



**HAL**  
open science

# Établissement d'un protocole innovant de collage indirect des attaches orthodontiques assisté par ordinateur : revue de la littérature

Pénélope Pichon

► **To cite this version:**

Pénélope Pichon. Établissement d'un protocole innovant de collage indirect des attaches orthodontiques assisté par ordinateur : revue de la littérature. Sciences du Vivant [q-bio]. 2018. dumas-02496146

**HAL Id: dumas-02496146**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02496146>**

Submitted on 2 Mar 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Thèse pour l'obtention du  
DIPLOME d'ETAT de DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement

Par Pénélope PICHON

Née le 11 Mai 1991 à Versailles (78)

Le 27/09/2018

**Etablissement d'un protocole innovant de collage indirect des attaches orthodontiques assisté par ordinateur : revue de la littérature.**

Directeur de thèse

Docteur Anaïs CAVARE

Membres du Jury

Présidente	Mme MJ. BOILEAU	Professeur des Universités
Directeur	Mme A. CAVARE	Assistante Hospitalo-Universitaire
Rapporteur	M C. BAZERT	Maitre de Conférences des Universités
Assesseur	M E. BARDINET	Maitre de Conférences des Universités

# UNIVERSITE DE BORDEAUX

MAJ  
15/06/201

*Président* M. TUNON DE LARA Manuel  
*Directeur de Collège des Sciences de la Santé* M. PELLEGRIN Jean-Luc

## COLLEGE DES SCIENCES DE LA SANTE UNITE DE FORMATION ET DE RECHERCHE DES SCIENCES ODONTOLOGIQUES

<i>Directrice</i>	Mme BERTRAND Caroline	58-01
<i>Directrice Adjointe – Chargée de la Formation Initiale</i>	Mme ORIEZ-PONS Dominique	58-01
<i>Directeur Adjoint – Chargé de la Recherche</i>	M. FRICAIN Jean-Christophe	57-01
<i>Directeur Adjoint – Chargé des Relations Internationales</i>	M. LASSERRE Jean-François	58-01

### ENSEIGNANTS DE L'UFR

#### PROFESSEURS DES UNIVERSITES

Mme Caroline	BERTRAND	Prothèses	58-01
Mme Marie-José	BOILEAU	Orthopédie dento-faciale	56-01
M. Sylvain	CATROS	Chirurgie orale	57-01
Mme Véronique	DUPUIS	Prothèses	58-01
M. Bruno	ELLA NGUEMA	Fonction-dysfonction, Imagerie, biomatériaux	58-01
M. Jean-Christophe	FRICAIN	Chirurgie orale	57-01

#### MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

Mme Elise	ARRIVÉ	Prévention, épidémiologie, économie de la santé, odontologie légale	56-02
Mme Cécile	BADET	Biologie orale	57-01
M. Etienne	BARDINET	Orthopédie dento-faciale	56-01
M. Michel	BARTALA	Prothèses	58-01
M. Cédric	BAZERT	Orthopédie dento-faciale	56-01
M. Christophe	BOU	Prévention, épidémiologie, économie de la santé, odontologie légale	56-02
Mme Sylvie	BRUNET	Chirurgie orale	57-01
M. Jacques	COLAT PARROS	Fonction-dysfonction, Imagerie, biomatériaux	58-01
M. Jean-Christophe	COUTANT	Fonction-dysfonction, Imagerie, biomatériaux	58-01
M. François	DARQUE	Orthopédie dento-faciale	56-01
M. François	DE BRONDEAU	Orthopédie dento-faciale	56-01
M. Yves	DELBOS	Odontologie pédiatrique	56-01
M. Raphael	DEVILLARD	Dentisterie restauratrice, endodontie	58-01
M. Emmanuel	D'INCAU	Prothèses	58-01
M. Dominique	GILLET	Dentisterie restauratrice, endodontie	58-01
M. Jean-François	LASSERRE	Prothèses	58-01
M. Yves	LAUVERJAT	Parodontologie	57-01
Mme Odile	LAVIOLE	Prothèses	58-01
M. Jean-Marie	MARTEAU	Chirurgie orale	57-01
Mme Javotte	NANCY	Odontologie pédiatrique	56-01
M. Adrien	NAVEAU	Prothèses	58-01
Mme Dominique	ORIEZ	Dentisterie restauratrice, endodontie	58-01
M. Jean-François	PELI	Dentisterie restauratrice, endodontie	58-01

M.	Philippe	POISSON	Prévention, épidémiologie, économie de la santé, odontologie légale	56-02
M.	Patrick	ROUAS	Odontologie pédiatrique	56-01
M.	Johan	SAMOT	Biologie orale	57-01
Mme	Maud	SAMPEUR	Orthopédie dento-faciale	56-01
M.	Cyril	SEDARAT	Parodontologie	57-01
Mme	Noëlle	THEBAUD	Biologie orale	57-01
M.	Eric	VACHEY	Dentisterie restauratrice, endodontie	58-01

### **ASSISTANTS**

Mme	Audrey	AUSSEL	Fonction-dysfonction, imagerie, biomatériaux	58-01
Mme	Mathilde	BOUDEAU	Dentisterie restauratrice, endodontie	58-01
M.	Walid	BOUJEMAA AZZI	Dentisterie restauratrice, endodontie	58-01
Melle	Camille	BOULÉ-MONTPEZAT	Odontologie pédiatrique	56-01
Melle	Anaïs	CAVARÉ	Orthopédie dento-faciale	56-01
M.	Hubert	CHAUVEAU	Dentisterie restauratrice, endodontie	58-01
M.	Mathieu	CONTREPOIS	Prothèses	58-01
Mme	Clarisse	DE OLIVEIRA	Orthopédie dento-faciale	56-01
M.	Pierre-Adrien	DECAUP	Fonction-dysfonction, imagerie, biomatériaux	58-01
Mme	Séverine	DESCAZEUX	Fonction-dysfonction, imagerie, biomatériaux	58-01
M.	Cédric	FALLA	Prévention, épidémiologie, économie de la santé, odontologie légale	56-02
Mme	Mathilde	FENELON	Chirurgie orale	57-01
Mme	Elsa	GAROT	Odontologie pédiatrique	56-01
Mme	Agathe	GREMARE	Biologie orale	57-01
M.	Mickaël	HYVERNAUD	Prothèses	58-01
Mme	Olivia	KEROUREDAN	Dentisterie restauratrice, endodontie	58-01
M.	Adrien	LASTRADE	Prothèses	58-01
M.	Emmanuel	MASSON-REGNAULT	Chirurgie orale	57-01
Mme	Marie	MÉDIO	Orthopédie dento-faciale	56-01
Mme	Aude	MENARD	Prothèses	58-01
Mme	Meryem	MESFIOUI	Parodontologie	57-01
M.	Ali	NOUREDDINE	Prothèses	58-01
Mme	Chloé	PELOURDE	Orthopédie dento-faciale	56-01
M.	Antoine	PEPELUT	Parodontologie	57-01
Mme	Charlotte	RAGUENEAU	Prothèses	58-01
Mme	Noëlla	RAJONSON	Prévention, épidémiologie, économie de la santé, odontologie légale	56-02
M.	Thibaut	ROULLAND	Prothèses	58-01
M.	François	ROUZÉ L'ALZIT	Prothèses	58-01
Mme	Audrey	SAY LIANG FAT	Prévention, épidémiologie, économie de la santé, odontologie légale	56-02
Mme	Sophia	ZIANE	Dentisterie restauratrice, endodontie	58-01

## REMERCIEMENTS

### A notre présidente de thèse

Madame le Professeur Marie-José Boileau

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier

Sous-section Orthopédie-Dento-Faciale 56-02

*Je vous remercie pour l'honneur que vous me faites de présider ce jury de thèse. Travailler auprès de vous est un réel bonheur, j'en apprend chaque jour un peu plus sur l'orthodontie. Merci de transmettre votre passion avec tant de patience. Soyez assurée de mon profond respect.*

## A notre directeur de thèse

Madame la Docteur Anaïs Cavaré

Assistante Hospitalo-Universitaire

Sous-section Orthopédie-Dento-Faciale 56-02

*Je vous suis très reconnaissante d'avoir accepté de diriger cette thèse. Votre besoin d'excellence et de transmission a grandement facilité la réalisation de ce travail. Je tiens à vous exprimer ma gratitude pour votre disponibilité et votre sens clinique qui me permet chaque mercredi de progresser, ainsi que votre disponibilité au quotidien. Je vous remercie de votre partage quotidien et de l'investissement que vous apportez au service pour améliorer sans cesse notre niveau de connaissance et être au plus prêt des évolutions technologiques qui nous entourent et qui feront partie de notre quotidien.*

A notre Rapporteur de thèse

Monsieur le Docteur Cédric BAZERT

Maître de conférences des Universités – Praticien Hospitalier

Sous-section Orthopédie-Dento-Faciale 56-02

*Je vous suis reconnaissante d'avoir accepté de juger et relire ce travail. Je vous remercie de nous enseigner avec beaucoup de rigueur l'orthodontie et de nous accompagner au quotidien en clinique. Soyez assuré de mon profond respect.*

## A notre Assesseur

Monsieur le Docteur Etienne Bardinet

Maître de conférences des Universités – Praticien Hospitalier

Sous-section Orthopédie-Dento-Faciale 56-02

*Je vous suis reconnaissante d'avoir accepté de siéger dans mon jury. Je souhaite également vous remercier de votre perpétuelle présence en clinique et surtout de votre joie et bonne humeur, c'est toujours un plaisir de venir en clinique travailler le vendredi après-midi. Votre sens clinique, votre grande expérience et votre envie de partager nous permettent de progresser chaque jour. Soyez assuré de mon profond respect.*

## **REMERCIEMENTS**

Je remercie l'ensemble du corps enseignant de la sous-section d'ODF, les Drs Boileau, Darqué, De Brondeau, Bazert, Bardinet, De Olivera, Medio, Pelourde et Cavaré de nous transmettre leur réelle passion de l'orthodontie grâce au partage de leurs connaissances théoriques et pratiques.

Je remercie également l'équipe enseignante de la faculté d'odontologie de Nice et de Clermont-Ferrand qui m'ont permis d'évoluer en tant qu'externe.

Ainsi que le Dr Makarémi qui me permet d'évoluer dans le domaine de l'orthodontie et de la 3D, c'est un plaisir de travailler avec toi.

## REMERCIEMENTS

### **A ma famille,**

A Maman et mon Papa, vous qui m'avez toujours soutenu dans mon travail, dans mes choix malgré vos craintes lors de la décision que j'ai prise de retenter l'internat pour obtenir orthodontie. Vous avez toujours fait en sorte d'améliorer mon quotidien pour que je n'ai pas de soucis à gérer autres que celui de pouvoir travailler sereinement. Je ne vous en remercierai jamais assez. Si aujourd'hui je suis en train de présenter ma thèse pour être Docteur c'est grâce à vous. Je suis si heureuse de vous rendre fière.

A mes grandes sœurs, Charlotte et Valentine vous avez toujours été un modèle pour moi, j'espère avoir été à la hauteur de ce que vous m'avez apporté malgré la distance. Je suis très heureuse de vous voir évoluer d'une si belle façon. Vos enfants sont magnifiques et je suis très fière d'être tata, j'aimerais pouvoir vous voir au quotidien, vous me manquez. J'en profite pour embrasser également Charly, Lexane et Ysaline ainsi qu'Alex et Arthur que j'adore et qui me manquent.

A ma grand-mère Mamée qui quelque part m'a sûrement donné cette petite envie de médecine et qui j'espère est quand même fière de moi malgré mon choix de gratouiller les dents toutes la journée. Ta vie est exemplaire je suis heureuse d'avoir grandi dans les valeurs que tu partageais avec Papy. Je suis tellement fière de votre impressionnant parcours et d'être votre petite fille.

A mon grand-père, combattant tu as permis à ce qu'aujourd'hui la France soit une démocratie et ça j'en suis extrêmement fière. Tu es parti trop vite j'aurais voulu parler de ton histoire avec plus de maturité qu'à l'époque, mais tu restes un souvenir fort dans mon cœur. Je suis fière d'être ta petite-fille.

A ma tante Dom, tu as toujours été notre super tata, à nous gâter, à nous aider dans les cours et dans la vie. Je te remercie de tous les bons moments que nous a si généreusement offert. Je te dédie une partie de ce travail.

A Nanou, une tata (oui je sais vous adorez qu'on vous appelle tata, j'en profite) adorable, tata câlin, tata massage de crâne et atelier coiffure, j'ai d'excellents souvenirs avec toi.

A mes autres tantes, oncles et mes cousins, cousines éparpillés un peu partout, j'ai passé des super moments avec vous tous et l'entraide est hyper agréable entre nous, n'hésitez pas à venir visiter Bordeaux avant que je n'y sois plus ! Et particulièrement à Adèle et Anto qui m'ont accueilli pour de nombreux séminaires ; mais aussi à Gautier le skateur (merci pour la planche ;) et l'accueil parisien), Pierrick et Louisa, Fp et Lisa, Ben et Karine... A Bernard et Isabelle, de très bons moments passés ensembles

A ma vraie/fausse tata Nini et Merryl.

### **A mes proches,**

A mes amis de Bordeaux :

- Myriam : un réel coup de foudre amical, tu sais tout le bien que je pense de toi et le bel avenir que je te souhaite, j'ai hâte de voir ta thèse. Merci de partager mon quotidien et de toujours être là, je t'aime.
- Caroline : qui m'a tellement gentiment accueillie à mon arrivée sur Bordeaux et qui a toujours été un super soutien, pensée à Anne et Flo également et bien entendu à Christian

- Céline et Alban : j'aime vraiment passer du temps avec vous je me sens un peu comme en famille, vivement que l'on profite encore et encore de sortir, de plage, de rire.
- Vincent et Patrice : deux mecs super sympa mais pas que, j'apprécie réellement votre gentillesse et votre folie, je suis heureuse de vous connaître et de partager des excellents moments ensemble.
- Mathilde : Mathou trop chou quoi, je suis contente que l'on se soit rapprochée, tu es une fille super, ton rire restera gravé en mémoire. Je te souhaite beaucoup de bonheur et j'espère te retrouver quand je viendrai à la RUN.
- Yvo : toujours là pour le délire, des bons moments ensembles
- Claire : une rencontre improbable, je me reconnais beaucoup en toi et tu es celle qui me fait me dire que l'avenir est meilleur.
- Maéva : une super jolie rencontre de Bordeaux, tu es une magnifique personne merci pour tout.
- Antoine : toi qui devait m'accompagner à la salle, maintenant qu'on a tous les deux passé cette thèse on s'y fixe ? Ça va être super de te voir passer de l'autre côté en tant qu'assistant.
- Seb : grand fou que tu es tu m'as bien fait rire ces derniers temps
- Amélie : en premier patiente puis copine et à Aharon la mascotte du cabinet 9
- Yvan et Anouk : amis de famille depuis toujours presque pour moi, vous venez quand vous voulez faire un petit diner à la maison.

A mes amis de Nice notamment :

- Laure, tu as été une super aide pour ma prépa internat, mais au delà de ça tu es une personne que j'admire pour ton sérieux, ta motivation et persévérance, j'aimerais que tu sois épanouie et plus zen, tu es hyper forte! Beaucoup de bonheur avec Adrien que j'aime beaucoup.
- Pierre, binôme d'amour, toujours là pour moi, tu me manques depuis que je suis sur Bordeaux, j'espère te voir bientôt et je te souhaite que du bonheur dans cette vie de grand.
- Jennifer, tu m'étonneras toujours, devenue une sacrée aventurière, j'espère te revoir vite, ces années à Nice ont été un bonheur un peu grâce à toi aussi.
- Cannelle, ton petit grain de folie et ta gentillesse m'ont permis de passer des bonnes années d'externat
- Claire, on l'a bossé ensemble ce concours, donc merci pour ces moments révisions le soir chez toi. Je te souhaite beaucoup de bonheur
- Aux autres de la promo plus ou moins proches

A mes amis de Clermont : Laurine, Mélissa, Anais, Nadia, Jihad ... on aura fait des belles soirées, des randos hyper sympas et j'espère qu'on pourra s'en refaire.

A mes amis de Guyane : (France-Lise ma belle tellement de souvenirs... on ne se perd plus maintenant, Jean-François : hâte de venir en Guyane passer du temps à sortir avec vous, Flavio reprise de contact et très heureuse d'avoir l'impression que rien ait changé, Vannick bientôt à Bordeaux ma chérie ?, Kenzo, Justine...)

A mes co-internes avec qui je passe beaucoup de temps au CHU et à la fac : Juliette, Sarah, Nathalie, Hélène, Corentin, Adrien, Marie et Aurore et ceux des autres spécialités. Je vous souhaite plein de réussite. Et aussi aux aides soignantes et secrétaires de Pellegrin, ainsi qu'aux patients.

Et quand même pour finir à mon Gizmo qui m'accompagne depuis la P2 et je ne compte pas les heures passées à réviser (pour moi) et à dormir (pour toi), je t'adresse une grosse caresse, longue vie à toi.

Et à tous ceux non cités mais qui comptent à mes yeux.

# TABLE DES MATIERES

Introduction.....	12
1. Données générales sur le collage en orthodontie.....	13
1.1 Principes fondamentaux du collage.....	13
1.1.1 Principes de l'adhésion.....	13
1.1.2 L'adhésion selon les matériaux de collage.....	13
1.1.3 L'adhésion selon les substrats dentaires ou non.....	20
1.2 Collage direct.....	20
1.2.1 Définitions.....	20
1.2.2 Matériel.....	20
1.2.3 Protocole.....	21
1.2.4 Avantages/inconvénients du collage direct.....	22
1.3 Collage indirect conventionnel.....	23
1.3.1 Définitions.....	23
1.3.2 Matériel.....	23
1.3.3 Protocoles.....	28
1.3.4 Avantages/Inconvénients du collage indirect conventionnel.....	30
1.4 Points sur les dernières avancées du flux numérique en collage indirect.....	31
1.4.1 Caméras optiques.....	31
1.4.2 Les imprimantes 3D.....	34
1.4.3 Points sur le collage indirect.....	37
2. Le collage indirect des attaches orthodontiques basée sur la CFAO.....	39
2.1 Contexte.....	39
2.2 Objectifs.....	39
2.3 Matériel et méthodes.....	39
2.3.1 Critères d'inclusion.....	39
2.3.2 Méthode de recherche des études.....	40
2.3.3 Collecte des données et analyse.....	40
2.4 Résultats.....	40
2.4.1 Description des études.....	40
2.4.2 Qualité des études incluses.....	41
2.4.3 Différences de protocoles relevés dans la littérature.....	41
2.5 Discussion.....	46
3. Proposition d'établissement d'un protocole de collage.....	47
Discussion.....	64
Conclusion.....	66
Annexes.....	68
Tables des illustrations.....	69
Bibliographie.....	71

## Introduction

En orthodontie, deux techniques de collage des attaches orthodontiques existent, le collage direct en bouche et le collage indirect. Ce dernier requiert une étape préalable de positionnement à la main des attaches sur le moulage en plâtre et la réalisation d'une gouttière de transfert.

Le collage direct est un processus long, avec un risque accru de contamination des surfaces dentaires préparées, une précision plus aléatoire du positionnement des attaches (due à l'absence de repère sur la dent lors du collage) et un accès visuel difficile voire impossible par vision directe (surtout en lingual). (1) (2)

Ainsi le collage indirect s'est vite développé apportant un gain de temps au fauteuil, un confort de travail et une meilleure précision de collage. Cependant, dans la méthode conventionnelle avec réalisation de moulage en plâtre, positionnement des attaches sur le moulage et réalisation d'une gouttière de transfert, ces manipulations sont chronophages et l'orthodontiste doit le plus souvent faire intervenir un laboratoire externe (le positionnement manuel des attaches est long notamment)

Une nouvelle technique utilisant la CFAO permet de digitaliser l'étape de positionnement des attaches sur les moulages en plâtre. La conception et fabrication assistée par ordinateur (dite CFAO) désigne tous les équipements utilisés dans la chaîne numérique allant de la modélisation à la fabrication de composants.

Elle comprend les logiciels de conception et de fabrication, les équipements de numérisation 3D (scanner 3D) et les équipements de fabrication à commande numérique (imprimantes 3D...)

En effet, l'acquisition numérique des arcades par caméra intrabuccale a révolutionnée la prise d'empreinte. La CFAO permet ensuite la réalisation de setups, de gouttière et d'appareils mais aussi de placer numériquement les attaches orthodontiques.

Moreau (3) a décrit un procédé de collage indirect assisté par CFAO mais il nécessite l'intervention d'un laboratoire extérieur. Cet intermédiaire demande un temps de réalisation supplémentaire et un coût supérieur. L'orthodontiste pourrait réaliser de façon autonome le collage indirect des attaches entièrement au cabinet sans intervention extérieure.

L'objectif de cette thèse est d'évaluer à travers la littérature l'apport du numérique dans le collage indirect en vestibulaire et de proposer un protocole simplifié et innovant de collage indirect des attaches orthodontiques par CFAO.

Ce travail sera constitué de trois parties. La première partie sera une synthèse des données actuelles concernant le collage avec ses principes fondamentaux, le collage direct puis indirect.

La deuxième partie sera une revue systématique de la littérature sur les procédures de collage indirect des attaches vestibulaires basées sur la CFAO. Elle nous permettra d'étudier les différences de protocoles existants à l'heure actuelle.

Enfin, la troisième partie présentera un protocole innovant de collage indirect par CFAO avec la présentation d'un cas clinique dont le collage a été effectué au cabinet du Dr Cavaré Anaïs à Langon.

