

UNIVERSITE DE STRASBOURG  
FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année 2021

N°48

**THESE**

Présentée pour le Diplôme d'Etat de Docteur en Chirurgie Dentaire  
le 16/09/2021

par

ESQUENET Matthieu  
né le 30/10/1993 à LILLE

**APPORT DU NUMERIQUE  
DANS LES PROTOCOLES DE  
COLLAGE INDIRECT DES DISPOSITIFS  
ORTHODONTIQUES MULTI-ATTACHES**

Président : Professeur CLAUSS François

Assesseurs : Docteur ETIENNE Olivier

Docteur BOLENDER Yves

Docteur KAMM Quentin



## FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE DE STRASBOURG

**Doyen : Professeur Corinne TADDEI-GROSS**

**Doyens honoraires : Professeur Robert FRANK**

**Professeur Maurice LEIZE**

**Professeur Youssef HAIKEL**

**Professeurs émérites : Professeur Henri TENENBAUM**

**Responsable des Services Administratifs : Mme Françoise DITZ-MOUGEL**

### Professeurs des Universités

Vincent BALL	Ingénierie Chimique, Energétique - Génie des Procédés
Agnès BLOCH-ZUPAN	Sciences Biologiques
François CLAUSS	Odontologie Pédiatrique
Jean-Luc DAVIDEAU	Parodontologie
Youssef HAÏKEL	Odontologie Conservatrice - Endodontie
Olivier HUCK	Parodontologie
Marie-Cécile MANIERE	Odontologie Pédiatrique
Florent MEYER	Sciences Biologiques
Maryline MINOUX	Odontologie Conservatrice - Endodontie
Anne-Marie MUSSET	Prévention - Epidémiologie - Economie de la Santé - Odontologie Légale
Corinne TADDEI-GROSS	Prothèses
Béatrice WALTER	Prothèses
Matthieu SCHMITTBUHL	Sciences Anatomiques et Physiologiques, Occlusodontiques - Biomatériaux - Biophysique - Radiologie

*Délégation (Juin 2024)*

### Maîtres de Conférences

Youri ARNTZ	Biophysique moléculaire
Sophie BAHL-GROSS	Chirurgie Buccale - Pathologie et Thérapeutique - Anesthésiologie et Réanimation
Yves BOLENDER	Orthopédie Dento-Faciale
Fabien BORNERT	Chirurgie Buccale - Pathologie et Thérapeutique - Anesthésiologie et Réanimation
Abdessamad BOUKARI	Chirurgie Buccale - Pathologie et Thérapeutique - Anesthésiologie et Réanimation
Claire EHLINGER	Odontologie Conservatrice - Endodontie
Olivier ETIENNE	Prothèses
Florence FIORETTI	Odontologie Conservatrice - Endodontie
Catherine-Isabelle GROS	Sciences Anatomiques et Physiologiques - Biophysique - Radiologie
Sophie JUNG	Sciences Biologiques
Nadia LADHARI	Sciences Anatomiques et Physiologiques, Occlusodontiques - Biomatériaux - Biophysique
<i>Disponibilité (Nov. 2020)</i>	
Davide MANCINO	Odontologie Conservatrice - Endodontie
Damien OFFNER	Prévention - Epidémiologie - Economie de la Santé - Odontologie Légale
Catherine PETIT	Parodontologie
François REITZER	Odontologie Conservatrice - Endodontie
Martine SOELL	Parodontologie
Marion STRUB	Odontologie Pédiatrique
Xavier VAN BELLINGHEN	Prothèses
Delphine WAGNER	Orthopédie Dento-Faciale
<i>Délégation (Août 2021)</i>	
Etienne WALTMANN	Prothèses

### Equipes de Recherche

Nadia JESSEL	INSERM / Directeur de Recherche/Directrice d'UMR
Philippe LAVALLE	INSERM / Directeur de Recherche
Pierre SCHAAF	UNISTRA / Professeur des Universités / Directeur d'UMR
Bernard SENGHER	INSERM / Directeur de Recherche

**A Monsieur le Professeur François CLAUSS**

Professeur des Universités

Praticien Hospitalier

Unité Fonctionnelle d'Odontologie Pédiatrique

*Merci de m'avoir fait l'honneur d'accepter la présidence de cette thèse.*

*Veillez trouver ici l'expression de ma profonde reconnaissance.*

**A Monsieur le Docteur Olivier ETIENNE**

Maître de Conférences des Universités

Praticien Hospitalier

Unité Fonctionnelle de Prothèses

*Merci de m'avoir fait l'honneur de participer à ce jury de thèse.  
Veuillez trouver ici l'expression de mon respect et sincère estime.*

**A Monsieur le Docteur Yves BOLENDER**

Maître de Conférences des Universités

Praticien Hospitalier

Unité Fonctionnelle d'Orthopédie Dento-Faciale

*Merci de m'avoir fait l'honneur et le plaisir de diriger cette thèse.  
Merci pour votre investissement, votre implication et l'excellence de la formation en  
Orthodontie de Strasbourg.  
Vous trouverez ici l'assurance de mon plus profond respect et de ma sincère  
gratitude.*

**A Monsieur le Docteur Quentin KAMM**

Assistant Hospitalo-Universitaire

Unité Fonctionnelle d'Orthopédie Dento-Faciale

*Merci de m'avoir fait l'honneur et le plaisir d'accepter la direction de cette thèse.  
Merci pour votre soutien, votre réactivité et vos conseils, tant pour cette thèse que  
pour le mémoire, qui m'ont été extrêmement précieux.  
Veuillez trouver ici l'expression de ma plus grande gratitude et de mon plus grand  
respect*

**A mes parents.** Merci pour votre soutien sans faille depuis toujours, et l'éducation que vous m'avez apportée, sans lesquels je ne serai pas là aujourd'hui. Votre fils qui vous aime très fort.

**A mon frère, Pierre.** Pour toutes ces « soirées », séances de sport, et tout ce qui va avec. Merci pour ce soutien quotidien que tu m'apportes sans même t'en rendre compte.

**A ma sœur, Marion.** Pour toute la musique que l'on a faite et écoutée, ces discussions, ta bonté à toute épreuve et cette unicité qui te caractérise. Tu es une source d'inspiration pour moi dans bien des domaines.

**A mes grands-parents et toute ma famille,** sur qui j'ai toujours pu compter les yeux fermés.

**A Guigui, Nathan, Val, et tous mes amis présents et passés,** qui ont rendu ce chemin bien plus facile qu'il n'aurait pu l'être.

**A mes co-internes Strasbourgeois,** pour ces moments inoubliables, conseils, et votre présence au quotidien.

**A mes camarades d'externat Lillois, Nicolas, Coralynne** et les autres, sans qui la clinique aurait été bien moins joyeuse. Merci notamment à mon binôme **Grégoire**, ton sérieux et ta bonne humeur ont non seulement influé positivement sur mon quotidien en clinique, mais m'ont également aidé à réussir le concours de l'internat.

**A tous les anciens internes,** dont les conseils m'ont permis d'arriver jusqu'ici.

**A Mr Jean-François Coblentz,** pour les informations et l'impression des pièces.

**A toute l'équipe de l'Unité Fonctionnelle d'Orthopédie Dento-Faciale du CHU de Strasbourg,** pour vos inestimables conseils, et votre investissement de tous les jours. Je n'aurais pas pu rêver d'un meilleur encadrement pour ma formation.

**A Andrea.** Pour ces moments et ces années à mes côtés. Que nos chemins nous mènent chacun vers la joie.

**A Daniela, mi guapita.** Pour ce que l'on partage, le soutien que tu m'apportes, ta générosité, et ta joie de vivre qui m'inspire tellement. Tu fais de moi quelqu'un de meilleur. Gracias por existir.

UNIVERSITE DE STRASBOURG  
FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année 2021

N°48

**THESE**

Présentée pour le Diplôme d'Etat de Docteur en Chirurgie Dentaire  
le 16/09/2021

par

ESQUENET Matthieu  
né le 30/10/1993 à LILLE

**APPORT DU NUMERIQUE  
DANS LES PROTOCOLES DE  
COLLAGE INDIRECT DES DISPOSITIFS  
ORTHODONTIQUES MULTI-ATTACHES**

Président : Professeur CLAUSS François

Assesseurs : Docteur ETIENNE Olivier

Docteur BOLENDER Yves

Docteur KAMM Quentin

# SOMMAIRE

<b>Introduction</b>	<b>7</b>
<b>I. Historique</b>	<b>9</b>
<b>1. Techniques traditionnelles de collage indirect des dispositifs multi-attaches</b>	<b>9</b>
a. Réalisation du modèle de travail	9
b. Conception et positionnement du dispositif	11
c. Confection du guide de transfert	13
<b>2. Notions élémentaires de collage</b>	<b>17</b>
a. Cahier des charges des systèmes de collage en orthodontie	17
b. Notion d'interfaces de collage	18
c. Colles utilisées pour le collage des attaches orthodontiques	20
<b>3. Introduction du numérique en orthodontie</b>	<b>25</b>
<b>II. Equipements nécessaires au collage indirect des dispositifs multi-attaches</b>	<b>27</b>
<b>1. Les scanners intra-oraux</b>	<b>27</b>
a. Principes de fonctionnement	27
b. Les différentes caractéristiques et options disponibles	31
<b>2. Les logiciels</b>	<b>32</b>
<b>3. Les imprimantes 3D</b>	<b>33</b>
a. Les imprimantes à filaments	33
b. Les imprimantes à résine	36
<b>III. Les protocoles de collages indirects numériques des dispositifs multi-attaches</b>	<b>42</b>
<b>1. Protocole 1 : Impression du maître modèle, positionnement physique des attaches sur le modèle imprimé et confection d'une gouttière de transfert</b>	<b>42</b>
a. Acquisition des documents cliniques et radiologiques	42
b. Préparation des modèles	43
c. Impression des maîtres-modèles	43
d. Positionnement physique des attaches sur les maîtres-modèles	44
e. Confection du guide de transfert	44
f. Protocole clinique de collage indirect	45

<b>2. Protocole 2 : Positionnement virtuel des attaches, impression du maître-modèle avec attaches et confection d'une gouttière de transfert</b>	<b>47</b>
a. Acquisition des documents cliniques et radiologiques	47
b. Préparation des modèles	47
c. Positionnement virtuel des attaches	47
d. Conception virtuelle du maître-modèle	52
e. Impression du maître modèle	57
f. Confection du guide de transfert	58
g. Positionnement physique des attaches dans le guide de transfert	58
h. Protocole clinique de collage indirect	58
<b>3. Protocole 3 : Positionnement virtuel des attaches et impression de la gouttière de transfert</b>	<b>59</b>
a. Acquisition des documents cliniques et radiologiques	59
b. Préparation des modèles	59
c. Positionnement virtuel des attaches	59
d. Conception virtuelle du maître modèle	59
e. Conception virtuelle du guide de transfert	59
f. Impression du guide de transfert	62
g. Positionnement physique des attaches dans le guide de transfert	63
h. Protocole clinique de collage indirect	63
<b>IV. Revue de la littérature</b>	<b>66</b>
<b>1. Temps de travail total et temps au fauteuil</b>	<b>66</b>
<b>2. Précision du positionnement des attaches</b>	<b>67</b>
<b>3. Précision des transferts de collage</b>	<b>68</b>
<b>4. Taux de décollements</b>	<b>68</b>
a. Taux de décollement immédiat	68
b. Taux de décollement global	69
<b>5. Coût</b>	<b>69</b>
<b>Conclusion</b>	<b>71</b>

## TABLE DES FIGURES ET TABLEAUX

Figure 1 : Mach-2 Die Silicone®	Figure 2 : Blu-Mousse® .....	10
Figure 3 : Modèle en silicone, attaches positionnées .....		
11		
Figure 4 : Tracés déterminant le positionnement des attaches <sup>7</sup> .....		
11		
Figure 5 : Emiluma®, silicone transparent de faible viscosité	Figure 6 : Memosil 2®, silicone transparent de haute viscosité .....	15
Figure 7 : Fabrication d'une gouttière en silicone transparent <sup>8</sup> .....		
15		
Figure 8 : Fabrication d'une double gouttière thermoformée <sup>7</sup> .....		
16		
Figure 9 : Coupe longitudinale d'une attache collée. <sup>9</sup> .....		
18		
Figure 10 : Maillage de l'intrados d'une attache .....		
19		
Figure 11: Interfaces de collage. a : Quatre interfaces, le plus fréquent en collage indirect. b : Trois interfaces, le plus fréquent en collage direct. c : Deux interfaces, situation idéale. (Courtoisie du Dr Kamm) .....		
19		
Figure 12 : Adhésif Transbond XT® de 3M .....		
20		
Figure 13 : Système Concise® de 3M, présentant l'adhésif et le composite de collage .....		
21		
Figure 14 : Adhésif Transbond MIP® de 3M .....		
21		
Figure 15 : Adhésif Transbond Plus SEP® de 3M.....		
22		
Figure 16 : Composite de collage Transbond XT® de 3M.....		
22		
Figure 17 : Composite de collage NX3 ® de Kerr.....		
23		
Figure 18 : RelyX™ Unicem de 3M .....		
24		
Figure 19 : Ketac® Cem Plus de 3M .....		
24		
Figure 20 : Trios®	Figure 21 : iTero®	Figure 22 : i500® .....
27		
Figure 23 : Triangulation laser <sup>17</sup> .....		
28		
Figure 24 : Imagerie confocale parallèle <sup>17</sup> .....		
29		
Figure 25 : Projection de franges de lumière <sup>17</sup> .....		
30		

Figure 26 : L'acquisition vidéo 3D in-motion <sup>17</sup> .....	30
Figure 27 : Caméra du Trios® de 3Shape, sans poignée et avec poignée .....	31
Figure 28 : Technologie d'impression par dépôt de fil fondu <sup>23</sup> .....	33
Figure 29 : Imprimante Zortrax M200 .....	34
Figure 30 : Bobines de filaments en PLA.....	35
Figure 31 : Technologie d'impression par DLP <sup>25</sup> .....	36
Figure 32 : Technologie d'impression par SLA <sup>26</sup> .....	37
Figure 33 : Rapports entre vitesse d'impression et nombre d'éléments à imprimer .....	38
Figure 34 : Rapports entre qualité d'impression et surface d'impression .....	39
Figure 35 : Imprimante Nextdent 5100	Figure 36 : Imprimante MoonRay S.....
	39
Figure 37 : Individualisation des dents .....	48
Figure 38 : Placement des points de référence anatomiques sur la dent 16 .....	48
Figure 39 : Superposition du modèle numérique et du CBCT .....	49
Figure 40 : Positionnement de l'arc maxillaire .....	50
Figure 41 : Positionnement de l'arc mandibulaire .....	50
Figure 42 : Positionnement des attaches .....	51
Figure 43 : Comparaison du modèle de malocclusion et du set-up .....	52
Figure 44 : Maître-modèle avec des marqueurs .....	53
Figure 45 : Maître-modèle avec des gabarits.....	54
Figure 46 : Décalage de la surface interne, vue de face Gauche : Valeur du décalage de la surface interne de -3 mm Droite : Valeur du décalage de la surface interne de 3 mm	54
Figure 47 : Angle de blocage, vue de face Gauche : Valeur de l'angle de blocage de -10° Droite : Valeur de l'angle de blocage de 10° .....	55
Figure 48 : Angle de blocage, vue occlusale Gauche : Valeur de l'angle de blocage de -10° Droite : Valeur de l'angle de blocage de 10° .....	55

<b>Figure 49 : Valeur de rétention, vue de face Gauche : Valeur de rétention de -2mm Droite : Valeur de rétention de 2mm .....</b>	<b>56</b>
<b>Figure 50 : Valeur de rétention, vue occlusale Gauche : Valeur de rétention de -2mm Droite : Valeur de rétention de 2mm .....</b>	<b>56</b>
<b>Figure 51 : Longueur d'extension, vue occlusale Gauche : Valeur de la longueur d'extension de 1mm Droite : Valeur de la longueur d'extension de 5mm.....</b>	<b>57</b>
<b>Figure 52 : Points définissant le spline du transfert de collage .....</b>	<b>60</b>
<b>Figure 53 : Création du guide de transfert et modification de ses dimensions.....</b>	<b>61</b>
<b>Figure 54: Diminution de la hauteur de la gouttière .....</b>	<b>61</b>
<b>Figure 55 : Mise en place du champ opératoire : OptraGate® et Nola®.....</b>	<b>63</b>
<b>Figure 56 : Mordançage des dents mandibulaires à l'acide orthophosphorique 35%.....</b>	<b>64</b>
<b>Figure 57 : Photopolymérisation de la colle sous pression contrôlée à l'aide d'une Shure, après application de l'adhésif et insertion du guide de transfert .....</b>	<b>64</b>
<b>Figure 58 : Désinsertion de la gouttière avec une curette .....</b>	<b>65</b>
<b>Figure 59 : Arcades maxillaire et mandibulaire collées, après retrait des excès de colle et mise en place des arcs orthodontiques.....</b>	<b>65</b>

## Introduction

Au début du 20<sup>ème</sup> siècle, l'orthodontie moderne voit le jour. Les dispositifs orthodontiques fixes étaient initialement constitués par des attaches soudées à des bagues en or ou en acier faisant le tour des dents. Leur mise en place nécessitait la création d'un espace inter-proximal entre chaque dent baguée via l'utilisation de séparateurs métalliques ou élastomériques. Cette procédure était longue, fastidieuse et très inconfortable pour le patient ; il se posait également le problème des diastèmes résiduels en fin de traitement, après la dépose de toutes les bagues.

L'avènement du collage à l'émail a vu le jour dans les années 1960 aux Etats-Unis et au Japon, via les travaux de Newman <sup>1 2 3</sup> et de Miura <sup>4</sup>. De nombreuses études et évolutions ont conduit aux techniques de collage des attaches orthodontiques que l'on connaît aujourd'hui. De nos jours, la procédure de collage direct est très bien connue. Elle consiste à positionner les attaches orthodontiques une à une, sans l'utilisation de guide de transfert. Cette technique est relativement chronophage en temps au fauteuil et demande une concentration soutenue de la part de l'opérateur pendant toute la procédure. Malgré cela des erreurs de positionnement peuvent être souvent réalisées du fait des difficultés d'accès en raison d'une ouverture buccale limitée ou d'un champ de vision réduit par les tissus mous du patient (lèvres et joues). Ces erreurs de positionnement pourront avoir pour conséquence des mouvements indésirables de premier, deuxième ou troisième ordre (rotation, tip ou torque).

La technique de collage indirect des dispositifs multi-attaches a été développée en 1972 par Silvermann et Cohen <sup>5</sup>. Cette technique implique une étape de laboratoire en plus de l'étape clinique. Le principe est de prédéterminer le positionnement des attaches en dehors de la bouche du patient, puis de coller toute une arcade à la fois. Cela permet d'avoir une bonne visibilité et de prendre suffisamment de temps pour le placement des attaches, tout en réduisant le temps et la concentration nécessaires lors de la procédure clinique au fauteuil.

De nos jours, le collage indirect semble être de plus en plus pratiqué par les orthodontistes. Aux Etats-Unis, l'équipe de Keim et coll. est connu pour la réalisation d'études évaluant régulièrement les pratiques orthodontiques. Ces études ont montré qu'en 2014 et 2020, environ 10% des orthodontistes américains pratiquaient le collage indirect de manière routinière dans leur cabinet <sup>6</sup>.

Le but de ce travail est d'illustrer l'apport des technologies numériques dans le processus de collage indirect, et de fournir un guide de mise en œuvre de cette technique au sein des cabinets d'orthodontie.

# I. Historique

## 1. Techniques traditionnelles de collage indirect des dispositifs multi-attaches

De manière traditionnelle et selon la technique originelle développée par Silverman <sup>5</sup>, le positionnement des attaches se réalise sur des maîtres-modèles en plâtre, puis plus récemment sur des maîtres-modèles coulés en silicone. Dans les deux cas, il y a quatre temps nécessaires : la **réalisation du modèle de travail**, la **conception et le positionnement du dispositif** sur le modèle de travail, la **confection du guide de transfert**, et le **collage en bouche** au moyen de ce guide. Les trois premiers temps sont des étapes de laboratoire que nous allons développer dans cette partie.

### a. Réalisation du modèle de travail

#### ▪ Les modèles en plâtre

Les empreintes peuvent être réalisées en alginate ou en silicone. Elles sont ensuite coulées en plâtre dur, puis les modèles obtenues seront séchés au moins pendant 24 heures <sup>7</sup>.

