



**HAL**  
open science

# Apport du flux numérique en technique vestibulaire orthodontique

Julie Righezza

► **To cite this version:**

Julie Righezza. Apport du flux numérique en technique vestibulaire orthodontique. Chirurgie. 2021.  
dumas-03638253

**HAL Id: dumas-03638253**

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03638253v1>

Submitted on 12 Apr 2022

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0  
International License

**THÈSE**

***POUR OBTENIR LE DIPLOME D'ÉTAT  
DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE***

Présentée et publiquement soutenue devant

Aix-Marseille Université  
(Président : Monsieur le Professeur Éric BERTON)

Faculté des Sciences Médicales et Paramédicales  
(Doyen : Monsieur le Professeur Georges LEONETTI)

**Ecole de Médecine Dentaire**  
(Directeur : Monsieur le Professeur Bruno FOTI)

***Apport du flux numérique  
en technique vestibulaire orthodontique***

Présentée par

**RIGHEZZA Julie**

Née le 07.12.1993

A La Ciotat

Thèse soutenue le Vendredi 2 Juillet 2021

Devant le jury composé de

**Président : Professeur LE GALL Michel**

**Assesseurs : Docteur ROCHE-POGGI Philippe**

**Docteur PHILIP-ALLIEZ Camille**

**Docteur VINAI Mickaël**

**Invité : Professeur CHARAVET Carole**



**THÈSE**

***POUR OBTENIR LE DIPLOME D'ÉTAT  
DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE***

Présentée et publiquement soutenue devant

Aix-Marseille Université  
(Président : Monsieur le Professeur Éric BERTON)

Faculté des Sciences Médicales et Paramédicales  
(Doyen : Monsieur le Professeur Georges LEONETTI)

**Ecole de Médecine Dentaire**  
(Directeur : Monsieur le Professeur Bruno FOTI)

***Apport du flux numérique  
en technique vestibulaire orthodontique***

Présentée par

**RIGHEZZA Julie**

Née le 07.12.1993

A La Ciotat

Thèse soutenue le Vendredi 2 Juillet 2021

Devant le jury composé de

**Président : Professeur LE GALL Michel**

**Assesseurs : Docteur ROCHE-POGGI Philippe**

**Docteur PHILIP-ALLIEZ Camille**

**Docteur VINAI Mickaël**

**Invité : Professeur CHARAVET Carole**

## ADMINISTRATION

Mise à jour : sept. 2020

### **Doyens Honoraires**

Professeur Raymond SANGIUOLO<sup>†</sup>  
Professeur Henry ZATTARA  
Professeur André SALVADORI  
Professeur Jacques DEJOU

### **Doyen Assesseurs**

Professeur Bruno FOTI  
Professeur Michel RUQUET  
Professeur Anne RASKIN

### **Directeurs de Départements**

Formation Initiale  
Recherche  
Formation Continue

Professeur Michel RUQUET  
Professeur Anne RASKIN  
Professeur Frédéric BUKIET

### **Charges de missions**

Relations Internationales  
Internat et Diplômes d'études spécialisées  
Affaires générales

Professeur Hervé TASSERY  
Professeur Virginie MONNET-CORTI  
Docteur Patrick TAVITIAN

### **Responsable des Services Administratifs et Techniques**

Madame Katia LEONI

## **LISTE DES ENSEIGNANTS**

### **PROFESSEURS DES UNIVERSITES – PRATICIENS HOSPITALIERS DES CSERD**

BUKIET Frédéric (58-01)  
FOTI Bruno (56-02)  
LE GALL Michel (56-01)  
MONNET-CORTI Virginie (57-01)  
ORTHLIEB Jean-Daniel (58-01)  
RASKIN Anne (58-01)  
RUQUET Michel (58-01)  
TARDIEU Corinne (56-01)  
TARDIVO Delphine (56-02)  
TASSERY Hervé (58-01)

### **PROFESSEUR DES UNIVERSITES**

ABOUT Imad (65)

### **PROFESSEURS EMERITES**

DEJOU Jacques  
HUE Olivier

### **MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES – PRATICIENS HOSPITALIERS DES CSERD**

|                               |                               |
|-------------------------------|-------------------------------|
| ABOUDHARAM Gérard (58-01)     | LAN Romain (56-02)            |
| BANDON Daniel (56-01)         | LAURENT Michel (58-01)        |
| BELLONI Didier (57-01)        | LAURENT Patrick (57-01)       |
| BOHAR Jacques (56-01)         | MAILLE Gérald (58-01)         |
| CAMOIN Ariane (56-01)         | PHILIP-ALLIEZ Camille (56-01) |
| CAMPANA Fabrice (57-01)       | POMMEL Ludovic (58-01)        |
| CATHERINE Jean-Hugues (57-01) | PRECKEL Bernard-Éric (58-01)  |
| GAUBERT Jacques (56-01)       | RÉ Jean-Philippe (58-01)      |
| GIRAUD Thomas (58-01)         | ROCHE-POGGI Philippe (57-01)  |
| GIRAUDEAU Anne (58-01)        | STEPHAN Grégory (58-01)       |
| GUIVARC'H Maud (58-01)        | TAVITIAN Patrick (58-01)      |
| JACQUOT Bruno (58-01)         | TERRER Elodie (58-01)         |
| LABORDE Gilles (58-01)        | TOSELLO Alain (58-01)         |

### **MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES ASSOCIES**

BALLESTER Benoît (58-01)  
BLANCHET Isabelle (56-01)  
MENSE Chloé (58-01)  
SILVESTRI Frédéric (58-01)

## **ASSISTANTS HOSPITALIERS ET UNIVERSITAIRES**

|                            |                              |
|----------------------------|------------------------------|
| AL AZAWI Hala (56-01)      | HAHN-GOLETTI Larissa (58-01) |
| ANTEZACK Angeline (57-01)  | LAURENT Camille (58-01)      |
| ARNIER Canelle (56-01)     | LIOTARD Alicia (58-01)       |
| BAUDINET Thomas (58-01)    | MADENIAN Pauline (58-01)     |
| BRINCAT Arthur (57-01)     | MANSUY Charlotte (58-01)     |
| BROS Agnès (56-01)         | MARTIN William (56-01)       |
| CASAZZA Estelle (56-01)    | MATERRA Rémi (58-01)         |
| CASTRO Romain (57-01)      | PARFU Anne (58-01)           |
| CHIARINI Thomas (58-01)    | PASCHEL Laura (58-01)        |
| DAVID Laura (56-01)        | PILLIOL Virginie (58-01)     |
| DRAUSSIN Thierry (57-01)   | ROUSCOFF Eva (56-01)         |
| DUMAS Cathy (57-01)        | SANTUNIONE Charlotte (58-01) |
| FAURE-BRAC Mathias (57-01) | VINAÏ Michael (56-01)        |
| FERRE Enzo (58-01)         |                              |
| HADJ-SAID Mehdi            |                              |

## **ASSISTANTS DES UNIVERSITES ASSOCIES**

GRINE Ghilès (57-01)  
HOUVENAEGHEL Brice (57-01)

Intitulés des sections CNU :

- 56<sup>ème</sup> section : Développement, croissance et prévention
- 56-01 Odontologie pédiatrique et orthopédie dento-faciale
- 56-02 : Prévention – Epidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale
- 57<sup>ème</sup> section : Chirurgie orale ; Parodontologie ; Biologie Orale
- 57-01 : Chirurgie orale – Parodontologie – Biologie orale
- 58<sup>ème</sup> section : Réhabilitation orale
- 58-01 : Dentisterie restauratrice – Endodontie – Prothèses – Fonction-Dysfonction – Imagerie – Biomatériaux

L'auteur s'engage à respecter les droits des tiers, et notamment les droits de propriété intellectuelle. Dans l'hypothèse où la thèse comporterait des éléments protégés par un droit quelconque, l'auteur doit solliciter les autorisations nécessaires à leur utilisation, leur reproduction et leur représentation auprès du ou des titulaires des droits. L'auteur est responsable du contenu de sa thèse. Il garantit l'Université contre tout recours. Elle ne pourra en aucun cas être tenue responsable de l'atteinte aux droits d'un tiers.

***REMERCIEMENTS***



***A mon Président de jury, Monsieur le Professeur Michel LE GALL,***

*Professeur des Universités – Praticien Hospitalier*

*Je vous remercie de me faire l'honneur de présider dans mon jury de thèse.*

*Vous avez toutes les qualités d'un grand « Chef » : toujours bienveillant, disponible, et présent pour nous.*

*Je tiens à vous remercier pour toutes les connaissances que vous m'avez transmises, toujours dans la bonne humeur et le partage. Je suis admirative de votre travail et de votre dévouement en tant qu'orthodontiste mais aussi en tant que professeur. Votre côté paternel nous tire toujours vers le haut et c'est un grand plaisir de travailler à vos côtés.*

*Je suis fière et honorée de faire partie de vos élèves.*

*Veillez trouver dans ce travail l'expression de mon plus profond respect et de ma gratitude.*

***A Madame le Docteur Camille PHILIP-ALLIEZ,***

*Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier*

*Je vous remercie d'avoir accepté de siéger dans mon jury de thèse.*

*Vous êtes une personne lumineuse, douce, à l'écoute et toujours disponible pour nous.*

*Je vous remercie pour vos précieux conseils tant professionnels que personnels qui m'ont poussée à donner le meilleur de moi-même.*

*Vous avez toujours su trouver les mots justes et rassurants, ce qui m'a été d'une grande aide tout au long de mon internat.*

*Votre profonde gentillesse et votre pédagogie ont beaucoup apporté à ma formation.*

*Veillez recevoir par ce travail, le témoignage de mon estime et de ma reconnaissance.*

*A Monsieur le Docteur Philippe ROCHE-POGGI,*

*Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier*

*Je vous remercie d'avoir accepté de siéger dans mon jury de thèse.*

*Ce fut un plaisir de recevoir votre enseignement en Chirurgie Orale. J'en retiens votre grande rigueur, votre investissement, et votre pédagogie.*

*Votre sympathie et votre humour rend nos rencontres à la clinique toujours très agréables.*

*Voyez en cette thèse l'expression de mes remerciements les plus sincères et toute mon estime.*

***A mon Directeur de thèse, Monsieur le Docteur Mickaël Vinaï,***

*Assistant Universitaire et Hospitalier*

*Je vous remercie d'avoir accepté de diriger ce travail, de m'avoir accordé votre temps et vos conseils.*

*Je me rappellerai toujours que vous avez été notre premier Professeur lors de notre arrivée en tant qu'interne.*

*Votre humour, second degré, et votre disponibilité m'ont beaucoup apporté tous ces lundis.*

*Toujours de bonne humeur, ce fut un plaisir d'apprendre à vos côtés.*

*Vous avez toujours été présent pour moi et je vous en remercie.*

*Veillez trouver dans ce travail l'expression de tout mon respect et de ma sympathie.*

***A Madame le Professeur Carole Charavet***

*Professeur associée des Universités – Praticien Hospitalier*

*Je vous remercie d'avoir accepté de faire le déplacement depuis Nice pour siéger dans mon jury de thèse.*

*Vous avez toujours su être disponible pour moi. Vous m'avez offert de nouvelles opportunités de formation au travers de mon mémoire sur la technique Insignia et je ne vous en remercierai jamais assez.*

*Toujours souriante, bienveillante, patiente et attentive, vous avez pris le temps de me transmettre votre passion pour le numérique et l'orthodontie.*

*Je vous remercie pour votre gentillesse, votre rigueur de travail, et votre pédagogie.*

*Voyez en cette thèse l'expression de toute ma reconnaissance et mon respect.*

## Apport du flux numérique en technique vestibulaire orthodontique

|  |    |
|--|----|
| <b>I. INTRODUCTION</b> .....   | 1  |
| <b>II. CONCEPTION NUMERIQUE</b> .....  | 2  |
| <b>1. Planification numérique</b> .....  | 2  |
| 1.1. Empreintes numériques et modèles d'étude .....  | 2  |
| 1.1.1. Empreintes numériques .....   | 2  |
| 1.1.2. Modèles d'étude .....   | 6  |
| 1.2. Logiciels de traitement des empreintes numériques .....                                 | 8  |
| 1.2.1. Informations diagnostiques .....  | 8  |
| 1.2.2. Modèle numérique et cone beam .....   | 9  |
| 1.2.3. Simulation du traitement .....  | 10 |
| 1.2.4. Réévaluations et planifications chirurgicales .....                                   | 12 |
| 1.2.5. Planification des contentions .....   | 13 |
| 1.2.5.1. Les gouttières de contention .....  | 13 |
| 1.2.5.2. Les attelles de contention .....  | 14 |
| <b>2. Attaches et arcs individualisés</b> .....  | 15 |
| <b>III. COLLAGE INDIRECT</b> .....   | 20 |
| <b>1. Intérêts du collage indirect</b> .....   | 20 |
| <b>2. Planification du positionnement des attaches orthodontiques</b> .....                  | 21 |
| 2.1. Positionnement sur un modèle physique .....   | 21 |
| 2.2. Positionnement virtuel sur un logiciel informatique .....                               | 21 |
| 2.2.1. Positionnement virtuel sur un logiciel avec intervention d'un laboratoire extérieur . | 21 |
| 2.2.2. Positionnement virtuel sur un logiciel par l'orthodontiste .....                      | 21 |
| 2.3. Systèmes de transfert .....   | 22 |
| <b>IV. LES LIMITES DU NUMERIQUE</b> .....  | 26 |
| <b>1. Les limites biologiques</b> .....  | 26 |
| <b>2. Les limites de reconstitution</b> .....  | 26 |
| <b>3. Les limites financières</b> .....  | 27 |
| 3.1. Le temps .....  | 27 |
| 3.2. Le coût du matériel .....   | 28 |
| <b>4. Les limites réglementaires</b> .....   | 28 |
| <b>5. Les limites de stockage</b> .....  | 30 |
| 5.1. Stockage au cabinet dentaire .....  | 30 |
| 5.2. Stockage sur le cloud .....   | 30 |
| 5.3. Conséquences écologiques .....  | 31 |
| <b>V. CONCLUSION</b> .....   | 32 |
| <b>VI. BIBLIOGRAPHIE</b> .....   | 1  |

# I. INTRODUCTION

En orthodontie, la qualité et la précision du diagnostic sont essentielles à la réussite du traitement.