# 1. Données générales sur le collage en orthodontie

## 1.1 Principes fondamentaux du collage

### 1.1.1 Principes de l'adhésion

L'adhésion est l'ensemble des interactions qui contribue à unir deux surfaces entre elles, et donc s'oppose à leur séparation (CNEOC, 2010). En orthodontie on veut créer une liaison entre la dent et l'attache orthodontique via un système de colle.

Il existe donc deux interfaces : dent ou matériaux de restauration/colle et colle/attache.



Figure 1: Interface de collage selon Hitmi (4)

Deux théories complémentaires au phénomène d'adhésion se distinguent : (5) (6)

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

En orthodontie, les propriétés requises de cette colle sont (7) :

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

### 1.1.2 L'adhésion selon les matériaux de collage

Cinq familles de colles sont utilisées en orthodontie (7). Les colles composites hydrophiles et hydrophobes sont composées d'un adhésif et d'un composite tandis que pour les CVIMAR et les colles auto-mordançantes et auto-adhésives, l'adhésif n'est pas nécessaire.

### 1.1.2.1 Les colles traditionnelles hydrophobes

Elles sont classées selon le mode de polymérisation qu'elles ont. (8) (9)

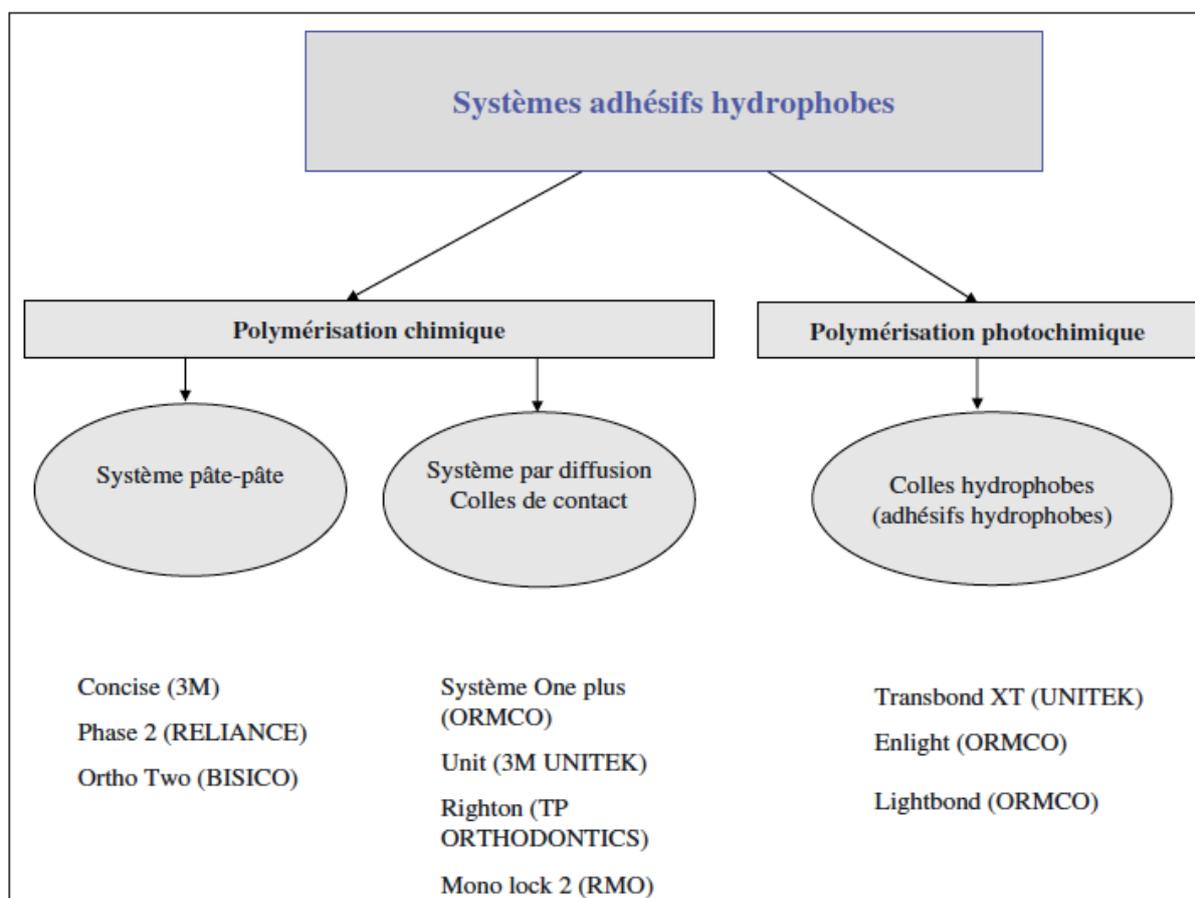


Figure 2: Systèmes adhésifs hydrophobes selon le mode de polymérisation. (10)

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

On distingue ainsi :

#### Les colles chémo-polymérisables :

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



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

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



*Figure 4: présentation du produit Right-on® de TP Orthodontics*

### Les colles photopolymérisables :

Il n'y a pas de mélange nécessaire donc pas d'incorporation de porosités, le temps de travail disponible est long mais elle nécessite un conditionnement à l'abri de la lumière et le degré de conversion est dépendant de l'épaisseur de colle, la nature et le taux de charges dans la colle, la nature des attaches orthodontiques (les céramiques diffusent mieux la lumière) la puissance de la lampe à photopolymériser (doit être supérieure à 500mW/cm<sup>2</sup>), la distance source lumineuse/colle, le temps d'insolation. Certaines colles comme la GC Ortho Concept (GC orthodontics) sont auto-adhésive donc ne nécessitent pas l'application d'adhésif mais un mordantage est nécessaire.



*Figure 5: présentation du produit Transbond® XT de 3M Unitek*

### Les colles duales :

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

### Avantages et inconvénients des colles hydrophobes :

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

#### *1.1.2.2 Les colles hydrophiles*

Elles sont composées d'une résine composite hydrophobe chémo-polymérisable ou photopolymérisable et d'un adhésif. (11) (12) Seul l'adhésif a été rendu hydrophile de part l'apport de monomères hydrophiles. Un solvant (acétone ou alcool) est ajouté à l'adhésif pour éliminer l'eau de la surface amélaire. Le mode d'application est semblable aux colles hydrophobes et dépendant du mode de polymérisation de l'adhésif et du composite.



*Figure 6: présentation du produit OrthoSolo® d'ORMCO*

- Avantages :
  - Moins sensibles aux conditions humides (Vicente et coll, 2009). En fait cela n'est vrai que pour la phase précédant l'application de l'adhésif car le composite est hydrophobe
  - Valeurs d'adhérence élevées
  - Bonnes propriétés mécaniques
  - Confort de la photopolymérisation
  
- Inconvénients :
  - Risque de perte d'émail de part le mordantage agressif et la rigidité du composite
  - Difficulté de dépose (surtout dans le cas d'attaches céramiques) due aux propriétés mécaniques élevées
  - Protocole long
  - Temps de travail limité en cas d'utilisation de systèmes chémo-polymérisables
  - Les colles chémo-polymérisables sont peu fluides ce qui est gênant en collage indirect (risque d'avoir une épaisseur de colle trop importante)

### 1.1.2.3 Les colles auto-mordançantes

De même que pour les colles hydrophiles, seul l'adhésif est auto-mordançant, pas le composite. Dans ce système, il existe une déminéralisation et une infiltration simultanée de la résine adhésive (13). Le système est photopolymérisable. La composition est semblable à celle des adhésifs hydrophiles avec en plus un pH situé entre 0,8 et 2 dû à l'ajout de monomères acides (hydroxy-éthyl méthacrylate ou HEMA). D'après Mano et Medhi en 2009 (10) la pénétration de résine est identique à la profondeur de mordantage. (8)



*Figure 7: Transbond® Plus Self Etching Primer de 3M Unitek*

- Avantages (14)
  - Moins agressif pour l'émail car l'attaque acide est plus faible
  - Manipulation aisée et ergonomique (présentation sous forme de sucette)
  - Pas de problème de contrôle de l'humidité vu qu'il n'y a pas de rinçage
  - Bonne efficacité (comparable aux colles non auto-mordançantes) (15) (16) (17) (18) (19)

- Inconvénients (14)
  - Sensibles à la contamination humide ou salivaire après application de l'adhésif

#### 1.1.2.4 Les colles auto-adhésives

Ce sont les matériaux les plus récents, normalement elles ne nécessitent aucun traitement de surface de mordantage ou de mise en place d'adhésif (20). Ces colles ont un effet micromécanique et chimique d'adhésion. Cette adhésion chimique serait liée à des liaisons chimiques entre les ions calcium des tissus dentaires et des groupements phosphates des monomères acides de la colle. Elle pourrait être utile en orthodontie d'après Al-Saleh (21).

En réalité cela est vrai pour l'adhésion à la dentine, mais l'adhérence à l'émail n'est pas suffisante en orthodontie. (22) (23) (11)

Ainsi pour contrer cette déficience, il faut ajouter un mordantage préalable à l'application de la colle auto-adhésive (24) (25) (26)



*Figure 8: présentation du produit RelyX® Unicem 2 Automix de 3M Espe.*

- Avantages (27)
  - Simple, rapide, ergonomique (moins d'étapes, présentation idéale, pas de spatulation)
  - Diminution du risque d'erreur, du nombre d'interfaces et des risques de contamination de part la suppression de la mise en place d'un adhésif
  - Viscosité idéale pour le collage indirect
- Inconvénients (27)
  - Collage direct impossible du fait de la faible viscosité, l'attache glisse et on perd de la précision de collage. Cette viscosité est idéale pour un collage indirect (26)
  - Temps d'exécution long dû à la viscosité, il faut photopolymériser après chaque application

#### 1.1.2.5 Les ciments verre-ionomères modifiés par addition de résine. (CVIMAR)

Ces matériaux combinent les propriétés des ciments verre-ionomères et la résistance des composites, donc ils allient les avantages des composites (meilleure force d'adhésion) et des CVI (pas de modifications des surfaces dentaires après dépôt des attaches) (28) (29) (30). Le mode d'application est similaire. (31)

- Avantages
  - Cohésion faible (14), donc il existe une fragilité mécanique permettant la dépose facile et une élimination aisée en fin de traitement (bien pour les attaches indéformables, ou lors d'un collage proche de la zone cervicale ou l'émail est fin) (28)
  - Biocompatibles, libérant des ions fluorures et capables de se recharger en ions fluorures pour en relarguer plus tard donc diminue la déminéralisation de l'émail autour des attaches (32) (33)
  - Meilleur respect de l'intégrité de l'émail (33)
  - Tolérants vis à vis de l'humidité (hydrophile et mono-composant) (34)
  
- Inconvénients
  - Nécessité de mordantage à l'acide polyacrylique
  - Adhérence inférieure aux autres systèmes (4)

Pour améliorer l'adhésion physicochimique et micromécanique il est possible d'associer un CVIMAR à un adhésif auto-mordançant ce qui permet une meilleure adhésion (27) avec une augmentation de 70% de la tenue de l'assemblage par rapport à l'utilisation d'acide polyacrylique, une bonne tolérance à l'humidité et une facilité de dépose des attaches et d'élimination de la colle.

#### *1.1.2.6 Autres matériaux d'assemblage*

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

#### *1.1.2.7 Choix de la colle*

L'étude de Miles P.G en 2005, (35) compare une colle chémo-polymérisable (Maximum Cure MC) et une colle photopolymérisable (Flitek Flow FF) dans une technique de collage indirect. 112 patients ont été collé secteur droit avec la colle MC et secteur gauche avec la colle FF, ils ont été suivi pendant 6 mois. Sur 2468 supports placés 36 (taux d'échec 2,9%) avec MC se sont détachées et 30 dans le groupe FF (taux d'échec 2,4%), ainsi les taux d'échecs sont faibles et comparables pour les deux. Le choix de la colle dépend plus de l'usage clinique préféré.

L'étude de Shah J. en 2009 (36) dans un essai clinique randomisé et une revue de littérature compare un système de collage en une étape (avec utilisation de SEP auto-mordançant) et un système de collage en deux étapes (Transbond®). Le taux de décollement était de 2,0% pour le Transbond® et de 1,7% à 6 mois et 7,4% tout au long du traitement et pour les SEP à 6 mois il était de 1,7% et plus tard dans le traitement à 7,0%. En conclusion le taux de décollement est comparable pour les deux il n'y a pas de différence significative

En conclusion, il n'existe pas de différence significative entre l'usage d'une colle chémo ou photo-polymérisable et en une ou deux étapes pour le collage sur l'émail. Le choix de la colle dépend plus de la facilité d'usage clinique et des goûts de l'utilisateur.

### 1.1.3 L'adhésion selon les substrats dentaires ou non

En orthodontie et plus particulièrement chez l'adulte, nous sommes souvent contraints de coller sur des surfaces multiples en raison de reconstitutions prothétiques, ainsi les surfaces peuvent être de l'émail sain, de la dentine, de la céramique, de la résine, de l'acier, de l'amalgame, de l'or...

La préparation de surface de collage dépend du substrats dentaires ou prothétiques mais nous ne traiterons pas de cet aspect au cours de ce travail.

## 1.2 Collage direct (37)

### 1.2.1 Définitions

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

### 1.2.2 Matériel

#### 1.2.2.1 Les attaches orthodontiques

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

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

Il existe pour les attaches métalliques :

- le système de grille simple soudée externe en deux parties (Mesh) ou interne (usiné/monoblocs) en un seul bloc grâce à des encoches, rainures horizontales ou verticales
- la base mordancée et poreuse par un procédé de photomordantage ou par l'application d'une poudre inoxydable
- la base sculptée au laser

Pour les attaches céramiques :

- Artifices de rétention taillés dans la base
- Irrégularités en pointes de diamant
- Ajout de silane sur la base jouant un rôle dans l'adhésion chimique

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

#### 1.2.2.2 Autre matériel

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

Une jauge de hauteur est souvent utilisée pour un bon contrôle de la hauteur. Il existe deux types de jauges : la jauge droite et la jauge étoilée. Une étude clinique de 2006 réalisée par H. Moustarhfir (38) comparait le positionnement des attaches orthodontiques selon l'utilisation des deux jauges, la jauge étoilée serait plus précise au niveau de la hauteur de positionnement de l'attache sauf sur l'incisive latérale ou la jauge droite serait plus précise en vertical et au niveau de l'angulation.

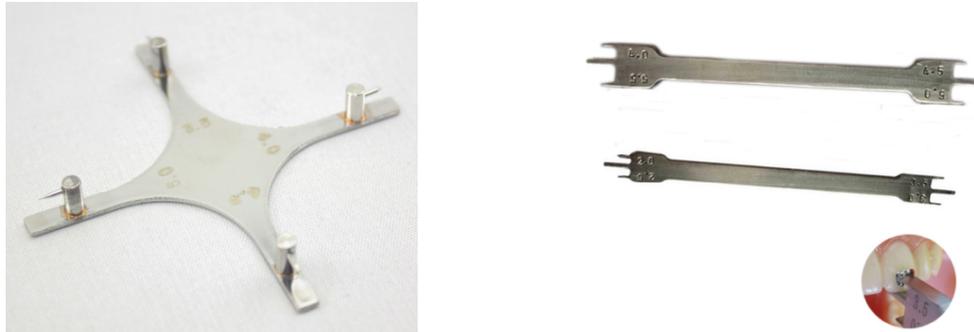


Figure 9: Présentation des deux types de jauges pour le collage direct

### 1.2.3 Protocole



Fig. 5.21

Méthode de collage directe.

A. Plateau des instruments et produits utilisés pour le collage; B. Nettoyage à la ponce des surfaces dentaires; C. Mordançage; D. Rinçage de l'etching; E. Pose du primer; F. Mise en place de l'attache et contrôle de la hauteur de collage. G. Retrait des excès de colle.

Figure 10: Protocole de collage direct des attaches orthodontiques d'après le Dr Boileau (42)

1. Nettoyage de la surface amélaire avec une brosse enduite de ponce
2. Déminéralisation de l'émail par attaque acide seule (système M&R ou pour les CVIMAR) ou avec simultanément la pénétration de la colle (système SAM) : voir protocoles selon le matériau de collage et selon le substrat dans II.a.ii et II.a.iii
3. Pénétration de la colle sur les zones déminéralisées
4. Mise en place de l'attache et contrôle de la hauteur, de la position centrée en mésio-distal et de l'axe de l'attache par rapport à l'axe corono-radulaire (on fait un contrôle

en vestibulaire et en palatin ou lingual à l'aide du miroir de bouche de la position mésio-distale et de l'axe de l'attache et à l'aide de la jauge on vérifie la hauteur)

Les critères de positionnement des attaches sont :

- La valeur d'angulation selon l'axe de la dent
- La valeur d'inclinaison selon la hauteur de collage
- Le centrage mésio-distal selon le bombé de chaque dent.

Andrews a permis de standardiser et d'optimiser les normes de position selon les dents. (39)

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

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

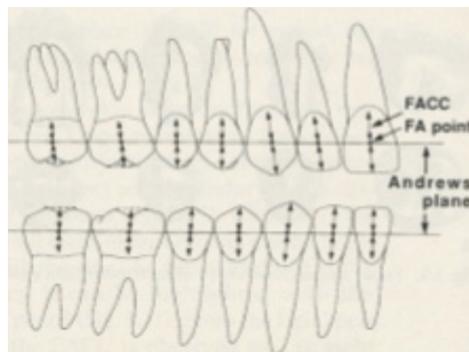


Figure 11: point FA d'Andrews (d'après un cours de Sylvain Chamberland)

5. Retrait des excès de colle
6. Polymérisation de la colle selon le mécanisme de polymérisation : chémopolymérisable (la réaction est initiée lors du mélange) ou photopolymérisable (la réaction est initiée par l'exposition à la lampe à photopolymériser)

#### 1.2.4 Avantages/inconvénients du collage direct

Avantages : (40)

- Surcoût faible
- Pas d'intervention de laboratoire extérieur ni d'étape de laboratoire supplémentaire
- Le positionnement est le fait du praticien et pas d'une assistante ou d'un technicien de laboratoire ce qui est d'autant plus important avec la technique par arc droit. En effet les informations sont fournies principalement par les attaches et peu par le pliage des arcs donc le bon positionnement des attaches est indispensable.
- Le positionnement est directement visible et ajustable à l'œil nu (moins de risque pour l'attache d'être déplacée par le mouvement d'une gouttière de transfert par exemple)

Inconvénients : (41)

- Long temps de collage
- Augmente le risque de contamination des surfaces dentaires préparées donc augmente le risque de décollement des attaches
- Moins de précision de positionnement des attaches car :
  - o Pas de repère sur la dent lors du collage

- L'œil est moins performant qu'une machine pour le contrôle des axes et des dimensions
- L'accès visuel n'est pas toujours possible par vision directe (en secteur postérieur et en lingual)

### 1.3 Collage indirect conventionnel

#### 1.3.1 Définitions

Silverman et Cohen cité par Shiao et coll en 1993 ont introduit en 1972 la méthode de collage indirecte (42) (43). Cela consiste à positionner les attaches sur un moulage lors d'une étape de laboratoire et nécessite donc la prise d'une empreinte préalable (à l'alginate) pour être coulée en plâtre ou en silicone. Puis il faut enregistrer leur position à l'aide d'une gouttière de transfert permettant de les reporter en bouche par un collage en une seule manœuvre. (37)

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

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

Intérêts : (44)

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

#### 1.3.2 Matériel

##### 1.3.2.1 Matériau d'empreinte et de positionnement des attaches

- Matériel de prise d'empreinte : alginate, bol et spatule, et porte-empreintes adaptés non perforés type RIM-LOCK (préconisé par Altounian) (45) ou perforés



Figure 12: Matériel à empreintes à l'alginate.

