



HAL
open science

De l'attache molaire conventionnelle à l'introduction du concept d'attache molaire personnalisée imprimée : une revue descriptive et comparative

Erwan Hameury

► To cite this version:

Erwan Hameury. De l'attache molaire conventionnelle à l'introduction du concept d'attache molaire personnalisée imprimée : une revue descriptive et comparative. Chirurgie. 2019. dumas-02396767

HAL Id: dumas-02396767

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02396767>

Submitted on 6 Dec 2019

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

THESE

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

Présentée et publiquement soutenue devant la

Faculté d'Odontologie de Marseille
(Doyen : Monsieur le Professeur Bruno FOTI)

Aix Marseille Université
(Administratrice provisoire : Madame le Professeur Simone BONNAFOUS)

***De l'attache molaire conventionnelle à l'introduction du
concept d'attache molaire personnalisée imprimée :
Une revue descriptive et comparative***

Présentée par

HAMEURY Erwan

Né le 29 juillet 1992

A Nice

Thèse soutenue le **Vendredi 04 octobre 2019**

Devant le jury composé de

Président : Professeur RUQUET Michel

Assesseurs : Professeur LUPI Laurence

Docteur LE GALL Michel

Docteur PHILIP-ALLIEZ Camille

Invité : Professeur CHARAVET Carole

THESE

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

Présentée et publiquement soutenue devant la

Faculté d'Odontologie de Marseille
(Doyen : Monsieur le Professeur Bruno FOTI)

Aix Marseille Université
(Administratrice provisoire : Madame le Professeur Simone BONNAFOUS)

***De l'attache molaire conventionnelle à l'introduction du
concept d'attache molaire personnalisée imprimée :
Une revue descriptive et comparative***

Présentée par

HAMEURY Erwan

Né le 29 juillet 1992

A Nice

Thèse soutenue le **Vendredi 04 octobre 2019**

Devant le jury composé de

Président : Professeur RUQUET Michel

Assesseurs : Professeur LUPI Laurence

Docteur LE GALL Michel

Docteur PHILIP-ALLIEZ Camille

Invité : Professeur CHARAVET Carole

ADMINISTRATION

DOYENS HONORAIRES

PROFESSEUR	RAYMOND SANGIUOLO†
PROFESSEUR	HENRY ZATTARA
PROFESSEUR	ANDRE SALVADORI
PROFESSEUR	JACQUES DEJOU

DOYEN

PROFESSEUR	BRUNO FOTI
------------	------------

ASSESEURS

PROFESSEUR	MICHEL RUQUET
PROFESSEUR	ANNE RASKIN

DIRECTEURS DE DEPARTEMENTS

FORMATION INITIALE
RECHERCHE
FORMATION CONTINUE

PROFESSEUR	MICHEL RUQUET
PROFESSEUR	ANNE RASKIN
PROFESSEUR	FREDERIC BUKIET

CHARGES DE MISSIONS

RELATIONS INTERNATIONALES
INTERNAT ET DIPLOMES D'ETUDES SPECIALISEES
AFFAIRES GENERALES

PROFESSEUR	HERVE 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 FREDERIC (58-01)
DEJOU JACQUES (58-01)
FOTI BRUNO (56-02)
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 HERVE (58-01)

PROFESSEURS DES UNIVERSITES

ABOUT Imad (65)

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES – PRATICIENS HOSPITALIERS DES CSERD

ABOUDHARAM GERARD (58-01)	LAURENT MICHEL (58-01)
BANDON DANIEL (56-01)	LAURENT PATRICK (57-01)
BELLONI DIDIER (57-01)	LE GALL MICHEL (56-01)
BOHAR JACQUES (56-01)	MAILLE GERALD (58-01)
CAMOIN ARIANE (56-01)	PHILIP-ALLIEZ CAMILLE (56-01)
CAMPANA FABRICE (57-01)	PIGNOLY CHRISTIAN (58-01)
CATHERINE JEAN-HUGUES (57-01)	POMMEL LUDOVIC (58-01)
ERARD-MAGNO ELISABETH (56-01)	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 GREGORY (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)
LAN ROMAIN (57-01)	

MAITRES DE CONFERENCES ASSOCIES

BLANCHET ISABELLE (56-01)
MENSE CHLOE (58-01)

ASSISTANTS HOSPITALIERS ET UNIVERSITAIRES

AL AZAWI HALA (56.01)	JEANY MARION (58.01)
BACHET-DORISON DAMIENNE (56.01)	LEVY LAURA (56.01)
BALLESTER BENOIT (58.01)	LIOTARD ALICA (58.01)
BARBERO MAGALI (56.01)	MANSUY CHARLOTTE (58.01)
BOYER ALEXANDRA (57.01)	MARTIN WILLIAM (56.01)
CAMBON ISABELLE (56.01)	MATTERA REMI (56.01)
CASAZZA ESTELLE (56.01)	MELLOUL SEBASTIEN (57.01)
CASTRO ROMAIN (57.01)	PARFU ANNE (58.01)
DAVID LAURA (56.01)	PILLIOL VIRGINIE (58.01)
DEVICTOR ALIX (58.01)	REPETTO ANDREA (58.01)
DODDS MELINA (58.01)	ROMANET YVAN (57.01)
DRAUSSIN THIERRY (56.02)	SANTUNIONE CHARLOTTE (58.01)
DUMAS CATHY (57.01)	SILVESTRI FREDERIC (58.01)
HADJ-SAID MEDHI (57.01)	VINAÏ MICHAEL (56.01)
HAHN-GOLETTI LARISSA (58.01)	

ASSISTANT ASSOCIE DES UNIVERSITES

LE FOURNIS CHLOE (57.01)
THOLOZAN LEA (57.01)

Intitulés des sections CNU :

- **56^{ème} section:** *Développement, croissance et prévention*
 - o 56-01: *Odontologie pédiatrique et orthopédie dento-faciale*
 - o 56-02: *Prévention – Epidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale*
- **57^{ème} section:** *Chirurgie orale; Parodontologie; Biologie Orale*
 - o 57-01: *Chirurgie orale - parodontologie - Biologie orale*
- **58^{ème} section:** *Réhabilitation orale*
 - o 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

À Monsieur le Professeur RUQUET Michel,

Président du Jury
Professeur des Universités - Praticien Hospitalier
Université d'Aix-Marseille (Vice-Doyen)

Vous me faites l'honneur de présider mon jury de thèse.