Le développement rapide des technologies numériques procure de nouveaux outils au praticien en apportant rapidement et simplement des informations précises sur la dysmorphie du patient.

Au cours des 10 dernières années, les cabinets d'orthodontie ont été nombreux à acquérir une caméra optique, ce qui permet progressivement le remplacement des modèles d'étude conventionnels en plâtre par des modèles numériques.

Les logiciels orthodontiques de traitement de ces modèles se perfectionnent continuellement et offrent de plus en plus d'outils aux praticiens pour parfaire diagnostics, plans de traitement et moyens mis en œuvre pour obtenir les résultats souhaités.

La conception et fabrication assistée par ordinateur (CFAO) permet la réalisation de traitements individualisés en créant des dispositifs médicaux sur mesure.

Certains laboratoires ont développé des systèmes entièrement personnalisés réalisés par des logiciels performants. D'après le plan de traitement détaillé prescrit par l'orthodontiste et les éléments diagnostics tels que les photographies, les modèles numériques, les radiographies et le cone beam, le logiciel fournit un set-up numérique. Après modification et validation par le praticien, les attaches, arcs et systèmes de transfert de collage indirect sont fabriqués sur mesure.

Le praticien peut concevoir et fabriquer lui-même ou en partie un traitement individualisé à l'aide de logiciel de planification de traitement et d'imprimantes 3D.

Une première partie sur la conception numérique va être développée dans ce travail. L'intérêt des empreintes optiques, modèles numériques et les applications de leurs logiciels vont y être abordés. Les attaches et arcs personnalisés y seront détaillés.

La deuxième partie sera consacrée au collage indirect, en développant sa conception et la fabrication des systèmes de transfert.

Enfin, la troisième partie traitera des limites du numérique, qu'elles soient biologiques, de reconstruction, financières, réglementaires ou encore de stockage.

## II. CONCEPTION NUMERIQUE

### 1. Planification numérique

#### 1.1. Empreintes numériques et modèles d'étude

##### 1.1.1. Empreintes numériques

Les empreintes permettent d'étudier la position des dents et des structures buccales. Conventionnellement, elles sont réalisées à l'aide d'un porte-empreinte, et d'un matériau d'enregistrement tel que de l'alginate ou du silicone.

Les caméras optiques se sont développées permettant l'acquisition d'empreintes numériques qui serviront à la réalisation de modèles d'études et à la fabrication d'appareillages orthodontiques.

A l'aide d'une caméra intra-orale, les surfaces dentaires et les tissus mous adjacents du patient sont numérisés par balayage d'un faisceau lumineux.

L'ergonomie du cabinet d'orthodontie doit être prise en compte dans le choix du modèle et de la marque de la caméra, selon la disposition et le nombre de postes de travail. Il existe des systèmes qui se présentent sous formes de karts à roulettes munis d'un écran, de machines compactes autonomes, ou de pods transportables à brancher sur un ordinateur (figure 1).



Figure 1 : Ergonomie des caméras optiques – Kart iTero® Element 5D plus –  
Configuration mobile iTero® element 5D plus – Pod Trios® de 3Shape



Selon le système, l'acquisition des images se fait soit par triangulation, soit par projection de frange de lumière, soit par imagerie parallèle confocale ou encore par acquisition 3D vidéo (24).

La reconstruction en 3 dimensions est possible grâce au logiciel interne de la caméra ou un logiciel indépendant. La qualité du modèle numérique dépendra de sa précision. Les mises à jour de ce logiciel permettent aux caméras optiques d'améliorer leurs performances sans que le matériel ne soit changé.

Le scanner par triangulation utilise un récepteur qui analyse la distorsion d'un faisceau laser réfléchi par les surfaces à enregistrer pour analyser la situation spatiale (figure 2). Les lignes produites dans les 3 plans de l'espace par ce procédé sont assemblées en centaines de triangles qui forment une image tridimensionnelle. Le système Cerec Bluecam® de Sirona utilise ce procédé.

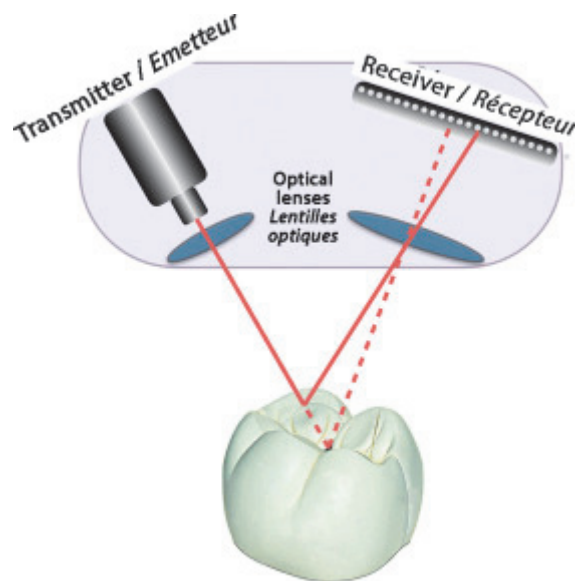


Figure 2 : Triangulation laser (24)

Le scanner par projection de franges de lumière utilise un motif de lumière structuré sous forme de bandes rectilignes projetées par un laser (figure 3). La déformation de ces franges sur les surfaces dentaires et les tissus mous forme des courbes qui sont enregistrées par une caméra. Comparativement au scanner par triangulation, ce scanner permet le balayage d'un champ plus large en une fois par la projection de plusieurs lignes à la fois. Le scanner Lythos® d'Ormco utilise cette technologie.

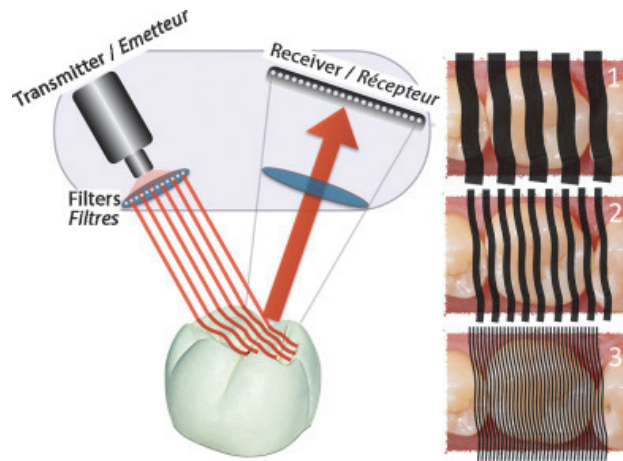


Figure 3 : Projection de franges de lumière (24)

Le scanner par imagerie confocale ou holographie conoscopique projette, à travers une petite ouverture, une lumière laser. Le faisceau réfléchi passe par un cristal biréfringent et est orienté vers un capteur à travers une petite ouverture, ce qui permet d'éliminer la lumière réfléchie qui se trouve en dehors du plan focal (figure 4). Seuls les points nets sont enregistrés ce qui optimise la précision de l'image. Des coupes tomographiques de l'objet sont formées à partir de ces points. L'objet scanné est coupé en milliers de tranches qui sont assemblées pour former une image tridimensionnelle. On appelle ce procédé de reconstruction de l'image « point-and-stitch reconstruction ». Cette technique permet de mesurer des cavités et des reliefs profonds, ainsi que des angles prononcés jusqu'à 85°, ce qui n'est pas possible avec les procédés par triangulation ou les projections de franges de lumière. Les scanners iTero® de Cadent et Trios® de 3Shape utilisent cette technologie.

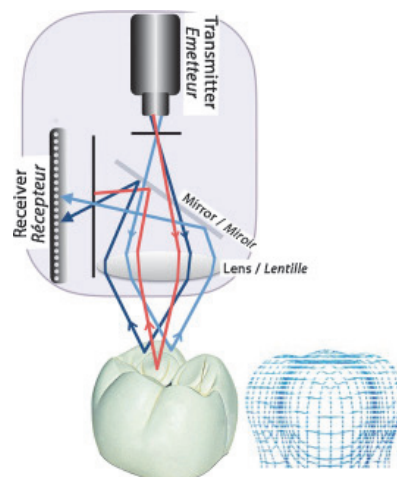


Figure 4 : Imagerie parallèle confocale (24)

Le scanner par imagerie 3D in-motion ou vidéo stéréophotogrammétrique utilise le même principe que la vision binoculaire et nécessite un éclairage par une source de lumière laser ou une source de lumière blanche. Plusieurs caméras décalées dans leur positionnement spatial captent des vues précises mais différentes des surfaces scannées (figure 5). Au moins deux perspectives différentes permettent de calculer la distance entre deux points afin de déterminer leurs coordonnées tridimensionnelles. Il s'agit de la technique utilisée par l'aviation lors de vol de reconnaissance. Les scanners True Definition® de 3M et le système Condor® utilisent cette technologie.

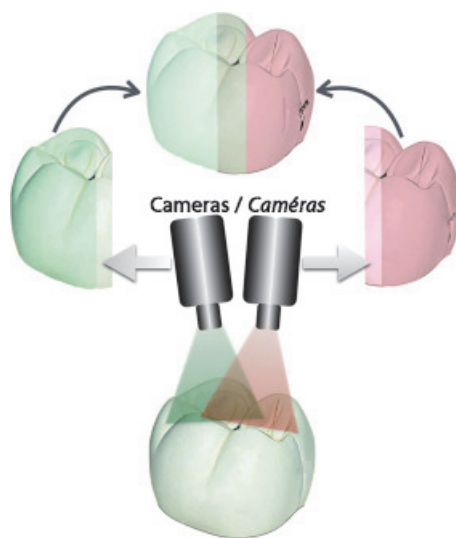


Figure 5 : Vidéo stéréophotogrammétrique (24)

Les caméras optiques permettent de s'affranchir de la manipulation de matériau à empreinte qui engendrent souvent des salissures au niveau des postes de travail et de la salle de stérilisation. Les manches des caméras optiques sont équipés d'embouts qui sont soit autoclavables soit jetables à usage unique.

Selon l'étude de YILMAZ et AYDIN réalisée en 2019, il n'y a pas de différence significative en termes de durée totale entre la prise d'une empreinte conventionnelle et d'une empreinte numérique (39).

Cette étude démontre également que la prise d'une empreinte numérique est plus confortable pour les enfants que celle d'une empreinte conventionnelle. Il y est rapporté que la perception d'un mauvais goût, d'un réflexe nauséux et de l'envie de vomir sont moins

importants pour le groupe d'enfant ayant eu une empreinte numérique par rapport à celui qui a eu une empreinte conventionnelle.

Dans étude réalisée en 2016 par GJELVOLD, la patientèle adulte rapporte également un ressenti plus confortable lors de la prise d'une empreinte intra orale par caméra optique que lors d'une prise d'empreinte conventionnelle (15).

Pour les patients dont la coopération reste fragile ou les personnes en situation de handicap, la prise d'une empreinte numérique semble plus acceptée. L'acquisition peut se faire par étape avec des temps de pause, ce qui n'est pas possible lors de la prise d'une empreinte conventionnelle.

### 1.1.2. Modèles d'étude

Les modèles d'étude permettent d'évaluer, dans les 3 dimensions de l'espace, les surfaces dentaires et l'occlusion du patient en son absence.

Classiquement, ils sont réalisés en plâtre blanc et taillés en fonction de critères déterminés (appelés taille américaine, Tuscon USA) à l'échelle 1.

Ils font partis du dossier médical du patient et doivent être conservés, selon l'article R.1112-7 du Code de la Santé Publique « pendant une durée de vingt ans à compter de la date du dernier séjour de son titulaire dans l'établissement ou de la dernière consultation externe en son sein ».

A partir d'empreinte numérique et à l'aide de logiciel, il est possible de reconstituer un modèle numérique grâce à un soclage de l'empreinte optique.

Le modèle numérique sera sauvegardé sur un disque dur et/ou sur le cloud, enregistré au format « STL ».

Le praticien peut alors s'affranchir du rangement et du stockage du modèle physique, ce qui diminue les risques de perte, de fracture, et améliore l'ergonomie du cabinet dentaire. Le fichier numérique de l'empreinte étant maintenant accepté par la sécurité sociale comme élément à part entière du dossier médical.

Le modèle est accessible rapidement, et visible par reconstitution 3D sur ordinateur en quelques secondes par l'intermédiaire de logiciels de visualisation 3D. Il est manipulable dans les 3 dimensions de l'espace à l'aide d'une souris ou d'un pad (figure 6).