Les avantages des modèles en plâtre sont :

- la possibilité d'utiliser une colle de laboratoire,
- la possibilité de tracer des repères au crayon (axe de la dent et hauteur de collage).

Les inconvénients des modèles en plâtre sont :

- la nécessité de mise en place d'un vernis d'isolation, qui risque de contaminer l'intrados du talon de composite,
- la procédure de réalisation des modèles, qui est longue et salissante,
- la fragilité du plâtre en cas de choc.

## ▪ Les modèles en silicone

Les empreintes sont exclusivement prises en alginat. Après avoir séché minutieusement les empreintes, la coulée des modèles se fait en deux étapes. Tout d'abord, les dents sont coulées avec un silicone fluide, comme le Mach-2 Die Silicone® (Figure 1), en remplissant chaque alvéole du fond à la surface par des mouvements hélicoïdaux et en laissant dépasser le matériau de 2 mm au niveau du collet de chaque dent. Puis le socle est coulé avec un silicone à viscosité plus importante, comme le Blu-Mousse® (Figure 2). L'ensemble est de suite retourné sur une surface plane pour aplanir le socle durant la prise des silicones. La désinsertion du modèle est ensuite relativement aisée.

Les avantages des modèles en silicone (Figure 3) sont :

- leur grande rigidité,
- la procédure de réalisation qui est rapide et non salissante,
- l'absence de vernis isolant (pas de contamination des talons de composite).

Les inconvénients des modèles en silicone sont :

- le coût plus élevé que le plâtre,
- l'impossibilité de tracer des repères,
- la fragilité en cas de choc (moindre que le plâtre).



Figure 1 : Mach-2 Die Silicone®



Figure 2 : Blu-Mousse®



Figure 3 : Modèle en silicone, attaches positionnées

b. Conception et positionnement du dispositif

▪ **Sur des modèles en plâtre**

Le principal avantage du plâtre, c'est la possibilité de tracer au crayon des repères afin de faciliter le positionnement des attaches <sup>7</sup>. Un premier tracé vertical permet de repérer l'axe longitudinal de chaque dent. Un second tracé est réalisé, d'une autre couleur, afin de repérer la ligne joignant les crêtes marginales des prémolaires et molaires. Puis une troisième ligne, parallèle au second tracé, est réalisée au niveau de la première molaire afin de placer la référence de hauteur de collage qui dépend de la situation clinique. Cette hauteur est ensuite reportée au niveau des autres dents postérieures et permet de s'assurer un alignement des crêtes marginales dans le sens vertical (Figure 4).

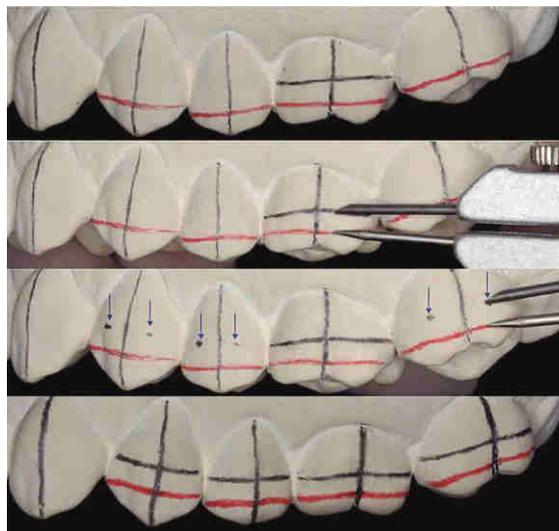


Figure 4 : Tracés déterminant le positionnement des attaches <sup>7</sup>

Les attaches peuvent ensuite être positionnées sur le modèle de travail, avec ou sans talon de composite.

### Sans talon de composite

Il n'y a pas d'application de vernis d'isolation dans ce cas. Une couche de colle de laboratoire est appliquée sur l'intrados de l'attache. Cette colle doit être soluble intégralement dans l'eau afin de faciliter son élimination ainsi que la désinsertion du guide de transfert que nous allons ensuite réaliser. Une colle largement utilisée pour cette étape est le Laboratory Adhesive® (3M). Une fois les attaches positionnées sur le modèle, la colle durcit rapidement et aucun déplacement supplémentaire de l'attache ne pourra être réalisé.

Une fois que le guide de transfert est réalisé sur ce modèle de travail (nous verrons comment ultérieurement), l'ensemble est placé dans de l'eau afin de dissoudre la colle de laboratoire et d'humidifier le modèle. Le guide de transfert peut alors être aisément désinséré et le restant de colle de laboratoire, dans l'intrados des attaches, est éliminé avec de l'eau puis de l'acétone. Dans cette technique, l'intrados des attaches est complètement nu et libre de toute substance.

Cette technique présente comme avantage de ne pas nécessiter de pose de vernis d'isolation. Le fait que l'intrados soit nu signifie que l'on diminue le nombre d'interfaces de collage, et donc que l'on diminue le risque d'échec lors du collage. Cependant, elle présente comme inconvénients un temps de travail réduit pour le positionnement des attaches et l'absence d'intrados anatomiques et individualisés. Ce dernier point signifie que l'épaisseur de composite de collage peut être variable, et que l'estimation de la quantité nécessaire le jour du collage peut être difficile et engendrer soit des excès à retirer après polymérisation, soit des manques sous forme de hiatus.

### Avec talon de composite

Une fois les tracés effectués sur le modèle de travail, une couche de vernis hydrosoluble isolant plâtre-résine est appliquée et laissée sécher durant environ 24 heures (par exemple KFO-Isoliermittel® de Scheu). Du composite de collage est

ensuite appliqué dans l'intrados des attaches, avant de les positionner une à une sur le modèle. Les excès de composite sont retirés et la polymérisation est effectuée.

Le composite de collage peut être photopolymérisable (par exemple Transbond XT® de 3M) ou autopolymérisable (par exemple Concise® de 3M). Le principal avantage du photopolymérisable est le temps de travail illimité, permettant des ajustements à volonté de la position de chaque attache.

Suite à la confection du guide de transfert, l'ensemble sera placé dans de l'eau afin de dissoudre le vernis isolant, permettant une désinsertion aisée du guide. L'intrados des attaches présente donc à ce stade un talon de composite individualisé, ce qui correspond à un avantage de cette technique. En effet, l'estimation de quantité de colle nécessaire pour le collage est ainsi plus aisée. Les inconvénients de cette technique sont l'utilisation d'un vernis isolant qui peut, dans certains cas, contaminer l'intrados du talon de composite. De plus, ce talon de composite peut rester collé sur le plâtre malgré la présence du vernis isolant.

#### ▪ **Sur des modèles en silicone**

Le positionnement des attaches sur le modèle en silicone se fait obligatoirement avec la mise en place de talons de composite. Il n'y a pas d'application de vernis isolant, et le positionnement de chaque attache se réalise comme décrit précédemment sur modèle en plâtre avec talon de composite

Les avantages sont l'obtention de la surface d'intrados anatomique, et l'absence de risque de contamination des talons de composite par du vernis isolant. Il n'y a également pas besoin de plonger le modèle dans de l'eau avant la désinsertion du guide de transfert.

### c. Confection du guide de transfert

Un guide de transfert idéal doit présenter plusieurs caractéristiques : possibilité d'utiliser un large choix de systèmes de collage ; bonne rétention des attaches ; précision et stabilité ; facilité de désinsertion ; et fabrication aisée.

Ce guide de transfert peut être réalisé de quatre façons différentes : en **silicone opaque**, en **silicone transparent**, en **double gouttière thermoformée**, et de manière **hybride** (silicone et thermoformage).

- **Gouttière en silicone opaque**

Un silicone de faible viscosité est appliqué sur le modèle en englobant la totalité des attaches, puis un silicone de haute viscosité est appliqué en englobant toute l'arcade. Après lissage, autopolymérisation et désinsertion, le transfert est contouré au bistouri pour retirer les excès en conservant une extension gingivale de 2mm au-delà des collets en vestibulaire.

L'avantage de ce type de gouttière est la rigidité couplée à la stabilité du matériau, qui lui donne une excellente précision. L'inconvénient est l'utilisation obligatoire d'un système de collage autopolymérisable.

- **Gouttière en silicone transparent**

On réalise un emboilage du modèle avec de la cire collante pour délimiter la future gouttière, à 2mm de distance du collet des dents en vestibulaire et en lingual (Figure 3). Un silicone transparent de faible viscosité, tel que l'Emiluma® (société Ultradent) (Figure 5), est appliqué au niveau de chaque attache, puis un silicone transparent de haute viscosité, comme le Lumaloc® (société Ultradent) (Figure 6) ou le Memosil 2® (société Kulzer), est appliqué par-dessus en englobant les faces occlusales, vestibulaires et linguales de l'arcade entière (Figure 7) <sup>8</sup>. Après lissage, polymérisation et désinsertion, le transfert est contouré au bistouri pour retirer les excès en conservant une extension gingivale de 2mm au-delà des collets en vestibulaire.

L'avantage de cette technique est l'utilisation possible d'un système de collage photopolymérisable. L'inconvénient est une rigidité et stabilité modérées (mais qui restent cliniquement acceptables).



Figure 5 : Emiluma®, silicone transparent de faible viscosité



Figure 6 : Memosil 2®, silicone transparent de haute viscosité

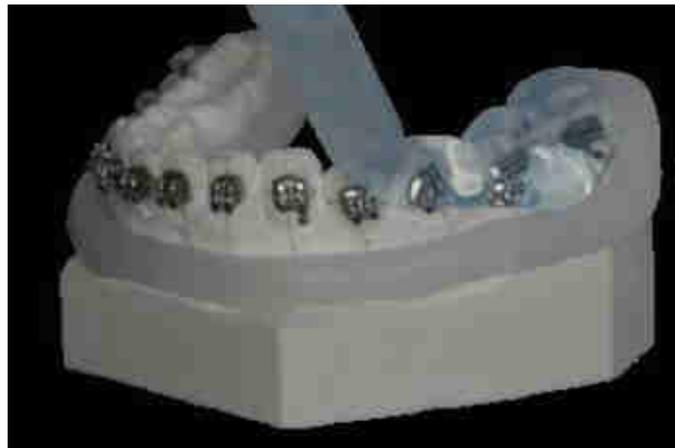


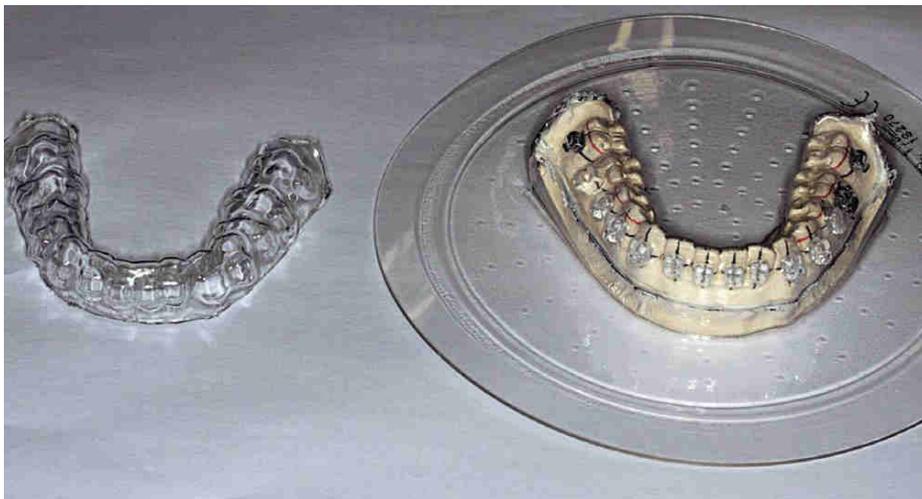
Figure 7 : Fabrication d'une gouttière en silicone transparent <sup>8</sup>

▪ **Double gouttière thermoformée**

On réalise un comblement des grandes zones de rétention à la cire, comme les crochets des molaires et des canines. On thermoforme sur le modèle de travail une première gouttière souple, tel que du Bioplast® 1,5mm (société Scheu Dental). Les attaches sont ensuite décollées du modèle sans déposer la gouttière. Elle est ensuite lubrifiée avec un spray de silicone ou de vaseline, puis on réalise une seconde gouttière rigide, par-dessus la première, par exemple en Duran® 0,75mm (société Scheu Dental). Les deux gouttières sont désinsérées. La rigide est découpée de

manière à ce que les limites passent entre la gorge des attaches et les ailettes gingivales, alors que la gouttière souple est découpée 2-3mm gingivalement par rapport aux collets (Figure 8).

Les avantages sont la possibilité d'utiliser un système de collage photopolymérisable, les bonnes rigidité et stabilité conférées par la gouttière rigide, et la dépose facile grâce à la gouttière souple. L'inconvénient est le risque de déplacer les attaches pendant la conception de la gouttière souple <sup>7</sup>.



**Figure 8 : Fabrication d'une double gouttière thermoformée <sup>7</sup>**

#### ▪ **Gouttière hybride**

Il s'agit de l'association d'une gouttière en silicone transparent et d'une gouttière thermoformée. On réalise le guide de transfert comme décrit pour la gouttière en silicone transparent. Puis la gouttière est lubrifiée avec un spray de silicone ou de vaseline avant de thermoformer par-dessus une gouttière rigide, par exemple en Duran® 0,75mm. L'ensemble est désinséré et la gouttière rigide est découpée de manière à ce que les limites passent entre la gorge des attaches et les ailettes gingivales. Cette technique présente, en plus des avantages de la gouttière en silicone transparent, une grande stabilité conférée par la gouttière thermoformée rigide.

Dans chaque technique, avant le collage, un microsablage à l'oxyde d'alumine 50µm de l'intrados des attaches peut être éventuellement réalisé afin de s'assurer de leur propreté et d'augmenter leur rétention mécanique.

## 2. Notions élémentaires de collage

### a. Cahier des charges des systèmes de collage en orthodontie

Les travaux des Drs Hitmi, Attal et Degrange<sup>9</sup> en 2002 ont permis de clarifier et de généraliser les connaissances sur le collage en dentisterie, et plus spécifiquement en orthodontie.

Certaines propriétés des systèmes de collage orthodontiques doivent être communes à tous les biomatériaux devant être appliqués dans la cavité buccale. Ils doivent tout d'abord présenter une **résistance aux agressions chimiques et physico-chimiques** du milieu buccal, que l'on retrouve lors des variations du pH et de la température liées aux prises alimentaires. Ils doivent également être **résistants à la solubilité**, dû à la présence permanente de la salive. Enfin, ces matériaux doivent être **biocompatibles**.

D'autres propriétés sont liées à l'application de ces matériaux dans le cadre orthodontique. Ils doivent présenter une **adhésion suffisante**, afin d'éviter le décollement des attaches, une **étanchéité immédiate et maintenue dans le temps**, pour prévenir les infiltrations bactériennes pouvant générer des leucomes et lésions carieuses sous le matériau, des **propriétés mécaniques suffisantes** mais non excessives, pour ne pas abîmer l'émail lors de la dépose des dispositifs, un **temps de travail suffisamment long** pour pouvoir coller plusieurs attaches en même temps, une **élimination aisée des excès de colle**, une **dépose facile des attaches** sans atteinte de l'intégrité de la surface amélaire, et enfin une **certaine tolérance à la manipulation en milieu humide**, une contamination salivaire étant possible lors des protocoles de collage.

Comme précisé par les auteurs, il n'existe à ce jour aucun système de collage respectant la totalité de ce cahier des charges. L'orthodontiste doit choisir son système

de façon éclairée en fonction des données disponibles, de ses affinités et de la situation clinique.

b. Notion d'interfaces de collage

Chaque composant constituant l'ensemble collé crée une interface avec le composant avec lequel il est en contact. Nous retrouvons trois composants : le substrat, qui est le plus souvent de l'émail mais qui peut également être un substrat artificiel (métal, céramique, résine, composite), la colle et l'attache (Figure 9) <sup>9</sup>.

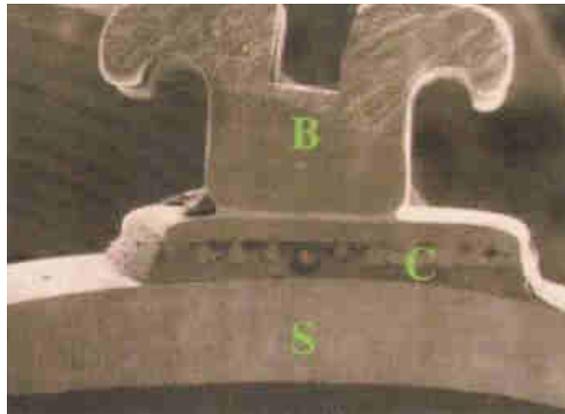
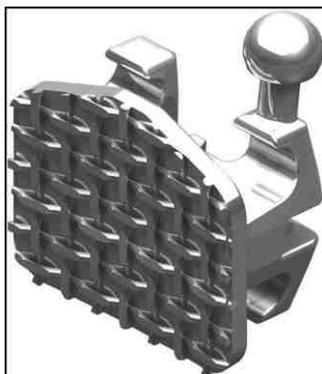


Figure 9 : Coupe longitudinale d'une attache collée. <sup>9</sup>

C : colle, B : attache, S : substrat.

Ces trois composants forment deux interfaces : l'interface **colle/substrat**, et l'interface **colle/attache**. L'étude de ces interfaces permet d'améliorer la qualité du collage.

L'interface colle/substrat dépend de la nature et des propriétés de la colle, ainsi que de la nature du traitement de surface du substrat. L'interface colle/attache dépend également de la nature et des propriétés de la colle, mais aussi de la nature et du traitement de la base de l'attache (Figure 10), qui sont réalisés par le fabricant.

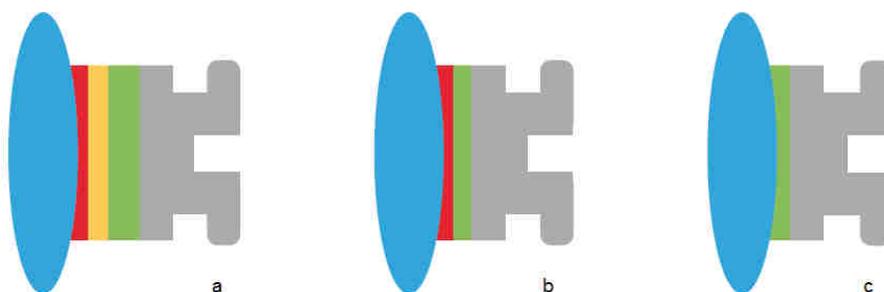


**Figure 10 : Maillage de l'intrados d'une attache permettant une interface colle/attache de bonne qualité <sup>10</sup>**

La présence de deux interfaces constitue la situation idéale (Figure 11.c), mais en réalité clinique, nous retrouvons plutôt trois interfaces, car la colle est constituée de l'adhésif et du composite de collage, qui constituent deux entités à part entière. Ces interfaces sont **attache/composite de collage**, **composite de collage/adhésif**, **adhésif/substrat** (Figure 11.b).

Lors du collage indirect, selon la technique utilisée, un quatrième composant peut entrer en jeu : le talon de composite, qui permet le positionnement de l'attache sur le modèle de travail. Cela implique la présence de quatre interfaces : attache/talon, talon/composite de collage, composite de collage/adhésif, adhésif/substrat (Figure 11.a).

Plus le nombre d'interfaces est élevé, plus le risque de défaut au niveau d'une des interfaces est élevé, et donc plus la qualité du collage a de risque d'être altérée.



**Figure 11: Interfaces de collage.**  
**a : Quatre interfaces, le plus fréquent en collage indirect.**  
**b : Trois interfaces, le plus fréquent en collage direct.**  
**c : Deux interfaces, situation idéale.**  
*(Courtoisie du Dr Kamm)*

### c. Colles utilisées pour le collage des attaches orthodontiques

Comme indiqué précédemment, la grande majorité de colle utilisée en orthodontie est constituée d'adhésif et de composite de collage, chacun étant représenté par plusieurs familles.

#### ▪ Les adhésifs

##### Les adhésifs hydrophobes

Ils nécessitent un mordantage et un rinçage préalable. Ce sont des flacons de liquides prêts à l'emploi, présentant des valeurs d'adhérence élevée. Ce sont les plus utilisés en orthodontie, avec un taux d'échec acceptable de 7% <sup>11</sup>. Ils sont cependant sensibles à la manipulation et à la contamination salivaire. Du fait de leurs propriétés mécaniques élevées, leur dépose peut être difficile, notamment avec des attaches en céramique où des pertes d'émail peuvent être observées. Un des systèmes les plus connus est le Transbond XT® de la société 3M, qui est un adhésif photopolymérisable (Figure 12).