Je vous remercie pour votre sympathie, votre bienveillance

Et la réponse rapide à mes sollicitations.

Votre implication au sein de l'université force l'admiration.

Soyez assuré de ma plus grande gratitude et de mon plus profond respect.

À Madame le Professeur LUPI Laurence,

Assesseur
Professeur des Universités - Praticien Hospitalier
Université de Nice Sophia Antipolis (Doyenne)

Je vous remercie d'avoir fait le voyage pour siéger à ma thèse.

*Votre disponibilité pour vos patients et étudiants comme pour
votre tâche,*

Sont à la hauteur de vos talents.

Votre bienveillance et votre humanité,

Ainsi que l'estime que je vous porte,

Me rendent heureux et fier de vous compter dans mon jury

Après toutes ces années passées à travailler à vos côtés.

À Monsieur le Docteur LEGALL Michel,

Directeur de thèse
Maître de Conférences des Universités - Praticien Hospitalier
Université d'Aix-Marseille

J'apprécie l'honneur que vous m'avez fait en me proposant ce travail et en le dirigeant.

Pour la qualité de votre enseignement

Et les connaissances que vous m'avez apportées,

Qu'il me soit permis de vous témoigner l'expression

De ma gratitude et de mon profond respect.

À Madame le Docteur PHILIP-ALLIEZ Camille,

Assesseur
Maître de Conférences des Universités - Praticien Hospitalier
Université d'Aix-Marseille

*Je vous remercie pour vos qualités pédagogiques et humaines
que j'ai pu apprécier pendant mon internat.*

*Pour votre discours toujours positif et encourageant, votre
gentillesse,*

Pour vos enseignements divers et de qualité,

*Trouvez ici la preuve de la grande satisfaction, qui est la
mienne,*

De vous avoir comme enseignante.

À Madame le Professeur CHARAVET Carole,

Membre invité
Professeur des Universités - Praticien Hospitalier
Université de Liège

C'est un honneur pour moi que vous ayez accepté de siéger à mon jury.

Pour m'avoir aidé à la rédaction de cette thèse,

Et ce malgré votre position en Belgique et l'investissement qu'exigent vos nouvelles fonctions,

Pour avoir répondu si rapidement à mes questions et mes doutes,

Je voulais ici vous exprimer toute mon amitié et mon plus profond respect.

Table des matières

I. INTRODUCTION	1
II. LES DIFFÉRENTS TYPES D'ATTACHES MOLAIRES	2
A. LES ATTACHES MOLAIRES CONVENTIONNELLES	4
1. <i>Historique (7)</i>	4
2. <i>Les tubes orthodontiques</i>	5
a) Description	5
b) Sélection des tubes orthodontiques collés	6
c) Positionnement.....	6
d) Protocole de collage (14)	7
3. <i>Les bagues orthodontiques (15)</i>	8
a) Description	8
b) Sélection et mise en place : (15)	9
(1) Rendez-vous préalable (facultatif) : Mise en place des séparateurs	9
(2) Deuxième rendez-vous : Sélection de la bague (et empreinte éventuelle).....	9
(3) Scellement des bagues conventionnelles (15)	10
4. <i>Les accessoires</i>	11
a) Tube à forces extra-orales :.....	11
b) Crochet :.....	11
c) Clit	11
5. <i>Fabrication des attaches conventionnelles</i>	12
a) Moulage par fonderie	12
b) Moulage par injection de métal (MIM) (7).....	13
c) Le façonnage	14
6. <i>Problématiques des attaches molaires conventionnelles</i>	15
a) Adaptation entre l'attache et la dent.....	15
(1) Adaptation base/dent des tubes orthodontiques collés	15
(2) Adaptation intrados/dent des bagues orthodontiques conventionnelles	15
b) Risque de décollement/descellement de l'attache molaire.....	16
c) Risque iatrogène	17
d) Transmission d'une information non individualisée	17
B. LES ATTACHES PERSONNALISÉES.....	18
1. <i>Historique : (39)</i>	18
2. <i>Description : (43)</i>	21
3. <i>Mise en place</i> :.....	23
4. <i>Procédés de fabrication : L'impression 3D métallique (7)</i>	24
a) Définition.....	24
b) La fabrication sur lit de poudre métallique : SLS/SLM (Selective Laser Sintering/Selective Laser Melting) (48) 25	
(1) Technique SLM (Selective Laser Melting) ou fusion de poudre par laser.....	26
i. Origine	26
ii. Principe.....	26
iii. Matériaux	26
iv. Inconvénients	27
(2) Technique SLS (Selective Laser Sintering) ou Frittage de Poudre par Laser (51).....	27
i. Origine	27
ii. Principe.....	27
c) Technique de projection de liant MBJ (Metal Binder Jetting):.....	28
(1) Principe.....	28
(2) Inconvénients	29
d) Fabrication additive non métallique :	29
(1) Le dépôt de matière fondue (FDM pour Fused Deposition Modelling ou FFF pour Fused Filament Fabrication).....	29
(2) Stéréolithographie (54)	29
III. COMPARAISON BAGUES CONVENTIONNELLES/IMPRIMÉES	30
A. CRITÈRES DE COMPARAISON SUR L'ERGONOMIE DU CABINET	30

1.	<i>Comparaison du nombre de séances de soins dans le cadre d'un traitement orthodontique par appareillage supporté par bagues molaires</i>	30
a)	Protocole le plus commun	30
b)	Variante : Empreinte numérique avec bagues scellées en bouche.....	31
c)	Variante : Empreinte sans bagues en place et choix de la bague conventionnelle par le laboratoire.....	32
2.	<i>Comparaison du nombre de séances de soins dans le cadre d'un traitement orthodontique fixe</i>	34
3.	<i>Diminution de la durée des séances de soins, du nombre de séances d'urgences</i>	35
4.	<i>Absence de stock sur le lieu de travail</i>	35
5.	<i>Une gestion des urgences facilitée</i>	35
6.	<i>Une image moderne de notre pratique</i>	36
B.	CONFORT DU PATIENT ET HYGIÈNE	36
1.	<i>Une surface de contact et une adaptation laissant un minimum de hiatus</i>	36
2.	<i>Moins d'aspérités</i>	36
3.	<i>Un état de surface brut rugueux, puis post-traité</i>	36
C.	PRÉCISION DU POSITIONNEMENT / DU TRAITEMENT.....	39
D.	DÉCOLLEMENT ET DÉPOSE, RÉSISTANCE À L'ARRACHEMENT	40
E.	INTERFÉRENCE OCCLUSALE	41
IV.	CONCLUSION	42
V.	TABLES DES ILLUSTRATIONS	A
VI.	BIBLIOGRAPHIE	I