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

- Avantages du plâtre (27) :
  - Faible coût
  - Possibilité de tracer au crayon les positions sur les modèles
- Inconvénients du plâtre (27) :
  - Matériaux salissant
  - Matériel spécifique : taille plâtre et système de récupération...
  - Procédure longue 40minutes de temps de prise et 24heures de temps de séchage du modèle
  - Risque de contamination des talons de composite par le vernis d'espacement du plâtre (la solution est d'utiliser un colorant dans le vernis pour repérer les contaminations) ou par arrachage du plâtre (la solution est de réaliser les gouttières de transfert immédiatement après polymérisation du composite et de les désinsérer rapidement)
  - Risque de perte des talons qui restent sur le plâtre
- Avantages du silicone de coulée (27) :
  - Pas de matériel particulier
  - Dureté élevée idéal pour les modèles
  - Temps de prise très court de 30 secondes à 2-3minutes et le modèle est utilisable dès la prise du matériau
  - Pas besoin d'isolation donc moins de risque de contamination
  - Pas de risque de perte de talons ou de contamination par le silicone
- Inconvénients des silicones (27) :
  - Impossibilité de tracer les positions sur les modèles
  - Coût du matériel plus élevé



*Figure 13: Modèle en plâtre (Hitmi 2012) (27)*



*Figure 14: Modèle en plâtre recouvert de vernis coloré (Hitmi 2012) (27)*



*Figure 15: Modèle en silicone de type Quick-die® (Hitmi 2012) (27)*

- Positionnement manuel (39) : crayon mine noir 0,03mm et crayon graphite rouge 0,05mm, stylomine jauge pointe dure 7/10<sup>e</sup> d'épaisseur, compas



*Figure 16: Positionnement des attaches sur les modèles (Hitmi 2012) (27)*

### *1.3.2.2 Colles pour fixer les attaches sur le modèle réel*

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

- Colle hydrosoluble décrite par Chabre et Bassigny (46) : Unitek® : le temps de prise est de 15 minutes et elle s'élimine à l'eau et au bistouri après confection de la gouttière, ainsi le praticien collera avec des attaches nues. (36)
- Colle non soluble, biocompatible, qui restera sur la base de l'attache ; On aura donc une interface entre un talon de composite sur la base de l'attache et la surface dentaire. Cette liaison est chimique :
  - Autopolymérisable : Concice® de 3M (47) (48) (49) ou Phase II® Reliance (50)
  - Photopolymérisable : Enlight LV® (51) ou Light Bond® d'Ormco (50)
  - Thermopolymérisable : Therma Cure® Reliance (52) (50) qui durcit en 15 minutes à 325°C avec un temps de travail illimité
- APC bracket : attaches préencollées (elles devront être désinfectées à l'aide de chloroforme pour permettre la liaison chimique entre l'attache préencollées et l'émail) (47) (50)

### 1.3.2.3 Gouttière de transfert

Les gouttières dans la méthode classique peuvent être réalisées :

- En silicone : opaque ou transparent selon le type de colle utilisée, le silicone opaque sera utilisée avec une colle chimopolymérisable et le transparent en cas d'utilisation de colle photopolymérisable (46) (50) (51) (53)
  - Avantages :
    - Bonne stabilité dimensionnellement et reproduction
    - Possibilité de vérification si silicone translucide
    - Colle photopolymérisable possible si translucide
  - Inconvénients :
    - Manipulation complexe et soigneuse
    - Temps de travail court
    - Coût élevé



*Figure 17: Gouttière en silicone opaque (Hitmi 2012) (27)*

- En matériaux thermoplastiques : dur-élastiques, sandwich ou molle-élastiques (48) (54) soit en monocouche ou double gouttière thermoformée
  - Avantages :
    - Souplesse
    - Possibilité de vérification car gouttière translucide
    - Colle photopolymérisable possible
  - Inconvénients :
    - Recollage instable et imprécis



*Figure 18: Gouttière monocouche thermoformée (Hitmi 2012) (27)*

- Avantages de la double gouttière thermoformée (27) :
  - Bonne stabilité grâce à la rigidité de la gouttière dure (Duran® de 0,75mm d'épaisseur : résine polyester)
  - Bonne précision de positionnement grâce à l'ajustement de la gouttière molle (Bioplast™ 1,5mm d'épaisseur : acétate de vinyl éthyle)
  - Dépose aisée grâce à la découpe au dessus des contre-dépouilles de la gouttière rigide et à la souplesse de la gouttière souple



Figure 19: Double gouttière thermoformée (Hitmi 2012) (27)

- En 3 couches : silicone léger, lourd et matériau thermoformé (47)
  - Avantages :
    - Plus précis
  - Inconvénients :
    - Plus longue
    - Coût supérieur
- En résine (55) : ex : Gouttière de Triad® de Dentsply
- Mixtes (52) : silicone + matériau thermoplastique et composite de collage thermopolymérisable
- Unitaire en composite ou résine ou silicone. Ex Gouttière triad light-cure acrylic ® (Dentsply) (56) (57)

L'étude de Grünheid T et coll en 2016 (58) qui a étudié la position de 163 attaches orthodontiques collées (dont 136 réellement évaluées après les exclusions) posées sur 8 sujets à l'Université de Minnesota, a montré que l'utilisation des gouttières en vinyl polysiloxane (VPS) était un moyen de transfert avec une grande précision (80,15% de précision pour le torque et 98,53% pour la position mésio-distale et vestibulo-linguale). Dans cette étude des empreintes à l'alginate ont été réalisées sur les 8 sujets, elles ont été coulées en plâtre puis les attaches orthodontiques ont été placées et collées avec du Transbond XT® de 3M Unitek. Un CBCT a été réalisé sur ces moulages. Ensuite, les gouttières ont été réalisées sur les moulages avec du vinyl polysiloxane putty (Express STD ® de 3M) par le même opérateur, puis les attaches ont été collées indirectement par quatre internes en orthodontie. Enfin un CBCT a été réalisé sur les patients afin de comparer le positionnement des attaches en bouche par rapport à celui des moulages.

L'article de Castilla A.E de 2014 (59) a comparé la précision de transfert de 5 gouttières de transfert la double polyvinylsiloxane PVS, la double gouttière thermoformée (VF), la mixte (une gouttière en polyvinyl siloxane et l'autre en thermoformée) (PVS-VF), l'association d'une

gouttière en polyvinyl siloxane et l'autre en silicone putty (PV-putty) et la gouttière simple thermoformée (single-VF). 25 modèles et patients ont été analysés. La double-VF était la moins précise (n=6) et la PVS-VF la plus précise (n=1) avec n=nombre de dents avec différences significatives entre les positions sur le moulage et sur le patient. Leur conclusion est que les gouttières à base de silicone ont une plus grande précision que les méthodes basées uniquement sur le vide (thermoformées).

Les attaches orthodontiques en vestibulaire peuvent être les mêmes qu'en collage direct ou peuvent être individualisées (système Insignia®).

### **1.3.3 Protocoles (4) (32)**

#### *1.3.3.1 Prise d'empreinte*

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

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

#### *1.3.3.2 Coulée des empreintes : en plâtre en en silicone*

#### *1.3.3.3 Positionnement des attaches sur les moulages*

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

Il est possible de placer les attaches orthodontiques manuellement.

Kalange en 2007 (32) a défini des marqueurs horizontaux et verticaux :

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

#### *1.3.3.4 Collage des attaches orthodontiques sur le modèle*

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

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

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

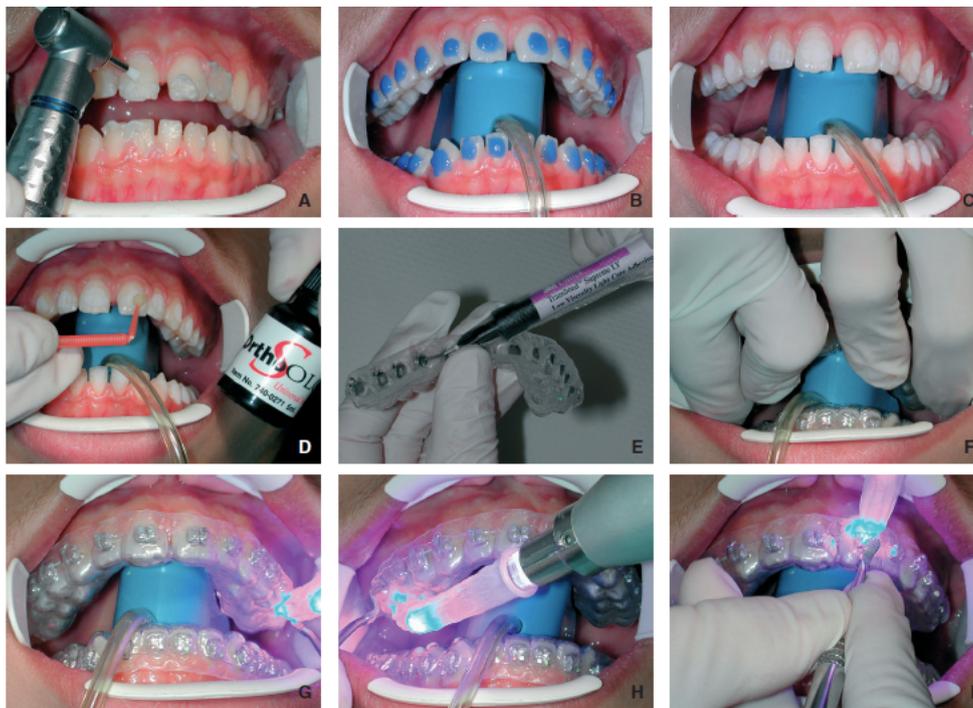
#### *1.3.3.5 Gouttière de transfert*

On réalise ensuite une gouttière de transfert. Elle doit être très précisément ajustée au moulage pour exercer une pression horizontale à la surface dentaire. (47)

#### *1.3.3.6 Collage en bouche*

- Protocole :

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



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

Figure 20: procédure de collage indirect d'après le Dr L. Hitmi 2012 (27)

### 1.3.4 Avantages/Inconvénients du collage indirect conventionnel

#### Avantages :

- Positionnement plus précis des attaches surtout dans les secteurs latéraux (60)
- Diminution du risque de contamination des surfaces dentaires préparée
- Rapidité de collage : gain de temps au fauteuil, RDV préprogrammés, confortable

#### Inconvénients :

- Nécessité d'intervention d'un laboratoire externe (en l'absence de CFAO), étape laboratoire supplémentaire
- Coût supérieur (travail de laboratoire, matériel coûteux)
- Des études ont discuté la précision de collage :
  - o HODGE et coll en 2004 (61) et THIYAGARAHAG et coll en 2006 (62) ont montré une absence de différence significative de précision dans les 3 sens de l'espace entre le collage direct et indirect lors d'une étude in vivo. L'étude de Hodge portait sur 26 patients et celle de Thiyagarajah sur 23 patients (14 attaches perdues sur 553 collées en. Indirect soit un taux d'échec de 2,5% comparable à celui du collage direct)
  - o THOMAS en 2007 (49) a montré une différence uniquement au niveau de la hauteur de collage, mais aucune différence d'angulation et de position mésio-distale. D'après Thomas les études de Thiyagarajah et Hodge sont critiquables du fait des difficultés des études in vivo, de l'absence de moyens comparatifs et d'hétérogénéité dans le choix des malocclusions.
- Des études ont discuté la force de collage :
  - o YI et coll en 2003 (63) et LINN et coll en 2006 (64) : aucune différence de forces de collage entre le collage direct et indirect. En effet les forces moyennes de

résistance au cisaillement étaient pour le groupe de dents collées en indirect 11,3MPa et pour le groupe en direct de 10,9MPa (dépassant toutes les deux la plage minimale de résistance au cisaillement de 5,9 à 7,8 MPa citée généralement dans la littérature pour une réussite clinique)

## 1.4 Points sur les dernières avancées du flux numérique en collage indirect

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

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

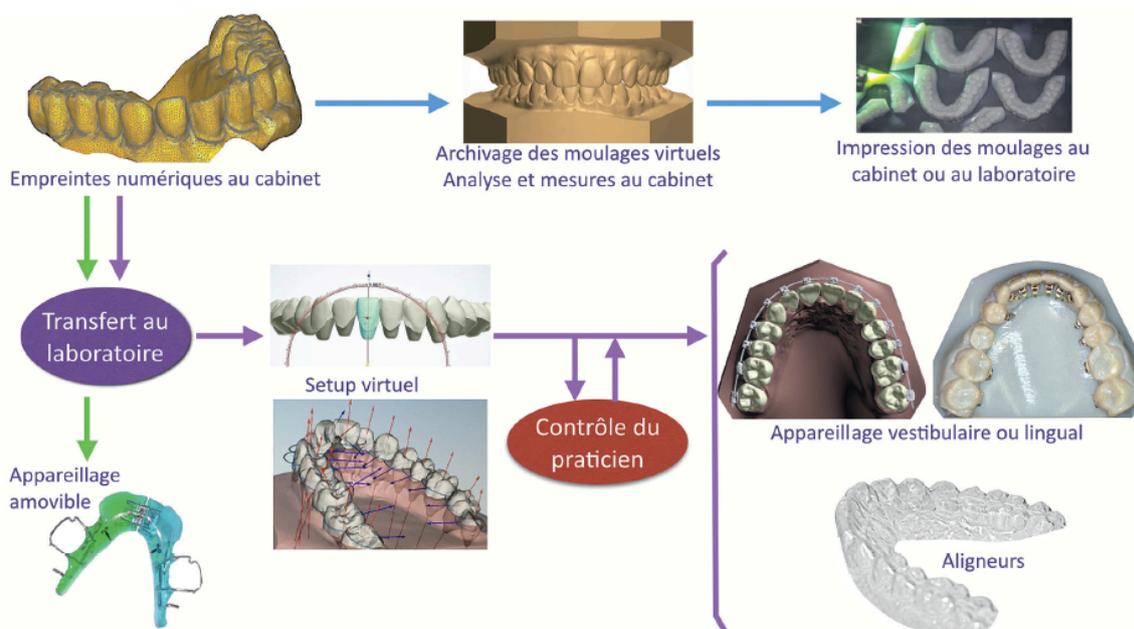


Figure 21: Résumé du flux numérique en orthodontie (Roger 2016) (65)

### 1.4.1 Caméras optiques

Il existe deux types de caméras (65)

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

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

Un logiciel permettra de transformer ce signal en un fichier STL, lisible par de nombreux logiciels et transférable par Internet

L'acquisition des points peut se faire : (66) (67)

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

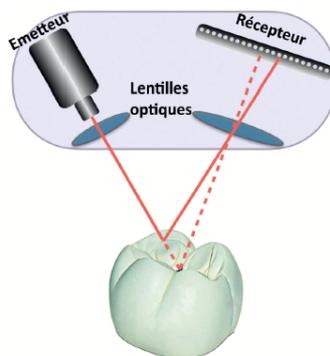


Figure 22: Triangulation Laser (Roger 2016) (65)

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

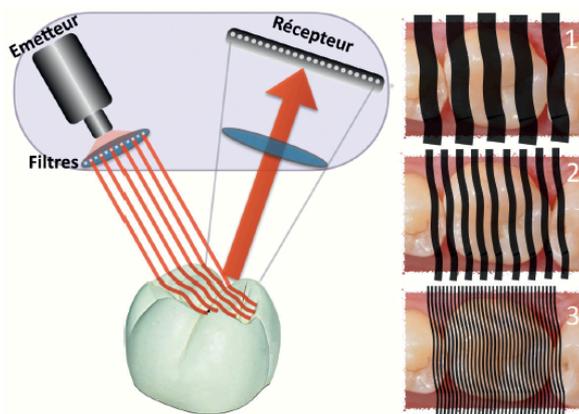


Figure 23: Projection de franges de lumière – AFI (Roger 2016) (65)

- Par imagerie parallèle confocale :
  - Une lumière laser est projetée à travers un sténopé (très petite ouverture), le faisceau réfléchi passe par un cristal biréfringent puis capté par un capteur CCD à travers un sténopé. Ainsi la lumière réfléchie se trouvant en dehors du plan focal est éliminée et seuls les points se trouvant sur le plan focal sont enregistrés.

Ils forment des coupes tomographiques de l'objet (l'objet est coupé en milliers de tranches qui sont ensuite assemblées pour former l'image 3D). Ce système permet de mesurer des cavités et reliefs profonds et de angles supérieurs à 85° ce que ne permettent pas les deux autres.

- Système iTero® d'Align Technology et Trios® de 3Shape

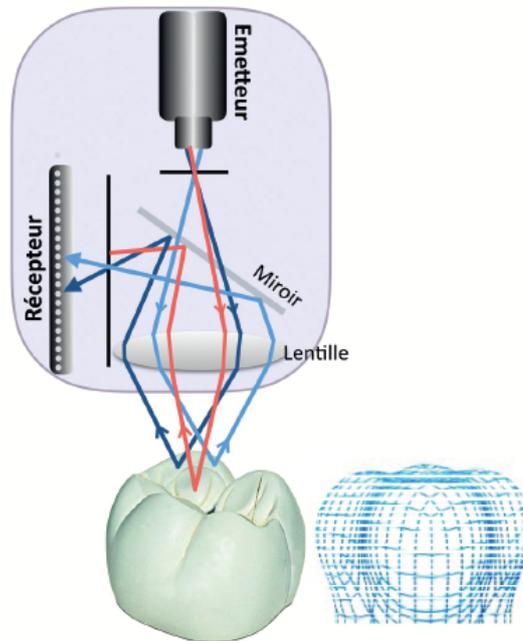


Figure 24: Imagerie parallèle confocale (Roger 2016) (65)

- Par vidéo stéréophotogrammétrique :

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

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

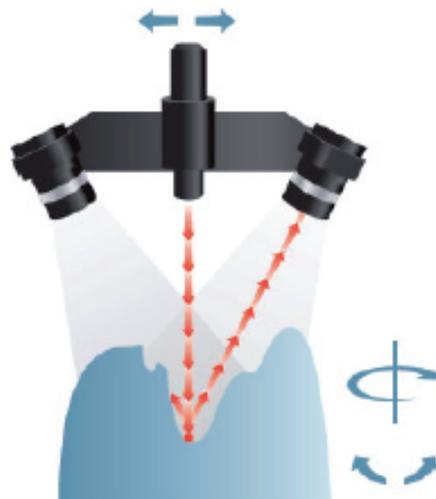


Figure 25: Le principe « cameras-Laser », scanner R700 de 3Shape. (Coblentz 2012) (68)

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

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

### 1.4.2 Les imprimantes 3D

Différents types d'imprimantes existent, on peut les classer en 4 catégories : (65)

<b>Techniques</b>	<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<b>Thermoplastique</b>		
FDM (Fused deposition modelling) ou FFF: un puissant laser à fibre optique permet d'agglomérer les particules de métal ou céramique sous forme de poudre. Mais cette technologie est une solution actuellement uniquement industrielle.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Haute porosité</li> <li>- Résistance mécanique variable</li> <li>- Matériaux et équipement de faible ou moyen coût</li> <li>- Certains matériaux peuvent être stérilisés à la chaleur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Faible précision dans les équipements à faible coût</li> <li>- Matériaux limités (uniquement thermoplastiques)</li> <li>- Complexité de forme limitée pour les matériaux biologiques</li> <li>- Qualité faible pour les modèles et les gouttières</li> </ul>
<b>Résine photopolymérisable</b>		
Stéréolithographie SLA : une résine liquide photopolymérisable est utilisée par addition. Le plateau d'impression est plongé dans un bac avec de la résine liquide et un faisceau de lumière (laser ou projection d'image de couche) est projetée activant les photo-initiateurs. Cette méthode est plus précise et permet de créer	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fabrication rapide.</li> <li>- Coût du matériel moins cher si acheté en lot.</li> <li>- Capable de créer des formes complexes avec une résolution élevée (des modèles d'étude et de travail, des résines calcinables, des résines biocompatibles transparents, des résines pour porte-empreinte individuel ou couronnes provisoires)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uniquement disponible pour des polymères liquides photodurcissables.</li> <li>- Les matériaux de support doivent être retirés à la fin.</li> <li>- Résine salissante et peut être irritante au contact ou à l'inhalation</li> <li>- Durée de conservation limitée et durée de vie de la cuve limitée</li> <li>- Ne peut pas être stérilisé à la chaleur</li> <li>- Technologie à coût élevé</li> </ul>
Polyjet : proche de la technique par SLA mais la	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relativement rapide</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le matériau de support peut</li> </ul>

<p>résine photopolymérisable est projetée en de fines gouttelettes sur le plateau d'impression puis polymérisée, le support est en cire.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Haute résolution, finition de haute qualité</li> <li>- Plusieurs matériaux disponibles de différentes couleurs et propriétés physique, (matériaux élastiques...) sont projetables en même temps</li> <li>- Technologie à moindre coût</li> </ul>	<p>provoquer une irritation de la peau</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ne peut pas être stérilisé à la chaleur</li> <li>- Matériaux à coût élevé</li> </ul>
<p>DLP (digital light processing) : une résine liquide est durcie couche par couche par projection de lumière. L'objet est construit à l'envers sur une plateforme élévatrice incrémentielle</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bonne précision, surfaces lisses, relativement rapide</li> <li>- Technologie à moindre coût</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les matériaux de support doivent être retirés</li> <li>- Résine salissante pouvant irriter la peau</li> <li>- Durée de conservation et durée de vie de la cuve limitées</li> <li>- Ne peut être stérilisé à la chaleur</li> <li>- Matériaux plus coûteux</li> </ul>
<p><b>Liant en poudre</b></p>		
<p>Du plâtre ou ciment est fixé par des gouttes d'eau colorées injectée par la tête d'impression. L'objet est construit couche par couche dans un lit de poudre, sur une plateforme qui descend petit à petit.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Matériaux et technologie à moindre coût</li> <li>- Peut imprimer en couleur</li> <li>- Pas de support</li> <li>- Process relativement rapide</li> <li>- Matériaux surs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Basse résolution</li> <li>- Poudre désordonnée</li> <li>- Faible résistance</li> <li>- Ne peut pas être trempé ou stérilisé à la chaleur</li> </ul>
<p><b>Poudre à fritter</b></p>		
<p>SLS pour polymères : l'objet est construit couche par couche dans un lit de poudre. Des chaudières montent en température le matériau juste au-dessous du point de fusion. Le laser à balayage fritte ensuite la poudre couche par couche dans un lit qui descend.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Large gamme de matériaux : polymères avec nylon, élastomères et composites</li> <li>- Pièce robuste et précise</li> <li>- Processus autosupporté</li> <li>- Matériaux polymères peuvent être autoclavés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Infrastructure importante requise (contrôle de la pression de l'air et du climat)</li> <li>- Poudres désordonnées</li> <li>- Risque d'inhalation</li> <li>- Technologie à coût élevée</li> <li>- Surface rugueuse des pièces</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Possibilité d'action mécanique des pièces (assemblage...)</li> <li>- Matériaux moins chers si commandés en grand volume</li> </ul>	
SLS pour métaux et alliages métaux : appelé SLM (selective laser melting) ou DMLS (direct metal laser sintering). Le laser à balayage fritte la poudre de métal couche par couche dans une chambre de construction à froid tandis que la plate-forme de construction descend.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Objets à haute résistance</li> <li>- Contrôle de la porosité</li> <li>- Grande variété de matériaux (titane et alliage, chrome cobalt, acier inoxydable...)</li> <li>- Possibilité de recyclage des matériaux</li> <li>- Détails précis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Infrastructure importante requise</li> <li>- Technique extrêmement coûteuse et matériaux moyennement coûteux</li> <li>- Poussière peut être nocive pour la santé</li> <li>- Risque d'explosion</li> <li>- Surface rugueuse</li> <li>- Post-traitement requis pour soulager les contraintes internes dans les objets comprimés</li> <li>- Support difficile à enlever</li> <li>- Process lent</li> </ul>
EBM Arcam (Electron beam melting) : la poudre est frittée couche par couche par le balayage du faisceau d'électrons sur la plate-forme de construction qui descend.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Processus à haute température ne nécessitant aucun support ou traitement thermique</li> <li>- Haute vitesse</li> <li>- Pièces denses à porosité contrôlée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Technologie extrêmement coûteuse, matériaux modérément coûteux</li> <li>- Poussière peut être nocive pour la santé</li> <li>- Basse résolution</li> </ul>

Figure 26: les différents types d'imprimantes 3D sur le marché (Dawood 2015) (69)

S.Y Kim et coll en 2008, (70) ont comparé les différentes imprimantes 3D (polyjet, DLP, FFF et SLA) pour la précision des moulages, ils ont montré qu'il y avait des différences significatives dans les mesures. En effet l'imprimante Polyjet (68+/-9microns) est la plus précise puis vient la DLP (76+/-14microns) et enfin la SLA (88+/-14microns) puis la FFF(99+/-14microns) avec (P<0,05).