**Figure 12 : Adhésif Transbond XT® de 3M**

Il existe également des adhésifs hydrophobes autopolymérisables, se présentant sous forme de deux liquides à mélanger. Le plus connu est le Concise ® de la société 3M (Figure 13).



**Figure 13 : Système Concise® de 3M, présentant l'adhésif et le composite de collage**

### Les adhésifs hydrophiles

Ils nécessitent également un mordantage et un rinçage préalables. Ce sont des solutions photopolymérisables prêtes à l'emploi constituées d'une résine hydrophobe, de monomères hydrophiles améliorant le mouillage et l'infiltration de la résine sur une surface humide, et d'un solvant (alcool ou acétone) permettant de chasser l'humidité de la surface du substrat. Ils sont donc moins sensibles à l'humidité mais doivent être rendus hydrophobes avant d'être mis en contact avec le composite de collage, par séchage à la seringue à air. Le produit le plus connu est le Transbond MIP® de la société 3M (Figure 14).



**Figure 14 : Adhésif Transbond MIP® de 3M**

### Les adhésifs auto-mordants

Leur principe repose sur une déminéralisation et une infiltration simultanées de la résine, ils ne nécessitent donc pas de mordantage préalable. Ce sont des systèmes hydrophiles, et doivent également être rendus hydrophobes avant d'être mis en

contact avec le composite de collage par séchage à la seringue à air (évaporation du solvant). Ils se présentent souvent sous forme de deux liquides à mélanger dans des doses à usage unique. Un exemple connu est le Transbond Plus SEP® de la société 3M (Figure 15).



Figure 15 : Adhésif Transbond Plus SEP® de 3M

- **Les composites de collage**

- [Les composites de collage photopolymérisables](#)

Ils se présentent sous forme de pâte prête à l'emploi. Leur temps de travail est illimité et la manipulation est aisée. Le temps de photopolymérisation de nos jours est rapide : 6 voire 3 secondes selon les lampes à photopolymériser <sup>12</sup>, mais est influencé par la nature du matériau de l'attache. En effet le composite sera mieux polymérisé sous une attache en céramique, qui laisse passer la lumière, par rapport à une attache métallique opaque. Une colle largement utilisée pour le collage des attaches est le Transbond XT® de la société 3M (Figure 16).



Figure 16 : Composite de collage Transbond XT® de 3M

### Les composites de collage autopolymérisables

Ils se présentent sous la forme de deux pâtes à mélanger, et ne sont pas compatibles avec les adhésifs auto-mordançants. Le temps de travail est restreint et varie selon le ratio du mélange base/catalyseur. Un exemple de système de collage autopolymérisable est le Concise® de la société 3M (Figure 13).

### Les composites de collage duals

Ils se présentent sous la forme de seringues auto-mélangeuses et ne sont pas compatibles avec les adhésifs auto-mordançants. Leur temps de travail est également restreint, mais le ratio base/catalyseur ne peut pas être modifié. Un des systèmes les plus connus est le NX3® de Kerr (Figure 17).



Figure 17 : Composite de collage NX3 ® de Kerr

Il existe également d'autres systèmes de collage utilisés en orthodontie, pour lesquels un adhésif n'est pas forcément nécessaire. Ce sont les colles auto-adhésives et les ciments verre-ionomère modifiés par adjonction de résine (CVIMAR).

#### ▪ **Les colles auto-adhésives**

Il s'agit d'un mélange de deux pâtes via une seringue auto-mélangeuse. Elles sont duales, hydrophiles et automordançantes. Cependant, il a été démontré par Mavreas et coll. en 2017, qu'un mordantage préalable de l'émail à l'acide orthophosphorique diminuait significativement le taux de décollements des attaches <sup>13</sup>.

Elles sont utilisées en orthodontie principalement dans le cadre du collage indirect des attaches en technique linguale, et le système le plus connu est le RelyX™ Unicem 2 de la société 3M (Figure 18).



Figure 18 : RelyX™ Unicem de 3M

#### ▪ Les CVIMAR

Ils s'agit de mélange poudre-liquide préparé par spatulation manuelle, par vibration de capsules pré-dosées ou par utilisation d'une seringue auto-mélangeuse. Il s'agit d'un ciment hydrophile, dont l'adhésion se fait de manière mécanique et chimique. Ils existent sous forme photopolymérisable, autopolymérisable ou duale. Malgré leur libération de fluor, il ne semble pas que les CVIMAR réduisent le taux d'apparition de lésions précarieuses chez les patients en traitement orthodontique multi-attaches vestibulaire, d'après l'essai clinique contrôlé randomisé multi-centrique mené par Benson et coll. en 2019 <sup>14</sup>. D'après ces mêmes auteurs, les taux de décollement de ces ciments sont comparables aux taux de décollement des composites de collages photopolymérisables classiques. Un exemple de ces ciments, sous forme duale, est le Ketac® Cem Plus de la société 3M (Figure 19).



Figure 19 : Ketac® Cem Plus de 3M

### 3. Introduction du numérique en orthodontie

Dans la plupart des domaines de la santé, l'évolution tend vers la digitalisation des informations et des données du patient, telles que les dossiers médicaux, les radiographies et les photographies. Les débuts de la prise d'empreinte numérique en dentisterie datent des années 1980, suite aux travaux d'un français, le professeur François Duret. La conception et la fabrication assistées par ordinateur des appareillages en laboratoire de prothèses se font de manière quotidienne depuis plusieurs années, que ce soit via des empreintes numériques ou via des modèles physiques scannés.

En orthodontie, l'utilisation de la technologie numérique au fauteuil est plus récente, mais est en grande expansion ces dernières années. La dernière étude de Keim et coll. de 2020 <sup>6</sup> concernant les habitudes en terme de pratique des orthodontistes aux Etats-Unis soulignait que 64% des orthodontistes répondants utilisaient des modèles numériques à un stade du traitement orthodontique, contre 41% en 2014 et 26% en 2008. Les auteurs ont également remarqué une baisse en conséquence de l'utilisation des modèles physiques en plâtre. Ces modèles numériques sont acquis via des scanners intra-oraux de différents fabricants, et permettent la visualisation des arcades dentaires du patient soit directement sur l'ordinateur, soit par impression de modèles physiques au moyen d'une imprimante 3D.

Parmi les avantages souvent cités par les auteurs concernant le passage au numérique, on retrouve tout d'abord la facilité de stockage. Ce point est important car en France, selon l'article R.1112-7 du Code de la Santé Publique, le dossier orthodontique et donc les moulages sont à conserver pour une durée de 20 ans après la dernière consultation du patient <sup>15</sup>. Le fait de conserver des moulages physiques durant une durée aussi longue peut poser rapidement des problèmes de stockage. D'autres avantages sont l'accès et la manipulation des documents, mais également la communication. Il est en effet possible, d'une part, d'échanger facilement avec le patient sur un écran en lui exposant les diagnostic et plan de traitement de manière pédagogique, et d'autre part, de communiquer beaucoup plus facilement avec d'autres professionnels de santé dans les cas de traitements pluridisciplinaires, via des échanges de documents par mail.

En plus de cela, depuis quelques années, les nouvelles technologies permettent de réaliser une partie du travail de laboratoire en cabinet, via le développement de logiciels de conception des appareillages et d'imprimantes 3D. La mise en place d'un système permettant de réaliser des collages indirects en réalisant toutes les étapes en cabinet, de la prise d'empreinte numérique au collage, en passant par la conception et la fabrication des guides transferts, en est le parfait exemple.

## II. Equipements nécessaires au collage indirect des dispositifs multi-attaches

### 1. Les scanners intra-oraux

Ils permettent l'acquisition de l'empreinte numérique. De nos jours, de nombreux fabricants commercialisent un scanner intra-oral, dont les trois plus connus en orthodontie sont le Trios® de 3Shape (Figure 20), l'iTero® d'Align (Figure 21) et le i500® de Medit (Figure 22)



Figure 20 : Trios®  
de 3Shape



Figure 21 : iTero®  
d'Align Technology



Figure 22 : i500®  
de Medit

#### a. Principes de fonctionnement

L'empreinte numérique, contrairement à l'empreinte physique classique, se fait sans contact direct avec les tissus à enregistrer. Chaque scanner présente trois composants principaux : une **station mobile** permettant de contenir les données, un **écran** permettant d'entrer les informations, prescriptions et de contrôler les scans, et une **caméra à main** permettant la prise d'empreinte numérique. Pour collecter les données pendant le scan, l'énergie lumineuse fournie par la caméra est réfléchiée par les

surfaces scannées dans un récepteur situé dans la caméra. Il existe à ce jour quatre grands types de technologies d'acquisition: la **triangulation**, l'**imagerie confocale parallèle**, la **projection de franges de lumière**, et l'**acquisition vidéo 3D in-motion**<sup>16</sup>.

- **La triangulation**

Elle mesure les angles et distances de points connus avec une lumière laser projetée. La distance entre la source lumineuse et le capteur est connue, tout comme leur angle. Quand la lumière est réfléchiée par l'objet, le système détermine l'angle de la réflexion et la distance entre la source lumineuse et l'objet, via le théorème de Pythagore (Figure 23)<sup>17</sup>. Pour une dispersion lumineuse homogène, un poudrage peut être nécessaire.

Cette technologie est utilisée par le système Cerec® de la société Dentsply Sirona mais est peu utilisée à des fins orthodontiques.

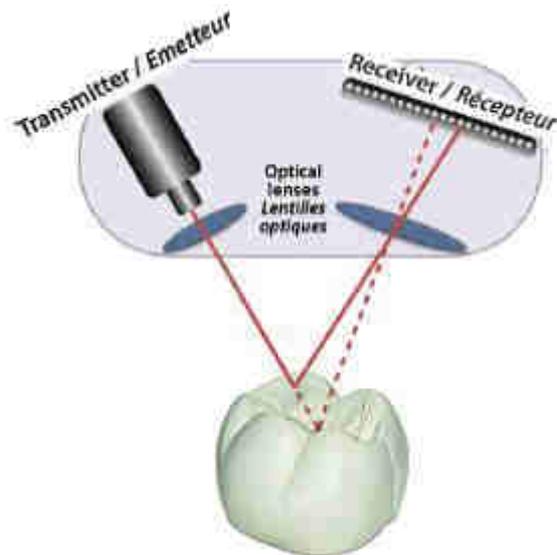


Figure 23 : Triangulation laser<sup>17</sup>

- **L'imagerie confocale parallèle**

Une lumière est projetée à travers une petite ouverture sur l'objet à enregistrer. Quand elle est réfléchie vers le récepteur de la caméra, cette ouverture bloque tout ce qui n'est pas dans le plan focal. Ainsi ne sont enregistrés que les points se trouvant dans le plan focal, ce qui augmente la précision de l'empreinte. Un système confocal parallèle, en déplaçant la caméra, va couper l'objet en milliers de tranches qui sont rassemblées informatiquement pour reconstituer l'image en trois dimensions (Figure 24) <sup>17</sup>.

Cette technologie est utilisée par les systèmes Trios® et iTero®.

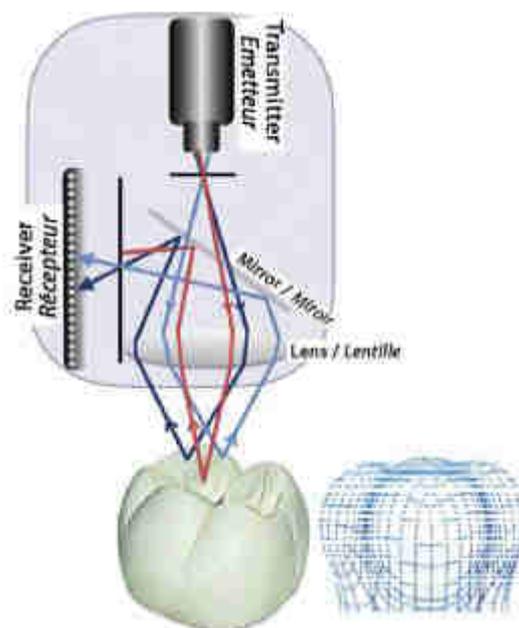


Figure 24 : Imagerie confocale parallèle <sup>17</sup>

- **La projection de franges de lumière**

Deux sources lumineuses projettent trois motifs de lumière, appelés franges de lumières, sur les dents et autres tissus. Quand ce motif atteint la surface, il se déforme en un nouveau motif unique selon la forme de l'objet. Cette déformation est appelée la courbure de frange. Une caméra HD, légèrement décalée de la source de lumière, enregistre ces courbures via les trois motifs différents avec une grande précision (Figure 25) <sup>17</sup>.

Cette technologie est utilisée par le système Lythos® de la société Ormco.

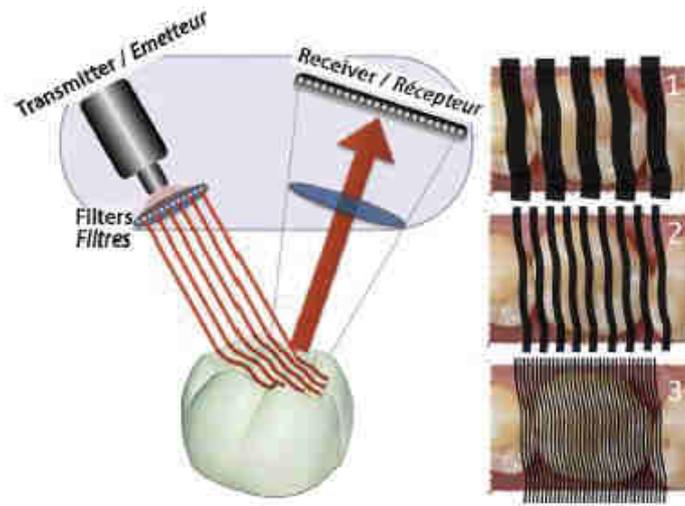


Figure 25 : Projection de franges de lumière <sup>17</sup>

- **L'acquisition vidéo 3D in-motion**

Une caméra trinoculaires (comportant trois petites caméras dans la lentille), capture trois vues précises de l'objet à des endroits différents. Les distances entre deux points sont calculées selon au moins deux perspectives différentes pour déterminer leur coordonnées tridimensionnelles (Figure 26) <sup>17</sup>.

Cette technologie est utilisée par le système True Definition® de la société 3M.

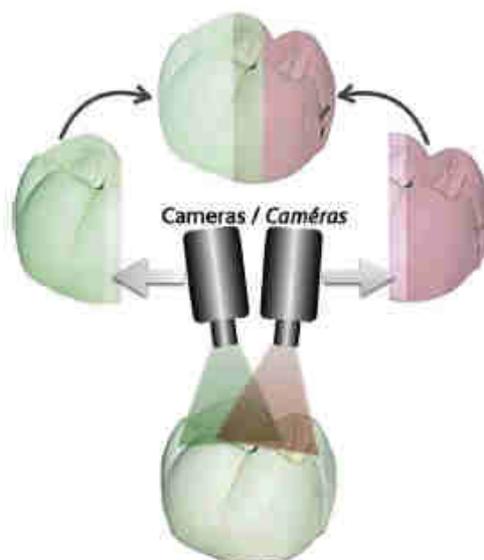


Figure 26 : L'acquisition vidéo 3D in-motion <sup>17</sup>

## b. Les différentes caractéristiques et options disponibles

Plusieurs aspects sont à prendre en compte avant de choisir un scanner intra-oral <sup>17</sup>.

Tout d'abord la **taille des embouts** de la caméra servant à l'acquisition. L'ouverture buccale peut beaucoup varier d'un patient à l'autre, et les formules dentaires ne sont également pas toujours les mêmes. Il faudra choisir un embout pouvant être utilisé chez tous les patients, mais également suffisamment large car cette largeur permet l'acquisition d'une plus grande surface à chaque image. La hauteur de l'embout est également à prendre en considération car elle peut bloquer lors de l'acquisition des secteurs molaires, notamment mandibulaires.

Le **poids** et la **prise en main** de la caméra sont également importants. Une préhension confortable permet de ne pas se fatiguer les poignets, et donc une utilisation quotidienne. Certains fabricants proposent des prises en main avec ou sans poignée (Figure 27).

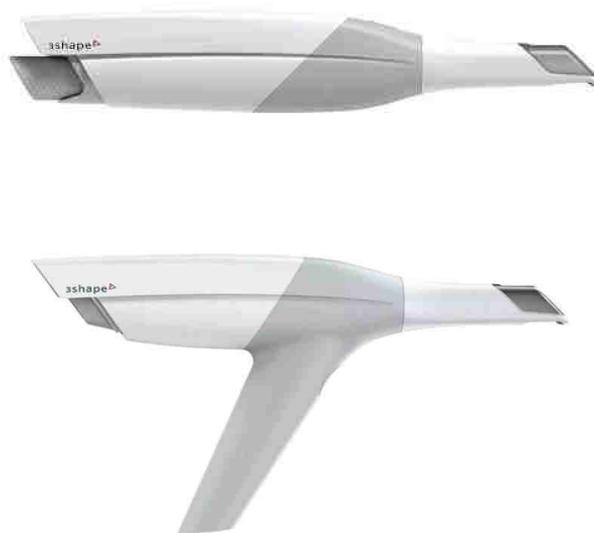


Figure 27 : Caméra du Trios® de 3Shape, sans poignée et avec poignée

Un **contrôle de l'acquisition en cours** est nécessaire afin de s'assurer de la bonne qualité du scan. Cette caractéristique est maintenant présente sur tous les scanners, et se fait sur un écran tactile fonctionnel avec les gants et facilement nettoyable.

Selon l'organisation du cabinet, plusieurs options peuvent être possibles au niveau de l'**ergonomie**. Le scanner peut se présenter sous la forme d'un kart à roulettes autonome, que l'on peut déplacer d'une salle à l'autre. Cela peut également être un pod à brancher sur l'ordinateur de la salle de soins, ou une machine compacte autonome.

## 2. Les logiciels

Une fois l'acquisition faite par le scanner, les informations sont converties en images digitales stockées sur un serveur dédié. Les modèles numériques peuvent ensuite être téléchargés vers un poste de travail numérique équipé d'un logiciel de CFAO. Généralement, les fabricants de scanner intra-oral fournissent ce type de logiciel comme par exemple la société 3Shape avec le scanner Trios® et le logiciel OrthoAnalyzer™ associé. Toutefois, des logiciels tiers peuvent également exploiter les fichiers générés par le scanner en format .stl.

Il existe un grand nombre de logiciels sur le marché actuellement, mais uniquement certains d'entre-eux ont fait l'objet d'études concernant leur fiabilité. Parmi ceux-ci, on retrouve par exemple OrthoAnalyzer™<sup>18</sup>, Cecile3™<sup>19</sup>, OrthoCAD™<sup>20</sup> et 03DM™<sup>21</sup>. Ces études ont montré que ces logiciels, bien qu'ils ne soient pas idéaux pour la recherche, sont tout à fait acceptables pour un usage clinique en ce qui concerne l'élaboration du diagnostic et du plan de traitement. Pour cet usage, les logiciels sont globalement équivalents en terme de fonctionnalités et de services<sup>22</sup>.

En ce qui concerne la conception d'appareillages orthodontiques, la suite de logiciels OrthoAnalyzer™, ApplianceDesigner™ et 3D Bonding Studio™, de la société 3Shape, est le système le plus présent actuellement sur le marché. Il permet de réaliser toute la conception au cabinet, jusqu'à l'impression 3D. Nous nous limiterons exclusivement à ce système dans la partie développant les protocoles (les versions des logiciels utilisées dans le cadre de ce travail sont 1.9.2.4 pour OrthoAnalyzer™ et 1.9.2.4 pour ApplianceDesigner™).

### 3. Les imprimantes 3D

Les imprimantes 3D sont utilisées afin de fabriquer les différents éléments qui permettent de pratiquer le collage indirect numérique. Elles permettent d'imprimer un fichier généré au format .stl.

Cette impression est réalisée de façon additive, l'objet étant fabriqué par dépôts successifs de couches de matière. Les couches se solidifient rapidement et sont superposées jusqu'à l'obtention de l'objet final.