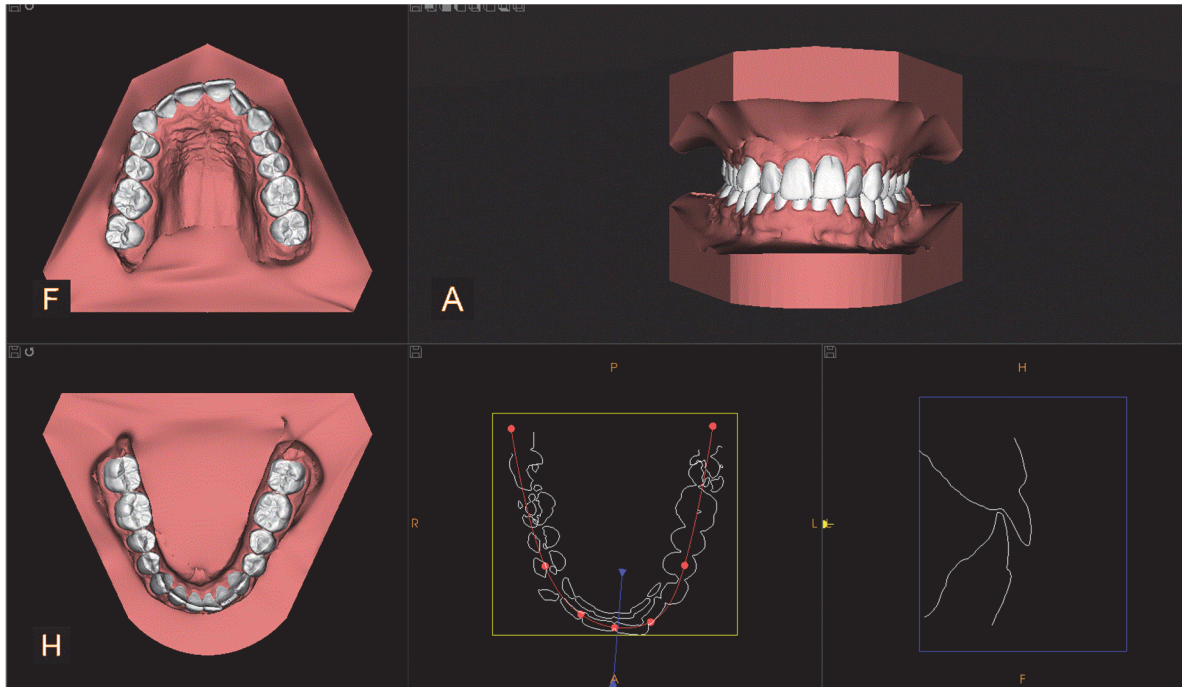


Figure 6 : Capture d'écran du logiciel CS model – reconstitution d'un modèle 3D  
(Collection personnelle)

L'obtention d'un modèle physique est réalisée par l'intermédiaire d'une imprimante 3D, directement au cabinet dentaire ou au laboratoire de prothèse.

La communication avec les collaborateurs est facilitée avec l'envoi numérique du fichier STL. Cette procédure instantanée limite le risque de perte ou de détérioration des modèles en plâtre lors de leur transport et permet de gagner du temps dans la conception d'appareils orthodontiques.

La communication avec le patient sera facilitée car la visualisation immédiate des modèles 3D constitue un bon outil pédagogique et explicatif des différentes malocclusions.

L'utilisation de ces outils numériques limite les risques de contamination croisée. Les modèles en plâtre sont fréquemment contaminés principalement par des bactéries et leurs souches résistantes aux antibiotiques. Les échanges physiques avec le laboratoire de prothèses sont réduits ce qui diminue le transport d'articles contaminés (3).

## 1.2. Logiciels de traitement des empreintes numériques

A partir du fichier STL des empreintes numériques, certains logiciels (internes ou externes à la caméra optique) permettent d'extraire des informations diagnostiques précises, de simuler des traitements, de comparer ou d'anticiper les suites thérapeutiques.

### 1.2.1. Informations diagnostiques

Les logiciels de traitements des empreintes peuvent donner rapidement des informations diagnostiques précises au praticien. Il est possible d'obtenir en quelques secondes la quantité de décalage antéro-postérieur des arcades dentaires, la quantité d'encombrement, la valeur du Bolton calculée, le périmètre d'arcade, ou encore les mesures linéaires et angulaires inter et intra-arcade (figure 7).

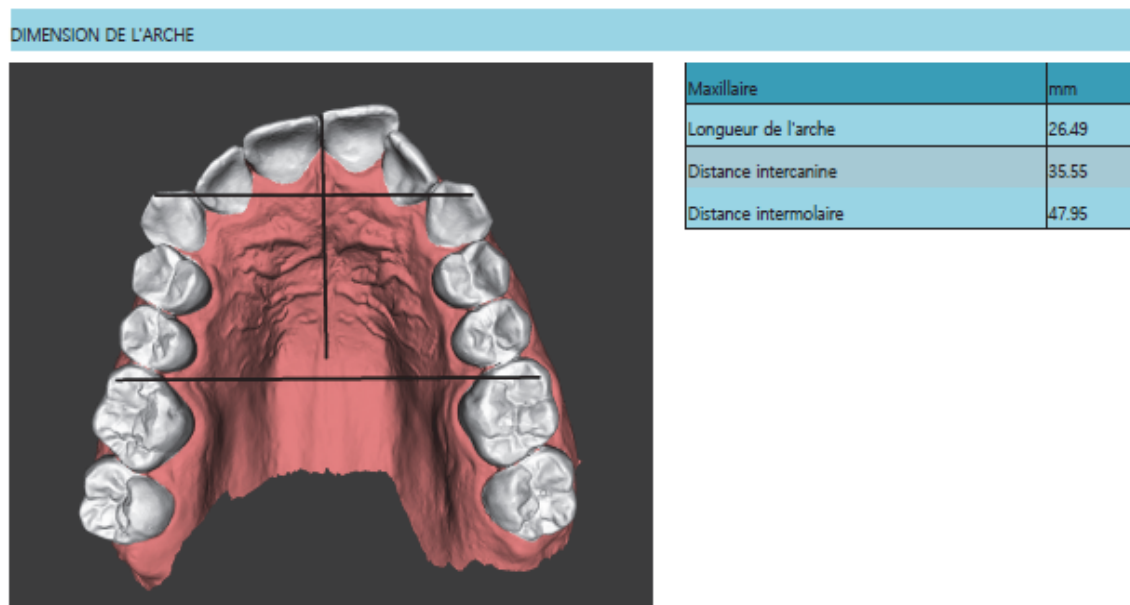


Figure 7 : Capture d'écran du rapport orthodontique généré par le logiciel CS model  
(Collection personnelle)

Trois revues systématiques de la littérature publiées par FLEMING en 2011, LUU en 2012 et ROSSINI en 2016, ont montré qu'il n'y avait pas de différence significative entre la précision des mesures prises sur modèles en plâtre comparée à celles données par des logiciels sur des modèles numériques (13) (26) (33). Les avantages des modèles numériques semblent être la facilité et l'efficacité des mesures linéaires et angulaires.

Une autre étude plus récente réalisée en 2019 par YILMAZ a conclu qu'il n'y avait pas de différence significative pour l'analyse de Bolton et de l'espace total de l'arcade calculés sur modèles numériques et modèles en plâtre. Cependant, il a conclu que l'acquisition des informations obtenues a été plus rapide à l'aide de logiciel sur les empreintes numériques que manuellement sur les modèles en plâtre (38).

La littérature semble donc montrer que les empreintes numériques sont valides et précises au même titre que les empreintes en plâtre et que les informations des mesures données par les logiciels sont équivalentes à celles mesurées manuellement.

### 1.2.2. Modèle numérique et cone beam

Grâce à la conversion de fichier DICOM en fichier STL, il est maintenant possible de fusionner rapidement, à l'aide de logiciel, un cone beam et un modèle numérique.

Cette fonctionnalité permet au praticien d'objectiver rapidement la morphologie des racines dentaires, l'angulation de chaque dent, ainsi que d'éventuelles proximités radiculaire. Elle permet également d'anticiper et de prévoir certains mouvements orthodontiques, de mettre en valeurs d'éventuelles zones dites à risque pour le parodonte ou la dent.

La communication avec le patient est également facilitée car il prend conscience qu'une dent ne se résume pas qu'à sa couronne. La perception des inclusions dentaires et de leurs rapports avec les racines des autres dents est plus compréhensible grâce à cette reconstitution (figure 8).

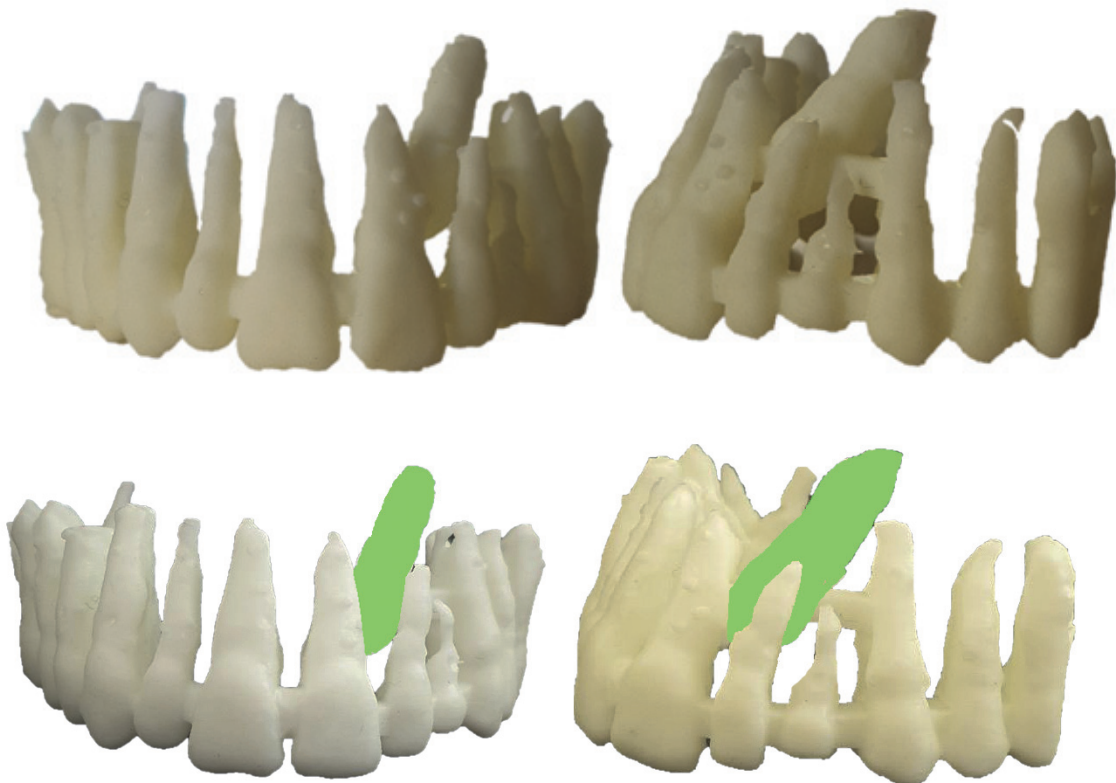


Figure 8 : Impression 3D d'une arcade dentaire d'un patient possédant une canine incluse  
(Laboratoire Orthomoov Eguelles)

### 1.2.3. Simulation du traitement

La simulation de traitement (ou set-up) est classiquement réalisée sur modèle en plâtre. L'objectif est de simuler le résultat final d'un traitement afin d'évaluer sa possibilité thérapeutique.

Un set-up manuel impose une duplication du modèle d'étude, puis une séparation coronaire de chaque dent (segmentation). Les dents découpées unes à unes sont alors replacées dans de la cire, en suivant une forme d'arcade prédéfinie. Chaque modification est définitive. Il s'agit d'une technique dite opérateur-dépendant qui est chronophage.

Grâce aux logiciels de traitement des empreintes, il est maintenant possible de réaliser numériquement des set-ups.

Il est possible de faire réaliser le set-up par un technicien d'un laboratoire. Le set-up sera conçu en fonction de la prescription du praticien. Certains logiciels permettent à l'orthodontiste d'appliquer directement des modifications sur le set-up fait par le laboratoire. Si cette fonctionnalité n'est pas disponible, le praticien peut demander au technicien de modifier certains mouvements.

L'orthodontiste peut disposer d'un logiciel qui permet de réaliser les set-ups directement au cabinet dentaire sans intermédiaire d'une tierce personne grâce à l'intelligence artificielle et à l'aide d'algorithmes enregistrés.

Toutes les modifications apportées au set-up sont conservées. Le même modèle peut être utilisé plusieurs fois sans nécessité d'être dupliqué. Les fichiers sont enregistrés au format STL. Il n'y a pas besoin d'espace de stockage au cabinet dentaire ni de risque de dégradation des modèles de travail (8).

Une animation reconstituant les mouvements dentaires est souvent proposée par le logiciel étape par étape afin de prévisualiser chaque mouvement dentaire prédit.

Grâce à l'intégration du cone beam, la reconstitution des racines apporte une grande aide dans les simulations de mouvements dentaires et notamment du torque.

Une superposition étape par étape peut aussi être réalisée afin de quantifier l'amplitude des mouvements (figure 9).



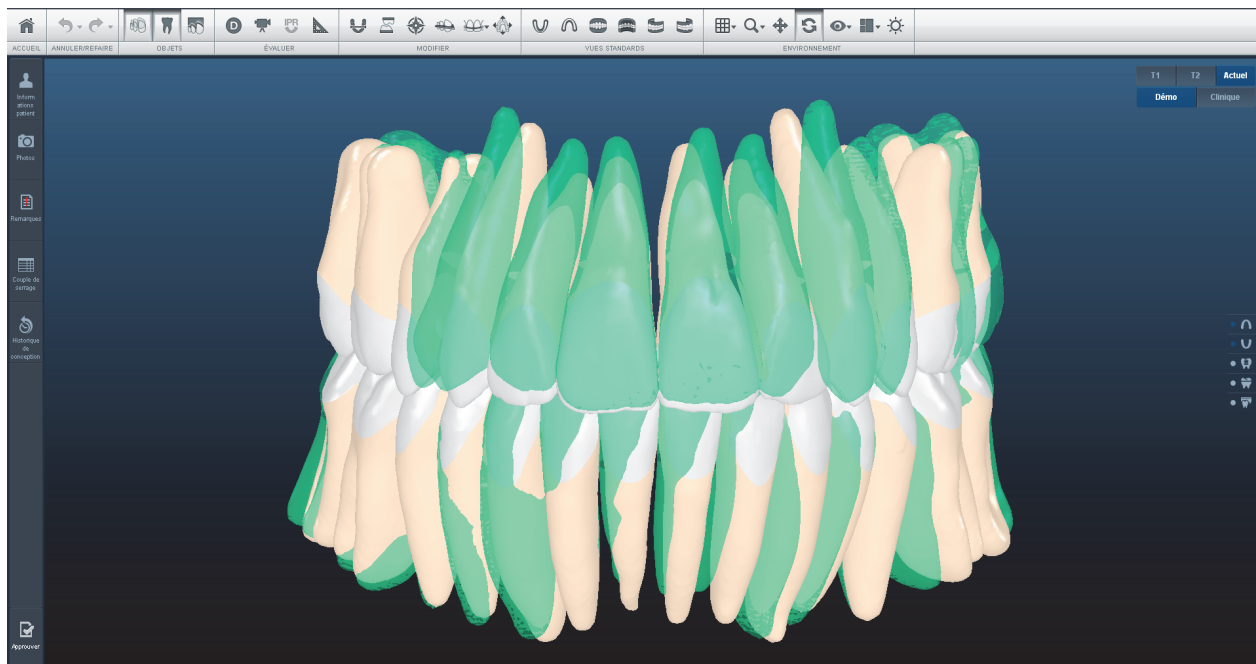


Figure 9 : Capture d'écran du logiciel Insignia approve – Superposition des mouvements coronaires et radiculaires souhaités (*Collection personnelle*)

La communication entre l'orthodontiste, le patient et les collaborateurs (laboratoires, chirurgiens-dentistes, chirurgiens...) est facilitée grâce au partage et à la prévisualisation de l'animation du set-up.