En 2018 C.S Favero et coll (71) ont réalisé une étude sur l'effet de l'épaisseur des couches d'impression et du type d'imprimante sur la précision des modèles orthodontiques imprimés. Il en résulte une différence avec une précision plus importante si la couche est plus épaisse (groupe 100mm : écart moyen de 0,064mm (IC95 0,060mm-0,068mm), groupe 50mm : écart moyen de 0,076mm (IC95 0,072mm-0,080mm) et groupe 25mm 0,083mm (IC95 0,079mm-0,087mm). De même selon le type d'imprimantes dans les dernières en précision nous avons deux DLP (Juela® et Vida®) et une SLA (Form2®) et dans les plus précises une DLP (Vector®) et une polyjet (Objet®) sans valeurs communiquées.

Les avantages du numérique sont la simplicité de réalisation des empreintes, du stockage des dossiers numériques des patients, l'outil de communication avec le patient et les confrères.

Pour certains l'absence de manipulation manuelle est un souci, facilement résolvable par l'impression des moulages.

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

### 1.4.3 Points sur le collage indirect

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

#### 1.4.3.1 Etape 1 : empreintes

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

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

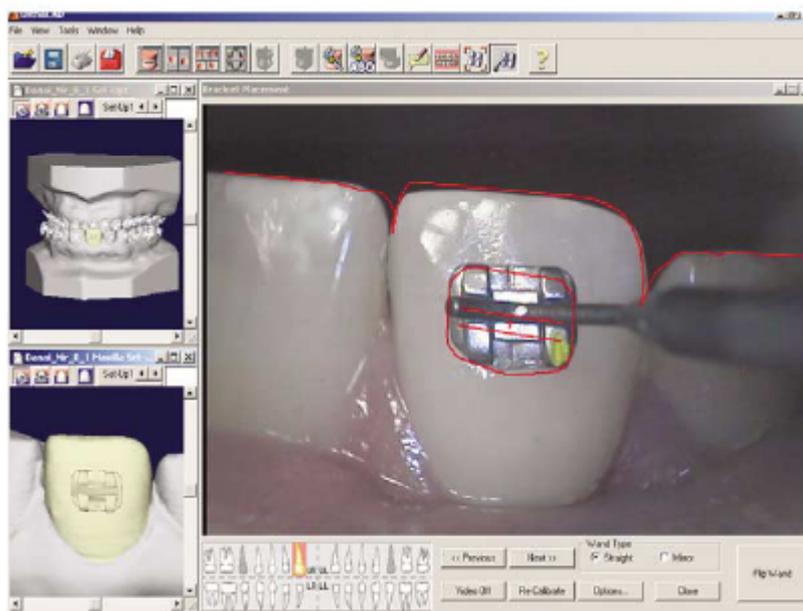
Figure 27: comparaison entre le moulage en plâtre et le modèle numérique (Coblentz 2012) (68)

#### 1.4.3.2 Etape 2 : moulage et positionnement des attaches orthodontiques

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

Il est possible de combiner sur les logiciels les images 3D obtenues par l'empreinte numérique et celles obtenues par un cone beam, ce qui permet de visualiser avec précision les rapports entre racine et couronne et racine et tissus parodontaux. (73)

OrthoCAD® propose en plus du positionnement numérique des attaches un système de vérification du positionnement des attaches lors du collage via une caméra qui contrôle et indique sur l'écran la position attendue de l'attache. En effet ce type de logiciel permet donc un rétrocontrôle du positionnement des attaches en temps réel. (74)



*Figure 28: Impression de l'écran de contrôle avec une vue immédiate du collage en cours avec une indication en rouge du positionnement attendu (Redmond 2004) (74)*

### *1.4.3.3 Etape 3 : système de transfert des attaches orthodontiques*

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

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

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

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

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

## **2. Le collage indirect des attaches orthodontiques basée sur la CFAO**

### **2.1 Contexte**

Nous avons pu étudier dans la première partie de ce travail que le collage indirect a été révolutionné depuis l'arrivée du numérique avec la possibilité de réaliser des empreintes optiques permettant la réalisation d'un moulage numérique mobilisables dans les trois sens de l'espace, pouvant être mesurés, analysés et retravaillés. Sur ces moulages numériques nous pouvons positionner grâce à des logiciels informatiques les attaches orthodontiques. Les imprimantes 3D permettent d'imprimer les modèles avec les encoches pour repositionner les attaches orthodontiques. Il pourrait également être possible de réaliser de façon numérique une gouttière de transfert et de l'imprimer directement grâce à une imprimante 3D.

Nous nous sommes intéressés aux publications concernant les différentes étapes de protocole de réalisation du collage indirect assisté par CFAO. Ainsi, nous avons souhaité réaliser une revue systématique de la littérature sur le collage indirect assisté par CFAO directement au cabinet dentaire.

### **2.2 Objectifs**

Sélectionner dans la littérature les procédures de collage indirect optimales compatibles avec une réalisation en CFAO au cabinet dentaire.

### **2.3 Matériel et méthodes**

#### **2.3.1 Critères d'inclusion**

##### *2.3.1.1 Type d'études*

Toutes les publications concernant le collage indirect utilisant une technique par CFAO ont été incluses : études cliniques randomisées contrôlées, études cliniques contrôlées prospectives ou rétrospectives, séries de cas, rapport de cas, thèses ou mémoires avec une restriction aux publications en langue anglaise ou française concernant l'applications sur l'homme.

##### *2.3.1.2 Types de participants*

Des patients enfants, adolescents et adultes sans distinction de sexe, en bonne santé, avec un besoin d'orthodontie et dont le traitement choisi nécessite un collage vestibulaire ont été sélectionné pour la réalisation des études choisies.

##### *2.3.1.3 Types d'interventions*

Le collage indirect d'attaches vestibulaires réalisées grâce à la CFAO.

##### *2.3.1.4 Critères de sélection*

Les articles retenus étaient ceux qui traitaient de procédure de collage indirect des attaches orthodontiques en vestibulaire avec utilisation de CFAO dans au moins une des étapes du protocole. Ont été exclus les articles traitant des collages en lingual.

### **2.3.2 Méthode de recherche des études**

Une recherche électronique a été entreprise selon les données suivantes :

- PUBMED/MEDLINE (de 2002 à février 2018)
- Google scholar (de 2002 à février 2018)
- Cochrane library (jusqu'à 2018)
- Embase (jusqu'à 2018)

Les mots clés utilisés étaient :

N° Mots Clés :

- 1 Indirect bonding
- 2 Orthodontic appliance
- 3 Virtual
- 4 CAD/CAM
- 5 3D digital network
- 6 [(#1) OR (#2)] AND [(#3) OR (#4) OR (#5)]

Les références bibliographies des articles originaux ont été entrecroisées afin de mettre en valeur des études supplémentaires. Aussi des recherches manuelles ont été réalisées sur les revues suivantes : International Orthodontics, Journal of Clinical Orthodontics, L'Orthodontie Française, Revue d'Orthopédie Dento-Faciale et American Journal of Orthodontics.

### **2.3.3 Collecte des données et analyse**

La recherche selon la stratégie par mots clés a permis d'obtenir un certain nombre d'études. La lecture des résumés de ces articles a entraîné une première sélection puis une deuxième sélection d'articles réellement pertinents a eu lieu après la lecture du texte complet. Nous avons décidé de ne traiter que du collage vestibulaire et avons donc exclu les articles concernant l'orthodontie linguale.

Un tableau des caractéristiques des études a été réalisé (description des études dans la partie résultats)

Les études incluses ont été évaluée au niveau de leur qualité avec une attribution d'un range GRaDE (recommandations de l'HAS avril 2013)

Les informations collectées dans les articles finalement inclus étaient :

- Date de publication
- Type d'étude
- Type d'apport dans le protocole de collage indirect assisté par CFAO.

## **2.4 Résultats**

### **2.4.1 Description des études**

La première sélection par mots clés a identifié 39 études parmi lesquelles seules 15 études ont été sélectionnées après lecture des titres et résumés. Après lecture des textes complets et élimination des techniques linguales, 11 études ont été exclues et donc 4 ont été incluses.

11 études ont été exclues car elles traitaient d'orthodontie linguale exclusivement ou qu'elles abordaient uniquement des comparaisons de précision de placement des attaches entre le système manuel ou le système par informatique (elles ne traitaient pas des étapes du protocole).

4 études ont été incluses :

- El-Timamy 2016 :
  - o Type d'étude : rapport de cas
  - o Type d'apport dans le protocole : technique de placement des attaches via un logiciel informatique
- Moreau 2013 :
  - o Type d'étude : rapport de cas
  - o Type d'apport dans le protocole : étapes allant des empreintes au collage indirect en clinique
- Ciuffolo 2006 :
  - o Type d'étude : rapport de cas
  - o Type d'apport dans le protocole : étape de manufacture de gouttière par CFAO
- Gracco 2013
  - o Type d'étude : rapport de cas
  - o Type d'apport dans le protocole : placement et réalisation du moyen de transfert par un laboratoire extérieur selon le système Insignia ® d'ORMCO.

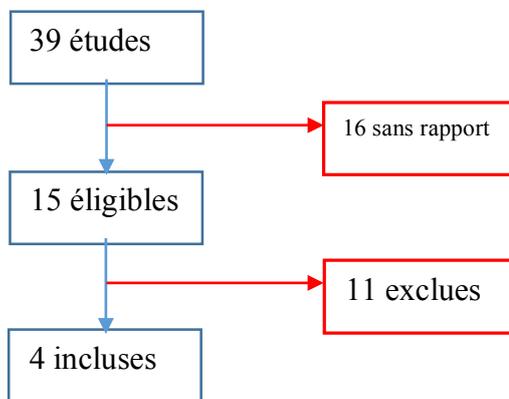


Figure 29: Flow-chart

## 2.4.2 Qualité des études incluses

Les quatre études sont des rapports de cas et ne rapportent aucune mesure, elles ont donc un faible niveau de preuve inférieur au niveau 4 proposé par la HAS 2013.

## 2.4.3 Différences de protocoles relevés dans la littérature

### 2.4.3.1 Article 1 : F. Ciuffolo

L'article de Fabio Ciuffolo décrit une méthode de préparation de gouttière de transfert de collage indirect par CFAO.

#### 1. Prise d'empreinte

La première étape consiste à prendre des empreintes en silicone puis à produire un moulage en plâtre qui sera enregistré par un scanner 3D. Le modèle est ainsi numérisé avec une résolution minimale de 0,02mm.

## 2. Placement des attaches orthodontiques

L'opérateur du laboratoire positionne virtuellement sur le logiciel CADental les attaches orthodontiques puis suite à la validation du positionnement, la fabrication du système de transfert commence.

## 3. Fabrication de la gouttière de transfert

Une partie positive de la gouttière englobant les attaches est affichée sous forme cubique puis une partie négative réunie l'ensemble des parties cubiques. Cette gouttière (dite RPT rapid prototyping trays) est ensuite sectionnée en différentes parties qui peuvent parfois ne contenir qu'une seule attache si les dents sont en malposition. Elle est imprimée par imprimante 3D dans un matériau semi-rigide plastique par un laboratoire extérieur.

Les auteurs précisent qu'il faut que le RPT remonte sur le bord incisif ou les cuspidés marginales afin d'avoir un point de référence vertical, et qu'il s'étende au moins jusqu'aux faces interproximales des incisives pour le segment antérieur, et au moins un millimètre en plus de l'attache orthodontique pour les canines et prémolaires afin d'avoir un point de référence mésiodistal précis.

La partie la plus gingivale de la gouttière ne doit pas atteindre la gencive.

## 4. Protocole de collage

Les étapes de collage sont les suivantes :

- Préparation de l'émail : Nettoyage, polissage, mordantage : acide orthophosphorique 37% pendant 30s, rinçage, séchage
- Application du primer Transbond XT (3M Dental Products)
- Application de colle Transbond XT adhesive paste (3M Dental Products) sur la base des attaches
- Application des attaches dans la gouttière
- Positionnement de la gouttière sur son site, appuie aux doigts,
- Photopolymérisation
- Retrait de la gouttière
- Elimination des excès

### 2.4.3.2 Article 2 : A. Moreau

L'article de A. Moreau décrit un système : le SIBsystem qui est un moyen de transfert du positionnement des attaches de manière indirecte.

## 1. Prise d'empreinte

L'empreinte est décrite de deux façons possibles : soit une empreinte à l'alginat ou au silicone est réalisé puis le moulage sera ensuite numérisé, soit l'empreinte des arcades est directement prise en bouche grâce à une caméra numérique intra-orale. Ceci aboutit à l'obtention d'un fichier au format STL. La précision de numérisation est de 20 microns.

## 2. Placement des attaches orthodontiques

Les attaches sont positionnées de façon virtuelle selon les hauteurs de collage et les axes dentaires choisis par l'opérateur (l'orthodontiste).

## 3. Fabrication de la gouttière de transfert

La validation du positionnement entraîne la fabrication des SIBClip et SIBTray dans la même résine (type de résine non spécifié) par prototypage rapide (CFAO par fraisage). Ce système est composé de deux parties : les SIBClip et les SIBTray réalisés par un laboratoire extérieur.

Les SIBClip supportent les attaches orthodontiques, ceux-ci peuvent être fabriqués de sorte à convenir à la plupart des attaches commercialisées. Ils sont fabriqués en fonction des

dimensions des attaches utilisées. Ils se fixent sur les attaches au niveau de la gorge pour les incisives, canines et prémolaires et sur la partie mésiale et distale des tubes molaires.

Le SIBTray est une gouttière fabriquée sur mesure adaptée à l'arcade dentaire et englobant les SIBClips.

La gouttière (SIBTray) contient 3 zones de rétention (2 postérieures en mésial des molaires et une antérieure inter-incisive) permettant la rétention verticale.

#### 4. Protocole de collage

Les étapes de collage sont les suivantes :

- Connexion des SIBClip aux attaches orthodontiques au niveau des gorges
- Connexion des SIBClip associés aux attaches orthodontiques au SIBTray
- Préparation de l'émail : nettoyage, mordançage, rinçage, séchage
- Application de composite sur les bases des attaches et primer sur l'émail mordancé (type de composite, de primer ne sont pas précisés)
- Insertion de la gouttière en bouche
- Photopolymérisation molaire puis le reste
- Elimination des excès
- Déconnexion des SIBClip au niveau des molaires puis pivotement du SIBTray en direction occlusale pour déposer le SIBSystem

L'avantage du SIBSystem est qu'il peut être conservé pour un recollage unitaire au cours du traitement.

#### 2.4.3.3 Article 3 : E. Timany

##### 1. Prise d'empreinte

L'article de El. Timany traite d'un système qui ne demande pas de prise d'empreinte mais la réalisation d'un CBCT.

##### 2. Placement des attaches orthodontiques

A partir des images 3D du CBCT, un fichier au format DICOM est extrait puis convertit en un format STL permettant d'être utilisé par un logiciel (Mimics software, Materialise, Leuven, Belgium) pour positionner les attaches orthodontiques. Cette technique permet à l'orthodontiste de voir la couronne et la racine et donc de positionner les attaches orthodontiques selon les axes radiculaires et coronaires.

Après le placement des attaches orthodontiques la gouttière de transfert est affichée numériquement, elle recouvre la moitié des attaches orthodontiques.

##### 3. Fabrication de la gouttière de transfert

Cette gouttière est ensuite imprimée par stéréolithographie (FORMIGA P110, EOS e-Manufacturing Solutions, Krailling, Germany) en polyamide (PA 2200, EOS, Novi, Mich). Ce matériau est biocompatible, avec une bonne résistance chimique, une dureté et résistance élevée et un haut niveau de résolution.

##### 4. Protocole de collage

Les attaches sont ensuite placées dans la gouttière de transfert puis le collage en bouche est possible. (Protocole non décrit)

#### 2.4.3.4 Article 4 : A. Gracco

L'article d'A. Gracco aborde la technique Insignia®.

##### 1. Prise d'empreinte

L'orthodontiste envoie à Ormco des empreintes en polyvinyl siloxane. Celles-ci sont coulées en plâtre puis les modèles obtenus sont scannés afin d'obtenir des modèles 3D virtuels.

##### 2. Placement des attaches orthodontiques

Un setup final est envoyé numériquement à l'orthodontiste qui peut effectuer des retouches pour chaque dents (dans les 3 sens de l'espace) et des arcades.

Une fois le setup validé les attaches sont placées virtuellement sur le setup par un opérateur du laboratoire, ce positionnement doit être validé par l'orthodontiste dans un deuxième temps.

##### 3. Fabrication de la gouttière de transfert

Les attaches sont entièrement individualisées (épaisseur, 1<sup>e</sup> et 2<sup>e</sup> ordre, torque, forme d'arcades...).

Des jigs de transfert en résine sont fabriqués, ils sont reliés entre eux permettant le transfert en bouche.

##### 4. Protocole de collage

Non détaillé

### Synthèse des résultats :

Etudes	F. Ciuffolo	A. Moreau	A. El-Timany	A. Gracco
Empreintes	Manuelle au silicone	Manuelle ou par empreinte optique intra-orale	CBCT (pas d'empreinte)	Empreinte en polyvinyl siloxane
Moulages	Plâtre puis scanné et virtuel	Plâtre ou directement virtuel	virtuel	Modèle en plâtre ensuite scanné pour être virtuel 3D
Positionnement	Logiciel CADental , précision de 0,1mm	Logiciel SIBSystem	Logiciel Mimics software	Logiciel Insignia
Système de transfert	Gouttière virtuelle puis semi-rigide plastique	Gouttière virtuelle puis deux parties faites dans la même résine SIBClip et SIBTray	Gouttière virtuelle puis imprimée en polyamide	Jigs individuels reliés entre eux (imprimés par CFAO)
Matériaux de collage en bouche	- Primer Transbond XT - Colle transbond XT adhesive paste	- Non décrit	Non décrit	Non décrit
Avantages	Durée plus courte, meilleure précision de positionnement	Meilleure précision de positionnement, durée de collage plus courte, temps de travail adéquat, plus de confort pour le patient, Pas de pré-encollage des attaches, système adapté à quasiment toutes les attaches orthodontiques	Rapide, peu cher Bases des attaches sans colle Meilleur contrôle des axes par visualisation des racines	Diminution du temps de traitement et du temps au fauteuil Plus de précision, d'efficacité et de prédictibilité de résultats. Approbation de l'orthodontiste nécessaire pour le positionnement et le setup final Possibilité de montrer aux patients, dentistes, prothésistes le résultat avant traitement (meilleure communication)
Inconvénients	Non décrit	Gouttière plus rigide qu'une thermoformée interdisant toute modification et le temps entre empreinte et pose de l'appareil doit être réduit au minimum - volumineuse donc utilisation délicate pour les bouches de petite taille	Irradiant	Manque d'information quant aux axes radiculaires (à améliorer avec CBCT)

*Figure 30: Synthèse des résultats de l'analyse des 4 articles retenus*

## 2.5 Discussion

A travers l'analyse de la littérature, seuls 4 articles ont été sélectionnés car correspondants exactement au sujet du collage indirect des attaches orthodontiques vestibulaires par CFAO. Les articles étudiés n'abordaient pas toutes les étapes (notamment le protocole de collage en bouche pour 3 articles sur 4), ou ne donnaient pas d'information quant au matériau du système de transfert ou le type d'imprimante 3D utilisées (notamment celui de F. Ciuffolo)

L'article de A. Timany utilisait un CBCT sans réaliser d'empreinte classique ou numérique, la gouttière en polyamide est réalisée directement après positionnement sur le fichier issu du CBCT. Ainsi le début du protocole est à rejeter car en France il poserait un problème éthique du au niveau d'irradiation du patient qu'il devrait subir uniquement pour un collage orthodontique. La suite du protocole semble intéressante à retenir.

Les articles de A. Moreau et de A. Gracco sont intéressants mais ils font intervenir un laboratoire extérieur et le placement des attaches de façon virtuelle ne se fait pas par l'orthodontiste mais par un opérateur du laboratoire pour la technique Insignia® dans l'article de A. Gracco. Les gouttières dans ces deux articles semblent complexes car elles ne sont pas faites d'un seul tenant mais elles se présentent sous forme de plusieurs morceaux articulés entre eux. A. Moreau trouve la gouttière encombrante. Le système Insignia® oblige à coller par groupes de dents et entraîne une perte de temps.

Dans les protocoles de F. Ciuffolo et A. Gracco les moulages sont réalisés en plâtre puis numérisés dans un second temps ce qui ajoute une étape et donc une source d'imprécision supplémentaire.