Il existe deux grandes familles de technologies d'impression 3D utilisables en cabinet d'orthodontie : l'impression en **filaments** de plastique fondus ; l'impression en **résine**.

#### a. Les imprimantes à filaments

Aussi appelée extrusion et dépôt de fil fondu, ou Fused Filament fabrication (FFF) et Fused Deposition Modeling (FDM) ; il s'agit d'une technologie d'impression 3D qui consiste à déposer un filament de matière polymère qui est extrudé et fondu dans la tête d'impression (ou buse) de l'imprimante 3D. Cette buse se déplace selon deux axes X et Y, tandis que la plateforme d'impression se déplace sur un axe vertical Z, afin de construire l'objet couche par couche (Figure 28) <sup>23</sup>. C'est la technologie la plus courante parmi les imprimantes 3D.

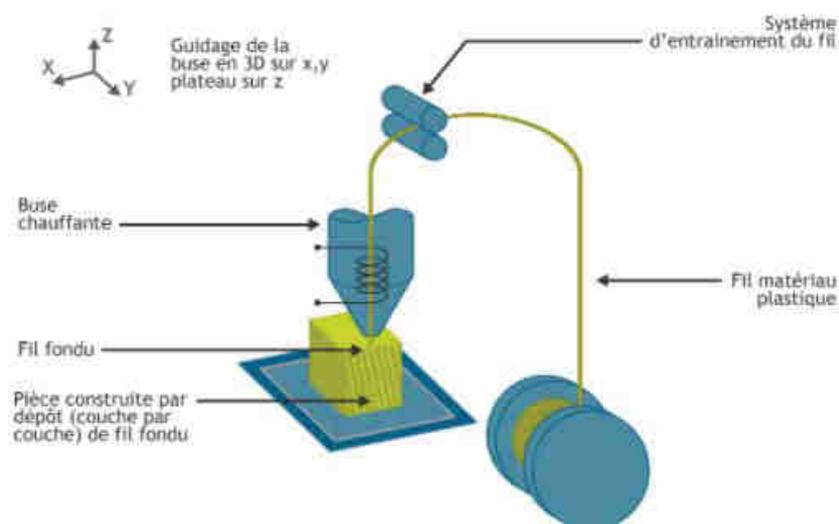


Figure 28 : Technologie d'impression par dépôt de fil fondu <sup>23</sup>

## ▪ Les machines

Plusieurs facteurs sont à considérer concernant les machines.

Tout d'abord, la **précision**. Elle dépend du diamètre du filament qui sera déposé par la buse. Plus ce diamètre est petit, plus la précision (résolution selon l'axe Z) sera grande. Cette dernière peut varier entre 400 et 10 $\mu$ m. La **taille du plateau** est également à considérer, car plus elle est grande, plus nous pourrons imprimer de modèles en même temps. Cette taille va de 200 à 1000cm<sup>2</sup>, et va avoir un impact sur l'**encombrement** de la machine en cabinet. La **connexion**, la **facilité d'utilisation de l'imprimante et du logiciel associé** sont également à prendre en compte.

Il y a beaucoup d'offres sur le marché actuellement. On retrouve par exemple la Zortrax M200, qui présente une résolution pouvant aller jusqu'à 90 $\mu$ m.



Figure 29 : Imprimante Zortrax M200

## ▪ Les matériaux

Les matériaux utilisés dans le domaine de l'orthodontie sont l'acide polylactique (PLA), qui est un matériau biocompatible obtenu à partir d'amidon de maïs, et l'acrylonitrile butadiène styrène (ABS), qui est un polymère thermoplastique. Ils ont tous deux de très bonnes propriétés mécaniques et une bonne biocompatibilité <sup>24</sup>.

La température de travail de ces matériaux fondus est de 180°C pour le PLA et de 230°C pour l'ABS. Ceci est un point à considérer du fait de la température moyenne de travail (de 220°C) des plaques thermoformées souvent fabriquées sur ces modèles. L'utilisation d'ABS semblerait alors être plus propice pour le collage indirect.

Ces filaments se présentent sous la forme de bobines de plusieurs couleurs et sont peu onéreux (Figure 30).



**Figure 30 : Bobines de filaments en PLA**

#### ▪ Utilisations

Ces imprimantes sont fiables et économiques, avec des prix variant entre 500 euros et 3000 euros. La production des modèles 3D est également très économique, coûtant moins d'un euro de consommable pour l'impression d'un modèle d'arcade dentaire.

Les modèles obtenus sont extrêmement résistants et leur niveau de précision permet la réalisation de gouttières thermoformées et de plaques amovible en résine. Cependant, les soudures ne sont pas possibles sur un modèle imprimé en filament car celui-ci fondrait rapidement et ne serait plus exploitable. L'impression reste également un processus très long : pour un jeu de modèles préparés selon les critères de l'American Board of Orthodontics (ABO), le temps d'impression dépasse les douze heures.

Concernant les techniques de collage indirect, les matériaux utilisés (ABS et PLA) ne permettent pas l'impression directe des guides de transfert.

De par leur simplicité d'utilisation, ces imprimantes à filaments fondus sont les plus utilisées en cabinet d'orthodontie.

### b. Les imprimantes à résine

Il s'agit d'une technologie qui se caractérise par la photopolymérisation de polymères liquides. Il en existe deux types à ce jour utilisés en orthodontie : le traitement numérique de la lumière ou Digital Light Processing (DLP) et la stéréolithographie ou StereoLithography Apparatus (SLA).

Le principe de fonctionnement repose sur l'utilisation d'une plateforme horizontale mobile immergée dans une cuve de résine liquide photopolymérisable. A la surface de ce liquide, une source lumineuse UV permet la photopolymérisation.

Dans le cas des imprimantes DLP, la photopolymérisation se fait couche par couche car la lumière est produite par un projecteur (Figure 31) <sup>25</sup>.

Dans le cas des imprimantes SLA, la polymérisation se fait point par point car la lumière est produite par un laser (Figure 32) <sup>26</sup>.

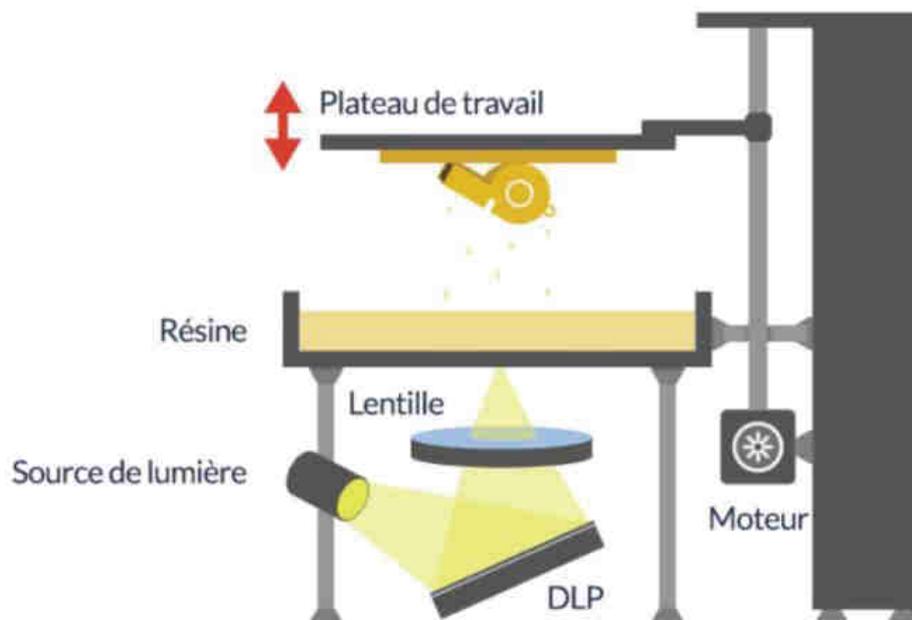


Figure 31 : Technologie d'impression par DLP <sup>25</sup>

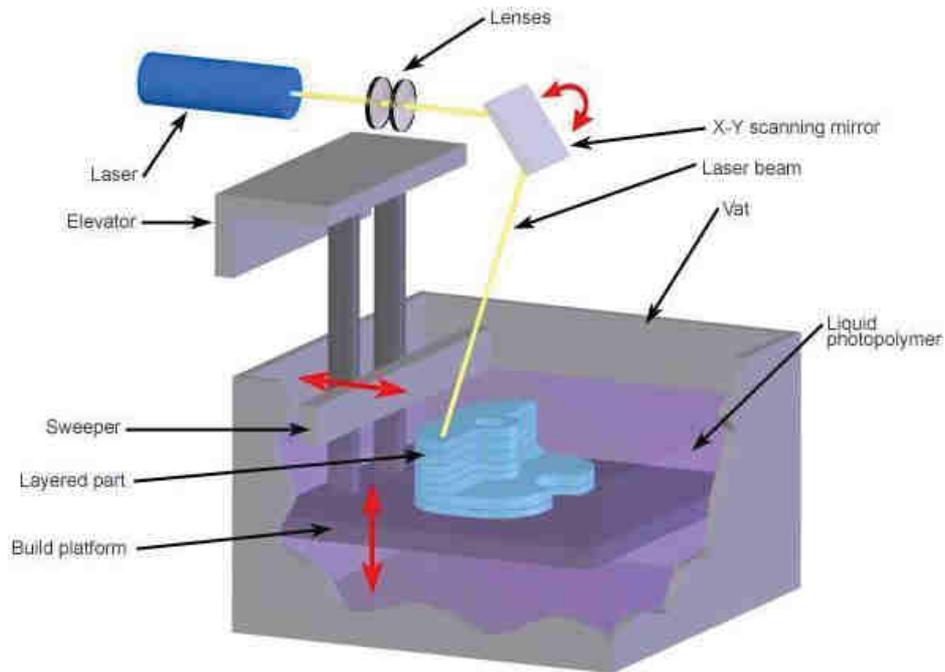


Figure 32 : Technologie d'impression par SLA <sup>26</sup>

### ▪ Les machines

Les mêmes facteurs que pour les imprimantes à filaments sont à considérer.

La **précision** est généralement supérieure avec ce type d'imprimante et est variable selon le plan de l'espace. Dans l'axe des Z (vertical), la résolution varie généralement entre 10 et 100 $\mu$ m, tandis que la résolution planaire XY peut aller jusqu'à 1 $\mu$ m. La **taille du plateau** et donc l'**encombrement** varient énormément selon l'utilisation que l'on veut en faire. Pour une utilisation en cabinet, il est inutile d'avoir une machine trop encombrante. Une imprimante telle que la MoonRay S de Sprintray (Figure 36), avec un plateau de 130mm de diamètre, est suffisante. Il existe aussi l'imprimante NextDent 5100 de 3D Systems (Figure 35), qui présente les mêmes types de caractéristiques. Encore une fois, la **connexion**, la **facilité d'utilisation de l'imprimante et du logiciel associé** sont également à prendre en compte.

Concernant la vitesse d'impression, pour les imprimantes SLA, plus il y a de pièces, plus l'impression sera longue à être réalisée. Pour les imprimantes DLP, le nombre de pièces n'influe pas sur la vitesse d'impression. Une imprimante SLA est donc plus intéressante si le nombre de pièces à imprimer est petit, tandis qu'une imprimante DLP

sera plus intéressante si de nombreux éléments doivent être produits simultanément (Figure 33).

Concernant la qualité d'impression, pour les imprimantes SLA, elle est régulière quelle que soit la taille de la pièce à imprimer. Pour les imprimantes DLP, plus les pièces sont grandes et nombreuses, et donc plus le plateau est grand, plus la pièce à imprimer perd en qualité. L'imprimante DLP de meilleure qualité sera donc celle qui possède le plus petit plateau d'impression (Figure 34).

Beaucoup d'offres sont disponibles actuellement, et il convient de bien cerner les besoins du cabinet avant d'investir dans une telle machine, qui peut être relativement onéreuse.

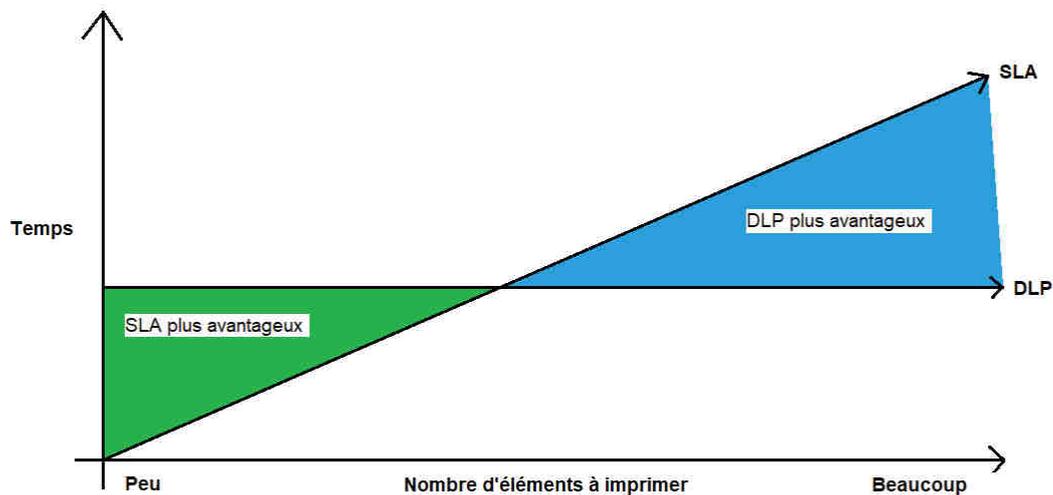


Figure 33 : Rapports entre vitesse d'impression et nombre d'éléments à imprimer

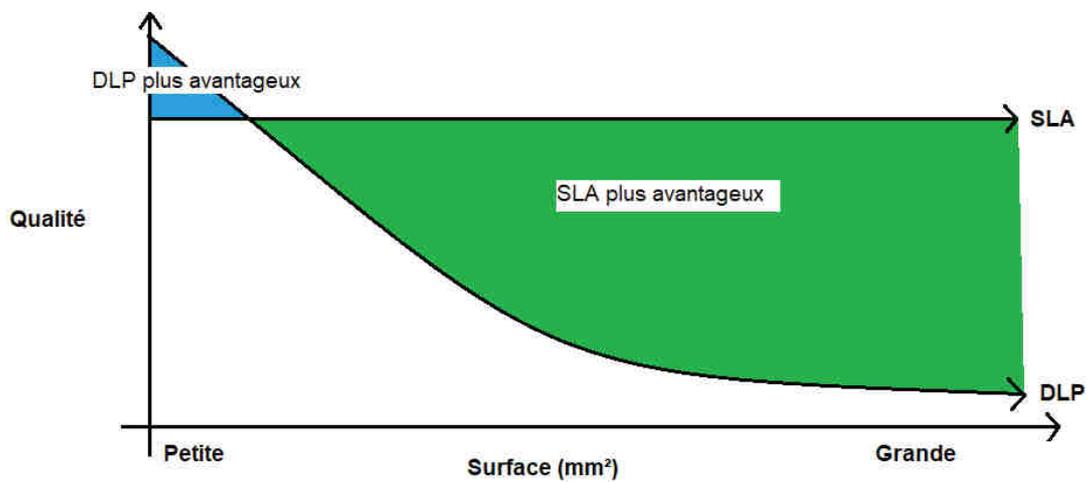


Figure 34 : Rapports entre qualité d'impression et surface d'impression



Figure 35 : Imprimante Nextdent 5100



Figure 36 : Imprimante MoonRay S

### ▪ Les matériaux

Plusieurs familles de résines sont disponibles. On retrouve par exemple les **résines ABS**, les plus utilisées, qui sont précises et rigides, les **résines polypropène (PP)**, précises, flexibles et présentant un état de surface très lisse, les **résines polyamides (PA)**, précises, flexibles, et possédant une bonne résistance mécanique, et les **résines polycarbonates (PC)**, qui sont transparentes.

La résine sera choisie en fonction de plusieurs paramètres : la **couleur** (transparente ou non), la **viscosité**, **l'élongation avant rupture**, la **résistance à la flexion**, et la **dureté surfacique**. Afin de conserver leurs propriétés intrinsèques, les pièces imprimées doivent toujours avoir une épaisseur d'au moins 1,5mm.

Lors de l'achat de l'imprimante, le praticien doit porter une attention particulière aux types de résines compatibles car les systèmes « ouverts », c'est-à-dire une imprimante compatible avec toutes les résines existantes, sont très rares. En effet certains fabricants d'imprimantes proposent également des résines, et imposent d'utiliser uniquement leurs gammes de produits.

#### ▪ **Utilisations**

Ces imprimantes sont extrêmement précises, permettent d'imprimer des modèles très rapidement (entre 30-40 minutes pour un jeu de modèles préparés selon les critères de l'ABO), et rendent possible l'impression de tous les composants nécessaires au collage indirect en orthodontie.

Elles présentent cependant certains inconvénients, le premier étant le prix. Pour une imprimante DLP à moins de 10.000 euros, la précision sera similaire à une imprimante à filaments. Au delà de 10.000 euros, nous retrouverons les imprimantes SLA et les imprimantes DLP haut de gamme. Les lampes à UV ont une durée de vie relativement faible de 1500 heures, dont le remplacement est onéreux, particulièrement pour les imprimantes SLA.

Le plus grand inconvénient des impressions résine correspond à la procédure de post-traitement qui est lourde pour l'organisation d'un cabinet dentaire ou d'orthodontie : après avoir retiré le support de l'objet manuellement, celui-ci doit être immergé dans un bain d'isopropanol à 99.9% pendant 20 minutes, être séché par évaporation, puis doit finir sa polymérisation dans une chambre UV pendant une trentaine de minutes. Egalement, même si le produit final n'est pas toxique, les vapeurs de solvants et de polymères qui sont produites lors de l'impression le sont. Ceci soulève de nombreuses questions quant à la sécurité des employés manipulant ces imprimantes. En outre, l'installation de hottes aspirantes performantes semblerait être indispensable.

De part ces difficultés d'utilisation, ce type d'imprimante est encore très peu répandu dans les cabinets d'orthodontie, même si de plus en plus de cabinets franchissent le pas. Les praticiens qui souhaitent réaliser des impressions en résine sont encore nombreux à sous-traiter ces travaux à des laboratoires extérieurs.

### III. Les protocoles de collages indirects numériques des dispositifs multi-attaches

Lorsque le collage indirect numérique est évoqué, nous pouvons faire référence à trois techniques distinctes :

- Protocole 1 : Impression du maître-modèle, positionnement physique des attaches sur le modèle imprimé et confection d'une gouttière de transfert
- Protocole 2 : Positionnement virtuel des attaches, impression du maître-modèle avec attaches et confection d'une gouttière de transfert
- Protocole 3 : Positionnement virtuel des attaches et impression de la gouttière de transfert

#### 1. Protocole 1 : Impression du maître modèle, positionnement physique des attaches sur le modèle imprimé et confection d'une gouttière de transfert

##### a. Acquisition des documents cliniques et radiologiques

La première étape est l'acquisition de l'empreinte numérique. Les deux arcades doivent être enregistrées, de préférence avec le modelé de l'anatomie alvéolaire vestibulaire, afin de visualiser le mieux possible les axes radiculaires. L'enregistrement de l'occlusion est ensuite réalisé. Il n'est cependant pas nécessaire d'enregistrer le palais.

Certains critères sont à respecter afin de s'assurer de la qualité de l'empreinte, et donc de la fiabilité de la future gouttière de collage. Elle doit être réalisée **après le brossage des dents**, et un **détartrage** doit être réalisé au préalable. Les faces vestibulaires des dents à coller doivent être complètement enregistrées et sans défaut. Il en va de même

pour les faces occlusales et linguales de toutes les dents. Les bords libres et les crêtes marginales doivent également être acquis de manière précise.

Aucune modification ne doit être apportée au niveau des dents et des arcades entre le moment de l'acquisition des empreintes 3D et le rendez-vous de collage.

Afin de contrôler les axes radiculaires et ainsi pouvoir placer idéalement les attaches, il est recommandé de réaliser une radiographie panoramique des arcades.

## b. Préparation des modèles

Le soclage des modèles est réalisé via le logiciel. Il est recommandé de privilégier une forme en fer à cheval afin de limiter la quantité de matière à imprimer et ainsi de diminuer le temps d'impression.

## c. Impression des maîtres-modèles

Les imprimantes à filaments sont les plus adaptées pour l'impression des modèles dans le cadre de ce protocole. En effet, la résine serait incompatible avec la phase de positionnement des attaches car le composite de collage servant à réaliser les talons de colle viendrait se lier à la résine du modèle de travail.