I. Introduction

L'orthodontie est « *la partie de la médecine qui étudie la forme, la position et le fonctionnement des dents et des arcades dentaires et qui les modifie pour assurer leur santé, embellir leur apparence et améliorer leurs fonctions.* » (1). Au cours des dernières années, les innovations dans ce domaine ont été majeures, que ce soit dans la documentation du dossier orthodontique, la conception ou la fabrication des appareillages. En effet, l'orthodontiste réalise traditionnellement son dossier orthodontique à l'aide de photographies et radiographies en deux dimensions ainsi que de moulages en plâtre. Pour traiter son patient il fera le choix parmi une gamme d'appareillages et d'attaches standardisés, qu'il adaptera au mieux à son patient. Aujourd'hui, l'imagerie tridimensionnelle (optique et radiographique) est progressivement intégrée dans notre pratique. Ceci se fait dans un souci d'efficacité du diagnostique et d'efficience thérapeutique mais également d'optimisation de l'ergonomie en accord avec une vision plus écologique.

Les attaches molaires sont un des facteurs de réussite d'un traitement d'Orthopédie Dento-Faciale (ODF). Elles sont disponibles dans une gamme limitée de tailles, de formes et d'accessoires et ainsi peu adaptées aux variations anatomiques de chaque patient. Les éléments proposés ne répondent donc pas toujours au cahier des charges de l'orthodontiste ou du technicien qui devront alors, le plus souvent, procéder à une adaptation manuelle, étape chronophage et source potentielle d'échec. Ainsi, au cours d'un traitement orthodontique fixe, ces attaches molaires présentent le taux d'échec le plus important par rapport aux dents antérieures (2-6). Cet échec correspond le plus souvent à un décollement. Dans le cas d'un traitement interceptif, différents appareillages sont à la disposition du praticien qui possède, le plus souvent, un appui au niveau des molaires pour assurer leur stabilité. Dans ce cas également, la structure même de l'appui n'est pas toujours parfaitement adaptée à la morphologie de la molaire.

Aujourd'hui existe la possibilité de réaliser des appareillages personnalisés. Ils sont réalisés par technique CFAO (*Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur*) aussi nommée CAD/CAM (*Computer-Aided Design and Computer-Aided Manufacturing*) en utilisant les nouvelles techniques d'imagerie tridimensionnelle (optique et radiographique). La notion de système COT, pour « *Customized Orthodontic Treatment* » est également retrouvée (2). De façon générale, à partir d'un enregistrement numérique de la situation clinique en trois dimensions, la conception et fabrication des appareillages est assistée par ordinateur. L'évolution des procédés de fabrication assistée par ordinateur nous permet de fabriquer ces appareillages non plus par usinage - méthode soustractive -, mais par addition, c'est à dire par impression 3D.

Les attaches et appuis molaires, bénéficient de ces évolutions avec l'apparition sur le marché d'éléments imprimés et personnalisés en accord avec la prescription du praticien et la morphologie dentaire du patient.

Des éclaircissements sont à apporter sur ces dernières attaches :

- Quelles sont les caractéristiques de ces nouveaux outils ?

- Quelles sont les différences par rapport aux techniques traditionnelles ?
- Apportent-elles une différence significative dans notre pratique et dans notre efficacité thérapeutique ?

La première partie de ce travail présentera les différentes caractéristiques des attaches molaires conventionnelles puis des attaches molaires imprimées personnalisées.

La seconde partie se concentrera sur une comparaison technique et clinique de ces deux types d'attaches, mettant en évidence les avantages et inconvénients de chacune d'entre elles.

II. Les différents types d'attaches molaires

Selon le dictionnaire de la Société Française d'Orthopédie Dento-Faciale, une attache orthodontique désigne « *tout dispositif qui assure la liaison de l'arc orthodontique avec la dent* » (1).

Lors d'un traitement orthodontique fixe, ces attaches prennent la forme d'un tube métallique (**Figure 1**) dans lequel passe le fil, permettant la transmission de la force du fil et donc le déplacement dentaire. La différence entre ces deux types d'attaches est la liaison de ce tube avec la surface dentaire.

On retrouve deux grands types d'attaches molaires conventionnelles :

1. Les tubes orthodontiques collés (**figure 1**) : C'est un tube (**figure 2**) soudé sur une base et celle-ci adhère sur une surface limitée de la dent par collage, le plus souvent sur son pan vestibulaire.



Figure 1: Tube orthodontique collé (Tubes Victory Series, 3M Orthodontics, USA)



Figure 2: Tube seul, au sens strict, que l'on pourra souder à une bague pour en faire une bague orthodontique ou à une base à coller pour en faire un tube orthodontique. (Modèle de Habern Orthodontics™, USA)

2. Les bagues orthodontiques (**figure 3**) :

Le tube est ici soudé à une structure métallique qui entoure complètement la dent, s'insérant dans les espaces interdentaires et assemblée par scellement.



Figure 3: Bague orthodontique conventionnelle (Bagues Victory Series, 3M Orthodontics, USA)

Dans les deux cas une configuration d'attache avec un seul tube ou avec un double tube existe (**figure 4**). En effet, certaines techniques de traitement orthodontique fixe nécessitent l'utilisation d'un second fil (par exemple dans le traitement d'une supraclusion par arc de base d'ingression), le plus souvent en position plus gingivale par rapport au fil principal.