L'article de F. Ciuffolo proposait le protocole qui semble le plus proche de ce que l'on pourrait réaliser en cabinet orthodontique sans intervention d'un laboratoire externe.

On remarque donc que malgré la publication d'articles, peu d'informations techniques pratiques permettant leur réalisation au cabinet ne sont données. Il est donc compréhensible que le « tout numérique » avec positionnement des attaches de façon numérique ne soit que peu développé actuellement.

Il serait intéressant de mettre en place un protocole de collage précis et reproductible des attaches orthodontiques en vestibulaires par CFAO.

### **3. Proposition d'établissement d'un protocole de collage**

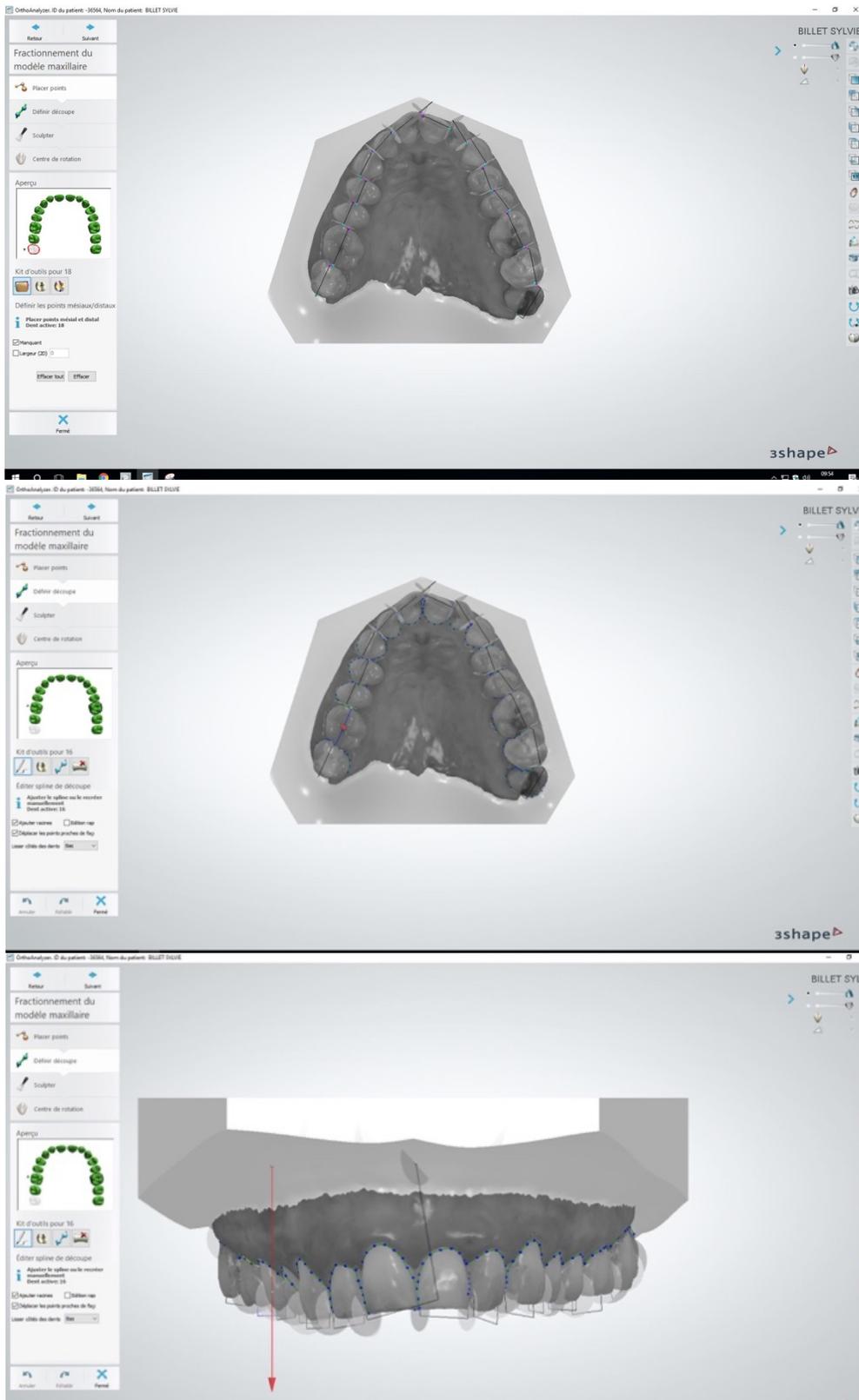
Nous avons testé deux méthodes de réalisation des gouttières sur une même patiente. Cette patiente est une adulte de 50 ans qui présente une classe II squelettique hypodivergente avec une classe II occlusale, des arcades étroites et une DDM modérée. Le plan de traitement consistait en un traitement multiattache avec une expansion des arcades, un stripping incisivo canin maxillaire et mandibulaire et une mécanique de classe II asymétrique. Nous avons réalisé au maxillaire le collage avec la réalisation d'une double gouttière de transfert thermoformée sur le modèle imprimé par CFAO et à la mandibule une gouttière de transfert directement imprimée par CFAO.

Les premières étapes sont communes aux deux protocoles, nous avons donc réalisé une empreinte optique avec la caméra optique Trios® de 3Shape. Il y a 3 enregistrements à réaliser afin d'obtenir les moulages en 3D :

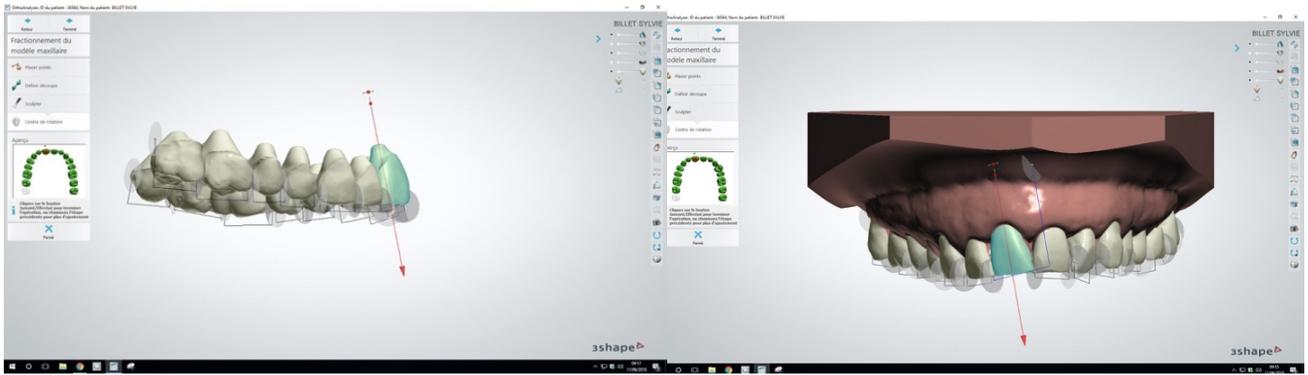
Pour chaque enregistrement la caméra survole les surfaces dentaires et gingivales en fer à cheval, des pauses sont possibles car la caméra repère automatiquement la zone où se fait la reprise de l'enregistrement. On procède en général à l'enregistrement de l'arcade inférieure, supérieure (occlusale, vestibulaire et lingual ou palatin) puis de l'occlusion (mordus droit et gauche). La durée des enregistrements totale est rapide environ 3-5minutes. La précision est de l'ordre de 20 microns.

Un fichier STL a été créé permettant l'ouverture par le logiciel des modèles numériques. Nous avons ensuite placé les attaches orthodontiques de façon virtuelle. La suite des étapes a divergé entre le protocole 1 réalisé au maxillaire et le protocole 2 réalisé à la mandibule.

Nous avons dans un premier temps sur le logiciel OrthoAnalyzer® de 3Shape fractionné les moulages maxillaire et mandibulaire afin d'individualiser les dents, tracer les contours dentaires mésiodistal et occluso-gingivaux et valider l'axe des dents... Ces étapes sont assistées par ordinateur, le praticien doit valider chaque étape ou corriger les erreurs possibles.

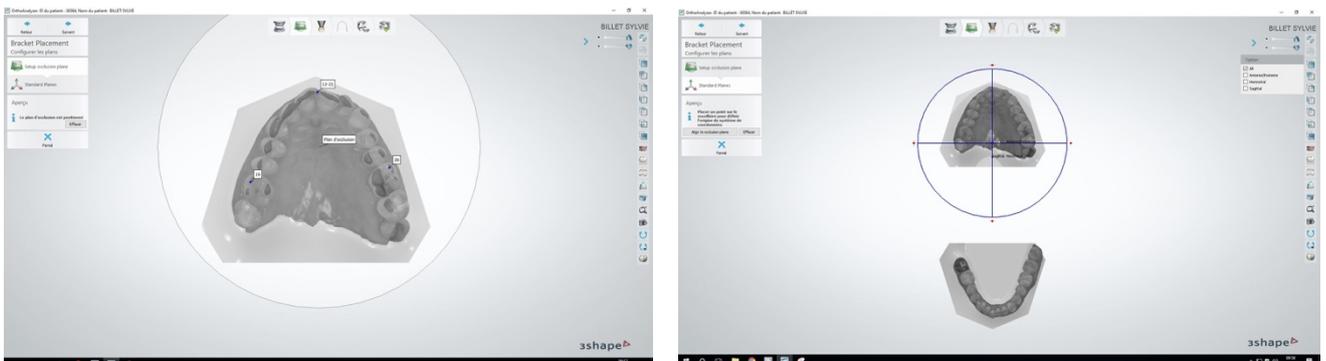


*Figure 31: Impression écran du logiciel OrthoAnalyzer pour la suite du fractionnement du maxillaire avec le contour des dents et les axes occluso-gingivaux, durant cette étape il faut valider l'axe de chaque dent, la dent est manipulée dans les trois dimensions et la gencive peut être retirée ou non pour mieux apprécier l'axe de la dent. L'axe dentaire est très important car il conditionnera la position des attaches orthodontiques. Il est possible d'ajouter un fichier issu d'un cone beam pour avoir la position des racines et régler les axes dentaires.*

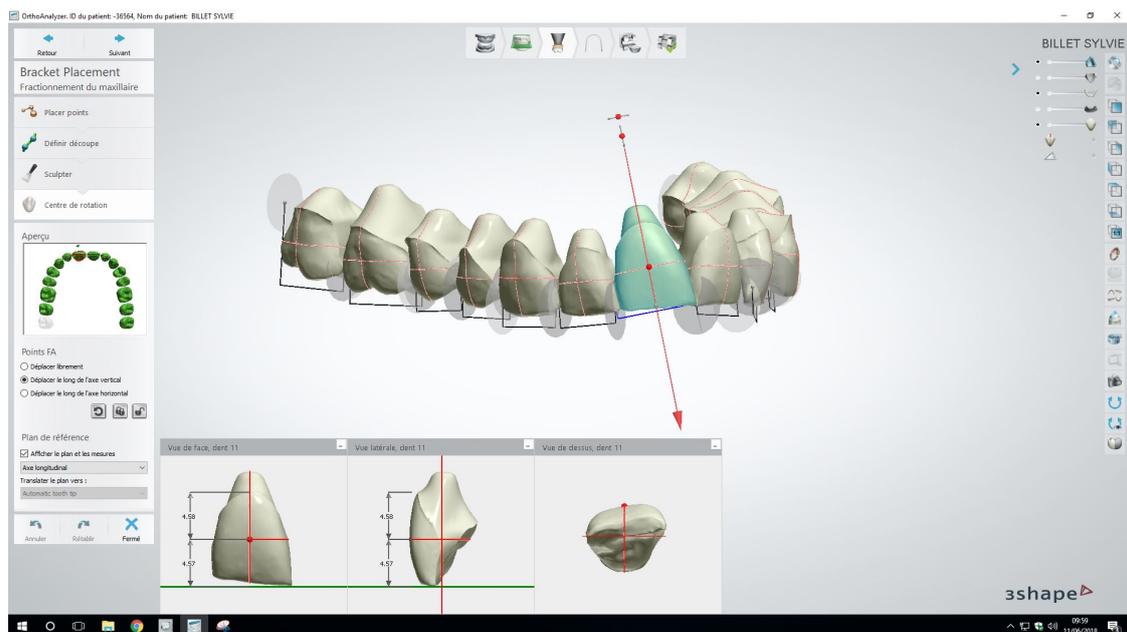


*Figure 32: Impression écran du logiciel OrthoAnalyzer pour le fractionnement du maxillaire lors de l'affichage de l'axe méso-distal des dents du maxillaire. Toutes les dents sont présentes sur l'arcade hormis les quatre dents de sagesse. Sur la 1e photo il faut définir un point mésial et un point distal pour chaque dent pour définir leur diamètre mésiodistal. Sur la 2e photo il faut valider le dessin automatisé du contour au collet de chaque dent.*

Puis nous avons déterminé le plan d'occlusion et les plans d'orientation du moulage (selon un plan sagittal et un plan occlusal).



*Figure 33: Impressions écran du logiciel OrthoAnalyzer pour placer le plan d'occlusion permettant de positionner le maxillaire dans l'espace. On remarque l'asymétrie du maxillaire qui peut perturber le logiciel dans le positionnement des arcs par la suite.*



*Figure 34: Impression écran du logiciel OrthoAnalyzer pour placer les centres de rotation des dents. On place les points FA permettant de situer la position de l'attache orthodontique.*

Puis le centre de rotation « FA » de chaque dent est proposé par le logiciel et doit être verrouillé par l'orthodontique. L'arc est choisi et positionné virtuellement en reliant tous les points FA entre eux. Il existe un catalogue d'arcs comme pour les attaches orthodontiques avec différentes tailles, formes et fournisseurs d'arcs.

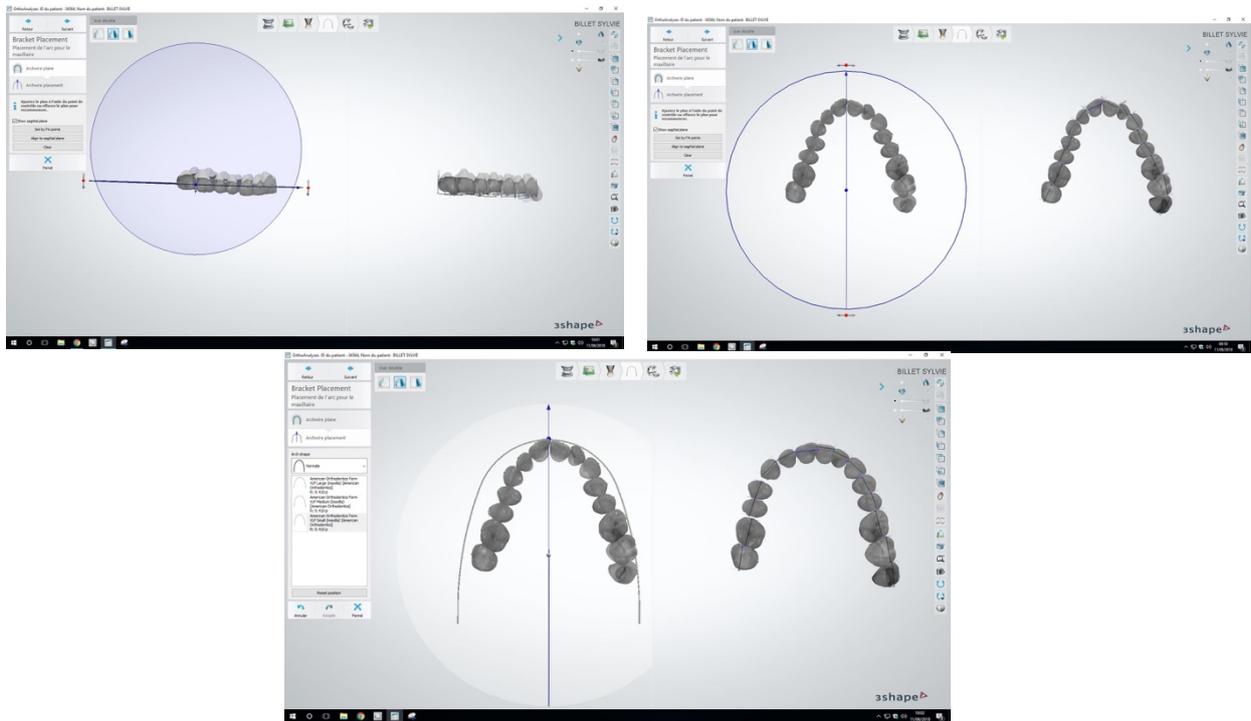


Figure 35: Impressions écran du logiciel OrthoAnalyzer pour le placement de l'arc maxillaire. On remarque que le logiciel est perturbé par l'asymétrie du maxillaire et gère mal la visualisation de l'arc. A partir de cette partie, il est possible de travailler en double fenêtre pour visualiser sur la partie droite de l'écran les effets attendus en fin de traitement sur la position des dents et la forme de l'arcade en fonction du choix du fil, du plan d'occlusion (et par la suite le choix de la position des attaches)

Nous avons également fait la manipulation sur le moulage mandibulaire sans réaliser le même protocole par la suite. On peut remarquer qu'ayant moins d'asymétrie de l'arcade mandibulaire par rapport à l'arcade maxillaire, le logiciel est moins perturbé lors de la visualisation de la position des arcs.

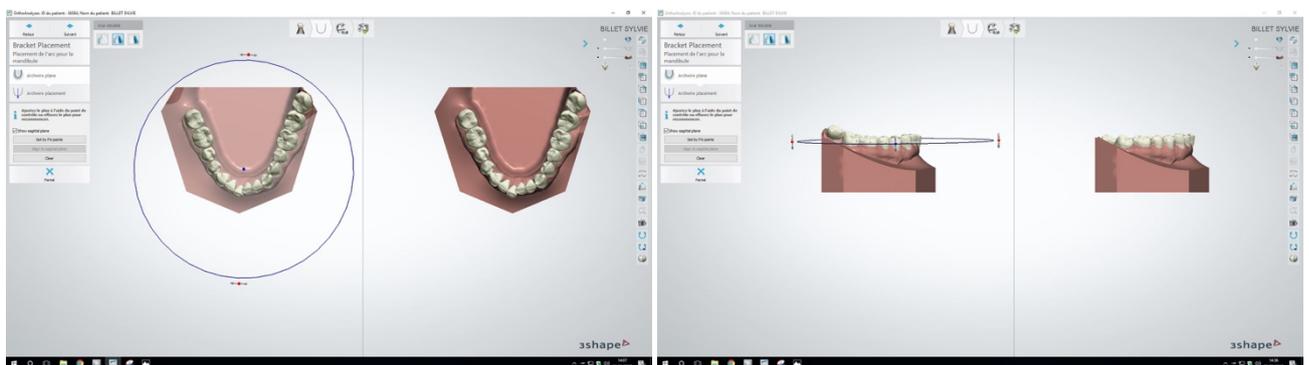


Figure 36: Impression écran du logiciel OrthoAnalyzer pour placer l'arc orthodontique (ici on a une vue du modèle mandibulaire)

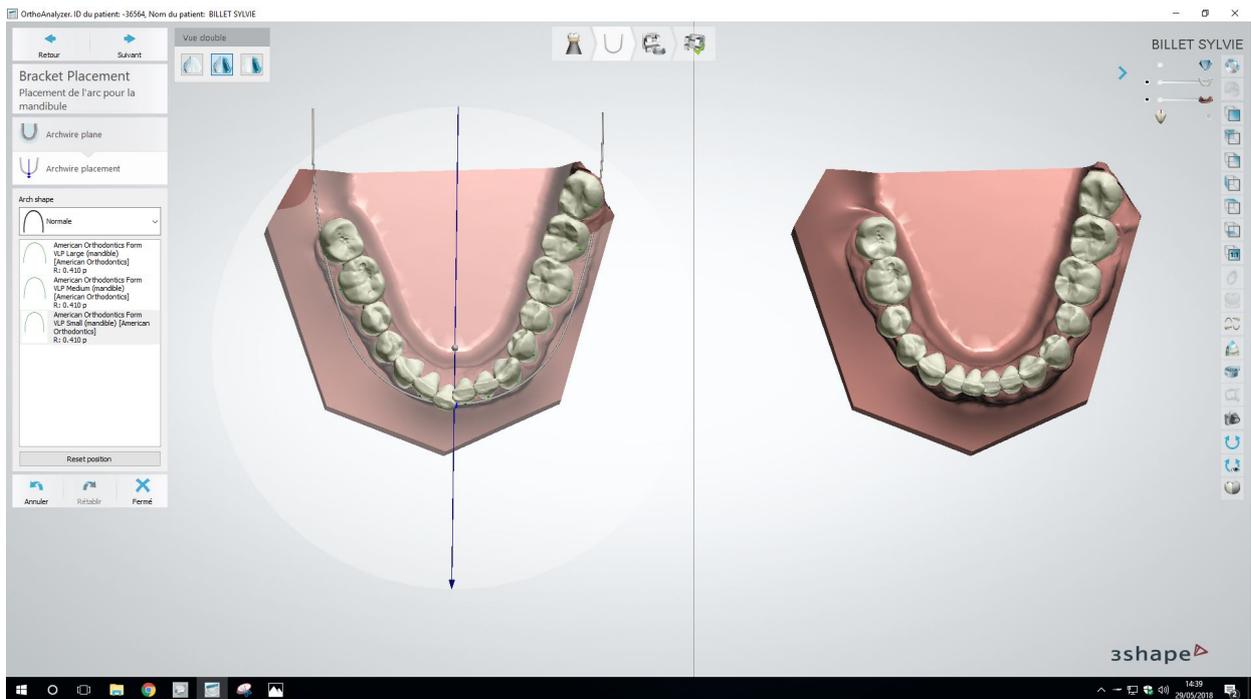


Figure 37: Impression écran du logiciel OrthoAnalyzer lors du placement de l'arc mandibulaire

Puis nous avons choisi le type d'attaches utilisées dans la banque d'attaches (on retrouve par fournisseur le type d'attaches, la taille du slot, la position de crochets ou non, les informations selon la technique utilisée). Les attaches sont positionnées automatiquement selon le point FA puis l'on peut manipuler et ajuster l'attache dans les trois dimensions de l'espace. La visualisation en double fenêtre peut permettre à ce niveau de réaliser des choix esthétiques notamment dans les cas d'usure asymétrique des bords occlusaux, si l'on souhaite aligner le collet ou le bord occlusal. Il est possible également de programmer un écartement plus ou moins important de la base de l'attache par rapport à la couronne de la dent si l'on souhaite réaliser des talons de colle plus épais.