N'importe quel type de filament peut être utilisé (ABS ou PLA).

Selon l'imprimante utilisée, en fonction de la taille du plateau, plusieurs modèles peuvent être imprimés en même temps (entre 3 et 20 selon les machines). Une précision de 100 à 150 microns semble ici suffisante.

Aucun post-traitement n'est nécessaire sur le modèle après impression.

Une impression de ce type dure en moyenne 1h20 par arcade. Le modèle est extrêmement résistant, et peut être réimprimé à loisir en cas de besoin, contrairement au modèle en plâtre ou en silicone.

#### d. Positionnement physique des attaches sur les maîtres-modèles

Les attaches sont positionnées une à une à l'aide d'une jauge et en s'aidant de la radiographie panoramique afin de visualiser les axes dentaires.

Un composite photopolymérisable est préférable dans ce cas afin de bénéficier d'un long temps de travail. Aucun isolant n'est nécessaire, l'attache est positionnée directement sur le modèle avec le composite de collage (par exemple du Transbond XT® de 3M). Une fois toutes les attaches positionnées, la photopolymérisation peut être réalisée soit une attache après l'autre avec une lampe à photopolymériser, soit de manière simultanée en plaçant le modèle dans un four à polymériser.

Lors du positionnement, il n'y a aucune contamination des talons de composite et celui-ci ne reste jamais accroché sur le modèle. Les attaches présentent également une très bonne rétention sur le modèle, mais sont facilement déposées après réalisation de la gouttière de transfert.

#### e. Confection du guide de transfert

Il s'agit des mêmes matériaux que ceux vu précédemment dans le cadre du collage indirect à partir de modèles en plâtre ou en silicone. Chaque technique présente ses avantages et ses inconvénients dans le cadre du collage indirect via un modèle numérique imprimé.

- **Gouttière en silicone opaque**

Elle est très rigide, très précise et très stable. L'inconvénient principal est son opacité ne permettant pas la transmission de la lumière, et qui limite donc grandement le choix du système de collage à utiliser : seule une colle autopolymérisable peut être utilisée, avec tous les inconvénients qu'elle implique, comme vu précédemment.

- **Gouttière en silicone transparent**

Elle est facile à déposer et permet de choisir n'importe quel système de collage, notamment photopolymérisable. Elle présente une bonne rétention des attaches dans la gouttière. Elle est cependant moins précise et moins rigide que la gouttière en silicone opaque. Elle est également moins stable, notamment au niveau de ses extrémités distales, ce qui rend le collage plus difficile au niveau molaire.

- **Double gouttière thermoformée**

Comme la gouttière en silicone transparent, n'importe quel système de collage peut être employé. Elle est très précise et facile à déposer grâce à la gouttière souple au contact du modèle, et très stable grâce à la gouttière rigide par-dessus.

- **Gouttière hybride**

La gouttière hybride semble être la meilleure solution, car elle présente, en plus des avantages de la gouttière en silicone transparent, une grande stabilité conférée par la gouttière thermoformée rigide. Contrairement à la double gouttière thermoformée, il y a peu de chances de déplacer les attaches lors de la réalisation de la gouttière souple.

f. Protocole clinique de collage indirect

Dans cette méthode, le système de collage doit présenter certaines caractéristiques. Il doit être compatible avec les talons de composite, hydrophile, présenter une faible viscosité, être photopolymérisable, avoir un temps de travail suffisamment long pour pouvoir charger la gouttière sur toutes les attaches, et les excès doivent pouvoir être facilement éliminés.

Le système à utiliser varie selon les préférences du praticien, de la situation clinique, du secteur et du type d'attaches (métallique ou céramique notamment).

Pour l'adhésif, nous pouvons utiliser un protocole de mordantage associé à un adhésif hydrophile, ou un adhésif auto-mordant. Pour la colle, nous pouvons utiliser un composite de collage fluide ou un CVIMAR.

Les dents sont tout d'abord minutieusement nettoyées à la brosette et à la pierre ponce, ou via un aéropolisseur. Deux Dry Tips® (société ID Dental) sont ensuite placés sur la face interne des joues, puis un OptraGate® (société Ivoclar Vivadent) permet de maintenir les lèvres à distances des faces vestibulaires des dents. Puis un système d'écarteurs de type Nolla® (société Great Lakes Orthodontics) est mis en place afin de contrôler au maximum l'hygrométrie de la cavité buccale, et obtenir un champ opératoire sec. Le mordantage est appliqué, si ce système de collage est utilisé, puis les dents sont rincées et séchées.

La gouttière est essayée en bouche afin de s'assurer de son adaptation, puis l'intrados des attaches est nettoyé à l'acétone puis séché.

L'adhésif est appliqué sur les dents, et la colle est appliquée dans l'intrados des attaches, selon le système utilisé. Dans cette technique, la quantité de colle sur les attaches doit être minime car le talon de composite est déjà adapté à la surface vestibulaire des dents. Mettre trop de colle aura pour conséquence une grande quantité d'excès à retirer, et le risque de voir que la colle fuse dans les espaces interdentaires.

La gouttière est ensuite insérée en bouche, et les attaches sont photopolymérisées une par une à travers la gouttière de transfert (dans le cas d'une gouttière transparente), en la maintenant fermement pour éviter les imprécisions de placement qui pourraient être dues à une insertion incomplète. L'utilisation d'un instrument de type Shure est très pratique durant cette étape, afin de plaquer la gouttière contre les unités dentaires concernées.

Enfin, la gouttière est désinsérée, et une deuxième photopolymérisation peut être réalisée sans la gouttière au niveau de chaque attache. Les excès sont retirés à la fraise tungstène multi-lames et du fil dentaire peut être utilisé afin de vérifier l'absence de colle dans les espaces inter-dentaires.

## 2. Protocole 2 : Positionnement virtuel des attaches, impression du maître-modèle avec attaches et confection d'une gouttière de transfert

### a. Acquisition des documents cliniques et radiologiques

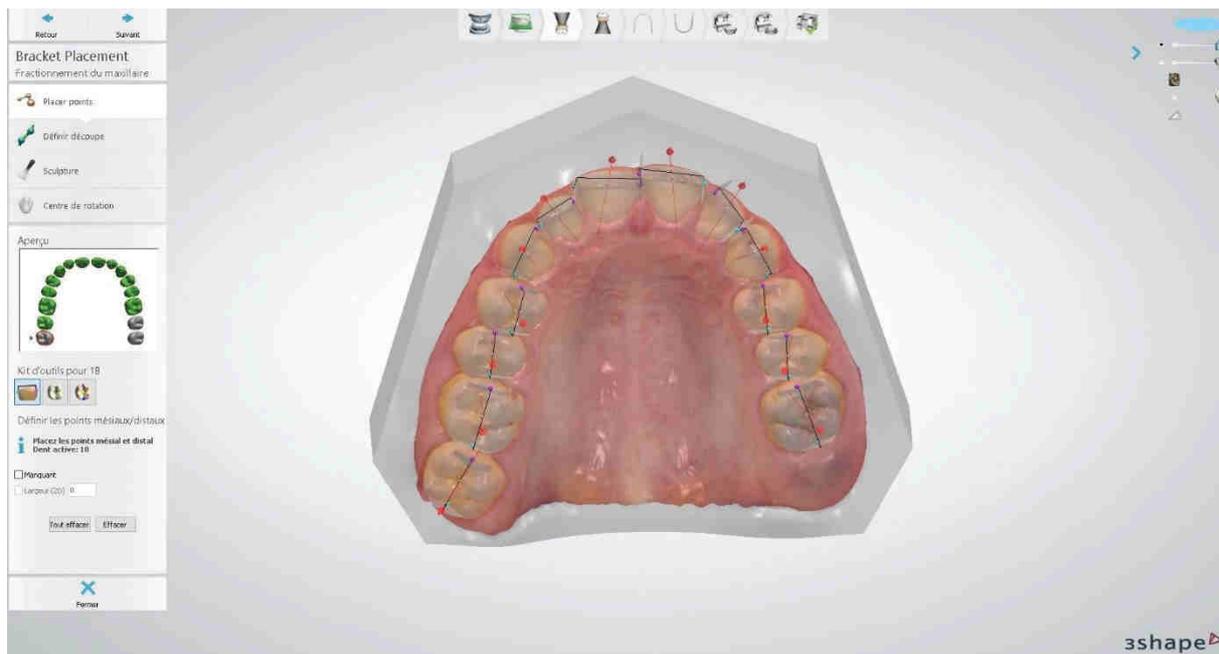
Les prérequis et l'acquisition des empreintes numériques se fait de la même manière que précédemment. Les zones proximales doivent être particulièrement bien enregistrées afin de faciliter le positionnement virtuel ultérieur des attaches. La gencive doit également être enregistrée sur une hauteur suffisante afin de visualiser la forme des racines par transparence et de pouvoir placer les attaches en fonction de l'axe radiculaire visible sur la radiographie panoramique.

### b. Préparation des modèles

Elle se réalise de la même manière que dans le protocole précédent. Pendant le soclage, le plan d'occlusion et les axes de références sont établis.

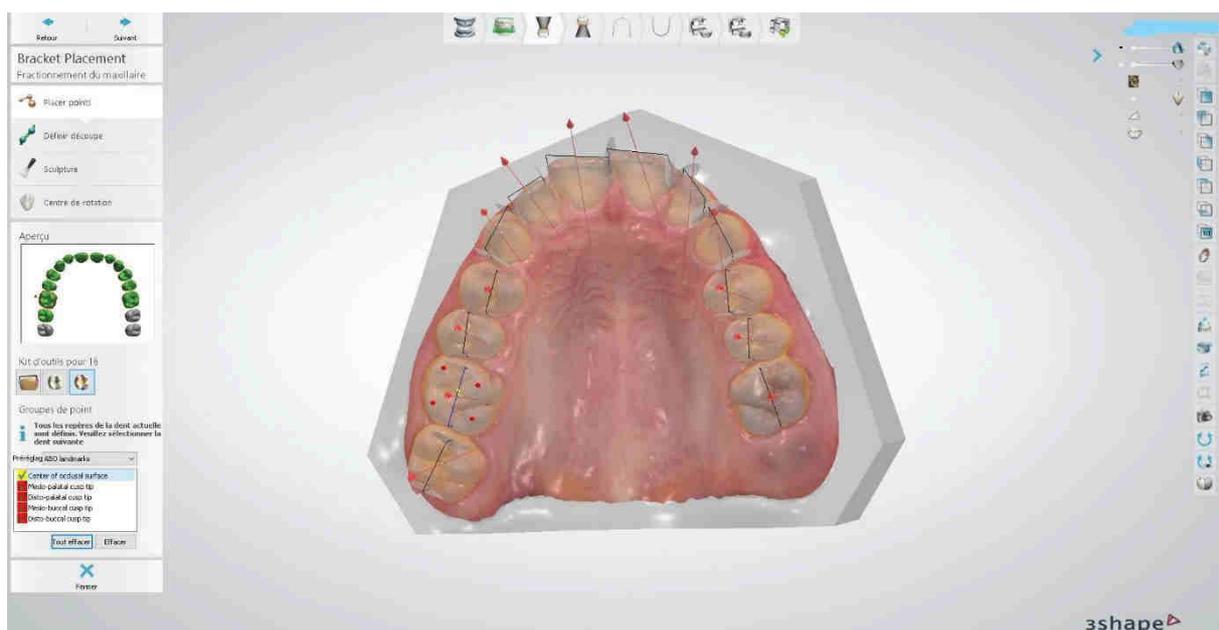
### c. Positionnement virtuel des attaches

Tout d'abord, il est nécessaire d'individualiser chaque dent, en plaçant un point distal et un point mésial sur chacune d'entre elles. C'est ce que nous appelons la segmentation du modèle. A cette étape, il est important de positionner ces points mésiaux et distaux en étant bien orienter dans l'axe longitudinal de chaque dent (Figure 37).



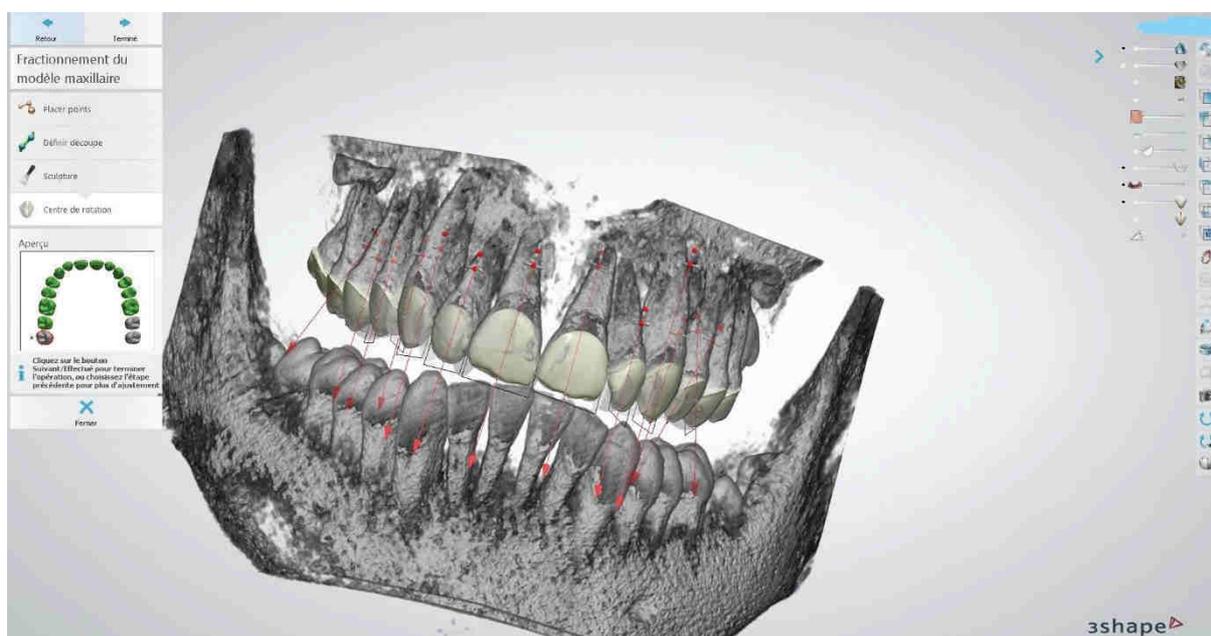
**Figure 37 : Individualisation des dents**

Les points de référence anatomiques de chaque dent sont ensuite placés. Il s'agit des sommets des cuspidés, centres des faces occlusales, angles mésiaux et distaux des bords libres des dents antérieures, etc. Cette étape n'est pas indispensable mais elle est recommandée car augmente la précision de l'individualisation des dents (Figure 38).



**Figure 38 : Placement des points de référence anatomiques sur la dent 16**

Un point FA est placé automatiquement par le logiciel, et représente le centre anatomique de la dent. L'attache sera positionnée en fonction de ce point. L'axe de chaque dent peut être ajusté selon la radiographie panoramique, ou si un CBCT a été réalisé, il peut être incorporé dans le logiciel afin de le superposer avec l'arcade dentaire du modèle de travail numérique. Ceci permet alors de placer de manière extrêmement précise l'axe de la dent numérisée sur la racine visible sur le CBCT (Figure 39 : Superposition du modèle numérique et du CBCT).



**Figure 39 : Superposition du modèle numérique et du CBCT**

Une fois les axes choisis, les points FA sont validés.

Une forme d'arc est ensuite choisie dans la bibliothèque d'arc du logiciel. Il est possible d'intégrer la forme des arcs utilisés réellement par le praticien en clinique, à l'échelle 1:1. Une fois l'arc choisi, il est nécessaire de le positionner dans le plan sagittal, en fonction du plan de traitement prévu. Si par exemple une vestibuloversion est prévue, l'arc doit être positionné légèrement en avant des incisives. Si des extractions sont prévues, l'arc doit être positionné plus en arrière (Figures 40 et 41).

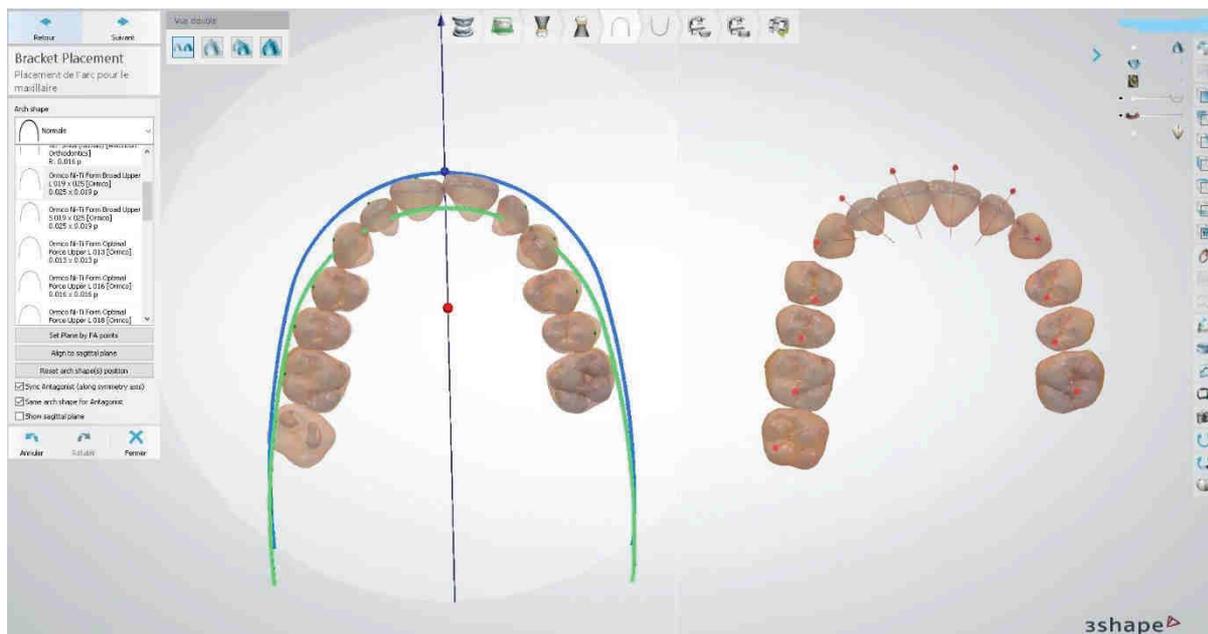


Figure 40 : Positionnement de l'arc maxillaire

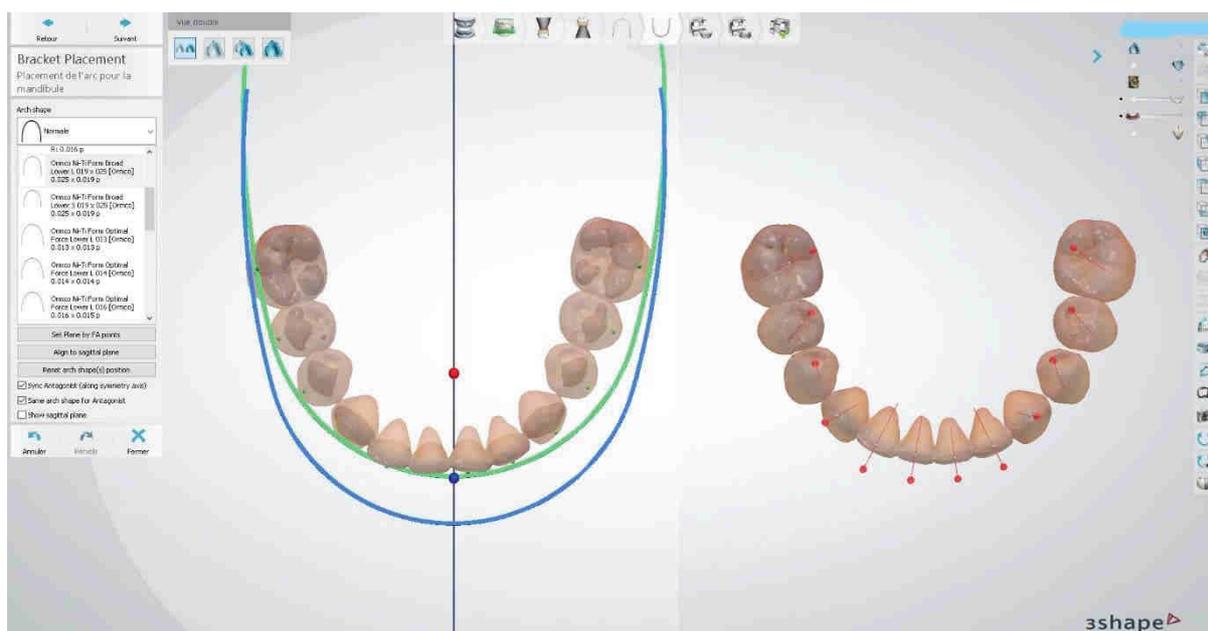
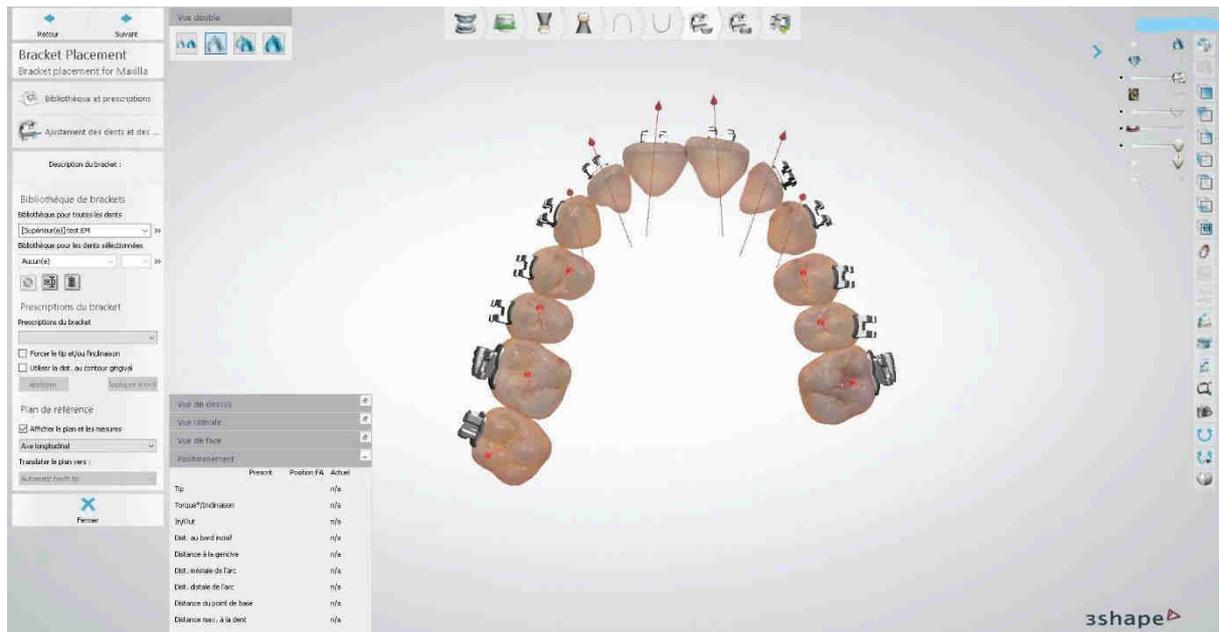