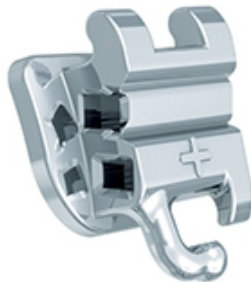


Figure 4: Tube Ortho-Cast M-Séries, Dentaurum, France, avec double tube

La littérature internationale distingue clairement ces deux types d'attaches en fonction de leur technique d'assemblage sur les dents. On retrouve :

- « Bonded molar tube » (*tube molaire collé*) : Désignant un tube orthodontique collé
- « Banded molar tube » (*tube molaire scellé*) : Désignant une bague molaire conventionnelle (par conséquent scellée)

L'évolution des techniques de conception et de fabrication a permis de voir émerger un troisième type d'attaches molaires que sont les bagues personnalisées. A mi-chemin entre les deux éléments précédemment présentés, les bagues personnalisées imprimées tentent de palier leurs problématiques respectives en apportant de nouvelles spécificités, bien que certaines limites soient à mentionner.

Ces trois types d'attaches seront développés dans cette partie.

A. Les attaches molaires conventionnelles

1. Historique (7)

Les premières bagues molaires étaient formées à la main par l'orthodontiste. Ceci nécessitait des procédures spécifiques qui se révélaient aussi coûteuses que chronophages. En l'absence de techniques de collage, les autres dents étaient appareillées de la même façon.

En 1962, Robert Ricketts a présenté l'utilisation de bagues préfabriquées (**figure 5**) pour un baguage complet à la conférence de l'American Association of Orthodontics (AAO) à Los Angeles (**8**)

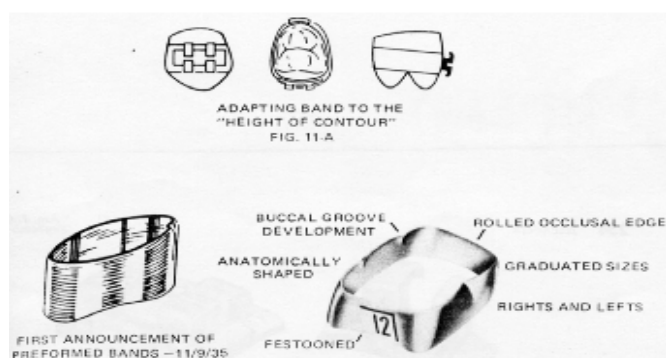


Figure 5: Exemple d'une bague orthodontique préformée de la marque RMO (Rocky Mountain Orthodontics, Denver, Colorado, 1962)

Dans une démonstration télévisée, il baguait les 4 quadrants d'un patient en moins de 20 minutes à l'aide de bagues préfabriquées réalisées par la firme RMO. Ceci représentait à cette époque une évolution majeure. En effet, le baguage était un processus long car la soudure des attachements sur les bagues était nécessaire. L'évolution des techniques a abouti à l'arrivée sur le marché de bagues préformées avec des attachements déjà soudés dessus.

Au cours du 20^e siècle, apparaît la possibilité de coller les attaches directement sur les dents (**9**). Cette technique devient alors couramment utilisée dans le secteur antérieur. Au niveau des secteurs postérieurs et plus particulièrement des molaires deux options se présentent maintenant au praticien : la dent pourra recevoir une attache collée à sa surface ou toujours avoir une bague scellée, l'enjeu esthétique étant moindre que dans le secteur antérieur.

Un apport technologique notable dans la fabrication de ces attaches est l'arrivée du soudage laser, permettant une meilleure liaison entre l'attache elle-même et sa base. Bien que cette technique soit disponible depuis 30 ans dans d'autres domaines, elle a été introduite en 2002 dans les laboratoires d'orthodontie (**10**). Le soudage laser utilise une lumière fortement concentrée pour fusionner les métaux, permettant une liaison des composants supérieure au brasage.

2. Les tubes orthodontiques

a) Description



Figure 6: Tube orthodontique collé
Ifit, American Orthodontics, USA

Un bracket est « une attache fixée à la couronne d'une dent, permettant à l'arc orthodontique inséré dans sa gorge d'exercer soit une force soit un ou plusieurs couples de force » (1).

Les brackets que l'on colle à la surface des molaires sont appelés « tubes orthodontiques » (figure 6). Ils sont appelés ainsi en raison de la présence d'un tube rectangulaire à la place du mono ou biplot présent sur les autres dents en traitement orthodontique fixe. Il est généralement de forme rectangulaire bien que des attaches ouvertes, comme en technique de Tweed, sont également disponibles. Il existe aussi des tubes molaires collés dits « convertibles ». Ce sont des tubes fermés que l'on peut rendre ouvert en enlevant la paroi vestibulaire du tube qui est volontairement détachable. Ceci se fera à l'aide d'une pince à déconvertir.

On peut retrouver une entrée de tube évasée, chanfreinée pour faciliter l'insertion de l'arc dans le tube par le praticien. Un code couleur peut être présent à la surface du tube et permet de repérer rapidement l'attache adéquate lors de sa sélection. Des méplats de préhension peuvent être présent sur le tube, du côté occlusal comme gingival, pour en faciliter la préhension par le praticien.

Un sillon vestibulaire de placement (ou un marquage) de la base est généralement réalisé. Celui-ci, située environ à la moitié mésio-distale du tube, sert de repère lors du placement manuel de l'attache en technique directe, mais permet aussi de s'adapter au mieux à l'anatomie de la dent, à savoir au sillon vestibulaire communément retrouvé sur les molaires.

L'attache est fixée sur une base, qui assure la liaison avec la dent sur sa surface vestibulaire. Son extradors est lisse, aux contours nets et de forme arrondie. Elle recouvre partiellement la surface amélaire vestibulaire. Une surface de collage augmentée et une adaptation précise aux détails anatomiques ont un effet sur la force d'adhésion et assurent un décollement minimal quand l'attache subit une force en cisaillement (11).