Certains protocoles tel que le Digital Smile Design ont été développés comme aide au diagnostic et à la planification multidisciplinaire d'un sourire final esthétique et fonctionnel à l'aide de photographies spécifiques du patient et d'un logiciel. C'est un protocole utilisé en réhabilitation prothétique mais encore très peu en orthodontie. Il permet une analyse des proportions des dents, du sourire et de la face en fournissant une simulation virtuelle du résultat final.

Dans son article publié 2020, CHARAVET et al ont conclu que le Digital Smile Design semble renforcer le diagnostic, offre un meilleur guide dans les déplacements des dents, améliore la prévisibilité du traitement et la communication entre les membres de l'équipe multidisciplinaire (figure10) (9).



Figure 10 : Analyse et simulation du sourire à l'aide du Digital Smile Design (9)

Dans l'étude de BARRETO, la fiabilité de la conception des set-ups virtuels a été évaluée en effectuant des mesures de la distance inter-canine, inter-molaire, et de la longueur d'arcade maxillaire et mandibulaire sur des set-ups numériques et manuels. Il conclut que les set-ups numériques sont autant efficaces et précis que les set-ups manuels et qu'ils constituent un outil de diagnostic et de traitement qui peut être reproduit efficacement dans les traitements orthodontiques (5).

Dans sa publication, CAMARDELLA a conclu que les set-ups virtuels et manuels sont égaux en termes de précision (8).

HOU en 2020, a publié une étude dans laquelle il a démontré que la visualisation d'un set-up numérique peut faire changer un plan de traitement dans 24% des cas. Selon lui, leur utilisation est associée à un niveau de confiance plus élevée dans la confection et le choix du plan de traitement pour le praticien (19).

#### 1.2.4. Réévaluations et planifications chirurgicales

Certains logiciels de traitement des empreintes permettent la superposition de deux fichiers STL pris à des temps différents lors du traitement. Cette superposition met en évidence les mouvements effectués lors des précédentes phases de traitement. Ces mouvements peuvent nous renseigner par exemple sur les potentiels effets parasites que peut avoir subi l'arcade, ou encore sur l'amplitude réelle d'une modification appliquée.

Dans le cadre d'un traitement ortho-chirurgical, l'orthodontiste et le chirurgien maxillo-facial ont la possibilité de simuler numériquement une chirurgie orthognatique grâce à la fusion du cone beam et des empreintes optiques. Les chirurgies peuvent être simulées (avancement maxillaire, recul mandibulaire, épaction, impaction...) directement sur l'ordinateur afin d'évaluer leur faisabilité, de calculer l'amplitude des gestes chirurgicaux et de simuler les résultats finaux. Le partage des données entre praticiens est alors facilité.

La conception de gouttière de repositionnement chirurgical peut être effectuée directement sur le logiciel. La gouttière sera alors imprimée à l'aide d'une imprimante 3D (12).

La simulation 3D de la chirurgie doit amener à un meilleur contrôle et précision de la position condylienne, de façon simple et accessible en réalisant des outils de repositionnement sur mesure afin de réduire le risque de dysfonctionnement mandibulaire ou d'atteinte dégénérative du condyle lors des chirurgies orthognatiques (27).

L'étude menée en 2020 par BARONE, a conclu que la planification chirurgicale numérique était meilleure en termes de précision du repositionnement réel après chirurgie de la mâchoire comparativement au protocole de planification traditionnel (4).

#### 1.2.5. Planification des contentions

La contention est un enjeu de taille dans le traitement orthodontique. Elle est gage de stabilisation et de pérennité des résultats. C'est pourquoi, elle doit être anticipée et maîtrisée afin de prévenir les récurrences des anomalies corrigées.

##### *1.2.5.1. Les gouttières de contention*

La mise en place de gouttière de contention thermoformée exige une organisation planifiée. En effet, elle doit être mise en bouche rapidement au risque d'une récurrence partielle de la malocclusion initiale et d'une non adaptation de la gouttière.

Certains logiciels permettent une mise en bouche immédiate de la gouttière de contention juste après la dépose de l'appareil. Pour cela, il est nécessaire de prendre une empreinte à l'aide d'une caméra optique au moment du dernier rendez-vous avant le débaguage. Aucun mouvement dentaire ne devra être réalisé sur l'arcade. Sur la reconstitution 3D de l'arcade, les attaches et le fil métallique seront numériquement supprimés. Le fichier STL du modèle peut alors être envoyé au laboratoire ou directement imprimé au sein du cabinet dentaire par une imprimante 3D afin de procéder au thermoformage de la gouttière sur le nouveau modèle. La gouttière est alors prête avant que le débaguage soit effectué.

La sauvegarde de cette empreinte réalisée en fin de traitement peut servir à la confection immédiate d'une nouvelle gouttière lors de la période de contention si celle donnée au patient lors du débague se détériore ou est perdue. Il est également possible de l'utiliser pour la réalisation d'un nouveau set-up et la conception d'un nouvel appareillage si le praticien constate une récurrence lors du suivi du patient.

#### *1.2.5.2. Les attelles de contention*

Classiquement, l'attelle de contention est façonnée à la main sur un modèle en plâtre ou directement en bouche, puis collée sur la surface dentaire du patient. La mise en place d'un système de transfert peut être préconisée.

Les attelles peuvent maintenant être conçues et fabriquées par ordinateur selon différents procédés.

A partir d'une empreinte optique prise en fin de traitement et de l'enregistrement de l'occlusion, avant ou après la dépose des attaches orthodontiques, l'attelle est conçue numériquement.

Il existe des robots qui réalisent des plicatures sur le fil de contention selon les informations préenregistrées par le logiciel. L'orthodontiste n'aura plus qu'à transférer en bouche l'attelle et la coller.

Le laboratoire Memotain® a développé un nouveau système d'attelle qui s'affranchit de la plicature en usinant l'attelle dans une masse de Nitinol par découpe de haute précision pilotée par ordinateur (figure 11).

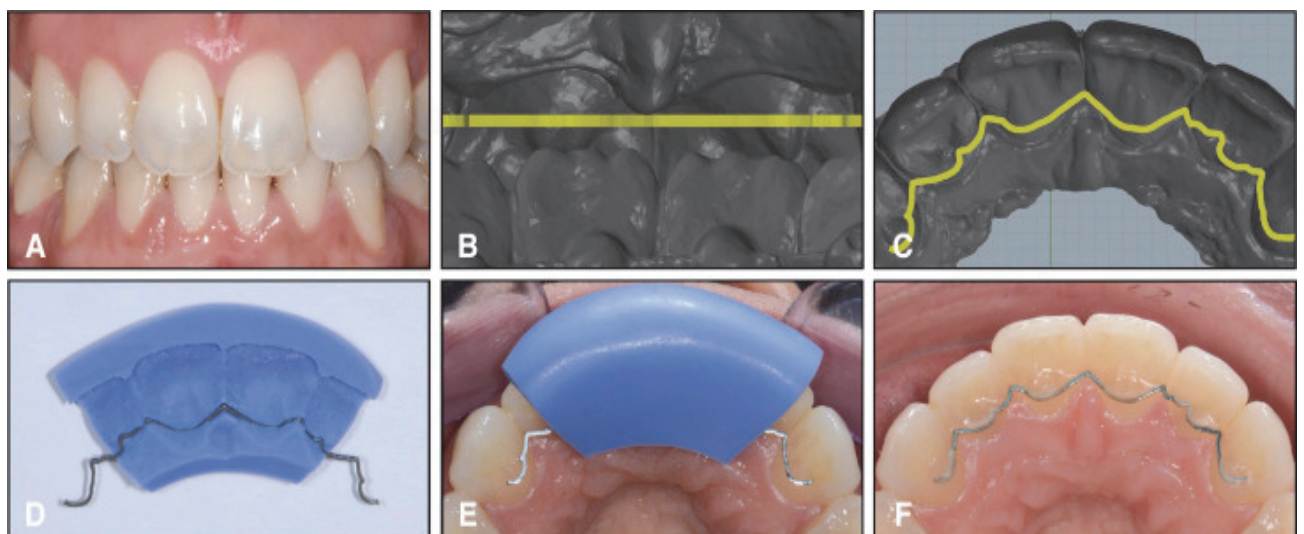


Figure 11 : A : Photographie intra-orale montrant une supraocclusion de 4mm rendant la pose d'une attelle difficile ; B et C : Conception numérique par Memotain® de l'attelle ; D et E : attelle usinée avec son système de transfert ; F : Attelle collée (22)

D'après la littérature, il n'y a pas de différence significative en termes de stabilité des dents antérieures et du taux de survie des attelles fabriquées numériquement et des attelles classiques (14). En revanche les attelles usinées en Nitinol semblent présenter plusieurs avantages comme une plus grande précision d'adaptation, l'évitement des interférences occlusales, une résistance à la corrosion, un plus grand confort du praticien lors de leur collage au fauteuil et éventuellement, lorsque l'effet est recherché, la possibilité d'appliquer des petits mouvements dentaires en agissant comme une attelle active (22).

## **2. Attaches et arcs individualisés**

Classiquement, les attaches vestibulaires orthodontiques sont standardisées. Chaque attache porte des informations de 1<sup>er</sup>, 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> ordres prédéfinies pour chaque dent. Ces informations peuvent varier selon les laboratoires qui les distribuent. Lorsqu'un mouvement supplémentaire est souhaité sur une dent en particulier, le praticien doit appliquer lui-même les modifications au sein de l'appareil, en risquant d'engendrer des phénomènes parasites non souhaités. Les modifications les plus courantes sont les plicatures effectuées sur l'arc (ajout de step, de tip, ou de torque), la modification de la position de l'attache, ou encore l'ajout d'une épaisseur de colle entre l'attache et la dent.

Le concept d'attache personnalisée s'est développé au début des années 90 avec l'arrivée de l'orthodontie linguale. Les bases des attaches étaient réalisées en technique de cire coulée.

La technologie numérique offre l'opportunité de créer des attaches et des arcs sur mesures, individualisés, selon les mouvements dentaires qui ont été planifiés en amont lors de la réalisation du set-up.

C'est le cas du laboratoire Ormco® qui commercialise le système Insignia™ depuis 2013. Le praticien fournit au laboratoire une empreinte optique des arcades du patient, une téléradiographie de profil et une radiographie panoramique, et/ou un cone beam s'il le souhaite, ainsi que les photographies du patient. Il réalise une prescription numérique détaillée dans laquelle il choisit sa séquence d'arc. Un set-up numérique avec positionnement des attaches est alors créé par un technicien, l'orthodontiste peut lui-même intervenir dessus ou demander des modifications supplémentaires. Les attaches autoligaturantes sont individualisées en usinant leur gorge et en y intégrant des informations de 1<sup>er</sup>, 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> ordres propres au patient et au plan de traitement prévu (figure 12). Les arcs, choisis en amont, sont eux aussi tous individualisés selon la forme d'arcade du patient. Le collage se fait par l'intermédiaire de jigs de transfert (16).

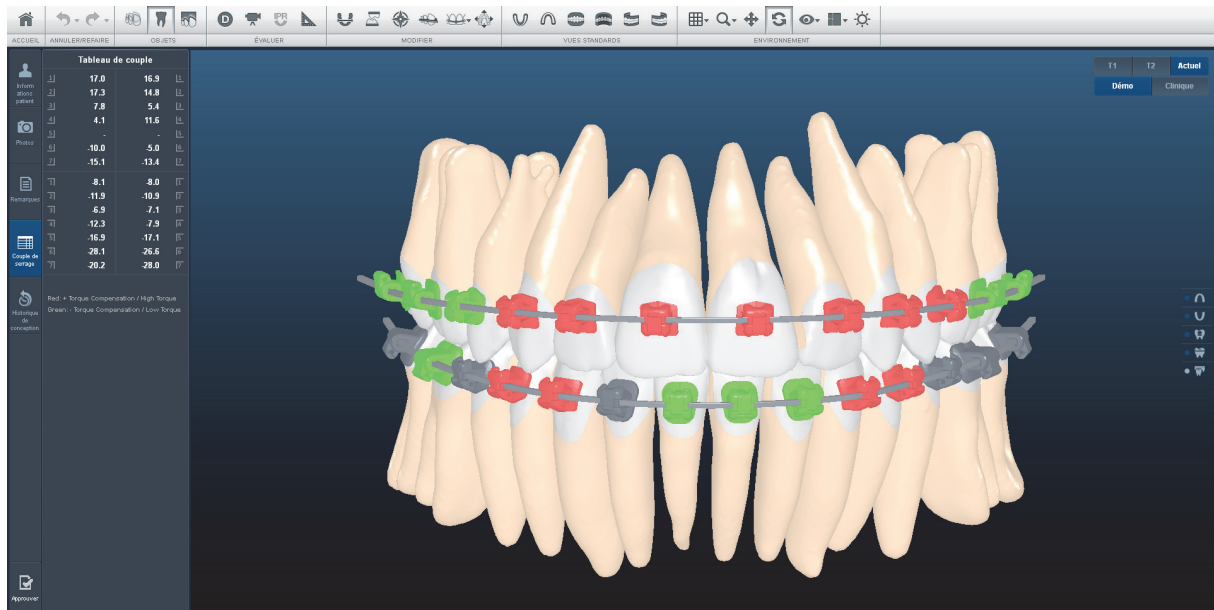


Figure 12 : Capture d'écran du logiciel Insignia® Approver – Set-up reconstituant la future position des attaches et des arcs individualisés ainsi que les informations de torque prévues pour chaque dent (*Collection personnelle*)

Depuis quelques années, les laboratoires de prothèses proposent des bagues molaires imprimées personnalisées à l'aide de la technologie numérique. Ces bagues sont surtout utilisées lors des premières phases interceptives des traitements. Des tubes vestibulaires peuvent être soudés à la surface de la dent dans un second temps.