Figure 41 : Positionnement de l'arc mandibulaire

Les attaches sont ensuite choisies. Une bibliothèque bien fournie est disponible dans le logiciel, avec quasiment toutes les attaches proposées sur le marché. Le praticien peut générer, en préférence clinique, un (ou plusieurs) ensemble(s) prédéfini(s) d'attaches qu'il souhaite utiliser pour ces cas de collage indirect (Figure 42).



**Figure 42 : Positionnement des attaches**

Une fois les attaches sélectionnées, elles se placent automatiquement sur le point FA. Ce positionnement peut être modifié de façon automatique en demandant à respecter une certaine hauteur de collage en fonction du bord libre des dents. La prescription de ces hauteurs peut être aisément paramétrée, pour chacune des dents, dans la section Control Panel du logiciel.

Une fois les attaches positionnées, elles peuvent être déplacée manuellement sur le modèle numérique afin d'affiner leur positionnement selon les cas (par exemple pour sur-corriger une rotation, pour aligner des collets, pour gérer des hauteurs coronaires différentes, etc.). Un avantage du logiciel est qu'il est possible de visualiser de manière immédiate, sur un set-up numérique, les effets d'une modification de positionnement des attaches.

De la même manière, il est possible de modifier la position des dents directement sur le set-up, ceci ayant pour conséquence un repositionnement instantané de l'attache sur la malocclusion initiale (Figure 43).

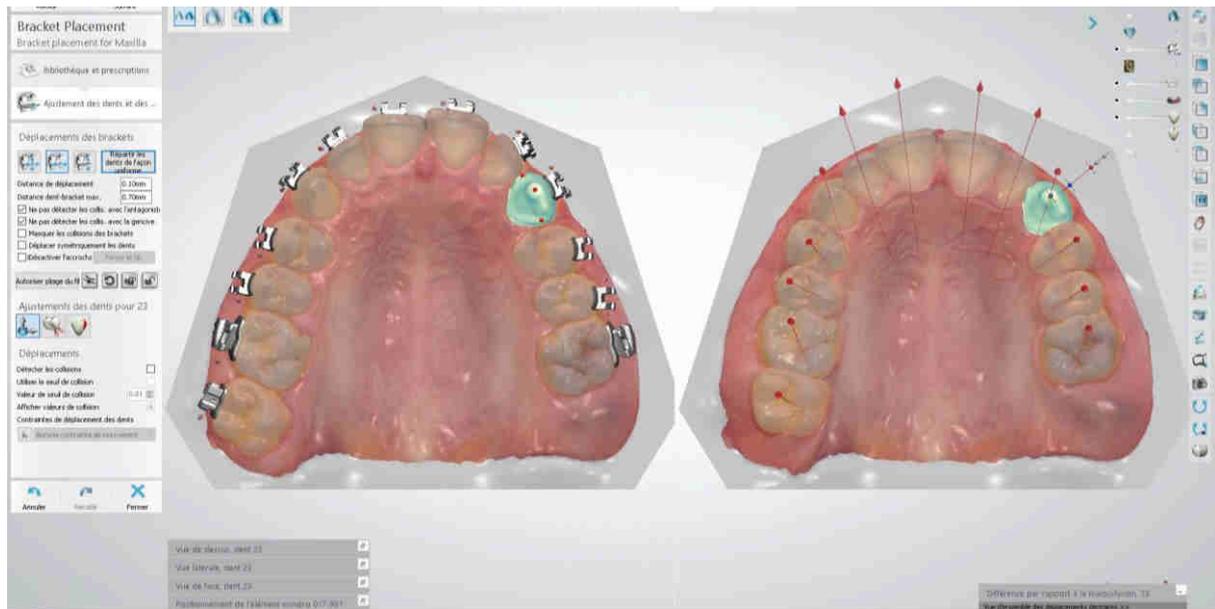


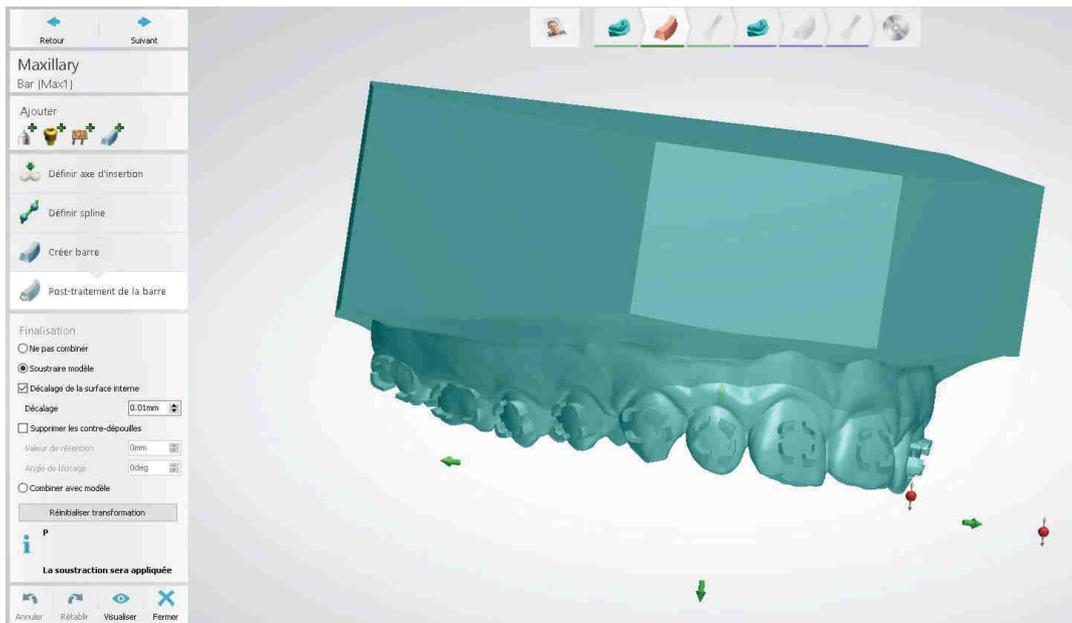
Figure 43 : Comparaison du modèle de malocclusion et du set-up

Une fois les attaches dans leur position souhaitée, il faut les verrouiller en sélectionnant l'icône correspondante, puis valider ce placement.

#### d. Conception virtuelle du maître-modèle

Une fois le positionnement des attaches validé, le maître-modèle doit être créé dans Appliance Designer, suite logiciel de 3Shape. Il y a alors deux possibilités : créer un modèle avec des **marqueurs**, ou avec des **gabarits**.

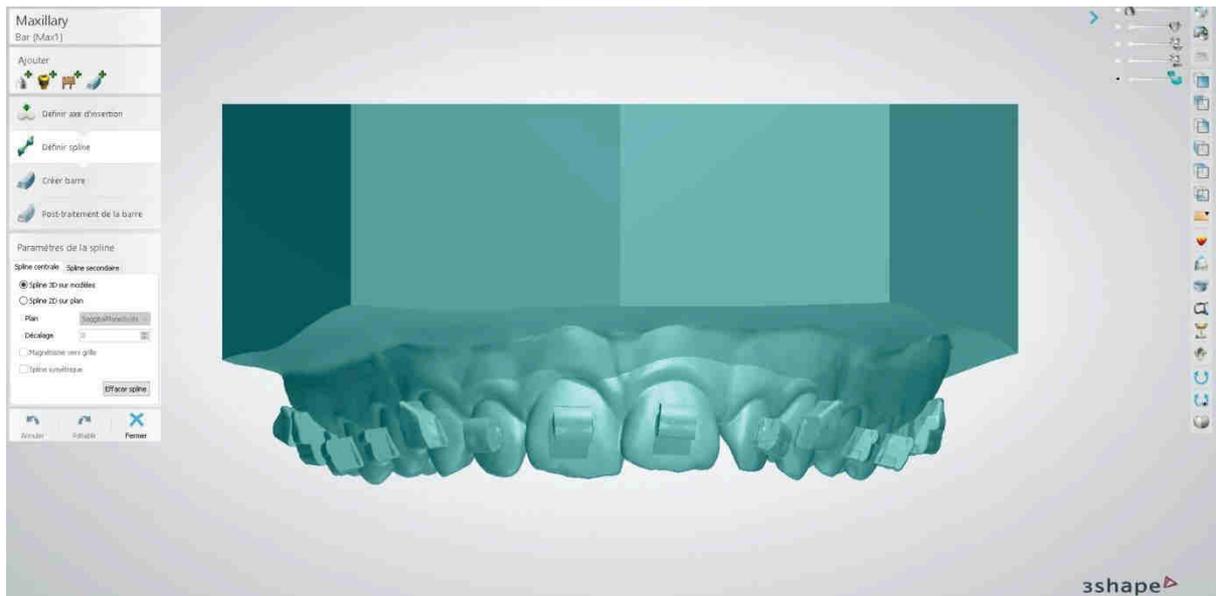
Les **marqueurs** (Figure 44) sont des indicateurs de positionnement des attaches sur le modèle, permettant de placer précisément les attaches sur le modèle imprimé puis de réaliser la gouttière de manière traditionnelle. Cette technique ne présentant aucun intérêt par rapport aux gabarits, nous ne l'aborderons pas dans ce manuscrit.



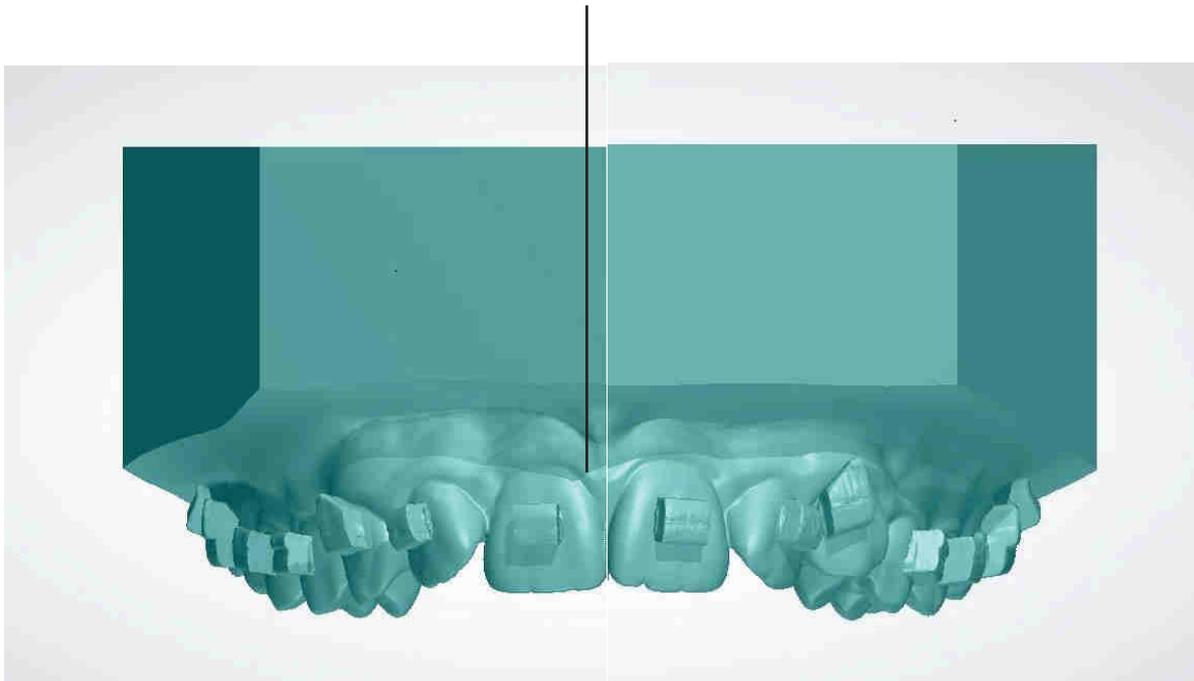
**Figure 44 : Maître-modèle avec des marqueurs**

Les **gabarits** (Figure 45) sont des représentations des attaches sur le modèle, et sont caractérisés par quatre éléments paramétrables. Le décalage de la surface interne correspond au volume global de l'attache. Il peut être réduit ou augmenté en prévision des variations dimensionnelles du matériau d'impression du modèle (Figure 46). L'angle de blocage permet de créer des contre-dépouilles pour augmenter la rétention dans la gouttière, ou au contraire de créer des zones d'évasement afin de diminuer la rétention (Figures 47 et 48). La valeur de rétention permet de créer de petites zones de contre-dépouille sous les ailettes de l'attache (Figures 49 et 50). La longueur d'extension sert, quand on l'augmente, à combler les hiatus qui peuvent être présents entre l'attache et la face convexe des dents, afin d'éviter que les matériaux de la gouttière de transfert ne s'y invaginent en la fabriquant (Figure 51). Une valeur d'1-1,5 mm est en général suffisante.

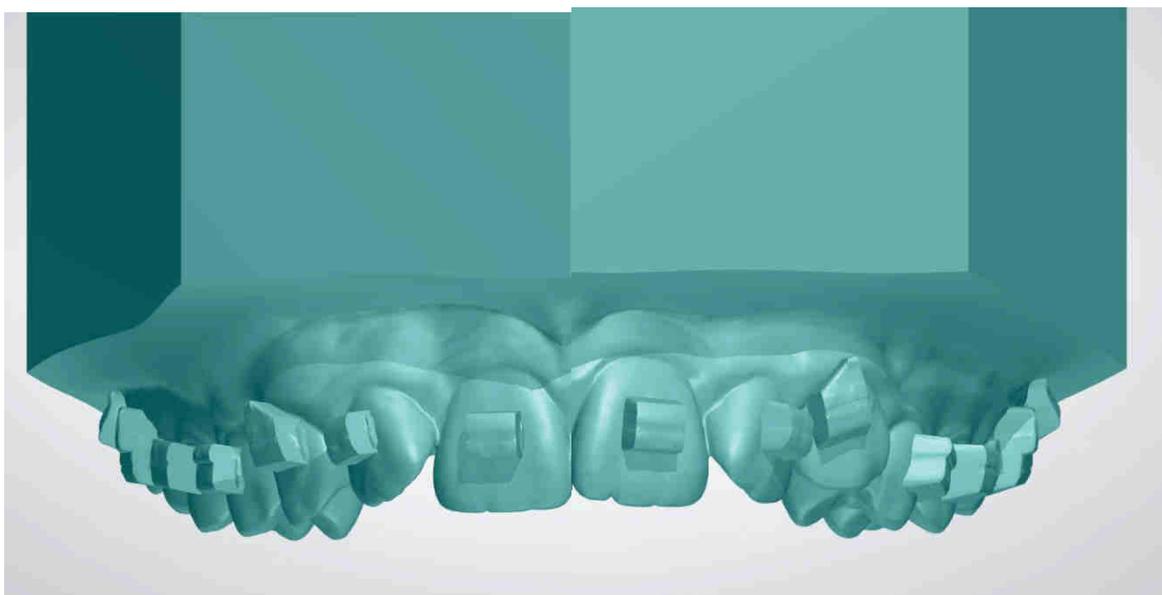
Il est également recommandé de cocher l'option pour combler les gorges des attaches afin d'éviter qu'elles ne soient trop rétentives dans la gouttière de transfert.



**Figure 45 : Maître-modèle avec des gabarits**



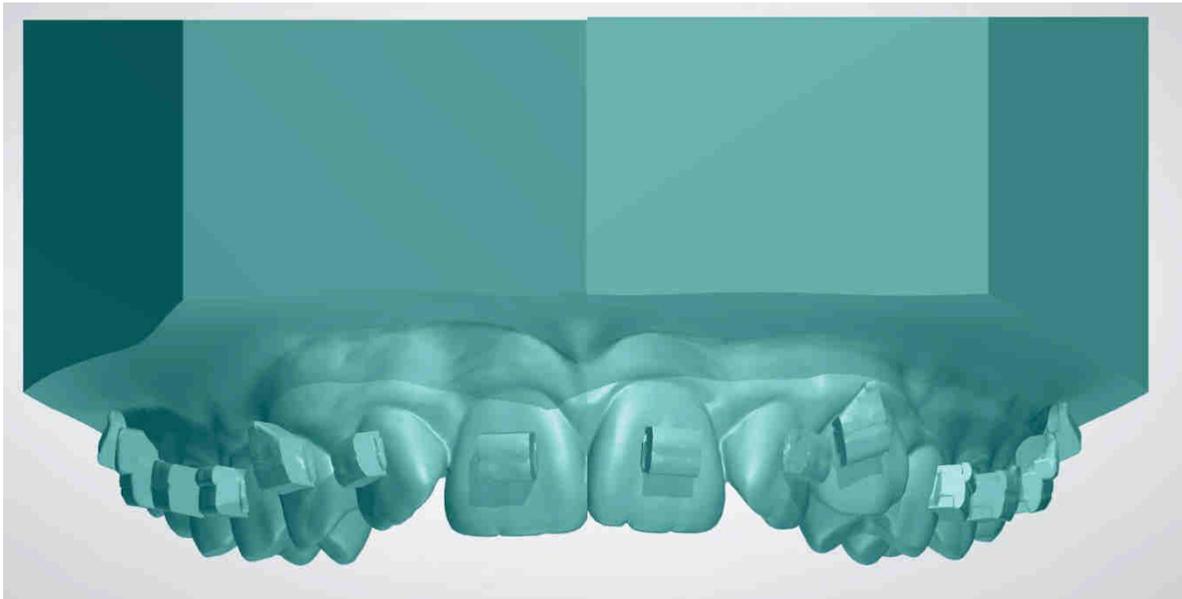
**Figure 46 : Décalage de la surface interne, vue de face  
Gauche : Valeur du décalage de la surface interne de -3 mm  
Droite : Valeur du décalage de la surface interne de 3 mm**



**Figure 47 : Angle de blocage, vue de face**  
Gauche : Valeur de l'angle de blocage de  $-10^\circ$   
Droite : Valeur de l'angle de blocage de  $10^\circ$



**Figure 48 : Angle de blocage, vue occlusale**  
Gauche : Valeur de l'angle de blocage de  $-10^\circ$   
Droite : Valeur de l'angle de blocage de  $10^\circ$



**Figure 49 : Valeur de rétention, vue de face**  
Gauche : Valeur de rétention de -2mm  
Droite : Valeur de rétention de 2mm



**Figure 50 : Valeur de rétention, vue occlusale**  
Gauche : Valeur de rétention de -2mm  
Droite : Valeur de rétention de 2mm



**Figure 51 : Longueur d'extension, vue occlusale  
Gauche : Valeur de la longueur d'extension de 1mm  
Droite : Valeur de la longueur d'extension de 5mm**

e. Impression du maître modèle

Les imprimantes à filaments sont également adaptées pour l'impression des modèles dans le cadre de ce protocole. Une précision de 50 à 100 microns est nécessaire.