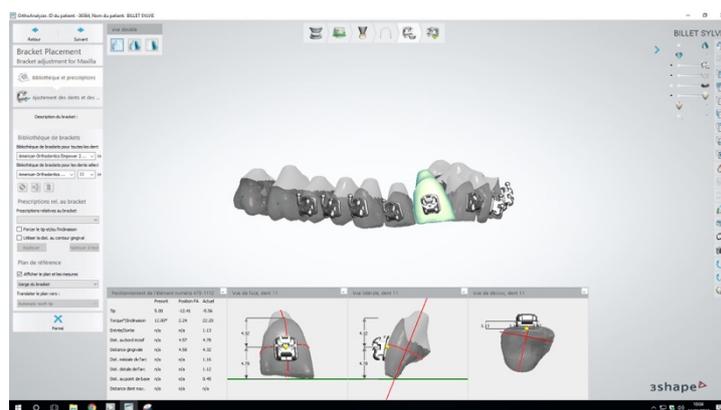


Figure 38: Impression écran du logiciel OrthoAnalyzer lors de l'ajustement des attaches orthodontiques avec visualisation des attaches AO®. En bas de l'écran les images contiennent les dimensions permettant d'ajuster précisément les attaches.

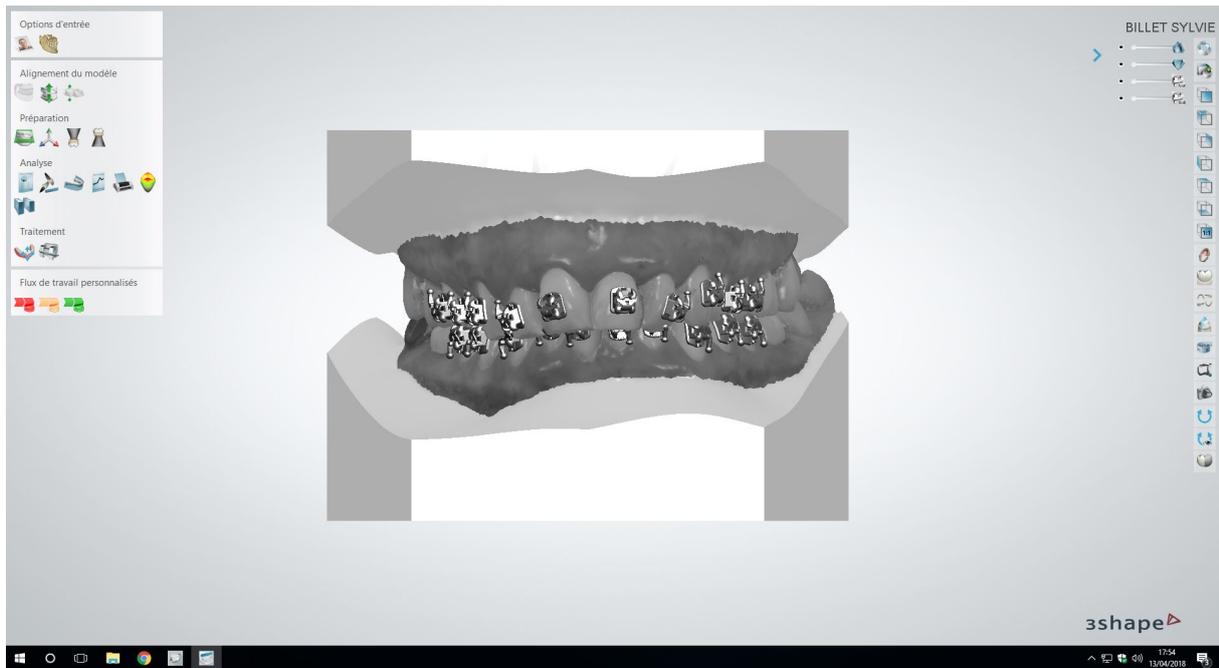
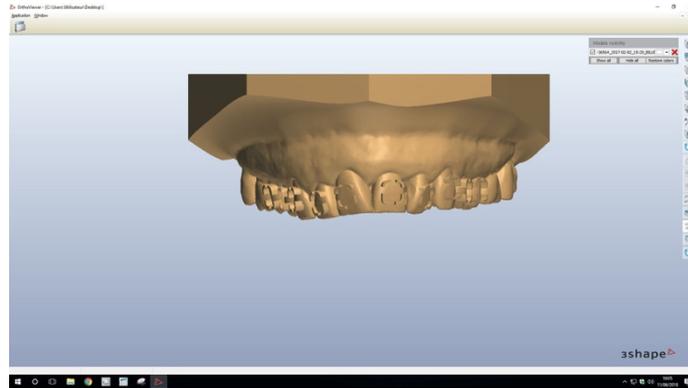


Figure 39: Résultat final du positionnement des attaches orthodontiques sur le logiciel OrthoAnalyzer

La suite des étapes a divergé entre le protocole 1 réalisé au maxillaire et le protocole 2 réalisé à la mandibule.

### Premier protocole (collage maxillaire) :

Le logiciel Appliance Designer de 3Shape permet de placer des encoches autour de chaque attache placée virtuellement. Il en ressort un moulage comportant ces encoches de positionnement des attaches, qui peut alors être imprimé.



*Figure 40: Impression écran du logiciel OrthoAnalyzer pour la visualisation des encoches de positionnement qui vont être imprimées sur le moulage*

Nous avons imprimé grâce à l'imprimante 3D Cubicon Style (filiale FDM) les modèles en ABS (matériau plastique). Ces modèles comportent des encoches de placement des attaches orthodontiques. Ainsi nous avons placés les attaches métalliques auto-ligaturantes Empower Roth avec slot taille 018x025 de chez AO® sur le modèle imprimé. Il n'y a ni talon de colle ni vernis séparateur entre les attaches et le modèle.



*Figure 41: Moulages imprimés par impression 3D avec encoche pour positionner*

A l'aide d'une machine à thermoformer (Biostar Scheu Dental ®), nous avons utilisé une plaque molle Bioplast® Scheu Dental de 1mm d'épaisseur que nous avons thermoformé sur le moulage comportant les attaches orthodontiques afin d'obtenir la gouttière souple englobant les attaches. Ensuite nous avons découpé la gouttière (sans désinsérer cette gouttière sinon grosse difficulté à replacer les attaches dans la gouttière) pour être à au moins 2,5mm au dessus des collets dentaires, en s'arrêtant au niveau du centre de la face occlusale des premières molaires (les tubes seront collés en collage direct même s'il est possible de les coller également en collage indirect). (27)

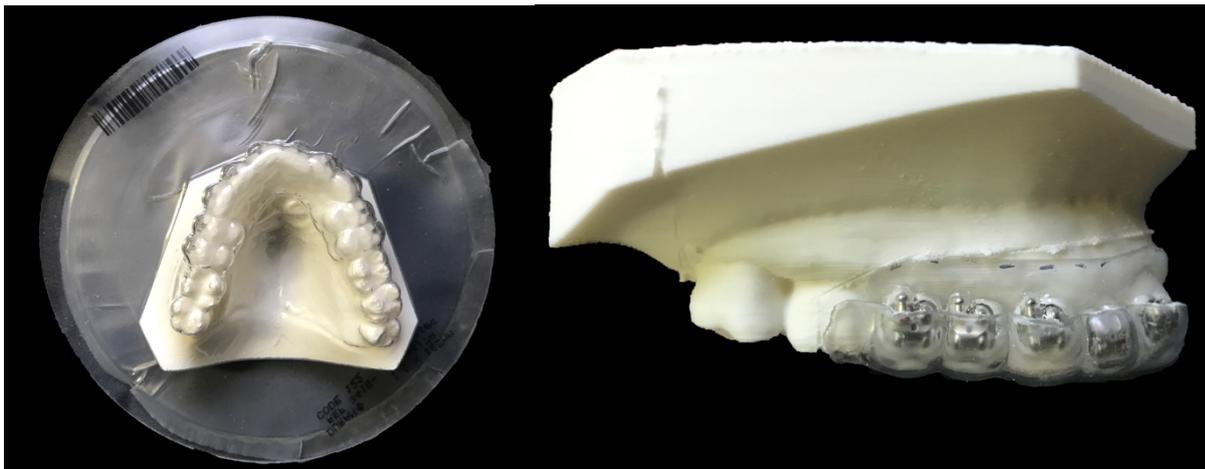


*Figure 42: à gauche thermoformage de la plaque souple, au centre et à droite gouttière souple découpée*

Puis nous avons thermoformé une plaque séparatrice (Isofolan®) dessus qui a été découpée aux dimensions. Il est également possible d'avoir la feuille d'Isofolan directement intégrée à la plaque dure à thermoformer (supprimant cette étape de thermoformage)

Enfin une plaque rigide de Duran® Scheu Dental de 0,75mm a été thermoformée sur l'ensemble afin de réaliser la deuxième gouttière rigide englobant l'ensemble (1<sup>e</sup> gouttière souple + attaches orthodontiques).

Nous avons ensuite séparé le modèle des gouttières et éliminé la plaque séparatrice. La découpe de la gouttière rigide a été effectuée à la fraise et au disque sur pièce à main dans un deuxième temps afin que cette dernière atteigne la moitié de la surface des attaches orthodontiques. La gouttière rigide englobe la gouttière souple contenant les attaches orthodontiques.



*Figure 43: à gauche thermoformage de la plaque rigide et à droite gouttière rigide découpée et souple.*



*Figure 44: à gauche gouttière souple sur le modèle et gouttière rigide au dessus, à droite ensemble des deux gouttières contenant les attaches orthodontiques.*

Le plateau de collage est préparé avec :

- Système Nola® d'écarteur et des Dry Tip® ainsi qu'une aspiration classique pour avoir une étanchéité optimale
- Les gouttières avec les attaches et de l'acétone pour dégraisser les bases des attaches orthodontiques (il y a de faible risque de contamination de la base de l'attache lors des manipulations donc on pourrait éventuellement se passer de l'étape de dégraissage)
- Le système de mordançage (acide orthophosphorique à 37%, la colle RelyX® Unicem 2 Automix de 3M Espe (auto-adhésive))
- Les tubes et le porte tube pour les premières molaires en collage direct
- Un set classique : sonde, miroir, précelle
- Un contre angle avec brosse et pierre ponce pour nettoyer avant de coller
- Un shure et des fraises sur turbine pour éliminer la colle en excès après dépose des gouttières.
- Un kit de changement d'arc



*Figure 45: Plateaux de collage indirect*

Dans un premier temps nous avons inséré le Nola®.

Nous avons procédé au détartrage puis un nettoyage des surfaces de collage avec la brosse et le contre angle et la pierre ponce et un rinçage.



*Figure 46: nettoyage à la brosse et pierre ponce.*

Nous avons essayé la gouttière avec les attaches orthodontiques afin de vérifier qu'elle s'insérait correctement, elle a ensuite été nettoyée et dégraissée avec de l'acétone.

Ensuite nous avons mordancé pendant 30s par surface dentaire, rincé et séché afin d'obtenir des surfaces blanches crayeuses sans excès de séchage.



*Figure 47: à gauche mordançage, à droite séchage (surfaces blanches crayeuses)*

L'assistante a rempli les bases des attaches de colle RelyX® avec un petit pois de colle pour limiter les excès de colle autour des attaches.



*Figure 48: application de la colle sur les attaches par l'assistante.*

L'ensemble des deux gouttières contenant les attaches orthodontiques a été inséré dans un mouvement vertical en bouche et maintenue avec un contact tripodique (2 doigts postérieurs de chaque coté et un en antérieur), chaque dent a été photopolymérisée 8 secondes.



*Figure 49: Insertion des gouttière, maintien tripodique et photopolymérisation*

Puis la gouttière rigide a été déposée d'arrière en avant et de lingual à vestibulaire.



*Figure 50: : Désinsertion de la gouttière rigide*

La gouttière souple a été retirée à l'aide du Shure d'arrière en avant et de lingual à vestibulaire.



*Figure 51: Désinsertion de la gouttière souple à l'aide du Shure.*

L'élimination des excès de colle a été réalisée à l'aide du Shure, de fraises sur turbine et de meulette en ponce agglomérée sur contre angle bague bleue.



*Figure 52: Elimination de la colle avec disque polissant et Shure*

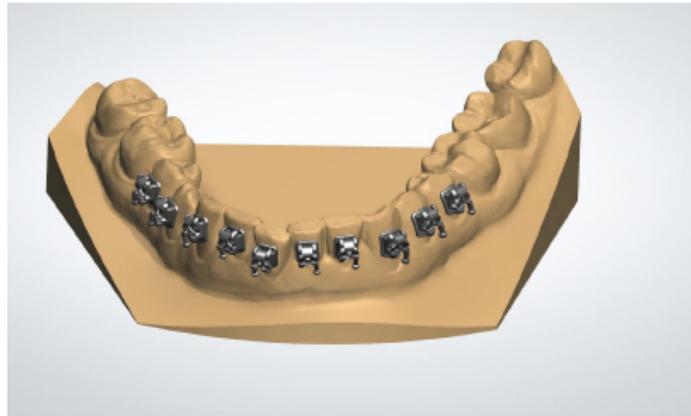
Les tubes sur les premières molaires ont été collé de façon directe à l'aide du porte tube (il est possible de coller les tubes en indirect mais les tubes utilisés n'étaient pas initialement dans la bibliothèque proposée car de marque différente par rapport aux attaches)



*Figure 53: collage terminée et arc 0,14 niti en place*

## Deuxième protocole de collage (mandibulaire) :

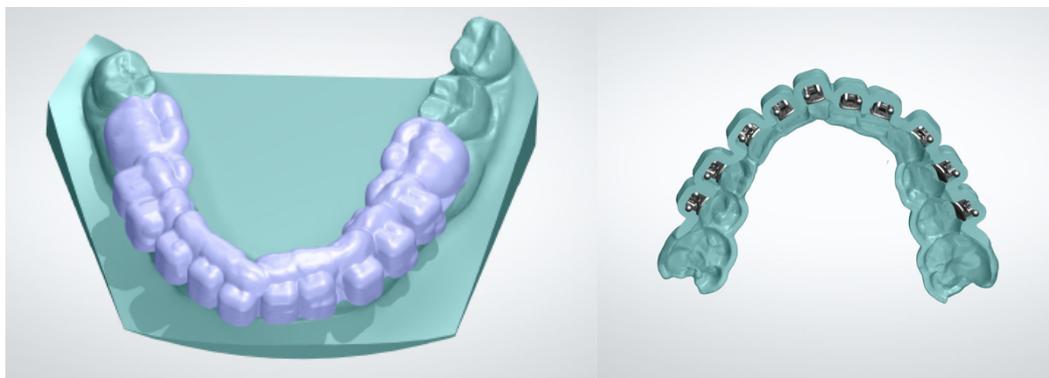
Le modèle avec les attaches placées virtuellement est également chargé dans le logiciel ApplianceDesigner de 3Shape.



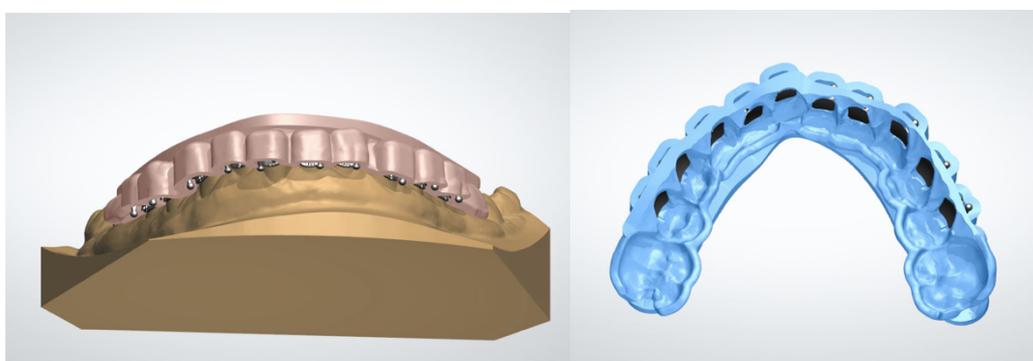
*Figure 54: Modèle virtuelle avec les attaches orthodontiques sur le logiciel Appliance Designer*

Enfin le prothésiste Christophe Mazoyer (labo 3DODF) a créé la gouttière virtuelle incluant les attaches grâce au logiciel ApplianceDesigner de 3Shape. Afin de rigidifier la gouttière une couche plane a été réalisée au niveau occlusale et des rajouts de matière ont été mis pour maintenir les attaches en place.

Finalement le fichier a été préparé avec les supports pour l'impression par l'imprimante Vida Envisiontec (Imprimante de type stéréolithographique de résolution 73microns)



*Figure 55: création de la gouttière incorporant les attaches orthodontiques*



*Figure 56: Gouttière avec couche plane occlusale et rajouts de matière*



Figure 57: vue d'ensemble de la gouttière et préparation du fichier dans le logiciel d'impression Envisiontec

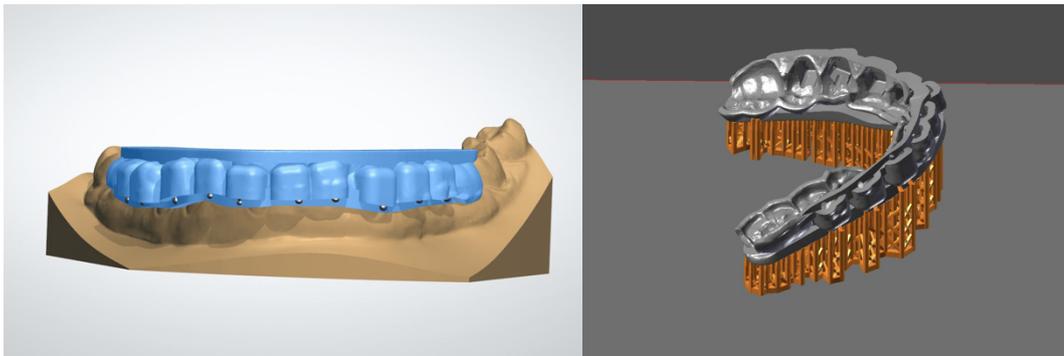


Figure 58: Gouttière sortie de l'imprimante 3D et Imprimante Vida Envisiontec

Une résine IDB Envisiontec sur l'imprimante Vida Envisiontec a été utilisée. Cette résine est flexible, transparente et biocompatible de classe I.

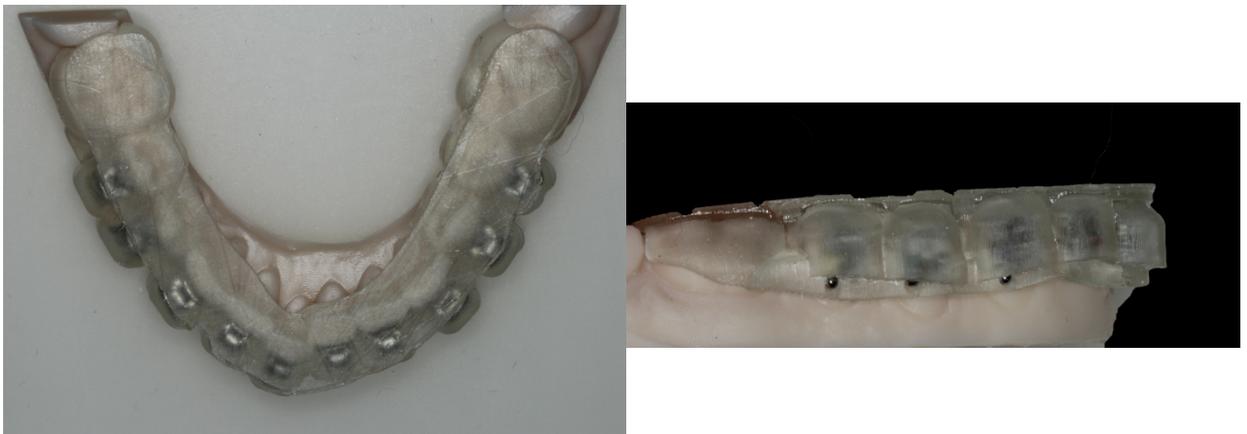
Propriétés de la résine IDB Envisiontec	
Description	Valeurs
Viscosité (Brookfield)	1,1-1,6Pa at 23°C
Allongement à la rupture	12-18%
Dureté Shore A	80-90
Résistance à la traction	4,47 MPa
Module de traction	13,6 MPa
Couleur	Transparente

Figure 59: Tableau des caractéristiques de la résine IDB Envisiontec

Enfin un post traitement de cette gouttière a été réalisé par une cuisson dans un four Nextdent de chez 3Dsystems® afin de garantir sa biocompatibilité (norme de biocompatibilité des dispositifs médicaux)



*Figure 60: Four NextDent de chez 3Dsystems*



*Figure 61: Gouttière imprimée en résine IDB Envisiortec incluant les attaches positionnées sur un moulage en résine (impression 3D). La gouttière englobe les attaches sans dépasser le collet des dents*



*Figure 62: Gouttière avec attaches orthodontiques incluses.*

Le matériel de collage est le même que pour le protocole du maxillaire.