Le laboratoire Orthomoov basé à Eguilles a breveté une technologie de bagues molaires entièrement personnalisée. Il propose l'impression en un temps d'une base de bague molaire et d'un tube et accessoires entièrement individualisés (figure13) (18). Ainsi, le traitement orthodontique vestibulaire individualisé peut être débuté en même temps ou juste après l'utilisation d'autre appareillage nécessitant l'utilisation de bagues molaires sans avoir à déposer celles-ci.

Cette technologie semble présenter plusieurs avantages comme :

- Un meilleur positionnement de la bague sur la dent avec un seul axe d'insertion ;
- Une meilleure adhésion grâce à la rugosité de l'intrados ;
- L'absence d'immobilisation au cabinet d'un stock de bagues conventionnelles ;
- Un meilleur confort du patient grâce à une adaptation optimisée de la bague qui diminue le risque carieux, la suppression des aspérités et un meilleur état de surface.

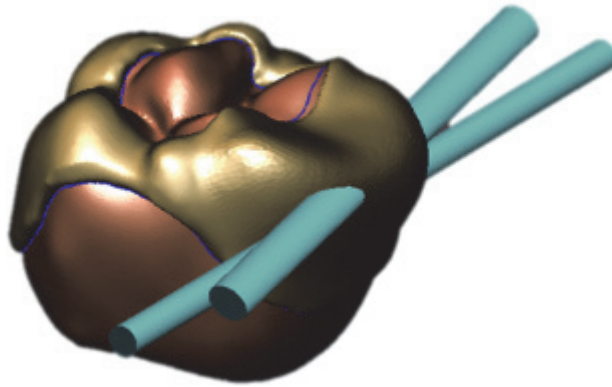


Figure13 : capture d'écran découpée Conception assistée par ordinateur des bagues personnalisées imprimées : étape de choix de l'axe des tubes (Orthomoov, Eguelles, France) (18)

Il est établi dans plusieurs articles que le changement de forme de l'arcade dentaire sous l'action d'arcs standardisés pendant le traitement potentialise la survenue de récurrence. Lorsque cela est possible, il est indiqué que maintenir la forme d'arcade initiale du patient est le meilleur guide pour la stabilité future du résultat obtenu (10) (35).

Des machines à plier les arcs sont actuellement en développement afin de les utiliser directement au sein du cabinet dentaire sans passer par l'intermédiaire d'un laboratoire. Ces arcs sont conçus numériquement selon la forme d'arcade individuelle du patient (21).

L'utilisation d'arcs individualisés dès les premières phases du traitement contribuerait à une meilleure stabilité du résultat du traitement, réduirait le risque de fenestration ou de récessions parodontales et enfin, apporterait des informations de 1<sup>er</sup>, 2<sup>ème</sup>, et 3<sup>ème</sup> ordres reproductibles tout au long du traitement. Les plicatures des arcs ont un impact sur les résultats de traitement et sur le temps passé par le praticien au fauteuil.

Plusieurs publications dans la littérature s'accordent pour dire que les traitements entièrement individualisés utilisant la technologie numérique sont plus rapides par rapport aux traitements orthodontiques conventionnels, et comportent un nombre de rendez-vous réduit (7) (36).

BROWN et al en 2015, ont conclu que le système Insignia™ réduisait le temps de traitement de 3 mois, en comparaison avec des traitements utilisant la technique de collage indirect et de 8 mois en comparaison avec des traitements utilisant la technique de collage directe (7).

Une étude plus récente de PENNING et al, en 2017, ne trouve pas de différence significative entre la durée d'un traitement Insignia et la durée d'un traitement non individualisé, et conclut à une efficacité comparable (30).

Dans leur étude, LARSON et al ont conclu que la précision des traitements utilisant la technologie CFAO pour atteindre la position de dent prédite varie selon le type de dent et l'amplitude du mouvement. Ils retrouvent une position mésio-distale des incisives latérales et des secondes molaires maxillaires non idéale. La position vestibulo-linguale prévue pour les incisives centrales, prémolaires et molaires maxillaire et des incisives et secondes molaires mandibulaires n'est pas optimale. La position verticale des secondes molaires varie. Le torque des secondes prémolaires diverge par rapport au torque prédit (23).



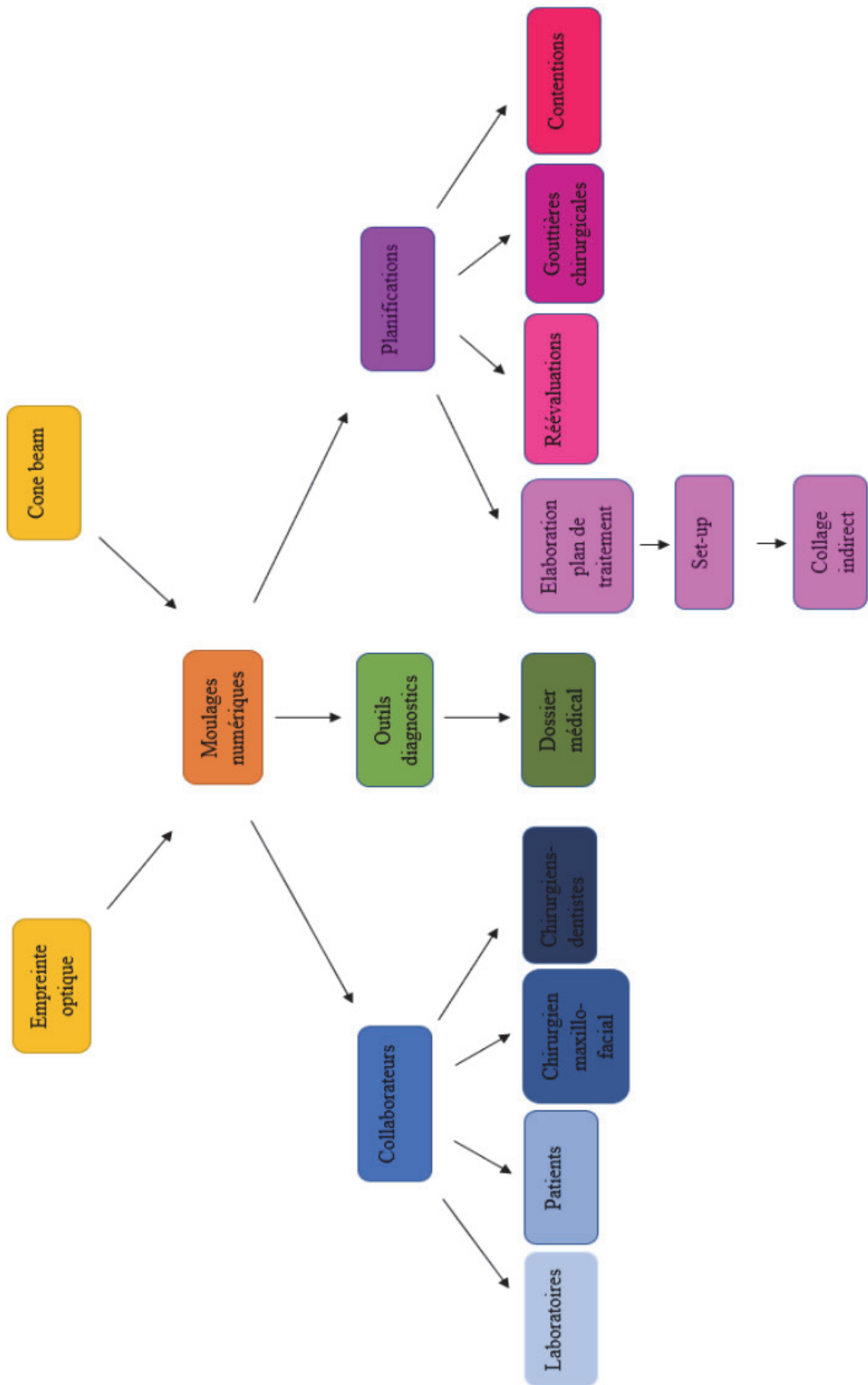


Figure 14 : Différentes applications des modèles numériques (Schéma personnel)

### III. COLLAGE INDIRECT

#### 1. Intérêts du collage indirect

Le collage direct est la technique de placement d'attache orthodontique la plus populaire dans les cabinets dentaires. Elle consiste à placer directement à l'œil nu, à l'aide d'outils de calibrage telles que des jauges graduées, l'attache sur la dent du patient.

Une erreur de positionnement d'attaches orthodontiques lors du collage peut entraîner un mouvement dentaire non voulu dans les 3 dimensions de l'espace, et provoquer une rotation, une intrusion, une extrusion, ou encore exprimer un torque non souhaité.

Le collage indirect a été développé par SILVERMAN et al en 1972 afin d'améliorer la précision du positionnement de l'attache sur la dent, de réduire le temps au fauteuil et d'augmenter le confort de travail du praticien (34).

Le principe du collage indirect consiste à planifier le placement et fixer des attaches orthodontiques sur un modèle de travail, puis d'utiliser un système de transfert pour les coller sur les dents du patient.

D'après les études de LI et al en 2019, le collage indirect est un collage fiable car aucune différence significative n'a été trouvée concernant la résistance au décollement entre les collages directs et indirects. Ils rapportent également que le temps de travail lors du collage au fauteuil est plus court (25).

Pour NICHOLS en 2013, le collage indirect semble être reproductible en ne montrant pas de différence significative entre les collages d'un même orthodontiste (28).

BROWN en 2015 décrit l'efficacité du collage indirect. Il décrit un temps de traitement significativement plus court en collage indirect par rapport au collage direct mais ne trouve pas de différence significative en fin de traitement sur le score ABO (7).

Cependant, il est rapporté qu'il n'y a pas de différence significative dans la précision du placement des attaches lors du collage indirect et du collage direct (25). Ceci est expliqué par la supposition que les attaches ne sont pas parfaitement transférées sur l'arcade du patient lors du collage indirect.

ZACHRISSON et al insistent dans la prise en compte de l'expérience du praticien et indiquent que les attaches peuvent être collées de façon très précise en technique directe par un praticien expérimenté ayant attentivement étudié les modèles de travail à l'avance (40).

Les étapes de laboratoire du collage indirect peuvent être réalisées entièrement ou en partie à l'aide d'outils numériques au cabinet dentaire (figure 17).

## **2. Planification du positionnement des attaches orthodontiques**

### 2.1. Positionnement sur un modèle physique

Le modèle de travail peut être en plâtre, ou en résine d'impression, et représenter la malocclusion initiale ou être le résultat d'un set-up numérique ou physique.

Les attaches sont positionnées à la main sur le modèle selon le grand axe de la dent à la hauteur choisie par l'opérateur.

### 2.2. Positionnement virtuel sur un logiciel informatique

#### 2.2.1. Positionnement virtuel sur un logiciel avec intervention d'un laboratoire extérieur

Les protocoles de collage indirect peuvent faire appel à des laboratoires extérieurs. Le placement des attaches se fera par un technicien selon la prescription rédigée par l'orthodontiste qui validera ou non leur bon positionnement.

Certains logiciels offrent la possibilité à l'orthodontiste d'intervenir directement sur le positionnement de l'attache par le biais du logiciel fourni par le laboratoire.

#### 2.2.2. Positionnement virtuel sur un logiciel par l'orthodontiste

Après acquisition de l'empreinte optique des arcades du patient, et la création d'un fichier STL, des logiciels offrent la possibilité de placer virtuellement les attaches afin de planifier leur futur positionnement. Un CBCT peut être fusionné au fichier STL afin de visualiser plus facilement le grand axe de la dent.

Comme pour réaliser un set-up numérique, les dents sont individualisées une à une. Des repères sont placés sur les arcades afin que le logiciel trace les contours dentaires. Certains logiciels tracent directement l'axe radiculaire de chaque dent. Le praticien peut ensuite apporter des modifications. Le plan d'orientation et d'occlusion sont déterminés ainsi que le centre de rotation de chaque dent. Le praticien valide ou non les différentes références proposées. Les arcs et les attaches sont choisis par l'orthodontiste. Les attaches sont ensuite placées et des informations de mesure permettent d'ajuster précisément les attaches. La manipulation de ces dernières dans les 3 plans de l'espace est possible, et une augmentation de l'épaisseur de colle peut être prévue en programmant un écartement plus ou moins important de la base de l'attache. Ainsi, le praticien peut individualiser les informations de 1<sup>er</sup>, 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> ordres pour chaque patient.

A partir de cette planification, plusieurs protocoles peuvent être mis en place.

L'un consiste à imprimer le modèle 3D avec forme des attaches en résine. Le système de transfert sera créé à partir de ce modèle. Les attaches seront ensuite placées manuellement directement dans le système de transfert.

Des encoches autour des attaches virtuelles peuvent être positionnées sur le logiciel, puis les attaches sont supprimées numériquement. Le modèle 3D est alors imprimé avec les encoches qui permettront de repositionner les attaches réelles à l'emplacement prévu avant de fabriquer le système de transfert (figure 15).