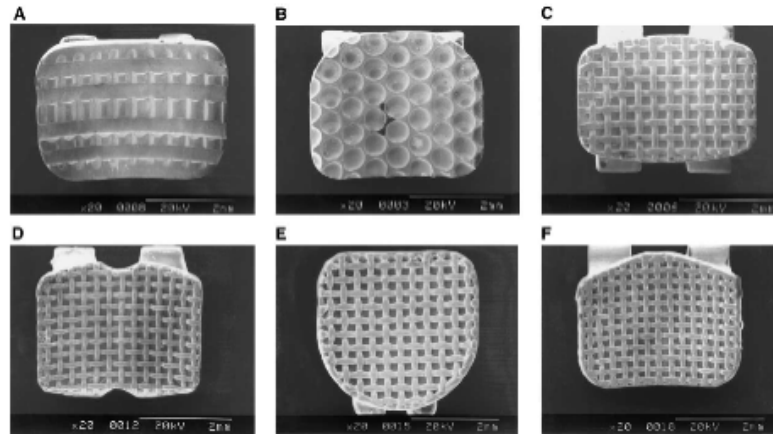


Figure 7: Les différents designs de rétention de l'intrados des bases de tubes collés (12)

- A (DynaLock, Unitek) : Formes de rétention horizontales
- B (Tomy) : Formes circulaires régulières
- C (Dentaurum) : Treillis à mailles relativement larges
- D (Leone), E (TP Orthodontics), F (Ormco) : Treillis à mailles relativement réduites

Le design de l'intérieur de la base du tube semble avoir un impact sur la force d'adhésion du tube à la dent. L'étude de Wei Nan Wang et al (12) classe différents design (figure 7). En termes de force d'adhésion à la surface dentaire, on retrouve en ordre décroissant les bases circulaires concaves, puis les bases en treillis. Parmi les bases en treillis, la plus grande taille de maille présentait la meilleure adhésion. Le bracket testé qui avait un design de base en formes rectangulaires horizontales était classé en rang intermédiaire. Les bases ont évolué, de bases perforées à des bases ayant un design en treillis, tout autant que leur traitement : initialement il n'y en avait pas, puis on a commencé à recouvrir la base d'un alliage métallique pour arriver à des techniques de micro-mordançage (13).

b) Sélection des tubes orthodontiques collés

Le tube molaire est sélectionné selon le quadrant et selon la dent, en accord avec des tubes de première et seconde molaire au design différent. Un code couleur et un rangement dans un support est souvent présent pour faire gagner du temps au praticien.

c) Positionnement

(14) L'attache orthodontique est située au centre de la face vestibulaire dans le sens mésio-distal et vertical. Son axe de placement correspondra à celui de la dent en accord avec la visualisation des axes radiculaires sur l'orthopantomogramme. L'axe de son tube sera parallèle au bord occlusal de la dent. Le positionnement en hauteur se fera selon la technique utilisée, les recommandations spécifiques du fabricant et les habitudes du praticien.

On peut modifier, dans certains cas et de façon limitée, les critères de positionnement standards pour faciliter la correction de la malocclusion du patient. Par exemple un positionnement plus occlusal de la gorge sur les molaires favorise la désocclusion postérieure.

d) Protocole de collage (14)

L'adhésion amélaire repose sur un ancrage essentiellement micromécanique. Le collage d'un tube orthodontique suit le même protocole que pour un bracket sur n'importe quelle autre dent.

Le protocole de collage direct avec adhésif de type M&R (Mordançage et Rinçage) ci-dessous est le plus couramment utilisé :

I. Préparation de la surface de collage amélaire :

- Nettoyage de la surface à coller, avec une brosette éventuellement enduite de pierre ponce afin d'augmenter la mouillabilité et l'élimination des résidus de plaque dentaire et des glycoprotéines salivaires.
- Mordançage de l'émail, à l'aide d'acide orthophosphorique (15 secondes), suivi d'un rinçage et d'un séchage de la dent.

Dans le cas d'une colle de type SAM (Système Auto Mordançant), la déminéralisation est obtenue grâce au monomère acide contenu dans l'adhésif. Une étape spécifique de mordançage acide n'est donc pas nécessaire.

Dans le cas d'un collage à l'aide d'un CVI (Ciment Verre Ionomère), on peut réaliser un mordançage préalable à l'acide polyacrylique.

II. Préparation de l'attache à coller et mise en place :

Une fine couche de colle est uniformément répartie sur la base du tube orthodontique. Dans le cas d'un collage direct, l'attache est positionnée sur la dent, les excès sont retirés à l'aide d'un instrument fin de type sonde droite.

Dans le cas d'un collage indirect, les attaches sont placées à l'aide d'une gouttière de transfert ou d'une butée de repositionnement, garanties d'un parfait repositionnement. Celle-ci est réalisée à l'aide d'une empreinte coulée en amont, sur laquelle on a placé les attaches. Les récentes techniques CFAO permettent aussi la réalisation d'un collage indirect numérique à l'aide de gouttières de transfert également réalisées par CFAO.

III. Polymérisation de la colle :

Si une colle photo-polymérisable est employée (ce qui est le plus souvent le cas), la polymérisation est initiée à l'aide d'une lampe à photopolymériser émettant une longueur d'onde spécifique.

Moins fréquent, la polymérisation d'une colle chémo-polymérisable est initiée par un mélange des composants (pâte-pâte ou pâte-activateur).

3. Les bagues orthodontiques (15)

a) Description

« Une bague orthodontique est un anneau formé d'un ruban métallique qui enserre une dent. Elle est soudée à un arc ou porte une attache. Depuis 1871 (Magill), elle est scellée sur la dent » (1).



Figure 8: Victory Series (3M Orthodontics, USA) (17)



Figure 9: DB Orthodontics, UK (16)

A l'inverse des tubes orthodontiques et des nouvelles bagues imprimées personnalisées, les bagues orthodontiques s'insèrent dans les espaces interdentaires, garant de leur rétention.

En principe on retrouve sur la face mésiale externe de chaque bague une série de deux lettres et un chiffre. Les lettres suivantes permettent d'identifier le quadrant dans lequel la bague doit le situer :

- U pour **Upper**, zone maxillaire
- L pour **Lower**, zone mandibulaire
- L pour **Left**, gauche
- R pour **Right**, droite

Le chiffre correspond à la taille.

Dans une des illustrations d'exemple (**figures 8**), on peut lire sur la bague « UR 37 ». C'est donc une bague maxillaire droite de taille 37.

Elles sont généralement scellées sur les dents à l'aide de CVI. Il est possible dans de nombreux cas de traitement orthodontiques fixes de s'en passer et de n'utiliser que des attaches collées à la surface des dents. Il existe cependant des situations dans lesquelles l'utilisation de bagues scellées (sur les molaires voire prémolaires) est préférable à l'utilisation d'attaches collées, par exemple :

- Appareillage d'ancrage ou d'interception à appui molaire (disjoncteur, arc de Nance, arc transpalatin, arc lingual, ...)
- Dents restaurées en grande partie par un amalgame
- Situations ne permettant pas une isolation salivaire adéquate (compliance du patient, éruption partielle de la dent).

b) Sélection et mise en place : (15)

(1) Rendez-vous préalable (facultatif) : Mise en place des séparateurs

Les séparateurs peuvent être mis en place au premier rendez-vous pour anticiper le second, durant lequel les bagues elles-mêmes seront mises en place. Cette étape est facultative. Le but est d'utiliser l'élasticité du séparateur élastomérique pour créer un léger espace en mésial et en distal de la dent concernée, facilitant l'insertion de la bague.

