future perspectives -- a systematic review. *Med Sci Monit Int Med J Exp Clin Res.* 2014;20:1991-2001.
125. SWARTZ ML. Orthodontic bonding. *Int Orthod* 2008;1:23-51.
126. ZARRINNIA K, EID NM et KEHOE MJ. The effect of different debonding techniques on the enamel surface: An in vitro qualitative study. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1995;108:284-293.
127. Anusavice KJ, Shen C, Rawls HR. *Phillips' Science of Dental Materials.* Elsevier Health Sciences; 2013. 588 p.
128. Jonke E, Weiland F, Freudenthaler JW, Bantleon HP. Heat generated by residual adhesive removal after debonding of brackets. *World J Orthod.* 2006;7(4):357-60.
129. Kim S--S, Park W--K, Son W--S, Ahn H--S, Ro J--H, Kim Y--D. Enamel surface evaluation after removal of orthodontic composite remnants by intraoral sandblasting: A 3--dimensional surface profilometry study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* juill 2007;132(1):71-6.
130. Mhatre AC, Tandur AP, Reddy SS, Karunakara BC, Baswaraj H. Enamel Surface Evaluation after Removal of Orthodontic Composite Remnants by Intraoral Sandblasting Technique and Carbide Bur Technique: A Three--Dimensional Surface Profilometry and Scanning Electron Microscopic Study. *J Int Oral Health JIOH.* 2015;7(Suppl 2):34-9.
131. Uysal T, Eldeniz AU, Usumez S, Usumez A. Thermal Changes in the Pulp Chamber during Different Adhesive Clean--up Procedures. *Angle Orthod.* 1 mars 2005;75(2):220-5.
132. Gwinnett AJ, Gorelick L. Microscopic evaluation of enamel after debonding: Clinical application. *Am J Orthod.* juin 1977;71(6):651-65.
133. Ahrari F, Akbari M, Akbari J, Dabiri G. Enamel surface roughness after debonding of orthodontic brackets and various clean--up techniques. *J Dent Tehran Iran.* janv 2013;10(1):82-93.
134. Almeida HC, Vedovello Filho M, Vedovello S a. S, Young A a. A, Ramirez--Yañez GO. ER: YAG laser for composite removal after bracket debonding: a qualitative SEM analysis. *Int J Orthod Milwaukee Wis.* 2009;20(1):9-13.
135. Krell KV, Courey JM, Bishara SE. Orthodontic bracket removal using conventional and ultrasonic debonding techniques, enamel loss, and time requirements. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* mars 1993;103(3):258-66.
136. Tüfekçi E, Merrill TE, Pintado MR, Beyer JP, Brantley WA. Enamel loss associated with orthodontic adhesive removal on teeth with white spot lesions: an in vitro study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* juin 2004;125(6):733-9.
137. Ireland AJ, Hosein I, Sherriff M. Enamel loss at bond--up, debond and clean--up following the use of a conventional light--cured composite and a resin--modified glass polyalkenoate cement. *Eur J Orthod.* août 2005;27(4):413-9.
138. Hosein I, Sherriff M, Ireland AJ. Enamel loss during bonding, debonding, and cleanup with use of a self--etching primer. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* déc 2004;126(6):717-24.
139. Zachrisson BU, Årthun J. Enamel surface appearance after various debonding techniques. *Am J Orthod.* févr 1979;75(2):121-37.
140. Gwinnett AJ, Matsui A. A study of enamel adhesives. The physical relationship between enamel and adhesive. *Arch Oral Biol* 1967;12:1615-20.
141. Diedrich P. Enamel alterations from bracket bonding and debonding: a study with the scanning electron microscope. *Am J Orthod* 1981;79:500-22.
142. Gwinnett AJ, Ceen RF. Plaque distribution on bonded brackets: a scanning microscope study. *Am J Orthod.* juin 1979;75(6):667-77.
143. Marche--Solignì Héloïse. A propos du polissage amélaire après dépose des attaches orthodontiques : expérimentation in vitro. [Mémoire pour le certificat d'études cliniques spéciales mention Orthodontie]. Faculté d'Odontologie de REIMS; 2014.
144. Chabre C. La dépose des attaches collées. *Rev Orthopédie Dento--Faciale.* sept 1986;20(3):415-25.