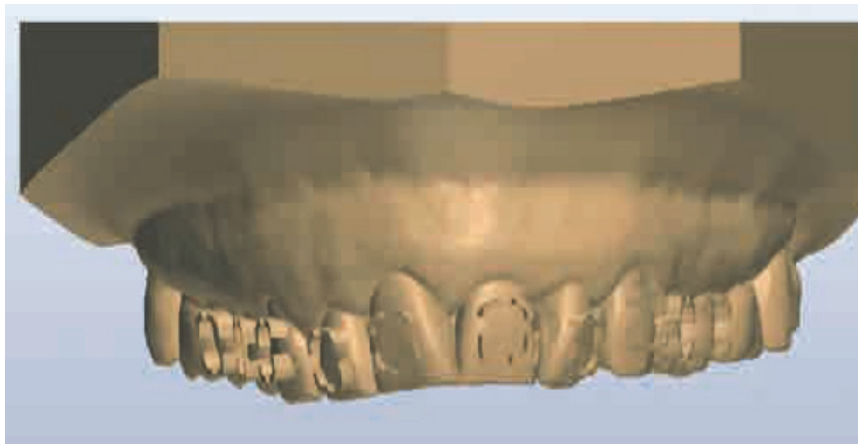


Figure 15 : Encoches de positionnement des attaches sur le logiciel Appliance Designer ® qui vont être imprimées sur modèle physique (31)

D'autres protocoles réalisent directement à partir du fichier STL possédant les attaches virtuelles des systèmes de transfert numériques qui seront fabriqués par impression 3D (31).

### 2.3. Systèmes de transfert

Une fois les attaches positionnées sur le modèle de travail, un système de transfert est utilisé pour pouvoir coller les attaches sur les dents du patient à la position préalablement définie.

Les gouttières de transfert en silicone à base de polyvinylsiloxane ont une bonne stabilité dimensionnelle.

L'opacité de ces gouttières impose l'utilisation d'une colle chémo polymérisable dont la mise en œuvre est délicate et complexe.

Les gouttières en silicone transparent de type Memosyl® offrent l'opportunité d'utiliser une colle photopolymérisable. Cependant, elles ne présentent pas la même rigidité ni la même précision que celles conçues en polyvinylsiloxane.

Les gouttières en matériau thermoplastique monocouche présentent l'avantage d'être assez souples pour faciliter leur insertion. Leur translucidité permet de vérifier leur bonne adaptation à l'arcade et d'utiliser une colle photopolymérisable. Leur désinsertion est difficile et impose des incisions de décharge.

Les gouttières en matériau thermoplastique double couche offrent l'avantage de l'utilisation d'une colle photopolymérisable, d'une bonne stabilité grâce à la rigidité d'une gouttière dure recouvrant une gouttière molle qui apporte une bonne précision de positionnement et un bon ajustement. Leur dépose est plus aisée que les monocouches (31).

La technologie numérique permet de concevoir des gouttières de transfert qui sont imprimés directement par imprimante 3D à partir d'une planification de positionnement des attaches.

Les gouttières imprimées en 3D sont généralement fabriquées en résine acrylique semi-rigide. Selon les protocoles, elles peuvent être en un seul tenant, fragmentées en plusieurs parties, communément appelés jigs, pour rassembler un groupe de dent ou encore être individuelles pour s'adapter dent par dent (figure 16).



Figure 16 : groupe de jigs de transfert Insignia® (*collection personnelle*)

La segmentation des jigs offre l'avantage d'une meilleure adaptation et d'une manipulation plus aisée pour l'opérateur mais elle augmente considérablement la durée du collage au fauteuil. La possibilité de segmenter les jigs individuellement permet de pouvoir les réutiliser à tout moment du traitement en cas de décollement de l'attache.

En 2020, DUARTE et al ont étudié la reproductibilité du collage indirect utilisant des modèles 3D et des jigs de transferts fabriqués à l'aide d'imprimante 3D. La conclusion de leur article est que le collage indirect à l'aide de jigs imprimés en 3D reproduit précisément la position des attaches placées virtuellement, indépendamment de l'expérience antérieure de l'orthodontiste avec le système ou le nombre d'années de pratique clinique. Aucune différence significative n'a été trouvée entre l'utilisation des attaches conventionnelles et autoligaturantes avec ce système de transfert (11).

Dans leur étude réalisée en 2020, POTTIER et al ont évalué la précision du repositionnement des attaches en comparant deux systèmes de transfert. Un groupe a été collé à l'aide de gouttières rigides en acrylique utilisant la technologie numérique et un groupe a été collé à l'aide d'une gouttière en silicone. Ils concluent que chaque système de transfert atteint un score ABO cliniquement acceptable, mais les gouttières en silicone semblent plus précises que les gouttières fabriquées à l'aide de la technologie numérique (32).

Une autre étude réalisée en 2021 par NIU et al a comparé la précision du transfert des attaches des collages réalisés à l'aide d'une gouttière numérique imprimée et d'une gouttière thermoformée double couche. Les conclusions de cet article sont les suivantes : les gouttières numériques offrent un transfert d'attache plus précis que les gouttières thermoformées double couche ; pour les deux systèmes de transfert, le contrôle linéaire est meilleur que le contrôle angulaire des attaches ; les deux systèmes de transfert ont montré un biais en direction occlusale, mésiale et vestibulaire ; il existe des erreurs d'angulation pour les molaires lorsque le système de transfert est une gouttière thermoformée double couche (29).

En revanche, ZHANG et al en 2020, ne trouvent pas dans leur travail de différence significative entre la précision du collage indirect par jigs numérique ou par gouttière thermoformée double couche (41).

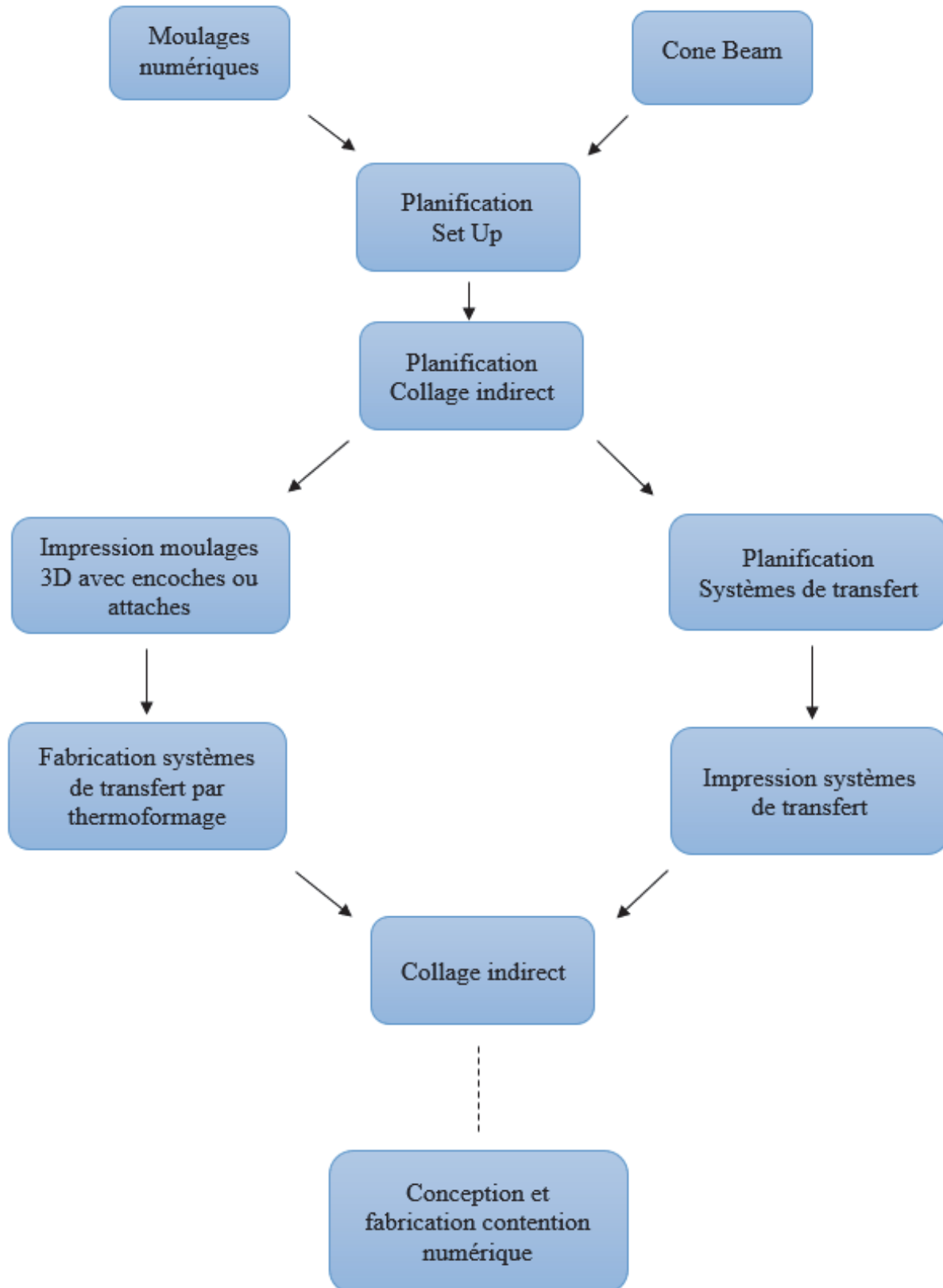


Figure 17 : Traitement individualisé conçu et fabriqué au cabinet dentaire (Schéma personnel)

## IV. LES LIMITES DU NUMERIQUE

### 1. Les limites biologiques

Les mouvements dentaires sont limités biologiquement par l'environnement parodontal. L'os alvéolaire et le biotype parodontal, propres à chacun, ne peuvent supporter de trop grandes amplitudes de déplacement des dents.

Sur un set-up numérique, l'orthodontiste ou le technicien peuvent placer les dents à l'endroit où ils le souhaitent, même si le mouvement pour y arriver semble irréalisable. Certains logiciels peuvent alerter le praticien lorsque le set-up comprend des déplacements dentaires difficiles voire impossibles par une codification colorimétrique.

A ce jour, la planification numérique ne prend pas en compte la biologie du mouvement dentaire, la biomécanique et les propriétés des matériaux, comme le font les praticiens. L'orthodontiste doit comprendre les limites de l'appareil et les valeurs par défaut du logiciel afin d'obtenir les résultats prévus.

La présentation d'un set-up numérique au patient augmente le risque de doléance si le résultat final diffère. Il est important de lui rappeler qu'il ne s'agit que d'une simulation et non de la finalité réelle de son traitement.

### 2. Les limites de reconstitution

Pour certains logiciels, il est encore impossible d'intégrer les racines dentaires dans l'environnement osseux lors de la superposition des empreintes optiques avec les cone beam. Il est donc difficile de déterminer les limites des déplacements radiculaires sans consulter le cone beam en même temps que le set-up. L'orthodontiste doit redoubler de vigilance.

Pour d'autres, l'image 3D reconstituée de l'arcade dentaire est différente de la réalité anatomique induisant des erreurs de positionnement dans le set-up (figure 18).

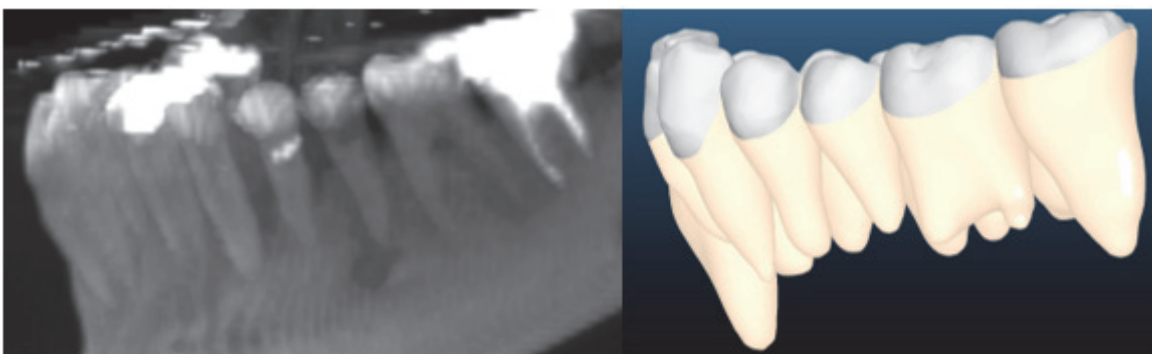


Figure 18 : Capture d'écran d'un cone beam (logiciel Horos®) – Capture d'écran de la reconstitution des racines à l'aide du même cone beam et d'une empreinte optique (logiciel Insignia®) (collection personnelle)



### **3. Les limites financières**

#### **3.1. Le temps**

L'apport d'un nouvel outil au sein du cabinet dentaire est chronophage. Le praticien et l'équipe soignante du cabinet dentaire doivent apprendre à se servir de nouvelles technologies sans impliquer de trop grands changements dans l'organisation du cabinet.

Il faut distinguer la durée de travail au fauteuil du temps de travail total nécessaire. Il faut prendre en compte la durée effective du rendez-vous (accueil du patient, installation au fauteuil, explications et acte technique), le temps de manipulation des outils, les réglages et modifications éventuels. Le temps clinique réel peut donc être beaucoup plus long que celui annoncé par le fournisseur.

Le travail informatique réalisé sur les logiciels est à intégrer dans le nouveau fonctionnement du temps de travail. Certains prévoient des créneaux horaires dédiés avec présence au cabinet, d'autres préfèrent travailler en fin de journée après la visite du dernier patient. Quoi qu'il en soit, il est important de calculer le temps dédié à ces nouvelles technologies par rapport au temps de travail de chacun car il ne fait que croître avec le développement rapide des outils numériques. Le taux horaire doit être connu afin de trouver des solutions adaptées à cette nouvelle ergonomie de travail.