- Etirer le séparateur à l'aide du système de pince choisi : Diminution de la section de l'élastique.
- Placer le séparateur dans la zone inter-proximale de façon à avoir une moitié au-dessus du point de contact (visible en vue occlusale), et l'autre en dessous de ce même point de contact.
- Relâcher l'étirement.
- Il est préférable que le praticien note le nombre de séparateurs placés en bouche et leur localisation. En effet, si ceux-ci passent au-dessus du point de contact, ils seront perdus ou avalés par le patient. S'ils passent en dessous, ils peuvent créer des lésions parodontales, d'autant plus s'ils sont oubliés dans cette position.
- Information du patient : Lui dire qu'il risque de ressentir un inconfort, comme si de la nourriture était restée bloquée entre ses dents. On lui conseillera d'éviter la mastication d'aliments collants type chewing gum.
- Donner rendez-vous à une semaine pour la séance de sélection de la bague.

(2) Deuxième rendez-vous : Sélection de la bague (et empreinte éventuelle)

Une fois les espaces créés, la taille de bague optimale peut être sélectionnée

Protocole

- Retrait des séparateurs à la sonde parodontale. S'il en manque un, il est possible qu'il soit parti ou qu'il soit passé sous le point de contact. Dans ce dernier cas un érythème ou un exsudat gingival sera visible.
- Utiliser les modèles d'étude du patient pour estimer la taille de bague à essayer.
- On pourra être amenés à faire plusieurs essayages en bouche afin de trouver la bonne taille/adaptation :
 - ✓ Une bague bien adaptée ne se désinsère pas mais doit laisser un espace suffisant pour le joint de ciment de scellement
 - ✓ Le tube de la bague doit se situer au niveau de la moitié de la dent au niveau de la hauteur gingivo-occlusale
 - ✓ Les cuspides vestibulaires doivent autant dépasser de la limite vestibulaire que les cuspides linguales, la limite supérieure de la bague doit à la fois se situer au-dessus du point de contact interproximal et en dessous de la face occlusale de la dent.
 - ✓ En vue occlusale, la bague doit suivre le contour de la dent. Dans le cas d'une molaire maxillaire, l'indentation de la face vestibulaire de la bague devrait coïncider avec le sillon vestibulaire de la dent. Pour une molaire mandibulaire, l'indentation doit correspondre avec le sillon mésio-vestibulaire
 - ✓ Ceci est bien sûr un aperçu des critères de placement pour la plupart des situations cliniques. On peut cependant être amené à modifier ce placement si la situation clinique le nécessite.
- Commencer l'insertion par pression digitale puis en faisant mordre le patient sur le manche de l'enfonce-bague. Il est parfois nécessaire d'utiliser ensuite l'embout de cet instrument pour guider la bague dans sa position correcte. Il ne faut pas oublier que l'objectif est de positionner la bague dans la bonne position, on ne recherche pas la position la plus gingivale possible. Il est préférable de n'utiliser l'enfonce-bague qu'en mésial et en distal afin d'éviter une bascule.
- Brunir le bord supérieur de la bague sur le pourtour de la dent.

(3) Scellement des bagues conventionnelles (15)

- Une fois la bague sélectionnée, elle sera séchée.
- La surface de la dent sera nettoyée pour éliminer la pellicule de biofilm de la surface dentaire.
- Préparer le ciment et recouvrir l'intérieur de la surface de la bague. On vérifiera également que le ciment n'obture par les tubes et autres accessoires.
- Positionner la bague à l'aide d'une pression digitale, du manche ou de l'embout de l'enfonce bague si nécessaire. Enlever les excès de ciment à l'aide de coton (rouleau ou gaze) avant que celui-ci ne prenne. Une fois la prise terminée,

terminer la suppression des excès à l'aide d'une sonde et fil dentaire passé au niveau des espaces interdentaires.

4. Les accessoires

Les accessoires sont des éléments supplémentaires que l'on peut retrouver sur les attaches molaires, selon la nécessité du traitement. Le praticien y aura recours lorsqu'il souhaitera relier aux attaches d'autres éléments du dispositif orthodontique que le fil principal ou secondaire. Leur utilisation potentielle doit être anticipée par le praticien lors de la sélection des attaches molaires. Ils peuvent être commandés directement installés sur les attaches, ou achetés à part et soudés par le praticien sur des attaches conventionnelles.



Figure 10: Bague présentant du côté lingual un clit, et du côté vestibulaire un tube principal, un tube à FEO et un crochet (18)

a) Tube à forces extra-orales :

Ce sont des tubes ronds et larges. La taille la plus utilisée est 0.045 inches, mais il existe aussi plus rarement du 0.051 inches. Ils permettent l'insertion de fils de diamètres plus élevés comme ceux supports de forces extra-orales dans les traitements interceptifs.

b) Crochet :

Lisses, recourbés en distal, avec ou sans boule à son extrémité, les crochets permettent la pose de chaînettes ou d'élastiques de traction inter/intra-maxillaires du côté vestibulaire de l'arcade.

c) Clit

Présents sur la partie linguale des bagues, ces accessoires permettent d'y accrocher des dispositifs tels que des chaînettes, des élastiques ou des ligatures.

5. Fabrication des attaches conventionnelles

Chacun des fournisseurs de matériel orthodontique utilise ces moyens ou une combinaison de ceux-ci. Ils représentent en effet les principales techniques conventionnelles de travail du métal.

a) Moulage par fonderie

Le Larousse (19) propose la définition suivante : « une installation métallurgique dans laquelle on fond les métaux ou les alliages, et où on les coule dans des moules pour leur donner la forme d'emploi. »

Deux types de moules peuvent être utilisés : un moule permanent (généralement en acier) ou un moule non permanent (en sable, détruit à chaque démoulage).