Nous procédons de la même manière qu'au maxillaire à savoir :

- Installation de l'écarteur Nola® et détartrage/nettoyage à la pierre ponce sur contre angle.
- Essayage de la gouttière, nettoyage et dégraissage à l'acétone
- Mordançage à l'acide ortho phosphorique / Séchage des surfaces à coller
- Insertion de la colle RelyX® sur les bases des attaches (petit pois de colle)



*Figure 63: Insertion de la colle RelyX dans la gouttière sur les bases de attaches*

- Insertion de la gouttière et maintien tripodique de celle-ci pendant la photopolymérisation (8secondes par dent)



*Figure 64: Insertion de la gouttière contenant les attaches*

- Désinsertion de la gouttière d'arrière en avant, de lingual à vestibulaire. A ce niveau la gouttière s'est fracturée à différents niveaux, ainsi nous avons récupéré plusieurs parties de gouttière. D'autres fragments étaient bloqués dans les espaces inter-dentaires nécessitant l'utilisation du Shure.

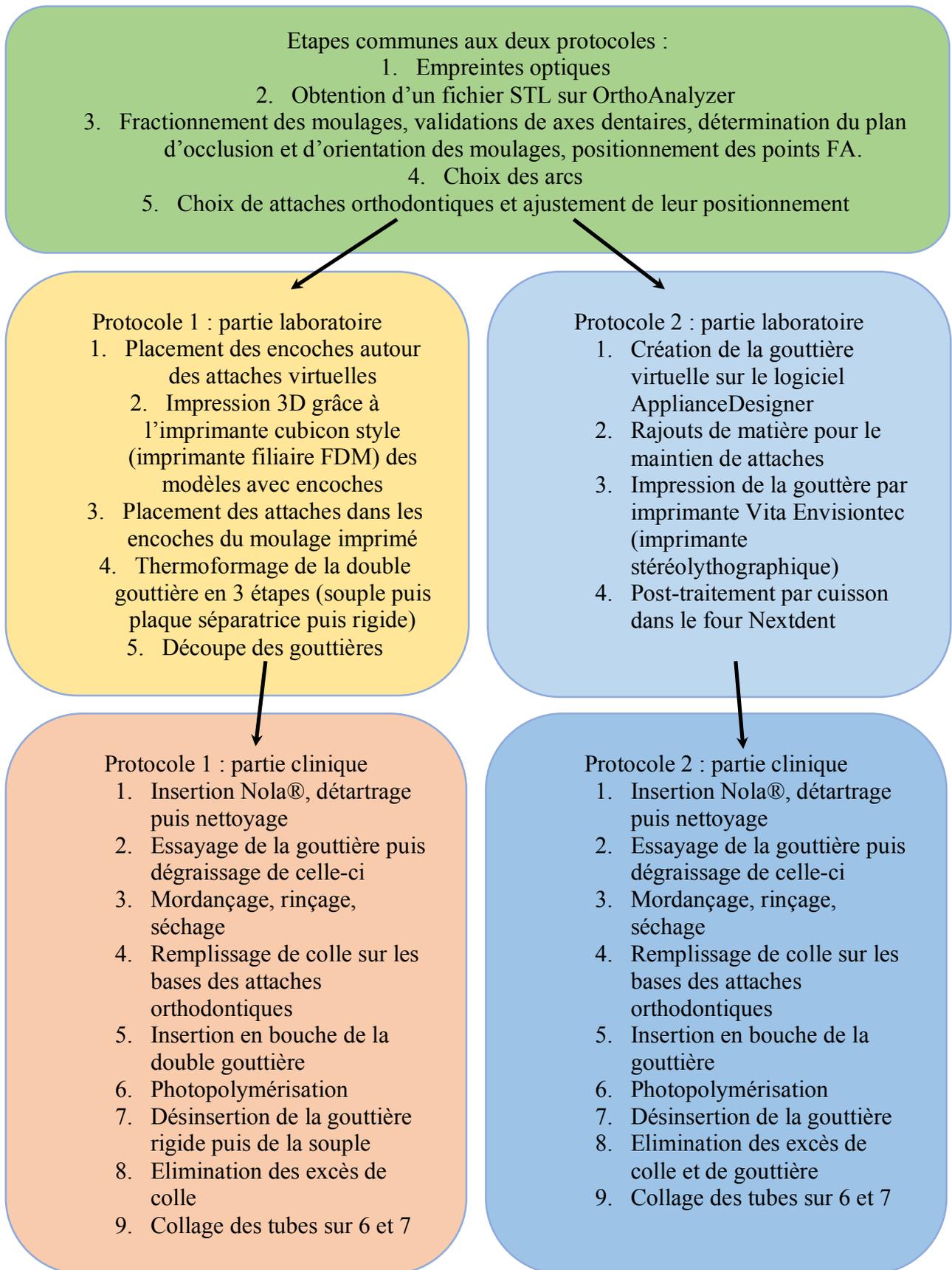


*Figure 65: photo des fragments de la gouttière après désinsertion de celle-ci*

- Elimination des excès de gouttière et de colle à l'aide d'un Shure et d'une fraise montée sur turbine.



*Figure 66: Photos du résultat final du collage avec un Niti 0,14 bas*



*Figure 67: Schéma récapitulatif des étapes des deux protocoles*

## Discussion

Les avantages du collage indirect assisté par CFAO sont une réduction du temps d’empreinte, la possibilité pour l’orthodontiste de réaliser tout le collage indirect sans intervention extérieure, la facilitation de la mise en place des attaches orthodontiques par prépositionnement par l’ordinateur des attaches permettant ainsi la réalisation du positionnement des attaches par une assistante formée puis la vérification par l’orthodontiste de l’étape de visualisation du placement des attaches. Il peut alors saisir et repositionner les attaches selon son souhait.

On obtient un gain de temps conséquent par rapport à un collage indirect classique, on pourrait réduire encore davantage le temps « opérateur » en imprimant directement la gouttière (bien que le post-traitement prend du temps mais il n’est pas nécessaire d’être présent à cette étape contrairement à la réalisation de gouttières thermoformées).

Il y a également moins de risque de contamination par rapport au collage indirect conventionnel où le talon de collage avait déjà été placé sur le moulage et donc le déplacement entraîne une potentielle contamination et donc un risque plus important de décollement. Il y a peu de risque de contamination par rapport au collage indirect conventionnel car la colle est directement chargée sur la base (dans notre protocole nous n’avons pas connu de décollement à 4 mois post collage)

Aussi, les mesures de positionnement informatisées de attaches par rapport aux contours de la dent sont très précises (précision que l’œil ou les jauges ne peuvent atteindre). C’est aussi une ergonomie certaine de pouvoir visionner et manipuler dans les trois dimensions de l’espace par rapport au collage direct. La durée totale de réalisation est plus longue qu’un collage direct mais le temps de travail en bouche est beaucoup plus court (10minutes), aussi les aides de placement très précises améliorent les résultats obtenus en fin de traitement et donc limitent les nécessités de recollage au cours de nivellement à cause d’un mauvais positionnement.

Enfin, le coût peut être discuté car en effet il est supérieur à celui du plâtre et d’une mine de crayon mais il faut voir que c’est une évolution majeure dans les cabinets dentaires via les empreintes numériques (confort du patient lors de la prise d’empreinte par l’absence de pâte, conservation des moulages plus simple et moins encombrante, communication plus facile avec le patient qui visualise en 3D ses moulages et set-up...) et le surcout de l’imprimante filiaire (permettant d’imprimer les moulages avec les encoches, mais pas les gouttières résines) et du module bracket placement est modéré. Ce surcout doit être calculé par rapport au temps gagné en terme de manipulation en bouche, de confort de travail et de qualité des résultats obtenus. L’investissement dans une imprimante pouvant imprimer actuellement des gouttières de transfert résine est encore trop important.

A travers l’analyse de la littérature nous avons sélectionné 4 articles traitant réellement du sujet du collage indirect en vestibulaire et utilisant la CFAO pour cela. Différents systèmes utilisent actuellement le numérique pour chaque étape du collage indirect des attaches orthodontiques en vestibulaire, cependant certains (A. Moreau, A. Gracco...) font intervenir un laboratoire extérieur. Un autre protocole faisait intervenir les rayonnements par CBCT pour la prise d’empreinte, ce qui n’est pas envisageable avec les normes éthiques. Nous aimerions pouvoir réaliser un collage en vestibulaire en indirect avec toutes les étapes par CFAO sans l’intervention d’un laboratoire extérieur.

L’article de F. Ciuffolo était le plus proche des deux protocoles que nous avons proposés. Cependant la colle utilisée dans cet article n’est pas celle que nous avons choisi. En effet nous avons opté pour la colle recommandée par L. Hitmi dans son article sur le collage indirect en

vestibulaire (27). De même que le logiciel de placement était différent et il n'y a pas de prise d'empreinte à l'alginat et de couler en plâtre mais une prise d'empreinte optique.

Nous avons donc essayé deux protocoles différents sur la même patiente que nous avons présenté dans un cas clinique. Nous avons dans les deux cas utilisé une caméra optique ainsi qu'un positionnement numérique. Dans le premier protocole (réalisé au maxillaire) nous avons réalisé les empreintes optiques directement en bouche puis le positionnement des attaches sur les moulages virtuels, l'imprimante 3D filaire a permis l'impression du moulage avec des encoches de repositionnement des attaches, enfin nous avons thermoformé des gouttières de transfert molles et rigides (système double gouttière). Le protocole 1 n'est pas totalement réalisé par CFAO car la gouttière de transfert est une gouttière thermoformée. Dans le deuxième protocole (mandibulaire), le moulage et la gouttière ont été imprimée par imprimante 3D STL (Vida Envisonne®) avec une résine IDB Envisiontec. Il serait plus intéressant de pouvoir tout réaliser par CFAO afin de réduire le temps de laboratoire.

Dans le protocole du maxillaire, nous avons rencontré un problème lors d'un premier essai de thermoformage de la gouttière en ayant enlevé la gouttière souple avant d'avoir thermoformé la gouttière rigide. En effet, nous n'avons pas réussi à repositionner la gouttière avec les attaches sur le moulage. Nous avons ainsi dû refaire un thermoformage de la gouttière souple. Mais sans retirer la première gouttière, c'est finalement très rapide.

Le protocole avec gouttière thermoformée n'est pas totalement réalisé par CFAO et nécessite donc un travail un peu plus long de laboratoire pour le thermoformage (soit 10 min environ) mais il y a un temps de travail au fauteuil plus court (pas de rupture de la gouttière et de fragments inter-dentaires). Toute la chaîne du collage indirecte est réalisée au cabinet dentaire sans intervention extérieure et le coût d'investissement est plus économique avec une imprimante filaire, une thermoformeuse ainsi que les plaques de thermoformage par rapport au coût de l'imprimante stéréolithographique, de la cuve à UV et du matériau résine.

Le protocole avec gouttière imprimée par CFAO réduit ce délai de laboratoire. Lors de ce deuxième protocole l'insertion de la gouttière était très simple (insertion sans va et vient) et le positionnement de celle-ci était stable. La photopolymérisation a été efficace car la résine a une bonne transparence. En revanche, lors de la dépose de la gouttière celle-ci s'est fracturée à de nombreux niveaux. Ainsi il a fallu retirer les fragments petits à petits et certains sont restés bloqués dans les espaces inter dentaires. Le temps de désinsertion a été assez long (plus long qu'avec les gouttières thermoformées). Il se trouve que nous avons dû attendre 1 mois entre l'impression de la gouttière et le collage indirect car la patiente n'était pas disponible. Or il se peut que durant ce délai, le post-traitement réalisé sur la gouttière ne se soit détérioré entraînant ce problème (malgré des précautions de conservation à l'abri de la lumière, de la chaleur et de l'humidité). En effet d'autres praticiens ayant essayé cette méthode n'ont pas eu ce souci de fragmentation en réalisant le collage dans un délai beaucoup plus proche de l'impression.

Mais il semble compliqué de réaliser cette gouttière de transfert par impression 3D dans les conditions actuelles avec cette résine qui n'est pas encore complètement adaptée à une ergonomie de collage indirect. Il semblerait qu'une évolution sur la qualité de la résine (plus flexible notamment), sur la manipulation et le post-traitement en cuve UV (actuellement mal maîtrisé mais obligatoire pour bloquer le relargage de résine et afin de rendre biocompatible les résines) soit nécessaire avant de développer cette technique du « tout en CFAO ».

Un des problèmes rencontrés est qu'il faut une résine assez flexible pour être facilement retirée et assez dure pour être stable et bien repositionner les attaches en bouche, tout en étant biocompatible. Très peu de résines sur le marché répondent à ces critères et l'imprimante

permettant de réaliser les gouttières est très onéreuse, les imprimantes résines bon marché disponibles en cabinet dentaire ne disposent pas de cette résine. Il existe deux résines Formlabs® une molle et une rigide, le problème est que la molle est trop souple et il y a un risque de déplacement des attaches dans la gouttière et lors de l'insertion de la gouttière, et la rigide est trop rigide empêchant l'insertion de la gouttière car elle n'arrive pas à passer la zone de plus grand contour coronaire des dents.

Ce travail représente une étude préliminaire qui pourrait déboucher sur un recrutement plus important notamment pour réaliser une étude vérifiant le positionnement correct des attaches dans le protocole proposé.

## Conclusion

Le numérique connaît un essor en orthodontie et plus généralement en dentisterie. Nous avons vu que le numérique se développe de plus en plus en orthodontie et que le collage indirect des attaches orthodontiques en vestibulaire pourrait être amélioré grâce au numérique. Nous avons vu apparaître les caméras optiques permettant de réaliser les empreintes numériques évitant les désagréments des empreintes à l'alginat, le problème de stockage des moulages en plâtre et améliorant la communication avec les collaborateurs (prothésistes, dentistes, autres praticiens). Depuis une dizaine d'années la CFAO s'est développée en orthodontie avec entre autre la possibilité de positionner numériquement les attaches orthodontiques sur les moulages.

Au cours de nos recherches dans la littérature sur le collage indirect des attaches orthodontiques en vestibulaire, nous avons trouvé différents protocoles décrits pour réaliser la gouttière de transfert des attaches orthodontiques. Nous avons réalisé un comparatif des différentes techniques de collage indirect présenté dans un tableau en annexe Nous avons retenu de cette analyse de la littérature, une technique qui semblait la plus adaptée à notre problématique (sans intervention d'un laboratoire externe, sans réalisation d'un cone beam, sans matériel trop coûteux).

Sur une même patiente en dissociant le maxillaire de la mandibule nous avons réalisé deux techniques de collage indirect. Ainsi, nous avons dans un premier temps essayé au maxillaire la technique qui consiste à imprimer les moulages en résine avec des encoches de repositionnement des attaches et ensuite à thermoformer sur celui-ci la gouttière molle puis dure. La fin de ce protocole ressemble à un protocole classique tel que décrit par Leila Hitmi, mais le positionnement est numérique sans nécessiter de positionner manuellement chaque attache à l'aide d'un talon de colle sur un modèle qu'il soit en plâtre ou imprimé. Dans le deuxième protocole (à la mandibule), la gouttière a été directement imprimée par une imprimante 3D dans une résine légèrement molle et biocompatible. Afin de n'avoir comme facteurs distincts que le type de gouttière, nous avons réalisé exactement le même protocole de collage.

Il nous est apparu que le protocole du maxillaire utilisant une gouttière thermoformée n'était pas très long (le thermoformage dure entre 5 et 7 minutes pour les deux gouttières et les découpes), simple, avec une dépose aisée, sans décollement et sans résidus de gouttière en bouche. Le protocole de la mandibule était plus rapide au niveau du temps de travail demandé à l'opérateur pour la réalisation de la gouttière, cependant en raison d'une résine qui ne nous semble pas encore adéquate au niveau de sa manipulation, de sa flexibilité et d'une limite de rupture assez mauvaise, nous avons eu du mal à désinsérer la gouttière qui s'est fragmentée en plusieurs parties dont certaines sont restées bloquées dans les espaces inter dentaires. Cela a

demandé un temps de travail en bouche supplémentaire pour les éliminer en plus d'un investissement matériel plus important.

A l'avenir il semblerait très pratique de n'avoir qu'une imprimante qui permettrait de réaliser à la fois les moulages d'étude, les systèmes de transfert de collage, les aligneurs, les contentions... Mais au niveau des systèmes de transfert des études et des évolutions sont nécessaires quant à la résine permettant d'imprimer ces gouttières, afin de ne pas avoir les inconvénients rencontrés lors de la manipulation.

## Annexes

Techniques utilisées	Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Empreinte alginate</li> <li>- Moulages en plâtre</li> <li>- Positionnement manuel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ne nécessite pas de matériel informatique coûteux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Technique longue, moins de confort pour le patient (empreinte à l'alginate)</li> <li>- Intervention d'un laboratoire extérieur,</li> <li>- Sources d'imprécision multiples le positionnement dépend de l'œil et de la main de l'homme</li> <li>- Risque de déformation de l'alginate et lors de la coulée et prise du plâtre</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Empreinte optique</li> <li>- Moulages résine imprimés</li> <li>- Positionnement manuel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pas de perte de précision liée à la déformation du matériau à empreinte ou du plâtre</li> <li>- Plus de confort pour le patient avec une prise d'empreinte optique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maintient de l'imprécision liée au positionnement manuel</li> <li>- Technique toujours un peu longue.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Empreinte optique</li> <li>- Moulages résine imprimés avec encoches</li> <li>- Positionnement numérique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pas de perte de précision liée à la déformation du matériau à empreinte ou du plâtre et du placement manuel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Technique nécessitant la réalisation d'une gouttière par le laboratoire de prothèse</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Empreinte optique</li> <li>- Moulages résine imprimés avec attaches imprimées dessus</li> <li>- Positionnement numérique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pas de déformation du matériau.</li> </ul>	<p>peu précis dans le repositionnement, technique nécessitant la réalisation d'une gouttière par le laboratoire de prothèse.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Empreinte optique</li> <li>- Moulages virtuels et gouttières de transferts imprimées</li> <li>- Positionnement numérique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Autonomie complète de l'orthodontiste (toutes les étapes peuvent être réalisées par l'orthodontiste jusqu'à la réalisation de la gouttière de transfert directement avec imprimante 3D sans intervention d'un laboratoire extérieur)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Investissement matériel coûteux</li> <li>- Résine molle pour la gouttière molle n'est pas adaptée, trop rigide et se casse lors de la dépose (difficultés au fauteuil, peu ergonomique et durée de dépose plus longue)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Empreinte optique</li> <li>- Attaches imprimées individualisées</li> <li>- Positionnement numérique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La base de l'attache orthodontique est totalement adaptée à la forme de la dent du patient, maximum de précision</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Technique coûteuse et pour l'instant pas de possibilité de réaliser les attaches avec le matériel proposé aux orthodontistes donc nécessite l'intervention d'un laboratoire extérieur (ex : Insigna®)</li> </ul>