Même si la réalisation d'un set-up numérique est moins fastidieuse et semble plus rapide que celle d'un set-up conventionnel, elle reste chronophage surtout pour un orthodontiste inexpérimenté.

D'après plusieurs études, le collage indirect semble diminuer le temps de travail au fauteuil lors du placement des attaches. Cependant, il est aussi rapporté que le temps de travail au laboratoire est plus long, et que finalement, la durée totale du collage indirect (temps au laboratoire + temps de travail au fauteuil) est supérieure à celle d'un collage direct (20) (37).

A l'heure actuelle, il est utopique de penser que tous les patients peuvent bénéficier d'un traitement entièrement individualisé sans passer par l'intermédiaire d'un laboratoire extérieur ou d'un prothésiste. La conception au cabinet du set-up, du collage indirect, de la fabrication des systèmes de transferts demandent beaucoup de temps et d'investissement matériel pour être banalisés.

### 3.2. Le coût du matériel

En plus d'être chronophages, les traitements sur mesure entraînent des frais supplémentaires pour le praticien.

Il faut prendre en compte :

- L'équipement des outils numériques tels que la caméra optique, les logiciels, l'appareil de radiologie pour les cone beam, l'imprimante 3D, la thermoformeuse etc. Le développement des « leasing » a permis aux cabinets dentaires de pouvoir accéder plus facilement aux différents équipements ;
- Les licences des logiciels informatiques ;
- Les éventuels frais de laboratoire si le travail est délégué ;
- Le consommable tels que les attaches, les fils, les résines d'impressions ou autres ;
- La mise en œuvre de toutes les réglementations au cabinet dentaire (aménagement de l'espace de travail ou législatives).

## **4. Les limites réglementaires**

D'après le nouveau règlement européen 2017/745 relatif aux dispositifs médicaux qui est entré en application le 26 mai 2021 :

« On entend par « dispositif médical », tout instrument, appareil, équipement, logiciel, implant, réactif, matière ou autre article, destiné par le fabricant à être utilisé, seul ou en association, chez l'homme pour l'une ou plusieurs des fins médicales précises suivantes :

- Diagnostic, prévention, contrôle, prédiction, pronostic, traitement ou atténuation d'une maladie ;
- Diagnostic, contrôle, traitement, atténuation d'une blessure ou d'un handicap ou compensation de ceux-ci, [...]

On entend par « dispositif sur mesure », tout dispositif fabriqué expressément suivant la prescription écrite de toute personne habilitée par la législation nationale en vertu de ses qualifications professionnelles, indiquant, sous sa responsabilité, les caractéristiques de conception spécifiques, et destiné à n'être utilisé que pour un patient déterminé et exclusivement en réponse aux besoins et à l'état de santé de ce patient. »

Les dispositifs médicaux sont classés en 4 catégories en fonction de leur risque potentiel pour la santé.

Les produits d'impressions 3D tels que les systèmes de transferts, les gouttières de repositionnement ou encore les gouttières de contention font partis des dispositifs médicaux sur mesure de classe I non stériles.

Avant leur mise en service, les fabricants des dispositifs sur mesure ont des obligations générales :

- Veiller à ce que les dispositifs aient été conçus et fabriqués conformément aux exigences du règlement européen ;
- Mettre en œuvre et maintenir un système de gestion des risques ;
- Réaliser une évaluation clinique ;
- Etablir et tenir à jour et à disposition des autorités compétentes la documentation relative au dispositif (permettant de comprendre la conception, la fabrication, les performances du dispositif, de manière à permettre l'évaluation de la conformité avec les exigences du règlement européen).

Le fabricant établit une déclaration contenant les informations suivantes :

- Nom et adresse du fabricant et du lieu de fabrication ;
- Nom et adresse du mandataire éventuel ;
- Données permettant d'identifier le dispositif en question ;
- Déclaration sur laquelle le dispositif est destiné à être utilisé exclusivement par un patient ou un utilisateur particulier, identifié par son nom, un acronyme ou par un code numérique ;
- Le nom de la personne qui a établi l'ordonnance ;
- Les caractéristiques spécifiques du produit.

Les fabricants de dispositifs médicaux sur mesure n'ont pas d'obligation de déclaration de conformité UE. De ce fait, les dispositifs sur mesure ne portent pas de marquage CE.

L'orthodontiste doit être chargé de veiller au respect de la réglementation.

En cas de litige, l'autorité compétente peut prendre une décision de police sanitaire pour non-conformité du dispositif médical à la réglementation.

Il est primordial pour l'orthodontiste de veiller à la non toxicité des matériaux utilisés et d'évaluer tous les risques liés à leur utilisation (risques d'inhalation, relargage de toxicité, allergies...).

## 5. Les limites de stockage

### 5.1. Stockage au cabinet dentaire

Les traitements entièrement individualisés ont changé la dynamique de stockage dans les cabinets dentaires. Si l'orthodontiste peut s'affranchir du stockage des modèles en plâtre, il doit maintenant trouver une nouvelle organisation pour stocker les boîtes nominatives des traitements des patients.

De plus, en cas d'urgence lors du traitement, comme la perte d'une attache individualisée suite à un décollement, ou la casse d'un arc, le praticien ne dispose pas de réserve de matériel adapté sur mesure au patient. Ces imprévus imposent de passer une nouvelle commande auprès du laboratoire et un délai inévitable avant la réception au cabinet dentaire.

### 5.2. Stockage sur le cloud

L'encodage des fichiers au format STL permet d'avoir accès aux données avec tous les logiciels 3D, ce qui nous permet d'en disposer comme on le souhaite indépendamment des fournisseurs. Leur stockage se fait sur le cloud.

Généralement, le « cloud » est mis à disposition par le fournisseur. Il est conseillé de faire une sauvegarde sur un disque dur au cabinet car en cas de changement de fournisseur, les fichiers stockés peuvent ne plus être accessibles.

De plus, ces dernières années, des serveurs informatiques où étaient stockées des informations médicales ont subi des attaques afin de soutirer des informations sensibles.

La CNIL (Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés) a pour mission de protéger les données personnelles, d'accompagner l'innovation et de préserver les libertés individuelles.

Depuis le 25 mai 2018, le Règlement européen sur la protection des données personnelles (RGPD) est entré en application en définissant les données de santé : « les données à caractère personnel concernant la santé sont les données relatives à la santé physique ou mentale, passée, présente, ou future, d'une personne physique (y compris la prestation de soins de santé) qui révèlent des informations sur l'état de santé de cette personne. »

Le praticien doit s'engager à informer ses patients sur le traitement des données qu'il effectue pour leur prise en charge (cela peut être sous forme d'affichage dans la salle d'attente).

La CNIL a rédigé un Guide de Sécurité afin d'informer et d'aider les praticiens libéraux dans le traitement de leurs données sensibles.

L'orthodontiste doit être en mesure de démontrer à tout moment sa conformité aux exigences du RGPD en traçant toutes les démarches entreprises. Grâce au RGPD, il n'y a plus

de déclaration à fournir auprès de la CNIL mais un registre des activités de traitements doit être renseigné.

L'année 2020 a vu une augmentation de 24% de violation de données médicales. Le praticien doit rester vigilant lors des échanges des données personnelles des patients en respectant les précautions d'usage.

### 5.3. Conséquences écologiques

L'impact environnemental du numérique regroupe l'ensemble des effets des technologies de l'information et de la communication sur l'environnement.

Même si la dématérialisation des modèles d'étude et de travail a réduit le déplacement des personnes et des marchandises et donc la consommation de pétrole et des émissions de gaz à effet de serre, le numérique est responsable d'une forte croissance de la consommation d'énergie et devient alors un acteur important dans l'émission de ces gaz (6).

Afin de déterminer l'impact direct du développement de la technologie numérique, il faut prendre en compte la fabrication des machines, leur utilisation et leur mise hors service.

L'étape de la production est particulièrement polluante pour l'environnement à cause des matières premières. Elle nécessite l'extraction de métaux rares et entraîne le rejet de métaux lourds, d'acide sulfurique voire d'uranium dans l'environnement.

Concernant leur utilisation, l'électricité possède l'empreinte carbone la plus élevée par rapport aux autres secteurs économiques (suivie de près par le secteur du transport de l'industrie). En 2017, elle représentait à elle seule 35% des émissions de CO<sub>2</sub> dans le monde (17).

Selon l'article d'ANDERS et d'ANDRAE, la consommation d'électricité des technologies numériques représentera à elle seule, en 2030, 10% des émissions mondiales de gaz à effet de serre (2).

Le stockage des données par la mise en place de data centers représente 2% des émissions de gaz à effet de serre. Ce chiffre ne cesse de croître et certains spécialistes estiment que le stockage des données sera susceptible de générer des émissions à hauteur de 14% à l'horizon 2040.

Enfin, la fin de vie des appareils est aussi à prendre en compte. Leur développement est rapide ce qui entraîne une obsolescence prématurée. Le recyclage des déchets électroniques est en progrès constant mais certains produits contaminent encore l'eau, l'air et les sols.

## V. CONCLUSION

Les outils numériques apportent des informations de manière claire, rapide et reproductible au praticien afin qu'il puisse établir un diagnostic précis des malocclusions du patient.

Il doit en découler un plan de traitement totalement individualisé établi par le praticien.

Ces outils permettent la conception et la fabrication de dispositifs sur mesure afin de pouvoir répondre aux objectifs de traitement fixés en offrant au patient un traitement de qualité.

Le confort et le bien-être du patient, et du praticien, semblent améliorés en diminuant le temps de travail au fauteuil et le nombre de rendez-vous.

Ces évolutions permettent la modernisation de la pratique de l'orthodontie en apportant de nouveaux auxiliaires thérapeutiques.

La communication avec les collaborateurs et le patient semble améliorée.

A ce jour, les nombreuses limites de ces outils ralentissent leur utilisation de manière systématique au cabinet dentaire.

L'ergonomie du cabinet dentaire doit être repensée, et les habitudes de toute l'équipe soignante changées. Le temps de travail du praticien est maintenant divisé en deux parties distinctes : le temps de travail au fauteuil et le temps de conception numérique.

Même si l'intelligence artificielle et ses algorithmes ne cessent de s'améliorer, il est important que l'orthodontiste reste maître de son traitement, et qu'il reste attentif aux informations traitées par les logiciels.

Il est impossible de prédire précisément la biologie du déplacement dentaire car chaque patient est différent, par son morphotype, son parodonte, ses habitudes, son système musculaire. De ce fait, l'habileté manuelle et la réflexion de l'orthodontiste ne peuvent être totalement remplacées par les ordinateurs.

## VI. BIBLIOGRAPHIE

1. ALDREES AM. Do customized orthodontic appliances and vibration devices provide more efficient treatment than conventional methods? *Korean J Orthod.* mai 2016;46(3):180-5.
2. ANDRAE ASG, EDLER T. On Global Electricity Usage of Communication Technology: Trends to 2030. *Challenges.* juin 2015;6(1):117-57.
3. BARENGHI L, BARENGHI A, CADEO C, DI BLASIO A. Innovation by Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing Technology: A Look at Infection Prevention in Dental Settings. *BioMed Research International.* août 2019;2019:e6092018.
4. BARONE M, DE STEFANI A, BACILIERO U, BRUNO G, GRACCO A. The Accuracy of Jaws Repositioning in Bimaxillary Orthognathic Surgery with Traditional Surgical Planning Compared to Digital Surgical Planning in Skeletal Class III Patients: A Retrospective Observational Study. *Journal of Clinical Medicine.* juin 2020;9(6):1840.
5. BARRETO MS, FABER J, VOGEL CJ, ARAUJO TM. Reliability of digital orthodontic setups. *Angle Orthod.* mars 2016;86(2):255-9.
6. BELKHIR L, ELMELIGI A. Assessing ICT global emissions footprint: Trends to 2040 & recommendations. *Journal of Cleaner Production.* mars 2018;177:448-63.
7. BROWN MW, KOROLUK L, KO C-C, ZHANG K, CHEN M, NGUYEN T. Effectiveness and efficiency of a CAD/CAM orthodontic bracket system. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics.* déc 2015;148(6):1067-74.
8. CAMARDELLA LT, ROTHIER EKC, VILELLA OV, ONGKOSUWITO EM, BREUNING KH. Virtual setup: application in orthodontic practice. *J Orofac Orthop.* nov 2016;77(6):409-19.
9. CHARAVET C, BERNARD J-C, GAILLARD C, LE GALL M. Benefits of Digital Smile Design (DSD) in the conception of a complex orthodontic treatment plan: A case report-proof of concept. *International Orthodontics.* sept 2019;17(3):573-9.