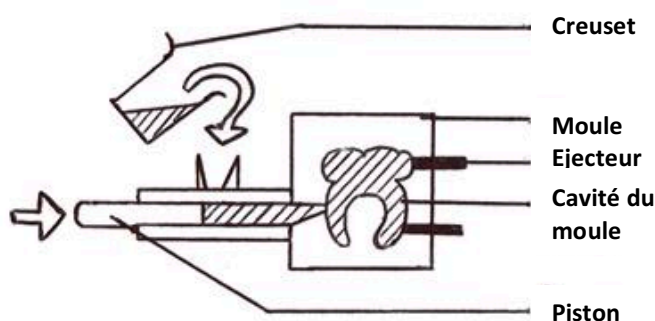


Figure 11: Schéma d'un système classique de fonderie. Le métal en fusion injecté à l'aide du piston dans le moule. Les excès et gaz sont évacués à l'aide des éjecteurs

Les étapes de réalisation sont assez nombreuses. Premièrement, on réalise un modèle en résine calcifiable ou en cire. Les systèmes d'alimentation sont définis et fixés puis une couche de matériau réfractaire (ou métallique) vient enrober les formes.

La coulée consiste ensuite à injecter l'alliage liquide dans le moule préalablement généré par gravité, pression dépression ou centrifugation.

La dernière étape est le démoulage. Il consiste à détruire le moule dans lequel sont les pièces et ainsi récupérer l'ensemble. Un traitement thermique d'homogénéisation est enfin souvent nécessaire.

b) Moulage par injection de métal (MIM) (7)

La technique MIM (Metal Injection Molding) a été découverte et développée au début des années 80, et est particulièrement adaptée à la production de petits éléments (20). Elle s'est considérablement développée au cours des dernières années.

Elle implique le mélange de poudres métalliques (particules de quelques microns) avec des liants organiques (comme de la cire ou des résines thermoplastiques), lubrifiants et dispersants pour obtenir une mixture homogène.

Le procédé MIM, qui concerne l'injection de métal, se décompose en trois grandes étapes :

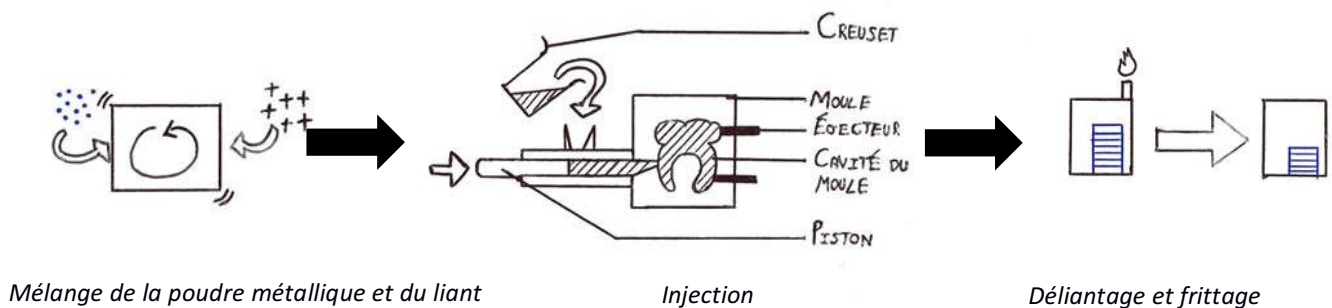


Figure 12: Schéma décrivant le processus MIM

L'**injection** (sur une presse d'injection plastique) dans un moule métallique d'une poudre métallique enrobée d'un liant thermoplastique. Le mélange poudre/liant polymère est ainsi stable et de viscosité suffisante pour être compatible avec les machines d'injection modernes et permet ainsi de véhiculer facilement la poudre lors de l'étape d'injection. Les éléments injectés (appelés « *green parts* ») sont réalisés dans la géométrie désirée, mais avec une taille supérieure (17-22%) pour compenser la réduction des dimensions après frittage.

Le **déliaantage**, qui correspond à l'élimination du liant plastique (au moins 90%). La pièce est alors composée uniquement à ce stade de particules métalliques juxtaposées. Le liant ne servant plus à rien est détruit par chauffage dans la plupart des cas. Les « *green parts* » ont été transformées en « *brown parts* », ayant une même taille mais une porosité augmentée.

Le **frittage** (à chaud) qui donne à cette structure la cohésion et la densité nécessaire. Le frittage s'accompagne d'un retrait contrôlé. C'est en fait un traitement thermique effectué en dessous de la température de fusion du matériau considéré, qui permet de consolider la pièce pour passer alors d'un empilement dense de poudre à une pièce massive possédant une microstructure définie, et donc, présentant des propriétés spécifiques.

A cette étape le liant résiduel est retiré, et à la fin de ce processus les éléments ont vu leurs dimensions réduites de 17-22 %, atteignant précisément les dimensions désirées car cette réduction est similaire dans les trois dimensions de l'espace. Dans certains cas des opérations secondaires sont parfois nécessaires, comme des traitements thermiques ou de surface.

Il s'agit d'une technologie de précision permettant d'obtenir en moyenne ou grande série (nécessité d'un moule d'injection) sans usinage des pièces haut de gamme dans des alliages parfois difficiles à travailler par soustraction.

Les éléments réalisés par MIM sont donc mono-pièces, avec une tolérance dans les dimensions d'environ 0,3 % et de densité autour de 97 % de la densité théorique du matériau d'origine.

La porosité est un défaut connu des produits MIM, avec des effets indésirables sur la résistance mécanique et à la corrosion (20). ZINELIS a évalué une dureté des brackets réalisés en MIM variant de 154 à 287 VHN (20). Cette valeur est bien inférieure à ce que l'on peut retrouver dans les brackets conventionnels en acier inoxydable (400 VHN). SHIVA et MARZIE (21) ont confirmé cela, ayant étudié la dureté de Vickers de brackets NiTi MIM en les comparant à des brackets en acier inoxydables créés par procédés standards. Ils concluent que les valeurs de dureté des brackets MIM sont largement inférieures à celles des brackets en acier inoxydable, et que les MIM semblent plus compatibles avec les arcs NiTi. Une large variété de dureté a été constatée sur les brackets conventionnels, et il devrait être considéré que la méthode de fabrication ne serait qu'un des facteurs affectant les propriétés mécaniques des brackets, incluant la dureté.