Figure 68: tableau récapitulatif des différentes techniques de collage indirect

## Tables des illustrations

<u>Figure 1: Interface de collage selon Hitmi (4)</u> .....	13
<u>Figure 2: Systèmes adhésifs hydrophobes selon le mode de polymérisation. (10)</u> .....	14
<u>Figure 3: présentation du produit Concise® Orthodontic Adhesive de 3M Unitek</u> .....	15
<u>Figure 4: présentation du produit Right-on® de TP Orthodontics</u> .....	15
<u>Figure 5: présentation du produit Transbond® XT de 3M Unitek</u> .....	16
<u>Figure 6: présentation du produit OrthoSolo® d'ORMCO</u> .....	16
<u>Figure 7: Transbond® Plus Self Etching Primer de 3M Unitek</u> .....	17
<u>Figure 8: présentation du produit RelyX® Unicem 2 Automix de 3M Espe.</u> .....	18
<u>Figure 9: Présentation des deux types de jauges pour le collage direct.</u> .....	21
<u>Figure 10: Protocole de collage direct des attaches orthodontiques d'après le Dr Boileau (42)</u> .....	21
<u>Figure 11: point FA d'Andrews (d'après un cours de Sylvain Chamberland)</u> .....	22
<u>Figure 12: Matériel à empreintes à l'alginat.</u> .....	23
<u>Figure 13: Modèle en plâtre (Hitmi 2012) (27)</u> .....	24
<u>Figure 14: Modèle en plâtre recouvert de vernis coloré (Hitmi 2012) (27)</u> .....	24
<u>Figure 15: Modèle en silicone de type Quick-die® (Hitmi 2012) (27)</u> .....	25
<u>Figure 16: Positionnement des attaches sur les modèles (Hitmi 2012) (27)</u> .....	25
<u>Figure 17: Gouttière en silicone opaque (Hitmi 2012) (27)</u> .....	26
<u>Figure 18: Gouttière monocouche thermoformée (Hitmi 2012) (27)</u> .....	26
<u>Figure 19: Double gouttière thermoformée (Hitmi 2012) (27)</u> .....	27
<u>Figure 20: procédure de collage indirect d'après le Dr L. Hitmi 2012 (27)</u> .....	30
<u>Figure 21: Résumé du flux numérique en orthodontie (Roger 2016) (65)</u> .....	31
<u>Figure 22: Triangulation Laser (Roger 2016) (65)</u> .....	32
<u>Figure 23: Projection de franges de lumière – AFI (Roger 2016) (65)</u> .....	32
<u>Figure 24: Imagerie parallèle confocale (Roger 2016) (65)</u> .....	33
<u>Figure 25: Le principe « cameras-Laser », scanner R700 de 3Shape. (Coblentz 2012) (68)</u> .....	33
<u>Figure 26: les différents types d'imprimantes 3D sur le marché (Dawood 2015) (69)</u> .....	36
<u>Figure 27: comparaison entre le moulage en plâtre et le modèle numérique (Coblentz 2012) (68)</u> .....	37
<u>Figure 28: Impression de l'écran de contrôle avec une vue immédiate du collage en cours avec une indication en rouge du positionnement attendu (Redmond 2004) (74)</u> .....	38
<u>Figure 29: Flow-chart</u> .....	41
<u>Figure 30: Synthèse des résultats de l'analyse des 4 articles retenus.</u> .....	45
<u>Figure 31: Impression écran du logiciel OrthoAnalyzer pour la suite du fractionnement du maxillaire avec le contour des dents et les axes occluso-gingivaux, durant cette étape il faut valider l'axe de chaque dent, la dent est manipulée dans les trois dimensions et la gencive peut être retirée ou non pour mieux apprécier l'axe de la dent. L'axe dentaire est très important car il conditionnera la position des attaches orthodontiques. Il est possible d'ajouter un fichier issu d'un cone beam pour avoir la position des racines et régler les axes dentaires.</u> .....	48
<u>Figure 32: Impression écran du logiciel OrthoAnalyzer pour le fractionnement du maxillaire lors de l'affichage de l'axe mésio-distal des dents du maxillaire. Toutes les dents sont présentes sur l'arcade hormis les quatre dents de sagesse. Sur la 1e photo il faut définir un point mésial et un point distal pour chaque dent pour définir leur diamètre mésiodistal. Sur la 2e photo il faut valider le dessin automatisé du contour au collet de chaque dent.</u> .....	49
<u>Figure 33: Impressions écran du logiciel OrthoAnalyzer pour placer le plan d'occlusion permettant de positionner le maxillaire dans l'espace. On remarque l'asymétrie du maxillaire qui peut perturber le logiciel dans le positionnement des arcs par la suite.</u> .....	49
<u>Figure 34: Impression écran du logiciel OrthoAnalyzer pour placer les centres de rotation des dents. On place les points FA permettant de situer la position de l'attache orthodontique.</u> .....	49
<u>Figure 35: Impressions écran du logiciel OrthoAnalyzer pour le placement de l'arc maxillaire. On remarque que le logiciel est perturbé par l'asymétrie du maxillaire et gère mal la visualisation de l'arc. A partir de cette partie, il est possible de travailler en double fenêtre pour visualiser sur la partie droite de l'écran les effets attendus en fin de traitement sur la position des dents et la forme de l'arcade en fonction du choix du fil, du plan d'occlusion (et par la suite le choix de la position des attaches)</u> .....	50

<u>Figure 36: Impression écran du logiciel OrthoAnalyzer pour placer l'arc orthodontique (ici on a une vue du modèle mandibulaire)</u> .....	50
<u>Figure 37: Impression écran du logiciel OrthoAnalyzer lors du placement de l'arc mandibulaire</u> .....	51
<u>Figure 38: Impression écran du logiciel OrthoAnalyzer lors de l'ajustement des attaches orthodontiques avec visualisation des attaches AO® . En bas de l'écran les images contiennent les dimensions permettant d'ajuster précisément les attaches.</u> .....	51
<u>Figure 39: Résultat final du positionnement des attaches orthodontiques sur le logiciel OrthoAnalyzer</u> .....	52
<u>Figure 40: Impression écran du logiciel OrthoAnalyzer pour la visualisation des encoches de positionnement qui vont être imprimées sur le moulage</u> .....	53
<u>Figure 41: Moulages imprimés par impression 3D avec encoche pour positionner</u> .....	53
<u>Figure 42: à gauche thermoformage de la plaque souple, au centre et à droite gouttière souple découpée</u> .....	54
<u>Figure 43: à gauche thermoformage de la plaque rigide et à droite gouttière rigide découpée et souple.</u> .....	54
<u>Figure 44: à gauche gouttière souple sur le modèle et gouttière rigide au dessus, à droite ensemble des deux gouttières contenant les attaches orthodontiques.</u> .....	54
<u>Figure 45: Plateaux de collage indirect</u> .....	55
<u>Figure 46: nettoyage à la brosse et pierre ponce</u> .....	55
<u>Figure 47: à gauche mordançage, à droite séchage (surfaces blanches crayeuses)</u> .....	56
<u>Figure 48: application de la colle sur les attaches par l'assistante</u> .....	56
<u>Figure 49: Insertion des gouttière, maintien tripodique et photopolymérisation</u> .....	56
<u>Figure 50: : Désinsertion de la gouttière rigide</u> .....	57
<u>Figure 51: Désinsertion de la gouttière souple à l'aide du Shure</u> .....	57
<u>Figure 52: Elimination de la colle avec disque polissant et Shure</u> .....	57
<u>Figure 53: collage terminée et arc 0,14 niti en place</u> .....	57
<u>Figure 54: Modèle virtuelle avec les attaches orthodontiques sur le logiciel Appliance Designer</u> .....	58
<u>Figure 55: création de la gouttière incorporant les attaches orthodontiques</u> .....	58
<u>Figure 56: Gouttière avec couche plane occlusale et rajouts de matière</u> .....	58
<u>Figure 57: vue d'ensemble de la gouttière et préparation du fichier dans le logiciel d'impression Envisontec</u> .....	59
<u>Figure 58: Gouttière sortie de l'imprimante 3D et Imprimante Vida Envisontec</u> .....	59
<u>Figure 59: Tableau des caractéristiques de la résine IDB Envisontec</u> .....	59
<u>Figure 60: Four NextDent de chez 3Dsystems</u> .....	60
<u>Figure 61: Gouttière imprimée en résine IDB Envisontec incluant les attaches positionnées sur un moulage en résine (impression 3D). La gouttière englobe les attaches sans dépasser le collet des dents</u> .....	60
<u>Figure 62: Gouttière avec attaches orthodontiques incluses</u> .....	60
<u>Figure 63: Insertion de la colle RelyX dans la gouttière sur les bases de attaches</u> .....	61
<u>Figure 64: Insertion de la gouttière contenant les attaches</u> .....	61
<u>Figure 65: photo des fragments de la gouttière après désinsertion de celle-ci</u> .....	61
<u>Figure 66: Photos du résultat final du collage avec un Niti 0,14 bas</u> .....	62
<u>Figure 67: Schéma récapitulatif des étapes des deux protocoles</u> .....	63
<u>Figure 68: tableau récapitulatif des différentes techniques de collage indirect</u> .....	68

## Bibliographie

1. Carols C. Concepts sur l'orthodontie du futur : spéculations ou illusions ? . *Orthod Fr* 2008;79:49–54.
2. Philippe J, Guédon P. L'évolution des appareils orthodontiques de 1728 à 2007. . *Orthod Fr* 2007;78:295–302.
3. Moreau A. SIBSystem : une innovation dans le domaine du collage des attaches orthodontiques ? *Orthod Fr* 2013;84:201–209 .
4. Laïla H. Étude et optimisation de l'adhésion à l'émail et à la dentine. Du laboratoire à la clinique. 2004.
5. Roth P. Les composites. *Paris: Masson, 1991.*
6. Roulet J.F et Degranges M. Collage et adhésion, la révolution silencieuse . *ed. Q. Internationale. 2000, Paris.*
7. Hitmi L, Attal J-P, Degrange M. Les différentes familles de colles composites : présentation et expérimentation. *Orthod Fr. 2002;73(1):20.*
8. Degrange M. Systèmes adhésifs auto-mordocants, une mode ou la voie du futur? *Inf Dent* 2004;15:917-925
9. Hitmi L. Les matériaux de collage en orthodontie. Séminaire Ormodent 2006.
10. Mano M-C, Mehdi S. Les systèmes de collage à l'émail en orthodontie. *Orthod Fr* 2009;80:153–165
11. Vicente A. et coll. A comparison of the shear bond strength of a resin cement and two orthodontic resin adhesive systems. *Angle Orthod*, 2005. 75(1): p. 109-13.
12. Vicente A., Mena A., Ortiz A.J., et Bravo L.A., Water and saliva contamination effect on shear bond strength of brackets bonded with a moisture-tolerant light cure system. *Angle Orthod*, 2009. 79(1): p. 127-32.
13. Cinader D. Chémical processes and performance comparisons of Transbond Plus Self Etching Primer. *Orthodontic perspectives; VII(1):5-6, 2001.*
14. Hitmi L., Muller C., Roussarie F., et Attal J.P., Le collage des brackets en orthodontie. *Clinic*, 2001. 22 p. 165-79.
15. Banks P., et Thiruvenkatachari B., Long-term clinical evaluation of bracket failure with a self-etching primer: a randomized controlled trial. *J Orthod*, 2007. 34(4): p. 243-51.
16. Cal-Neto J.P., et Miguel J.A., An in vivo evaluation of bond failure rates with hydrophilic and self-etching primer systems. *J Clin Orthod*, 2005. 39(12): p. 701-2.
17. Elekdag-Turk S., Isci D., Turk T., et Cakmak F., Six-month bracket failure rate evaluation of a self-etching primer. *Eur J Orthod*, 2008. 30(2): p. 211-6.
18. Pandis N., Polychronopoulou A., et Eliades T., Failure rate of self-ligating and edgewise brackets bonded with conventional acid etching and a self-etching primer: a prospective in vivo study. *Angle Orthod*, 2006. 76(1): p. 119-22.
19. Shah J., et Chadwick S., [Comparison of 1-stage orthodontic bonding systems and 2-stage bonding systems: a review of the literature and the results of a randomized clinical trial]. *Orthod Fr*, 2009. 80(2): p. 167-78.
20. Radovic I, et coll. Self-adhesive resin cements: a literature review. *J Adhes Dent*, 2008. 10(4): p. 251-8.
21. Al-Saleh M., et El-Mowafy O., Bond strength of orthodontic brackets with new selfadhesive resin cements. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2010. 137(4): p. 528-33.
22. Bishara S.E., et coll., Early shear bond strength of a one-step self-adhesive on orthodontic brackets. *Angle Orthod*, 2006. 76(4): p. 689-93.
23. Faltermeier A., Behr M., et Mussig D., A comparative evaluation of bracket bonding with 1-, 2-, and 3-component adhesive systems. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2007. 132(2): p. 144 e1-5.
24. Duarte S., Jr., Botta A.C., Meire M., et Sadan A., Microtensile bond strengths and scanning electron microscopic evaluation of self-adhesive and self-etch resin cements to intact and etched enamel. *J Prosthet Dent*, 2008. 100(3): p. 203-10.
25. Dursun E., Hitmi L., et Attal J.P., Les 10 points clés en odontologie ; le collage en pratique quotidienne : les colles auto-adhésives : une nouvelle famille de colles en orthodontie. 11es

- jours de la Fédération Française d'Orthodontie, 2008. p. 70-8.
26. Hitmi L., Dursun E., et Attal J.P., Nouveau protocole. Intégrez les colles autoadhésives dans votre pratique. *Orthophile*, 2008. 4 p. 82-7.
  27. Hitmi L., Collage indirect des attaches orthodontiques vestibulaires. *EMC - Odontologie*;7(3):1-17 [Article 23-490-C-60], 2012.
  28. Gebeile-Chauty S, Molle A, Valéro C, et Aknin J.J. Attaches orthodontiques et modifications de l'émail et de l'organe pulpodentinaire. *EMC - Odontologie*, 2012.( :1-13 Article 23-490-A-05).
  29. Komori A, et Ishikawa H, Evaluation of a resin-reinforced glass ionomer cement for use as an orthodontic bonding agent. *Angle Orthod*, 1997. 67(3): p. 189-95.
  30. Altounian G. Orthodontic bonding with glass ionomer cements: from theory to practice. *Rev Orthop Dento Faciale* 2000;34:557-600
  31. McCarthy M.F, Hondrum SO. Mechanical and bond strength properties of light-cured and chemically cured glass ionomer cements. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod*. Févr 1994;105(2):135-41.
  32. Pascotto R.C, Navarro M.F, Capelozza Filho L, et Cury J.A. In vivo effect of a resin-modified glass ionomer cement on enamel demineralization around orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 2004. 125(1): p. 36-41.
  33. Lavernhe P, Lodter C, Sharrock P et Gregoire G. Biocompatibility of orthodontic bonding agents: the contribution of glass ionomer cements. *Rev Orthop Dento Faciale* 2000;34:539-554.
  34. Cook P.A. Direct bonding with glass ionomer cement. *J Clin Orthod*, 1990. 24(8): p. 509-11.
  35. Miles P.G et Weyant R.J. A comparison of two indirect bonding adhesives. *Angle Orthod* 2005;75:1019-1023.
  36. Shah J et Chadwick S. Comparaison entre un système de collage orthodontique en une étape et un système de collage en deux étapes: revue de littérature et résultats d'un essai clinique randomisé. *Orthod Fr* 2009;80:167-178
  37. Boileau M.J. Orthodontie de l'enfant et du jeune adulte. Principes et moyens thérapeutiques tome 1. Edition Elsevier Masson.
  38. Moustahfir H. Mise en place des brackets orthodontiques par collage direct: étude clinique, thèse soutenue en 2006 à Casablanca (Maroc)
  39. Andrews L.F. The six keys to normal occlusion. *Am J Orthod* 1972;62(3):296-309
  40. Newman G.F. Adhesion and orthodontic plastic attachments. *Am J Orthod* 1969;56:573-588
  41. Silverman E, Cohen M. A report on a major improvement in the indirect bonding technique. *J Clin Orthod* 1975;9:270-276
  42. Silverman E, Cohen M, Gianely A.A, Dietz V.S. A universal direct bonding system for both metal and plastic brackets. *Am J Orthod* 1972;62:236-244
  43. Shiau J.Y, Rasmussen S.T, Phelps A.E et coll. Bond strength of aged composites found in brackets placed by an indirect technique. *Angle Orthod* 1993;63(3):213-220
  44. Moreau A. SIBSystem: une innovation dans le domaine du collage des attaches orthodontiques? *Orthod Fr* 2013;84:201-209
  45. Altounian G. Une méthode de collage en orthodontie. Paris : J prélat, 1979.
  46. Chabre C et Bassigny F. An Indirect bonding technic using a double mixture. *Rev Orthop Dento Faciale* 1985;19(4):595-602
  47. Altounian G. The development of indirect bonding in combination with pre-bonded appliances. *Orthod Fr* 1987;58(2):775-790.
  48. Sedennes V. An indirect bonding technique. *Rev Orthop Dento Faciale* 1991;25(1):79-83
  49. Kalange J.T et Thomas R.G. Indirect bonding: a comprehensive review of the literature. *Semin Orthod* 2007;13:3-10
  50. Kalange J.T. Prescription-based precision full arch: Indirect bonding. *Semin Orthod* 2007;13:19-42
  51. Mc Crostie H.S. Indirect bonding simplified. *J Clin Orthod* 2003;37(5):248-251
  52. Moskowitz E.M. Indirect bonding with a thermal cured composite. *Semin Orthod* 2007;13:69-74.
  53. Koga M, Watanabe K et Koga T. Quick indirect bonding system (Quick IDBS): an indirect bonding technique using a double-silicone bracket transfer ray. *Semin Orthod* 2007;13:11-18
  54. Sondhi A. Efficient and effective indirect bonding. *Am J Orthod Dentofac Orthop*

- 1999;115(4):352-359.
55. Bery A. Collage indirect des verrous d'orthodontie en vue directe. *Rev Orthop Dento Faciale* 1981;15:351-356
  56. Kasrovi P.M, Timmins S. et Shen A. A new approach to indirect bonding using light-cure composites. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1997;111(6):652-656
  57. Tricot-Blestel M.C et Philippe J. Shell bonding, or an indirect unit bonding technic. *Rev Orthop Dento Faciale* 1984;18(3):407-409.
  58. Grunheid T et coll. Transfer accuracy of vinyl polysiloxane trays for indirect bonding. *Angle Orthod.* 2016;86:468-474.
  59. Castilla A.E et coll. Measurement and comparison of bracket transfer accuracy of five indirect bonding techniques. *Angle Orthod.* 2014;84:607-614.
  60. Echarri P. et Kim T.W. Double transfer trays for indirect bonding. *J Clin Orthod* 2004;38(1):8-13
  61. Hodge T.M, Dhopatkar A.A, Rock W.P et Spary D.J. A randomized clinical trial comparing the accuracy of direct versus indirect bracket placement. *J Orthod* 2004;31(2):132-137
  62. Thiagarajah S, Spary D.J et Rock W.P. A clinical comparison of bracket bond failures in association with direct and indirect bonding. *J Orthod* 2006;33:198-204
  63. Linn B.J, Berzins D.W, Dhuru V.B et Bradley T.G. A comparison of bond strength between direct- and indirect-bonding methods. *Angle Orthod* 2006;76(2):289-294
  64. Yi G.K, Dumn W.J et Taloumis L.J. Shear bond strength comparison between direct and indirect bonded orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2003;124(5):577-581.
  65. Roger B, Roger J.B. Apports de l'impression numérique 3D en ODF. *Rev Orthop Dento Faciale* 2016;50:229-236
  66. Lecocq G. Intra-oral digital scanner: selection and in-office integration. *Rev Orthop Dento Faciale* 2016;50:223-228
  67. Lecocq G. Digital impression-taking: Fundamentals and benefits in orthodontics. *International Orthodontics* 2016;14:184-194
  68. Coblentz J.F. Empreintes numériques: mythes et réalité quotidienne. *Orthod Fr* 2012;83:81-82
  69. Dawood A., Marti Marti B., Sauret-Jackson V et Darwood.A. 3D printing in dentistry. *British Dental Journal* 2015;210:521-529
  70. Kim S.Y, Shin Y.S et coll. Precision and trueness of dental models manufactured with different 3-dimensional printing techniques. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2018;153:144-53)
  71. Favero C et coll. Effect of print layer height and printer type on the accuracy of 3-dimensional printed orthodontic models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2017;152:557-65)
  72. Muller-Hartwich R, Jost-Brinkmann P.G et Schubert K. Precision of implementing virtual setups for orthodontic treatment using CAD/CAM-fabricated custom archwires. *J Orofac Orthop* (2016) 77:1-8
  73. Kihara T et coll. Construction of orthodontic setup models on a computer
  74. Redmond W.J et coll. The OrthoCAD bracket placement solution. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2004;125:645-6

Vu, le Président du Jury,

Date, Signature :

Vu, la Directrice de l'UFR des Sciences Odontologiques,

Date, Signature :

Vu, le Président de l'Université de Bordeaux,

Date, Signature :

**Pénélope PICHON**, Le 27/09/18

Thèse pour l'obtention du DIPLOME d'ETAT de DOCTEUR en CHIRURGIE DENTAIRE 2018 – n°51

**Discipline** : Orthopédie Dento-faciale

**Titre : Etablissement d'un protocole innovant de collage indirect des attaches orthodontiques assisté par ordinateur : revue de la littérature**

**Résumé**

Le collage indirect des attaches orthodontiques connaît une révolution grâce au développement du numérique. Cependant les protocoles actuels ne permettent pas à l'orthodontiste d'être totalement autonome pour les étapes de réalisation des systèmes de transferts. La prise d'empreinte, le positionnement des attaches et la réalisation de gouttières de transfert pourraient être faits par CFAO uniquement par l'orthodontiste. Nous avons réalisé une revue de la littérature afin de mettre en avant les différents protocoles de collage indirect en vestibulaire par CFAO, ainsi 4 articles ont retenu notre attention et ont permis de retenir deux protocoles qui ont été réalisés sur une même patiente en dissociant le maxillaire et la mandibule. Le premier protocole consiste en l'impression 3D d'un moulage avec des encoches de repositionnement sur lequel une gouttière de transfert molle et une rigide sont thermoformées ; et dans le deuxième protocole la gouttière de transfert est directement imprimée par imprimante 3D. Nous avons obtenu des meilleurs résultats avec le premier protocole (durée de collage plus longue avec la gouttière imprimée en 3D qui s'est fragmentée en multiples morceaux dont certains sont restés bloqués en inter dentaire). Cette étude montre que « le tout numérique » semble être une alternative très intéressante mais il est nécessaire d'améliorer la qualité de la résine d'impression pour éviter ces soucis techniques.

**Mots-clés** :

Appareil orthodontique ; collage indirect ; réseau numérique 3D ; CFAO ; virtuel

**Summary** :

The indirect bonding of orthodontic brackets is experiencing a revolution thanks to the development of digital technology. However, the current protocols do not allow the orthodontist to be completely autonomous for the implementation steps of the transfer systems. The dental impression, the positioning of the brackets and the realization of transfer trays could be done by CAD / CAM only by the orthodontist. We have conducted a review of the literature in order to highlight the different protocols for indirect vestibular bonding using CAD / CAM, thus 4 articles caught our attention and allowed us to retain two protocols which were tested on the same patient by dissociating the maxillary and the mandible. The first protocol is about doing a 3D printed molding with repositioning notches on which, a soft transfer tray and a rigid one are thermoformed ; and in the second protocol the transfer tray is directly printed by a 3D printer. We obtained better results with the first protocol (longer bonding time with the 3D printed gutter which fragmented into multiple pieces, some of them remained stuck in interdental spaces). This study shows that "all digital" seems to be a very interesting alternative but it is necessary to improve the quality of the printing resin to avoid these technical problems.

**Key-words** : Orthodontic appliance; Indirect bonding; 3D digital network; cad/cam; virtual

Université de Bordeaux – Collège des Sciences de la Santé  
UFR des Sciences Odontologiques  
16-20 cours de la Marne  
33082 BORDEAUX CEDEX