145. Burapavong V, Marshall GW, Apfel DA, Perry HT. Enamel surface characteristics on removal of bonded orthodontic brackets. *Am J Orthod.* août 1978;74(2):176-87.
146. Vieira AC, Pinto RA, Chevitaese O, Almeida MA. Polishing after debracketing: its influence upon enamel surface. *J Clin Pediatr Dent.* 1993;18(1):7-11.
147. Ryf S, Flury S, Palaniappan S, Lussi A, van Meerbeek B, Zimmerli B. Enamel loss and adhesive remnants following bracket removal and various clean-up procedures in vitro. *Eur J Orthod.* 1 févr 2012;34(1):25-32.
148. Gwinnett AJ, Gorelick L. Microscopic evaluation of enamel after debonding: clinical application. *Am J Orthod* 1977;71:651-65
149. Palucha A. La dépose des attaches orthodontiques. [thèse chirurgie dentaire], Paris VII, 2002. n°014.
150. Zachrisson BU, Arthun J. Enamel surface appearance after various debonding techniques. *Am J Orthod* 1979;75:121-7.
151. Campbell PM. Enamel surface after orthodontic bracket debonding. *Angle Orthod* 1995;65:103-10.
152. Hosein I, Sherrif M, Ireland AJ. Enamel loss during bonding, debonding and cleanup with use of a self-etching primer. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2004;126:717-24
153. Retief DH, Denys FR. Finishing of enamel surfaces after debonding of orthodontic attachments. *Angle Orthod* 1979;49:1-0.
154. Zarrinnia K, Eid NM, Kehoe MJ. The effect of different debonding techniques on the enamel surface: an in vitro qualitative study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1995;108:284-93.
155. Krell KV, Courey JM, Bishara SE. Orthodontic bracket removal using conventional and ultrasonic debonding techniques, enamel loss, and time requirements. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1993;103:258-66.
156. AKNIN JJ et MOLLE A. Attaches orthodontiques et modifications de l'émail et de l'organe pulpodentinaire. *Encycl Med Chir (Paris), Odontologie*, 23-490-A-05, 2005.
157. ATTAL JP. Les nouveaux matériaux de collage aux verres ionomères : une révolution. Communication au congrès : Adhésion et collage : la révolution silencieuse. Symposium Collage en Orthodontie, Paris ; CNIT, 1999.
158. DIEDRICH P. Enamel alterations from bracket bonding and debonding: a study with the scanning electron microscope. *Am J Orthod* 1981;79:500-523.
159. GAWORSKI M, WEINSTEIN M, BORISLOW AJ et BRAITMAN LE. Decalcification and bond failure: a comparison of a glass ionomer and a composite resin bonding system in vivo. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1999;116:518-521.
160. GWINNETT AJ et CEEN RF. Plaque distribution on bonded brackets : a scanning microscopy study. *Am J Orthod* 1979;75:667-677.
161. HOSEIN I, SHERRIFF M et IRELAND AJ. Enamel loss during bonding, debonding, and cleanup with use of a self-etching primer *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2004;126:717-724.
162. KUKLEVA MP, SHETKOVA DG et BEEV VH. Comparative age study of the risk of demineralisation during orthodontic treatment with brackets. *Folia Med* 2002;44:56-59.
163. RETIEF DH. Failure at the dental adhesive-etched enamel interface. *J Oral Rehabil* 1974;1:265-284.
164. RETIEF DH. The use of 50 per cent phosphoric acid as an etching agent in orthodontics: A rational approach. *Am J Orthod* 1975;68(2):165-178.
165. SHINCHI MJ, SOMA K et NAKABAYASHI N. The effect of phosphoric acid concentration on resin tag length and bond strength of a photo-cured resin to acid-etched enamel. *Dent Mater* 2000;16:324-329.
166. SMALES RJ. Plaque growth on dental restorative materials. *J Dent* 1981;9:133-140.
167. SWARTZ ML. Orthodontic bonding. *Int Orthod* 2008;1:23-51.
168. VIAZIS AD, DELONG R, BEVIS RR et coll. Enamel abrasion from ceramic orthodontic brackets under an artificial oral environment. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1990;98:103-109.
169. WINCHESTER L. Methods of debonding ceramic brackets. *Br J Orthod* 1992;19:233-237.
170. ZACHRISSON BU, SKOGAN O et HOYMYHR S. Enamel cracks in debonded, debanded and orthodontically untreated teeth. *Am J Orthod* 1980;77:307-319.
171. Hitmi L, Attal JP, Degrange M. Les différentes familles de colles composites: présentation et expérimentation. 2002 Mars 21, Vol 73, Num 1, pp 39-58.
172. Hitmi L. Étude et optimisation de l'adhésion à l'émail et à la dentine. [thèse doctorat d'université], Paris VII, 2004
173. Hosein I, Sherrif M, Ireland AJ. Enamel loss during bonding, debonding, and cleanup with use of a self-etching primer. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2004;126:717-24
174. Thompson RE, Way DC. Enamel loss due to prophylaxis and multiple bonding/debonding of orthodontic brackets. *Am J Orthod* 1981;79:282-95