10. DE LA CRUZ A, SAMPSON P, LITTLE RM, ARTUN J, SHAPIRO PA. Long-term changes in arch form after orthodontic treatment and retention. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* mai 1995;107(5):518-30.
11. DUARTE MEA, GRIBEL BF, SPITZ A, ARTESE F, MIGUEL JAM. Reproducibility of digital indirect bonding technique using three-dimensional (3D) models and 3D-printed transfer trays. *Angle Orthod.* janv 2020;90(1):92-9.
12. ELNAGAR MH, ARONOVICH S, KUSNOTO B. Digital Workflow for Combined Orthodontics and Orthognathic Surgery. *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America.* févr 2020;32(1):1-14.
13. FLEMING P, MARINHO V, JOHAL A. Orthodontic measurements on digital study models compared with plaster models: a systematic review. *Orthodontics & Craniofacial Research.* févr 2011;14(1):1-16.
14. GELIN E, SEIDEL L, BRUWIER A, ALBERT A, CHARAVET C. Innovative customized CAD/CAM nickel-titanium lingual retainer versus standard stainless-steel lingual retainer: A randomized controlled trial. *Korean J Orthod.* nov 2020;50(6):373-82.
15. GJELVOLD B, CHRCANOVIC BR, KORDUNER E, COLLIN-BAGEWITZ I, KISCH J. Intraoral Digital Impression Technique Compared to Conventional Impression Technique. A Randomized Clinical Trial. *Journal of Prosthodontics.* juin 2016;25(4):282-7.
16. GRACCO A, STELLINI E, PARENTI SI, BONETTI GA. Individualized orthodontic treatment: The Insignia system. *Orthodontics (Chic).* 2013;14(1):e88-94.
17. GUIZZARDI D, JANSSENS-MAENHOUT G, MUNTEAN M, OLIVIER JGJ, PETERS JAHW, SCHAAF E, ET AL. Fossil CO2 and GHG emissions of all world countries. Joint Research Centre. 2017
18. HAMEURY E. De l'attache molaire conventionnelle à l'introduction du concept d'attache molaire personnalisée imprimée : une revue descriptive et comparative. [Thèse de doctorat]. Aix Marseille Université. Oct 2019



19. HOU D, CAPOTE R, BAYIRLI B, CHAN DCN, HUANG G. The effect of digital diagnostic setups on orthodontic treatment planning. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. avr 2020;157(4):542-9.
20. HUANG X-H, XU L, LIN S. [Effects of double transparent pressure diaphragm transfer tray on indirect bonding]. *Shanghai Kou Qiang Yi Xue*. déc 2016;25(6):734-7.
21. JIANG J, MA X, ZHANG Y, HUO B, LIU Y. Study on Three-Dimensional Digital Expression and Robot Bending Method of Orthodontic Archwire. *Appl Bionics Biomech*. déc 2018
22. KRAVITZ ND, GRAUER D, SCHUMACHER P, JO Y-M. Memotain: A CAD/CAM nickel-titanium lingual retainer. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. avr 2017;151(4):812-5.
23. LARSON BE, VAUBEL CJ, GRÜNHEID T. Effectiveness of computer-assisted orthodontic treatment technology to achieve predicted outcomes. *Angle Orthod*. juill 2013;83(4):557-62.
24. LECOCQ G. Digital impression-taking: Fundamentals and benefits in orthodontics. *International Orthodontics*. juin 2016;14(2):184-94.
25. LI Y, MEI L, WEI J, YAN X, ZHANG X, ZHENG W, ET AL. Effectiveness, efficiency and adverse effects of using direct or indirect bonding technique in orthodontic patients: a systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health*. Aout 2019;19(1):137.
26. LUU NS, NIKOLCHEVA LG, RETROUVEY J-M, FLORES-MIR C, EL-BIALY T, CAREY JP, ET AL. Linear measurements using virtual study models: A systematic review. *The Angle Orthodontist*. Nov 2012 ; 82(6):1098-106.
27. MANIERE-EZVAN A, SAVOLDELLI C, BUSSON F, OUEISS A, ORTHLIEB J-D. La chirurgie des cas de classe II et ses répercussions sur les articulations temporo-mandibulaires. *Orthod Fr*. mars 2016;87(1):77-81.

28. NICHOLS DA, GARDNER G, CARBALLEYRA AD. Reproducibility of bracket positioning in the indirect bonding technique. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. nov 2013;144(5):770-6.
29. NIU Y, ZENG Y, ZHANG Z, XU W, XIAO L. Comparison of the transfer accuracy of two digital indirect bonding trays for labial bracket bonding. *Angle Orthod*. janv 2021;91(1):67-73.
30. PENNING EW, PEERLINGS RHJ, GOVERS JDM, RISCHEN RJ, ZINAD K, BRONKHORST EM, ET AL. Orthodontics with Customized versus Noncustomized Appliances: A Randomized Controlled Clinical Trial. *J Dent Res*. déc 2017;96(13):1498-504.
31. PICHON P, CAVARE A. Perspectives d'application du flux numérique au collage indirect. Makaremi M, Petitpas L, éditeurs. *Rev Orthop Dento Faciale*. sept 2019;53(3):233-47.
32. POTTIER T, BRIENT A, TURPIN YL, CHAUVEL B, MEURIC V, SOREL O, ET AL. Accuracy evaluation of bracket repositioning by indirect bonding : hard acrylic CAD/CAM versus soft one-layer silicone trays, an in vitro study. *Clin Oral Investig*. nov 2020;24(11):3889-97.
33. ROSSINI G, PARRINI S, CASTROFLORIO T, DEREGIBUS A, DEBERNARDI CL. Diagnostic accuracy and measurement sensitivity of digital models for orthodontic purposes: A systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. févr 2016;149(2):161-70.
34. SILVERMAN E, COHEN M, GIANELLY A. A universal direct bonding system for both metal and plastic brackets. *American Journal of Orthodontics*. sept 1972;62(3):236-44.
35. TAVARES A, BRAGA E, DE ARAUJO TM. Digital models: How can dental arch form be verified chairside? *Dental Press J Orthod*. 2017;22(6):68-73.
36. WEBER D, KOROLUK L, PHILLIPS C, NGUYEN T, PROFFIT W. Clinical Effectiveness and Efficiency of Customized vs. Conventional Preadjusted Bracket Systems - JCO Online - Journal of Clinical Orthodontics. Avril 2013;47(4):261-6

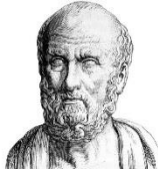
37. YILDIRIM K, SAGLAM-AYDINATAY B. Comparative assessment of treatment efficacy and adverse effects during nonextraction orthodontic treatment of Class I malocclusion patients with direct and indirect bonding: A parallel randomized clinical trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* juill 2018;154(1):26-34.e1.
38. YILMAZ H, OZLU FÇ, KARADENİZ C, KARADENİZ Eİ. Efficiency and Accuracy of Three-Dimensional Models Versus Dental Casts: A Clinical Study. *Turk J Orthod.* déc 2019;32(4):214-8.
39. YILMAZ H, AYDIN MN. Digital versus conventional impression method in children: Comfort, preference and time. *Int J Paediatr Dent.* nov 2019;29(6):728-35.
40. ZACHRISSON BU, BROBAKKEN BO. Clinical comparison of direct versus indirect bonding with different bracket types and adhesives. *Am J Orthod.* juill 1978;74(1):62-78.
41. ZHANG Y, YANG C, LI Y, XIA D, SHI T, LI C. Comparison of three-dimensional printing guides and double-layer guide plates in accurate bracket placement. *BMC Oral Health.* avr 2020;20(1):127.

## TABLES DES ILLUSTRATIONS

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Figure 1 : Ergonomie des caméras optiques – Kart iTero® Element 5D plus – Configuration mobile iTero® element 5D plus – Pod Trios® de 3Shape</b> | <b>2</b>  |
| <i>https://global.itero.com</i><br><i>https://www.3shape.com</i>  |           |
| <b>Figure 2 : Triangulation laser</b>   | <b>3</b>  |
| <i>LECOCQ G. Digital impression-taking: Fundamentals and benefits in orthodontics. International Orthodontics. juin 2016;14(2):184-94</i>           |           |
| <b>Figure 3 : Projection de franges de lumière</b>  | <b>4</b>  |
| <i>LECOCQ G. Digital impression-taking: Fundamentals and benefits in orthodontics. International Orthodontics. juin 2016;14(2):184-94</i>           |           |
| <b>Figure 4 : Imagerie parallèle confocale</b>  | <b>4</b>  |
| <i>LECOCQ G. Digital impression-taking: Fundamentals and benefits in orthodontics. International Orthodontics. juin 2016;14(2):184-94</i>           |           |
| <b>Figure 5 : Vidéo stéréophotogrammétrique</b>   | <b>5</b>  |
| <i>LECOCQ G. Digital impression-taking: Fundamentals and benefits in orthodontics. International Orthodontics. juin 2016;14(2):184-94</i>           |           |
| <b>Figure 6 : Capture d'écran du logiciel CS model – reconstitution d'un modèle 3D</b>  | <b>7</b>  |
| <i>Collection personnelle</i>   |           |
| <b>Figure 7 : Capture d'écran du rapport orthodontique généré par le logiciel CS model</b>  | <b>8</b>  |
| <i>Collection personnelle</i>   |           |
| <b>Figure 8 : Impression 3D d'une arcade dentaire d'un patient possédant une canine incluse</b>   | <b>9</b>  |
| <i>Collection personnelle - Laboratoire Orthomoov Eguilles</i>  |           |
| <b>Figure 9 : Capture d'écran du logiciel Insignia approver – Superposition des mouvements coronaires et radiculaires souhaités</b>                 | <b>11</b> |
| <i>Collection personnelle</i>   |           |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Figure 10 : Analyse et simulation du sourire à l'aide du Digital Smile Design</b>   | <b>12</b> |
| <i>CHARAVET C, BERNARD J-C, GAILLARD C, LE GALL M. Benefits of Digital Smile Design (DSD) in the conception of a complex orthodontic treatment plan : A case report-proof of concept. International Orthodontics. sept 2019;17(3):573-9.</i>                     |           |
| <b>Figure 11 : A : Photographie intra-orale montrant une supraclusion de 4mm rendant la pose d'une attelle difficile ; B et C : Conception numérique par Memotain® de l'attelle ; D et E : attelle usinée avec son système de transfert ; F : Attelle collée</b> | <b>14</b> |
| <i>KRAVITZ ND, GRAUER D, SCHUMACHER P, JO Y-M. Memotain : A CAD/CAM nickel-titanium lingual retainer. Am J Orthod Dentofacial Orthop. avr 2017;151(4):812-5</i>  |           |
| <b>Figure 12 : Capture d'écran du logiciel Insignia® Approver – Set-up reconstituant la future position des attaches et des arcs individualisés ainsi que les informations de torque prévues pour chaque dent</b>  | <b>16</b> |
| <i>Collection personnelle</i>  |           |
| <b>Figure 13 : capture d'écran découpée Conception assistée par ordinateur des bagues personnalisées imprimées : étape de choix de l'axe des tubes (Orthomoov, Eguilles, France)</b>   | <b>17</b> |
| <i>HAMEURY E. De l'attache molaire conventionnelle à l'introduction du concept d'attache molaire personnalisée imprimée : une revue descriptive et comparative. [Thèse de doctorat]. Aix Marseille Université. Oct 2019</i>                                      |           |
| <b>Figure 14 : Différentes applications des modèles numériques</b>   | <b>19</b> |
| <i>Schéma personnel</i>  |           |
| <b>Figure 15 : Encoches de positionnement des attaches sur le logiciel Appliance Designer® qui vont être imprimées sur modèle physique</b>   | <b>22</b> |
| <i>PICHON P, CAVARE A. Perspectives d'application du flux numérique au collage indirect. Makaremi M, Petitpas L, éditeurs. Rev Orthop Dento Faciale. sept 2019;53(3):233-47</i>  |           |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Figure 16 : groupe de jigs de transfert Insignia®</b>  | <b>23</b> |
| <i>Collection personnelle</i>   |           |
| <b>Figure 17 : Traitement individualisé conçu et fabriqué au cabinet dentaire</b>   | <b>25</b> |
| <i>Schéma personnel</i>   |           |
| <b>Figure 18 : Capture d'écran d'un cone beam (logiciel Horos®) – Capture d'écran de la reconstitution des racines à l'aide du même cone beam et d'une empreinte optique (logiciel Insignia®)</b> | <b>26</b> |
| <i>Collection personnelle</i>   |           |



## SERMENT MEDICAL

En présence des Maîtres de cette Faculté, de mes chers condisciples, devant l'effigie d'HIPPOCRATE.

Je promets et je jure, d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la Médecine Dentaire.

Je donnerai mes soins à l'indigent et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail, je ne participerai à aucun partage clandestin d'honoraires.

Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admise dans l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe, ma langue taira les secrets qui me seront confiés et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs ni à favoriser le crime.

Je ne permettrai pas que des considérations de religion, de nation, de race, de parti ou de classe sociale viennent s'interposer entre mon devoir et mon patient.

Même sous la menace, je n'admettrai pas de faire usage de mes connaissances médicales contre les lois de l'humanité.

J'informerai mes patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences. Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des connaissances pour forcer les consciences.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

Respectueux et reconnaissant envers mes Maîtres, je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leur père.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses.

Que je sois déshonorée et méprisée de mes confrères si j'y manque.





## **RIGHEZZA Julie – Apport du flux numérique en technique vestibulaire orthodontique**

Th. : Chir. dent. : Marseille : Aix-Marseille Université : 2021

Rubrique de classement : Orthopédie Dento-Faciale

### Résumé :

Le développement rapide des technologies numériques procure de nouveaux outils aux traitements orthodontiques. La conception et fabrication assistée par ordinateur (CFAO) permet la réalisation de traitements individualisés au cabinet dentaire. Les logiciels orthodontiques de traitement des empreintes optiques permettent de parfaire diagnostics et plans de traitement. Ils offrent la possibilité de simuler le traitement par la réalisation de set-ups et d'anticiper les mouvements dentaires, de guider les chirurgies orthognathiques et de prévoir les contentions. Toutes les étapes du collage indirect peuvent être conçues et fabriquées au cabinet dentaire à l'aide de logiciels et d'imprimantes 3D. Le flux numérique modernise l'orthodontie en facilitant le partage des données entre professionnels de santé et patients, et en réduisant le temps de travail au fauteuil et le nombre de séances.

Mots-clés : orthodontie, flux numérique, empreintes optiques, CFAO, set-up, collage indirect.

## **RIGHEZZA Julie – Digital workflow's contribution to orthodontic vestibular technique**

### Abstract:

The rapid development of digital technologies provides new tools for orthodontic treatment. Computer-aided design and manufacture (CAD/CAM) enables individualized treatments in the dental office. Orthodontic software for the treatment of digital impressions can be used to perfect diagnoses and treatment plans. They offer the possibility of simulating the treatment by carrying out setups and anticipating dental movements, guiding orthognathic surgeries and predicting restraints. All steps of indirect bonding can be designed and manufactured in the dental office using software and 3D printers. The digital workflow modernizes orthodontics by facilitating the sharing of data between healthcare professionals and patients, and reducing the working chair time and the number of sessions.

Keywords : orthodontic, workflow, digital impressions, CAD/CAM, setups, indirect bonding.