L'impression du modèle ne doit pas être réalisée en PLA, car ce matériau est travaillé à 180°, or les plaques thermoformées utilisées pour réaliser les gouttières de collage indirect sont appliquées sur le modèle à une température de 220°. On s'expose donc à un risque de fonte du matériau d'impression lors de la fabrication de la gouttière. Le matériau utilisé doit donc être préférentiellement de l'ABS, qui est travaillé à une température de 230°.

Une imprimante résine peut également être utilisée. Elle a pour principal avantage une diminution significative du temps d'impression.

f. Confection du guide de transfert

Il peut se réaliser de la même manière que dans le protocole précédent.

La technique à privilégier est la double gouttière thermoformée. En effet, il n'y a ici pas de risque de déplacement des attaches lors de la réalisation de la gouttière souple.

g. Positionnement physique des attaches dans le guide de transfert

Une fois la gouttière réalisée, les attaches sont placées une par une dans leur logement respectif. Dans le cas des attaches auto-ligaturantes, le clapet de l'attache doit être fermé avant d'insérer l'attache.

h. Protocole clinique de collage indirect

Les options et la technique de collage pour cette méthode sont les mêmes que dans le protocole vu dans la méthode précédente.

Il y a tout de même une particularité : les attaches sont nues, sans talon de composite sur leur intrados. Il s'agit là d'un avantage car nous réduisons au maximum le nombre d'interface de collage, mais également d'un inconvénient car il devient très difficile d'appréhender la quantité nécessaire de colle devant être chargée dans l'intrados de l'attache. Par ailleurs, la viscosité du système de collage doit être intermédiaire, ni trop fluide pour éviter une fusée de la colle, ni trop ferme pour permettre un bon enfoncement de la gouttière. Un exemple de colle pouvant être utilisée est le Transbond LR® de 3M.

### 3. Protocole 3 : Positionnement virtuel des attaches et impression de la gouttière de transfert

#### a. Acquisition des documents cliniques et radiologiques

Les prérequis et l'acquisition des empreintes numériques se font de la même manière que précédemment.

#### b. Préparation des modèles

Elle se réalise de la même manière que dans les protocoles 1 et 2.

#### c. Positionnement virtuel des attaches

Il se réalise de la même manière que dans le protocole 2.

#### d. Conception virtuelle du maître modèle

Elle se réalise de la même manière que dans le protocole 2, des gabarits étant positionnés en remplacement des attaches virtuelles.

#### e. Conception virtuelle du guide de transfert

Le guide de transfert est également réalisé dans le logiciel ApplianceDesigner™.

Après avoir sélectionné le maître-modèle, nous déciderons de créer une « barre ». L'axe d'insertion est défini, puis le spline est réalisé. Pour cela, il faudra positionner, sur chaque attache et tube, deux points qui sont les plus gingivaux et vestibulaires (Figure 52). Le guide est ensuite créé en respectant une limite gingivale définie par ce spline. La hauteur et la profondeur de cette gouttière peuvent être prédéfinies dans la

rubrique Ortho Panel, ce qui simplifie la réalisation du guide. Toutefois des retouches, tant sur la limite occlusale que sur la profondeur, peuvent être effectuées une fois la barre générée (Figure 53). L'idéal est de faire en sorte que la limite linguale se fasse au niveau des cuspidés linguales/palatines des dents cuspidées et au niveau du cingulum des dents antérieures. Concernant la hauteur de la gouttière, il faudra la diminuer au maximum tout en respectant une épaisseur minimale de 2mm environ (Figure 54).

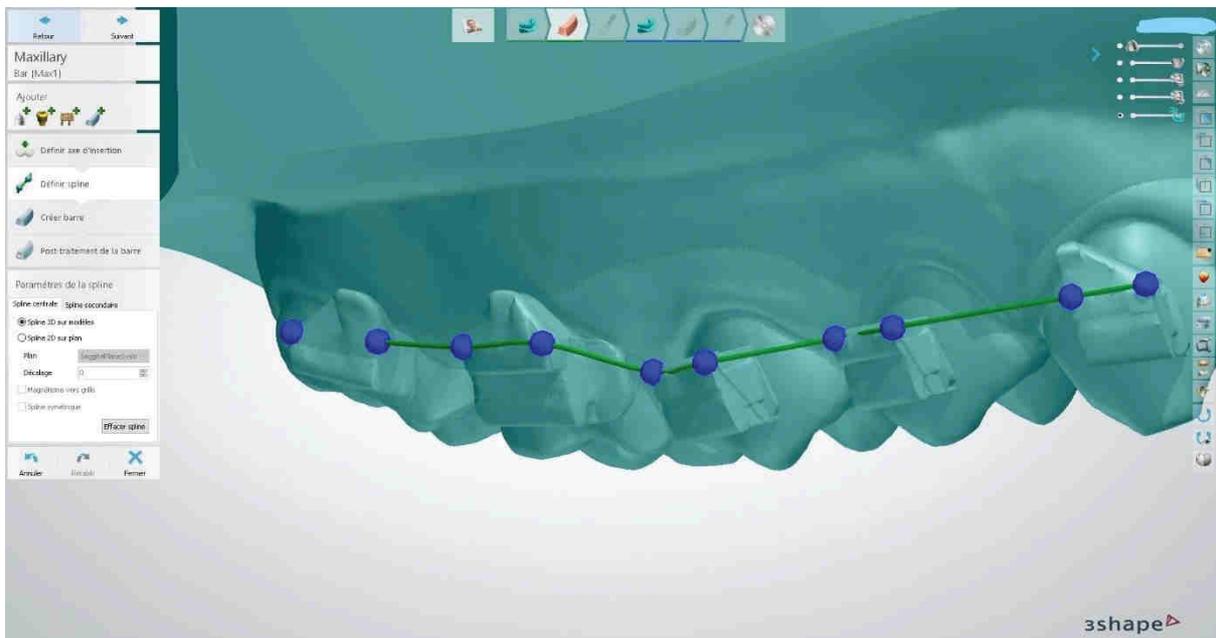
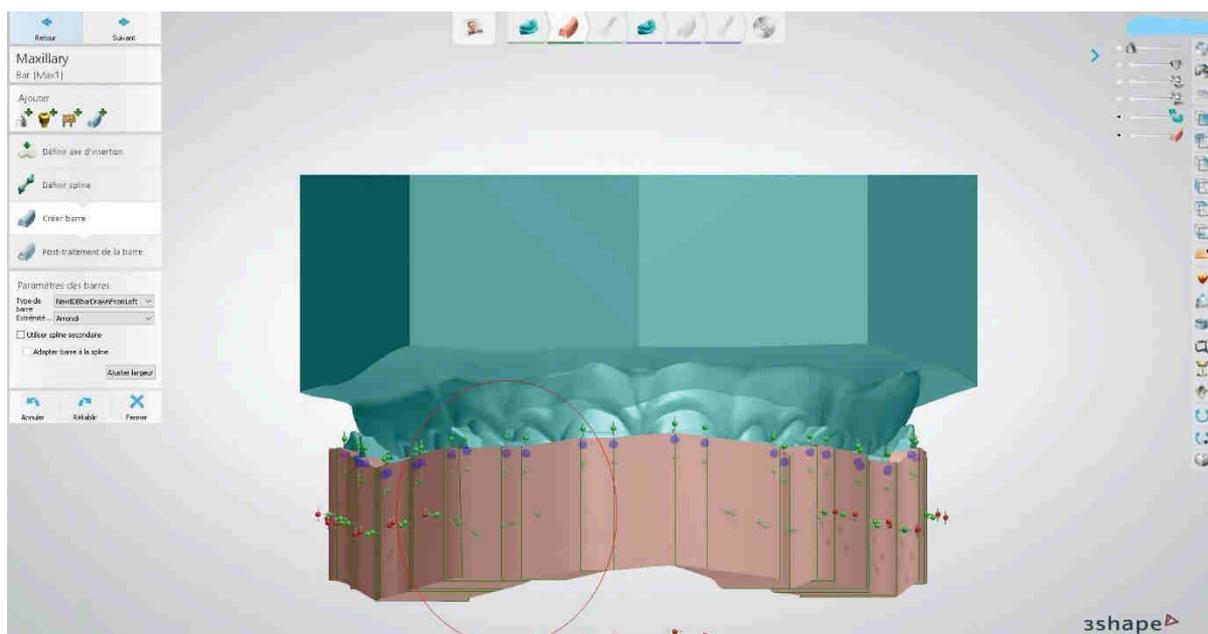
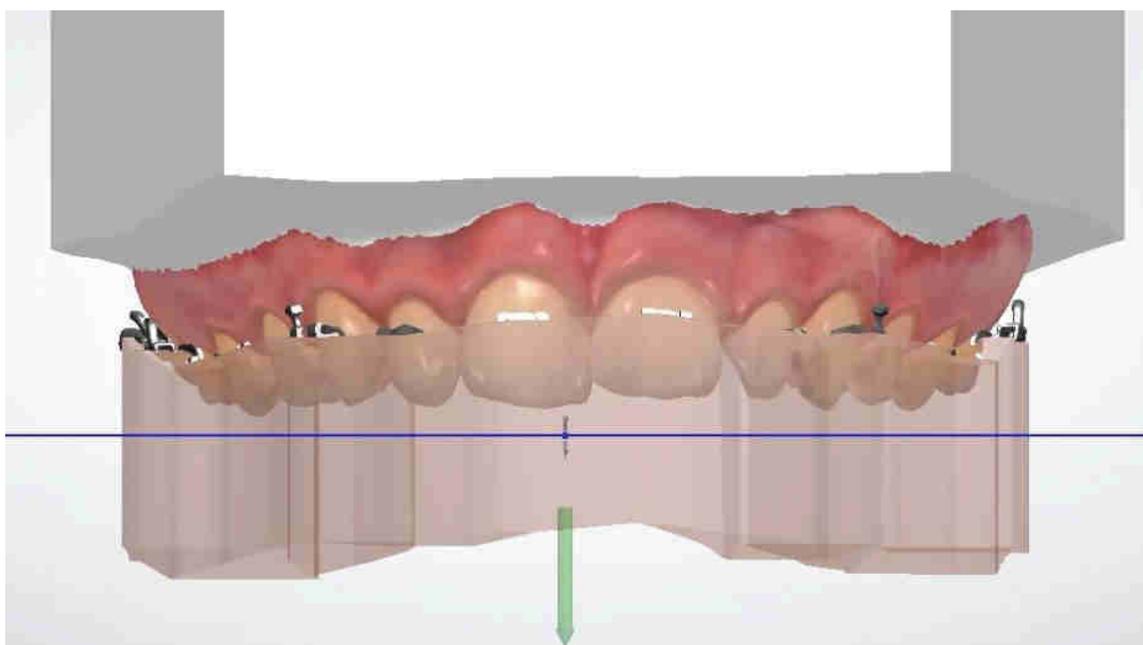


Figure 52 : Points définissant le spline du transfert de collage



**Figure 53 : Création du guide de transfert et modification de ses dimensions**



**Figure 54: Diminution de la hauteur de la gouttière**

Une fois que la barre a été paramétrée selon les mensurations désirées, un post-traitement doit être réalisé afin que le maître-modèle soit soustrait de cette barre. Ceci permettra d'avoir un guide avec le négatif de chaque dent et l'attache correspondante.

Pendant cette étape, un décalage de la surface interne doit être ajouté. Il s'agit d'une compensation à la rétraction de prise de la résine utilisée lors de l'impression. En effet, la gouttière sera imprimée avec un matériau polymère qui se rétracte pendant la prise. La valeur est ici généralement comprise entre 0,01 et 0,04mm et va dépendre du type de résine et de l'imprimante utilisées.

De petites finitions peuvent ensuite être réalisées sur la gouttière. Le milieu inter-incisif peut être marqué afin de faciliter son insertion lors du collage et d'éviter les erreurs de positionnement. Les extrémités postérieures sont coupées afin de ne pas avoir d'appui muqueux en distal des dernières dents à coller, ce qui risquerait d'entraîner des imprécisions lors du transfert. Enfin, pour identifier facilement la gouttière en cas d'impressions multiples, le nom ou les initiales du patient peuvent être ajoutées sur le côté de la gouttière.

#### f. Impression du guide de transfert

Comme décrit dans la partie sur l'impression 3D, seules les imprimantes résine permettent d'imprimer directement les gouttières de collage indirect.

Concernant les imprimantes DLP, plus les plateaux d'impression sont larges, moins bonne est la qualité. Il faudra donc privilégier des plateaux de taille réduite, mais cela n'est pas un réel inconvénient compte tenu de la vitesse rapide d'impression offerte par ce type d'imprimante.

Il existe différentes résines d'impression pour ces gouttières. Elles doivent présenter certaines caractéristiques : être transparente, être biocompatible, être suffisamment flexible pour permettre la désinsertion de la gouttière après le collage, et être compatible avec l'imprimante. Très peu de résines sont présentes sur le marché, les plus connues sont l'Ortho IBT® de NextDent et la Flexa IDB® de DWS.

g. Positionnement physique des attaches dans le guide de transfert

Il se réalise de la même manière que dans le protocole 2, à la différence que l'appui nécessaire à l'insertion de l'attache doit être plus important, afin que l'attache se clipse dans son logement.

h. Protocole clinique de collage indirect

Il se réalise de la même manière que dans le protocole 2. L'avantage ici est que la désinsertion de la gouttière est très rapide et aisée, en raison de l'ouverture de la gouttière en gingival des attaches.

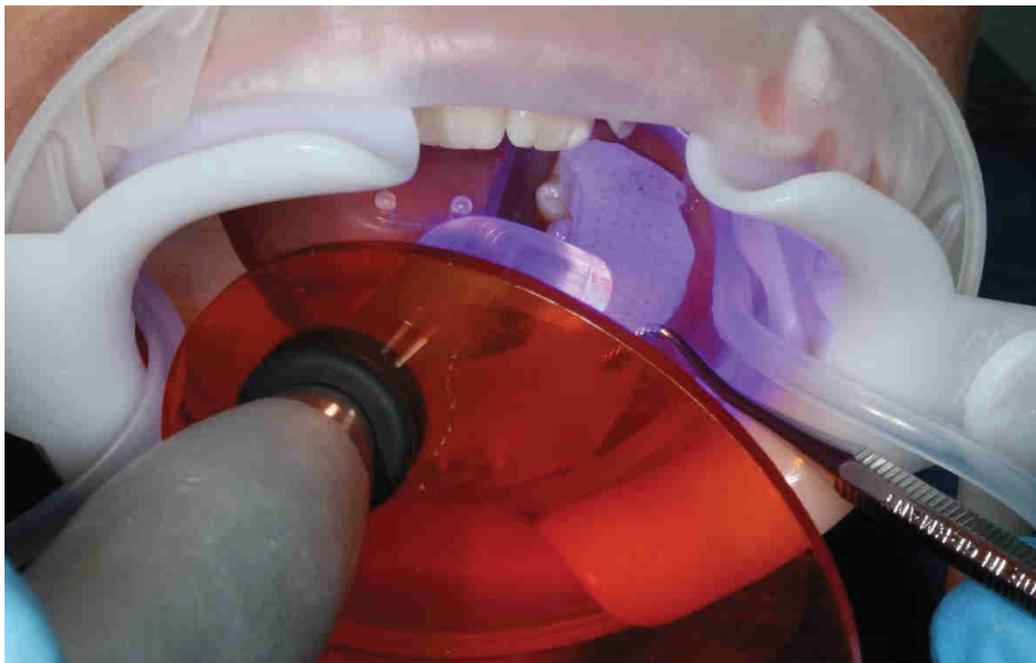
Ci-après sont représentées les étapes de collage indirect en clinique, utilisant un guide de transfert imprimé (Figure 55 à 59).



**Figure 55 : Mise en place du champ opératoire : OptraGate® et Nola®**



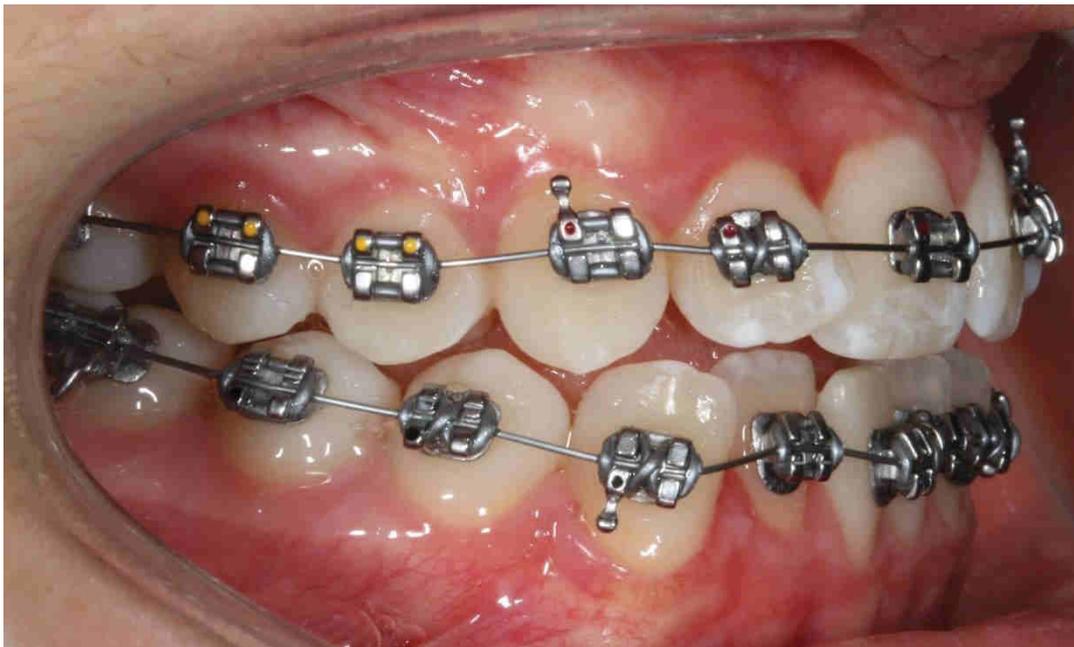
**Figure 56 : Mordançage des dents mandibulaires à l'acide orthophosphorique 35%**



**Figure 57 : Photopolymérisation de la colle sous pression contrôlée à l'aide d'une Shure, après application de l'adhésif et insertion du guide de transfert**



**Figure 58 : Désinsertion de la gouttière avec une curette**



**Figure 59 : Arcades maxillaire et mandibulaire collées, après retrait des excès de colle et mise en place des arcs orthodontiques**

## IV. Revue de la littérature

### 1. Temps de travail total et temps au fauteuil

Si on le compare au collage direct, le collage indirect traditionnel implique un temps de travail total plus important, du fait des étapes de laboratoire. Ce temps de travail total est en moyenne plus long de 19 minutes pour le collage indirect, pour les deux arcades<sup>27</sup>. Le temps passé au fauteuil est moins important car plusieurs attaches sont collées en même temps. Le temps passé au fauteuil pour le collage indirect est en moyenne plus court de 26 minutes ( $p < 0.001$ )<sup>27 28</sup>.