175. Silverstone LM, Saxton CA, Dogon IL, Fejerskov O. Variation in the pattern of acid etching of human dental enamel examined by scanning electron microscopy. *Caries Res* 1975;9:373-87
176. Roulet JF, Degrange M. Collage et adhésion, la révolution silencieuse. Paris: Quintessence Internationale; 2000
177. Hitmi L, Muller C, Mujajic M, Attal JP. An 18-month clinical study of bond failures with resin-modified glass ionomer cement in orthodontic practice. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2001;120:406-15
178. Silverman E, Cohen M. Etching versus nonetching. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1998;114:21A
179. Gaworski M, Weinstein M, Borislow AJ, Braitman LE. Decalcification and bond failure: a comparison of a glass ionomer and a composite resin bonding system in vivo. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1999;116: 518-21
180. Degrange M. Le point sur les adhésifs. *Clinic (Paris)* 1999;20:523-33
181. Larmour CJ, Stirrups DR. An ex vivo assessment of a bonding technique using a self-etching primer. *J Orthod* 2003;30:225-
182. Komori A, Ishikawa H. Evaluation of a resin-reinforced glass ionomer cement for use as an orthodontic bonding agent. *Angle Orthod* 1997; 67:189-96
183. Pascotto RC, De Lima Navarro MF, Capelozza Filho I, Aparecido Cury J. In vivo effect of a resin-modified glass ionomer cement on enamel demineralization around orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2004;125:36-41
184. Todd MA, Staley RN, Kanellis MJ, Donly KJ, Wefel JS. Effect of a fluoride varnish on demineralization adjacent to orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1999;116:159-67
185. Geiger AM, Gorelick L, Gwinnett AJ, Benson BJ. Reducing white spot lesions in orthodontic populations with fluoride rinsing. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1992;101:403-7
186. Stratemann NW, Shannon IL. Control of decalcification in orthodontic patients by daily self-administered application of a waterfree 0.4 percent stannous fluoride gel. *Am J Orthod* 1974;66:273-9
187. Brudevold F, McCann HG, Nilsson R, Richardson B, Coklica V. The chemistry of caries inhibition problems and challenges in topical treatments. *J Dent Res* 1967;46:37-45
188. Zachrisson BU. Cause and prevention of injuries to teeth and supporting structures during orthodontic treatment. *Am J Orthod* 1976;69:285-300
189. Meng CL, Wang WN, Yeh IS. Fluoridated etching on orthodontic bonding. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1997;112:259-62
190. Meng CL, Li CH, Wang WN. Bond strength with APF applied after acid etching. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1998;114:510-3
191. Bryant S, Retief DH, Bradley Jr. EL, Denys FR. The effect of topical fluoride treatment on enamel fluoride uptake and the tensile bond strength of an orthodontic bonding resin. *Am J Orthod* 1985;87:294- 302
192. Bishara SE, Vonwald L, Olsen ME, Laffoon JF. Comparisons of two approaches for removing excess adhesive during the bonding procedure. *Angle Orthod* 2000;70:149-53
193. Palot C, Marzin I, Triconnet L. Le joint périphérique : un élément méconnu du collage des attaches orthodontiques. *Orthod Fr* 1991;62:893-8
194. Ivanyi I, Kispelyi B, Fazekas A, Rosivall L, Nyarasy I. The effect of fluoride on vascular diameter of pulp vessels in rat incisor (vital microscopic study). *Oper Dent* 2001;26:248-52
195. De Souza Costa CA, Lopes DO, Nascimento AB, Teixeira HM, Fontana UF. Response of human pulps capped with a self-etching adhesive system. *Dent Mater* 2001;17:230-40
196. Spagnuolo G, Galler K, Schmalz G, Cosentino C, Rengo S, Schweikl H. Inhibition of phosphatidylinositol 3-kinase amplifies TEGDMA induced apoptosis in primary human pulp cells. *J Dent Res* 2004;83: 703-7
197. Demarco FF, Tarquinio SB, Jaeger MM, de Araujo VC, Matson E. Pulp response and cytotoxicity evaluation of 2 dentin bonding agents. *Quintessence Int* 2001;32:211-20
198. Murray PE, Windsor LJ, Hafez AA, Stevenson RG, Cox CF. Comparison of pulp responses to resin composites. *Oper Dent* 2003;28: 242-50
199. Huang FM, Chang YC. Cytotoxicity of resin-based restorative materials on human pulp cell cultures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radio Endod* 2002;94:361-5
200. Yap AU, Saw TY, Cao T, Ng MM. Composite cure and pulp-cell cytotoxicity associated with LED curing lights. *Oper Dent* 2004;29:92-9
201. Danesh G, Davids H, Duda S, Kaup M, Ott K, Schafer E. Temperature rise in the pulp chamber induced by a conventional halogen light-curing source and a plasma arc lamp. *Am J Dent* 2004;17:203

RÉSUMÉ

Le sujet traité, est un composant majeur de notre arsenal thérapeutique. Le collage aux tissus dentaires est désormais un acte quotidien de la dentisterie, En effet, le collage a connu des changements révolutionnaires au cours de ces deux dernières décennies, et, en conséquence, l'arsenal thérapeutique de l'orthodontiste a grandement évolué. La maîtrise du collage est un maillon clé de la chaîne technique nécessaire à la fiabilité du traitement orthodontique

SUMMARY

The treated subject is a major component of our therapeutic arsenal. The bonding on dental tissue is now a daily practice in dentistry. Indeed, bonding has known revolutionary changes over the last two decades, and the orthodontist's therapeutic arsenal has greatly evolved. The mastery of bonding is a key link in the technical chain necessary for the reliability of orthodontic treatment