Il en est de même si l'on compare le collage direct et le collage indirect numérique avec impression du guide de transfert. Czolgosz et coll.<sup>29</sup> ont montré dans un essai clinique contrôlé randomisé publié en 2020 que le temps clinique au fauteuil était significativement plus court dans le cas du collage indirect numérique. Dans leur étude, la différence était de 4 minutes par arcade ( $p < 0.05$ ).

A ce jour, il n'existe pas d'étude comparant le temps de travail total entre un collage indirect préparé soit sur modèles physiques soit sur modèles numériques. Nous pouvons supposer que ce temps soit plus court pour les collages indirects numériques, car nous nous affranchissons des temps de prise des différents matériaux de coulée, le placement des attaches peut être modifié plus aisément, et certaines étapes peuvent être automatisées, comme le pré-positionnement des attaches par rapport aux préférences du praticien (dans les sens vertical et horizontal). Czolgosz et coll.<sup>29</sup> ont indiqué qu'il fallait environ 15 minutes pour positionner les attaches numériquement sur un modèle.

Aguirre et coll.<sup>30</sup> et Bozelli et coll.<sup>31</sup> ont comparé les temps cliniques et laboratoires entre les techniques de collage direct et indirect (méthodes traditionnelles, non numériques). Ils ont montré que le temps total pour le collage direct de deux arcades était respectivement de 42 minutes (collage complet) et 30 minutes (molaires non collées), et que le temps total pour le collage indirect était respectivement de 54 minutes et 39 minutes. Le collage indirect est significativement plus chronophage que le collage direct ( $p < 0,001$ ).

Cependant, le temps clinique est significativement plus court pour le collage indirect, soit une diminution de 18 minutes et 9 minutes ( $p < 0,001$ ), respectivement pour Aguirre et coll.<sup>30</sup> et Bozelli et coll.<sup>31</sup>. C'est en effet ce critère qui est plus intéressant à étudier car le temps clinique est plus « précieux » que le temps laboratoire.

Pour Czolgosz et coll.<sup>29</sup>, le temps clinique pour le collage direct était de 16 minutes, contre 12 minutes pour le collage indirect numérique. En ajoutant le temps de placement numérique des attaches, le temps total du collage indirect numérique était significativement plus long : 28 minutes ( $p < 0.001$ )

Bien entendu, ces durées vont grandement varier en fonction de l'expérience du praticien et/ou du technicien de laboratoire.

Concernant le collage indirect numérique, nous pouvons également tenir compte du temps d'impression des modèles ou des gouttières qui peut, selon la technique utilisée, être long. Mais cela n'est qu'accessoire car cette étape ne nécessite pas d'action humaine, l'imprimante pouvant travailler de manière 100% autonome.

## 2. Précision du positionnement des attaches

Le collage indirect permettrait un placement précis des attaches grâce à l'excellente visibilité fournie par le modèle sans les tissus mous du patient, en particulier les lèvres et les joues. Certaines études indiquent que cette précision serait accrue avec un collage indirect traditionnel<sup>32 33</sup> comparé à un collage direct. Cependant, la dernière revue systématique de la littérature publiée par Li et coll.<sup>34</sup> en 2019 indique qu'il n'y aurait pas de différence significative en terme de précision de collage des attaches que la technique soit directe ou indirecte.

La reproductibilité de ce placement numérique semble également être excellente, que le praticien ait de l'expérience avec cette technique ou non<sup>35 36</sup>.

Quelques études récentes indiquent que le placement indirect numérique des attaches serait plus précis que le collage direct<sup>37</sup>. D'après certains auteurs, cette précision accrue semble ne pas avoir d'influence sur la qualité finale du traitement, selon les critères de l'American Board of Orthodontics, mais permettrait un temps de traitement

global significativement plus court, à savoir  $21,9 \pm 5,0$  mois pour le collage direct,  $16,9 \pm 4,1$  mois pour le collage indirect traditionnel et  $13,8 \pm 3,4$  mois pour le collage indirect numérique ( $p < 0,001$ )<sup>38</sup>.

### 3. Précision des transferts de collage

La question de la précision des guides de transfert se pose surtout pour les gouttières imprimées. Il a été montré qu'elles peuvent tout à fait être utilisées, et qu'elles reproduisent de manière précise la position des attaches positionnées virtuellement sur les modèles numériques<sup>35</sup>.

Xue et coll.<sup>39</sup> indiquent que le collage indirect numérique permettrait de transférer de manière précise la position prévue de l'attache dans la bouche du patient.

Théoriquement, la précision pourra varier en fonction de l'imprimante et du type de résine utilisés. Nous rappelons que la précision sera généralement bonne et constante pour les imprimantes résine utilisant la technologie SLA, alors que la précision sera d'autant meilleure que la taille du plateau d'impression sera petite pour les imprimantes DLP.

Cependant, à ce jour, il n'existe pas d'étude *in vivo* comparant le positionnement virtuel des attaches dans le logiciel de CFAO et la position réelle des attaches une fois collées en bouche. Des imprécisions pourraient théoriquement survenir en cas de guide de transfert imparfait ou d'erreur de manipulation.

### 4. Taux de décollements

#### a. Taux de décollement immédiat

Czolgosz et coll.<sup>29</sup> ont trouvé dans leur étude un taux de décollement immédiat de 5.1% après un collage indirect numérique avec gouttières imprimées, contrairement au collage direct qui n'est accompagné d'aucun décollement immédiat. Ces résultats sont similaires à ceux d'autres études<sup>30 31</sup>. Ces décollements immédiats affectent

négativement le temps passé lors du rendez-vous de collage. Ils pourraient être liés soit à un temps de photopolymérisation trop court, car la lumière traversant le guide de transfert transparent perd en intensité et l'exposition totale reste inférieure à une application de la lampe au contact direct de l'attache, soit à une quantité insuffisante de composite de collage dans l'intrados des attaches.

#### b. Taux de décollement global

La revue systématique de la littérature de Li et coll. <sup>34</sup> a montré qu'il n'y a pas de différence significative des taux de décollement en cours de traitement, entre les attaches collées directement (6,5%) et celles collées de manière indirecte (7,5%) <sup>31 40</sup>. A savoir que toutes ces études n'ont abordé que les techniques traditionnelles de collage indirect. La procédure clinique de collage ne variant que très légèrement dans le collage indirect numérique, ces résultats pourraient être certainement similaires avec cette technique plus récente.

## 5. Coût

Czolgosz et coll. <sup>29</sup> ont montré dans leur étude que le collage indirect numérique ne présentait pas d'avantage financier pour un cabinet d'orthodontie, par rapport au collage direct.

Il y a tout d'abord un investissement matériel conséquent pour le praticien, selon la technique utilisée. L'acquisition d'un scanner intra-oral est le minimum afin de réaliser les empreintes numériques. Un logiciel comme OrthoAnalyzer™ doit être présent dans le cabinet afin de réaliser le placement des attaches. Enfin si les modèles sont imprimés sur place, le praticien doit investir dans une imprimante à filaments, ou même dans une imprimante résine s'il est prévu que les transferts de collage soient directement imprimés au cabinet.

Il est cependant difficile de généraliser ces résultats car cela dépend tout d'abord de l'organisation de chaque cabinet, du coût horaire du cabinet, et du coût horaire de chaque employé (orthodontistes, assistantes, techniciens de laboratoire). Cela dépend

aussi du temps passé par les techniciens pour réaliser les modèles, positionner les attaches et réaliser les guides de transfert, et du temps passé par l'orthodontiste à vérifier le positionnement numérique de chaque attache. Les coûts peuvent également être plus importants si des étapes sont sous-traitées à des tiers, comme par exemple l'impression de guides de transfert dans un laboratoire. Cela dépend également du pays dans lequel l'orthodontiste pratique : dans un pays où il est possible de déléguer beaucoup d'étapes cliniques et où une assistante dentaire peut par exemple réaliser un collage indirect sur le patient, le coût est réduit car le taux horaire d'une assistante est inférieur au taux horaire d'un orthodontiste <sup>29</sup>, qui peut s'affairer à d'autres tâches pendant que le collage indirect est réalisé. Réglementairement, il n'est pas possible de faire cela en France.

Chaque praticien doit donc calculer s'il est financièrement intéressant pour lui de pratiquer le collage indirect dans son cabinet, selon ses conditions spécifiques de travail. Si les collages indirects ne concernent qu'un faible volume, il sera certainement plus rentable de déléguer l'impression de la gouttière à un laboratoire tiers, alors que si le nombre de collages indirects est important, il sera peut-être plus opportun d'investir dans une imprimante résine afin d'imprimer les gouttières au cabinet.

## Conclusion

Le collage en orthodontie est en constant développement depuis ces dernières décennies. Le collage indirect traditionnel, développé pour réduire le temps de travail au fauteuil et faciliter la mise en place des dispositifs multi-attaches, a connu de nombreuses évolutions au niveau des techniques de réalisation, des matériaux, et de la pose chez le patient.

Les progrès technologiques récents ont permis au collage indirect numérique de voir le jour. Les scanners intra-oraux permettent d'acquérir des modèles numériques des patients. Les logiciels tels que OrthoAnalyzer™ et ApplianceDesigner™ autorisent le placement d'attaches numériques de manière extrêmement précise sur ces modèles, ainsi que la conception de guides de transfert de collage. Enfin, les imprimantes 3D peuvent, selon la technologie employée, imprimer les modèles et guides de transfert conçus numériquement.

Plusieurs techniques ont été décrites. Les modèles peuvent être imprimés, permettant un placement des attaches sur ce dernier. Les attaches peuvent également être positionnées de manière virtuelle et imprimées avec les modèles, permettant une confection plus aisée du guide de transfert. Enfin, les attaches peuvent être positionnées de manière virtuelle, et la gouttière de transfert conçue numériquement et imprimée directement.

Ces techniques, bien que précises et moins chronophages au fauteuil, présentent cependant des inconvénients. Elles nécessitent une organisation rigoureuse, augmentent le temps de travail total en raison des étapes de réalisation en amont, et nécessitent un investissement financier conséquent. Chaque praticien doit évaluer ses besoins et ses attentes avant de mettre en place un tel protocole au sein de son cabinet.

Ces protocoles sont vraisemblablement voués à être modifiés et améliorés dans les prochaines années, selon les progrès technologiques à venir.

## SIGNATURE DES CONCLUSIONS

Thèse en vue du Diplôme d'Etat de Docteur en Chirurgie Dentaire

Nom - prénom de l'impétrant : ESQUENET Matthieu

Titre de la thèse : Apport du numérique dans les protocoles de collage indirect des dispositifs orthodontiques multi-attachés

Directeurs de thèse : Docteurs Yves BOLENDER et Quentin KAMM

VU

Strasbourg, le : 21.7.21

Le Président du Jury,



**Pr François CLAUSS**  
HOPITAUX UNIVERSITAIRES DE STRASBOURG  
D.H.O.S.  
Maladies Bucco-Dentaires et Dentaires  
CJMDI Coordinateur

Professeur F. CLAUSS

VU

Strasbourg, le : 23 JUL. 2021

Le Doyen de la Faculté  
de Chirurgie Dentaire de Strasbourg,



Professeur G. TADDEI-GROSS

## BIBLIOGRAPHIE

1. Newman GV. Epoxy adhesives for orthodontic attachments: Progress report. *American Journal of Orthodontics*. 1965;51(12):901-912.
2. Newman GV. Adhesion and orthodontic plastic attachments. *American Journal of Orthodontics*. 1969;56(6):573-588.
3. Newman GV. The effects of adhesive systems on tooth surfaces. *American Journal of Orthodontics*. 1971;59(1):67-75.
4. Miura F, Nakagawa K, Masuhara E. New direct bonding system for plastic brackets. *American Journal of Orthodontics*. 1971;59(4):350-361.
5. Silverman E. A universal direct bonding system for both metal and plastic brackets. *American Journal of Orthodontics*. 1972;62(3):236-244.
6. Keim RG, Ili DSV, Vogels PB. 2020 JCO study of orthodontic diagnosis and treatment procedures. 2020;(10):30.
7. Nojima LI, Araújo AS, Alves Júnior M. Indirect orthodontic bonding - a modified technique for improved efficiency and precision. *Dental Press J Orthod*. 2015;20(3):109-117.
8. Pamukcu H, Ozsoy OP. Indirect bonding revisited. *Turk J Orthod*. 2017;29(3):80-86.
9. Hitmi L, Attal J-P, Degrange M. Les différentes familles de colles composites : présentation et expérimentation. *Orthod Fr*. 2002;73(1):39-58.
10. Gange P. The evolution of bonding in orthodontics. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2015;147(4):S56-S63.
11. O'Brien KD, Read MJF, Sandison RJ, Roberts CT. A visible light-activated direct-bonding material: An in vivo comparative study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1989;95(4):348-351.
12. Amato PAF, Martins RP, dos Santos Cruz CA, Capella MV, Martins LP. Time reduction of light curing: Influence on conversion degree and microhardness of orthodontic composites. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2014;146(1):40-46.
13. Mavreas D, Cuzin J-F, Boonen G, Vannet BV. The effect of various adhesives, enamel etching, and base treatment on the failure frequency of customized lingual brackets: a randomized clinical trial. *European Journal of Orthodontics*. 2018;40(3):5.

14. Benson PE, Alexander-Abt J, Cotter S, et al. Resin-modified glass ionomer cement vs composite for orthodontic bonding: A multicenter, single-blind, randomized controlled trial. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2019;155(1):10-18.
15. Caroline Briere. Les obligations légales françaises en orthopédie dento-faciale. Sciences du Vivant [q-bio]. 2012. hal-01738950.
16. Kravitz ND, Groth C, Jones PE, Graham JW, Redmond WR. Intraoral Digital Scanners. 2014;(6):11.
17. Lecocq G. La prise d'empreintes numériques : principes et intérêts en orthodontie. *International Orthodontics*. 2016;14(2):184-194.
18. Fleming PS, Marinho V, Johal A. Orthodontic measurements on digital study models compared with plaster models: a systematic review. *Orthodontics & Craniofacial Research*. 2011;14(1):1-16.
19. Watanabe-Kanno GA, Abrão J, Miasiro Junior H, Sánchez-Ayala A, Lagravère MO. Reproducibility, reliability and validity of measurements obtained from Cécile3 digital models. *Braz Oral Res*. 2009;23(3):288-295.
20. Mayers M, Firestone AR, Rashid R, Vig KWL. Comparison of peer assessment rating (PAR) index scores of plaster and computer-based digital models. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2005;128(4):431-434.
21. Sjögren APG, Lindgren JE, Huggare JÄV. Orthodontic study cast analysis—Reproducibility of recordings and agreement between conventional and 3D virtual measurements. *J Digit Imaging*. 2010;23(4):482-492.
22. Westerlund A, Tancredi W, Ransjö M, Bresin A, Psonis S, Torgersson O. Digital casts in orthodontics: A comparison of 4 software systems. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2015;147(4):509-516.
23. Présentation par Mécastyle des différents process en fab additive [en ligne].
24. Sébastien Clerc. L'impression 3D en odontologie : partie 2 : conception d'une imprimante 3D. Sciences du Vivant [q-bio]. 2016. hal-01931870.
25. L'impression DLP, qu'est-ce que c'est ? [en ligne].
26. L'impression 3D stéréolithographie (SLA). A3DM Magazine [en ligne].
27. Yildirim K, Saglam-Aydinatay B. Comparative assessment of treatment efficacy and adverse effects during nonextraction orthodontic treatment of class I malocclusion patients with direct and indirect bonding: a parallel randomized clinical trial. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2018;154(1):26–34.
28. Deahl ST, Salome N, Hatch JP, Rugh JD. Practice-based comparison of direct and indirect bonding. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2007;132(6):738–42.

29. Czolgosz I, Cattaneo PM, Cornelis MA. Computer-aided indirect bonding versus traditional direct bonding of orthodontic brackets: bonding time, immediate bonding failures, and cost-minimization. A randomized controlled trial. *Eur J Orthod*. Published online August 11, 2020.
30. Aguirre MJ, King GJ, Waldron JM. Assessment of bracket placement and bond strength when comparing direct bonding to indirect bonding techniques. *Am J Orthod*. 1982;82(4):269-276.
31. Bozelli JV, Bigliuzzi R, Barbosa HAM, Ortolani CLF, Bertoz FA, Junior KF. Comparative study on direct and indirect bracket bonding techniques regarding time length and bracket detachment. *Dental Press Journal of Orthodontics*. Published online 2013:7.
32. Shpack N, Geron S, Floris I, Davidovitch M, Brosh T, Vardimon AD. Bracket placement in lingual vs labial systems and direct vs indirect bonding. *Angle Orthod*. 2007;77(3):509–517.
33. Koo BC, Chung C-H, Vanarsdall RL. Comparison of the accuracy of bracket placement between direct and indirect bonding techniques. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1999;116(3):346-351.
34. Li Y, Mei L, Wei J, et al. Effectiveness, efficiency and adverse effects of using direct or indirect bonding technique in orthodontic patients: a systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health*. 2019;19.
35. Duarte MEA, Gribel BF, Spitz A, Artese F, Miguel JAM. Reproducibility of digital indirect bonding technique using three-dimensional (3D) models and 3D-printed transfer trays. *Angle Orthod*. 2020;90(1):92-99.
36. Nichols DA, Gardner G, Carballeyra AD. Reproducibility of bracket positioning in the indirect bonding technique. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2013;144(5):770-776.
37. Oliveira NS de, Gribel BF, Neves LS, Lages EMB, Macari S, Pretti H. Comparison of the accuracy of virtual and direct bonding of orthodontic accessories. *Dental Press J Orthod*. 2019;24(4):46-53.
38. Brown MW, Koroluk L, Ko C-C, Zhang K, Chen M, Nguyen T. Effectiveness and efficiency of a CAD/CAM orthodontic bracket system. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2015;148(6):1067-1074.
39. Xue C, Xu H, Guo Y, et al. Accurate bracket placement using a computer-aided design and computer-aided manufacturing–guided bonding device: An in vivo study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2020;157(2):269-277.
40. Thiyagarajah S, Spary DJ, Rock WP. A clinical comparison of bracket bond failures in association with direct and indirect bonding. *J Orthod*. 2006;33(3):198-204.

ESQUENET (Matthieu) – Apport du numérique dans les protocoles de collage indirect des dispositifs orthodontiques multi-attaches  
(Thèse : 3<sup>ème</sup> cycle Sci. odontol. : Strasbourg : 2021 ; N°48)  
N°43.22.21.48

Résumé :

La technique de collage indirect des dispositifs multi-attaches orthodontiques a été décrite la première fois en 1972 par Silvermann et Cohen. Cette technique implique une étape de laboratoire en plus de l'étape clinique. Le principe est de concevoir le positionnement des attaches en dehors de la bouche du patient, puis de coller toute une arcade à la fois à l'aide d'un guide de transfert. Cette technique se réalise traditionnellement via la réalisation de modèles en plâtre ou en silicone, et a été perfectionnée avec les progrès continus des matériaux de collage des dispositifs orthodontiques.

Ces dernières années, les scanners intra-oraux, les logiciels de conception et les imprimantes 3D, ont permis de développer de nouvelles techniques de collage indirect assistées par ordinateur. Les modèles peuvent être imprimés, permettant un placement des attaches sur ce dernier. Les attaches peuvent également être positionnées de manière virtuelle et imprimées avec les modèles, permettant une confection plus aisée du guide de transfert. Enfin, les attaches peuvent être positionnées de manière virtuelle, et la gouttière de transfert imprimée directement. Le but de ce travail est de réaliser une revue de la littérature permettant de décrire les différents protocoles de collage indirect, en fonction de la technologie numérique et du matériel utilisés, et d'en établir pour chacun les avantages et les inconvénients.

Rubrique de classement : Orthodontie

Mots clés : collage indirect ; numérique ; orthodontie ; multi-attaches ; travail au laboratoire ; conception assistée par ordinateur.

MeSH : orthodontic adhesives ; digital technology ; orthodontic brackets, orthodontics ; orthodontic appliances, fixed ; laboratories, dental ; computer-aided design.

Jury :

Président : Professeur CLAUSS François

Assesseurs : Docteur ETIENNE Olivier  
Docteur BOLENDER Yves  
Docteur KAMM Quentin

Coordonnées de l'auteur :

Matthieu ESQUENET  
19, rue des Orfèvres  
67000 Strasbourg  
Courriel : [matthieu.esq@gmail.com](mailto:matthieu.esq@gmail.com)