Les tests in vitro de biocompatibilité ont résulté en des niveaux de viabilité cellulaire non significativement différents entre les alliages MIM et ceux utilisés dans les techniques de fabrication conventionnelle (22). L'acier inoxydable MIM 316L, souvent utilisé dans cette technique, a une bonne biocompatibilité (23). La technique MIM permet l'utilisation de différents alliages pour fabriquer des brackets, ce qui n'est pas toujours possible avec les autres méthodes.

c) *Le façonnage*

Le façonnage est un terme général, définit dans le Larousse comme (24) « *l'action de façonner un ouvrage, de donner forme à un objet.* » On peut le diviser en trois groupes : L'assemblage (brasage, soudage) : Ce procédé permet l'assemblage permanent de matériaux en établissant une liaison métallique entre les pièces. Dans le brasage, à la différence du soudage, il n'y a pas de fusion des bords assemblés. Il peut y avoir selon les cas utilisation ou non d'un métal d'apport.

Le formage (estampage, matriçage) : Permet de créer les produits métalliques sans enlever de matière, par déformation. On peut par exemple citer l'estampage et le matriçage comme techniques de formage.

L'usinage : Fabrication par enlèvement de matière. Cette méthode soustractive peut être réalisée manuellement mais est le plus souvent assistée par ordinateur, rentrant dans une chaîne numérique CFAO. C'est un procédé permettant d'obtenir des surfaces et des formes par enlèvement de matière (copaux) aux moyens d'outils coupants ou abrasifs. Dans le cadre d'un procédé CFAO, l'usinage sera réalisé au moyen d'une Machine-Outil à Commande Numérique (MOCN). La forme escomptée est obtenue grâce à la combinaison de plusieurs mouvements des différents outils. (25)

6. Problématiques des attaches molaires conventionnelles

a) *Adaptation entre l'attache et la dent*

(1) *Adaptation base/dent des tubes orthodontiques collés*

Le design des bases de tubes orthodontiques collés correspond le plus souvent à une forme standard, pour optimiser l'adhésion dans la plupart des situations cliniques. C'est aussi ce qui explique le fait que la base ne sera jamais adaptée à chaque situation, le joint de collage ne sera pas uniforme à l'interface entre la base du tube collé et la dent.

Ces bases présentent une concavité à la fois dans les dimensions occluso-gingivale et mésio-distale, qui ne correspondra jamais exactement au bombé de la dent support. Il en va de même pour l'éventuel sillon de la base qui ne s'insérera jamais parfaitement dans le sillon vestibulaire de la dent. Ceci est un des facteurs de décollement des tubes collés, et peut aussi participer aux défauts de positionnement.

Certains auteurs présentent des techniques d'adaptation manuelle de la base du tube pour le personnaliser. Ceci permet de mieux épouser la surface dentaire et de majorer la rétention, mais nécessite l'apprentissage d'une technique relativement complexe et chronophage. (11)

(2) *Adaptation intrados/dent des bagues orthodontiques conventionnelles*

Le design des bagues conventionnelles de premières et secondes molaires correspond aussi à des standards. Le praticien s'adaptera à l'anatomie spécifique de chaque dent en sélectionnant parmi les tailles disponibles celle correspondant le plus à son patient.

Une taille trop importante induira une position de la bague trop gingivale, une taille insuffisante rendra son insertion impossible, ou une position trop occlusale. L'espace entre la bague et la dent, dans lequel sera inséré le ciment de scellement, ne sera pas toujours constant sur le pourtour de la dent. Un joint trop d'épaisseur trop importante sera défavorable à la pérennité du scellement, alors qu'un joint trop fin ne permettra pas l'interposition du matériau d'assemblage.

En cas d'excès de métal situé en position occlusale au point de contact interproximal, le praticien pourra adapter la bague dans certains cas en la découpant/fraisant ou en écrasant les bords contre la paroi de la dent, par exemple à l'aide d'un instrument enfonce-bague.

Ce défaut d'adaptation anatomique peut également être la source d'imprécisions dans la réalisation d'appareillages ayant pour support des bagues molaires (quad hélix, disjoncteur...). En effet, dans un protocole de réalisation classique, les bagues sont essayées seules sur les molaires supports. Une empreinte est ensuite réalisée. Une fois l'appareil réalisé, le manque de précision dans l'adaptation des bagues aux dents supports ne garantit pas un repositionnement identique à l'essayage.

En conclusion, les bagues orthodontiques conventionnelles, existantes dans une gamme limitée de tailles, ne seront jamais parfaitement adaptées de par leur nature à l'anatomie dentaire de nos patients.

b) Risque de décollement/descellement de l'attache molaire

Le décollement/descellement des attaches est une complication commune de nos traitements orthodontiques. Même si elles sont simples à prendre en charge, elles augmentent le temps de traitement et son coût, tout en perturbant l'organisation du cabinet (26).

Les études réalisées à ce sujet nous apportent des résultats très variables. Ceci peut être expliqué par une variation des populations de sujets étudiés et une définition variable de l'échec d'une attache. L'âge des sujets a par exemple un impact significatif sur l'échec des attaches (27).

ALMOSA et ZAFAR (28) ont réalisé une revue de la littérature sur le décollement qui conclue que celui-ci varie entre 0,6 et 28,3% des cas. Les tubes orthodontiques collés sont majoritairement concernés par cet échec par rapport aux bagues conventionnelles (29). De plus, une incidence plus élevée à la mandibule semble être retrouvée (30). MILLETT (et al) (31) a évalué le nombre de décollement moyen durant un traitement orthodontique. Les résultats sont un risque d'échec de 25 % dans le cas de bagues et de 57 % dans le cas de tubes (RR 2,30).

L'efficacité d'un système de collage des tubes semble complexe à analyser. La méta-analyse de Finnema et col (33) étudiant la force d'arrachement limite des systèmes de collage in-vitro n'a pas pu aboutir à des conclusions satisfaisantes. Ceci est en effet expliqué par le fait que beaucoup des études analysées n'ont pas suffisamment explicité les conditions des tests pouvant modifier les résultats. Les auteurs recommandent d'uniformiser les recommandations des conditions expérimentales sur la force d'adhésion in vitro.

On peut dans tous les cas en conclure que le décollement est une problématique majeure des attaches orthodontiques conventionnelles.

c) Risque iatrogène

La mise en place et utilisation des attaches molaires peut aussi être source d'inconfort pour le patient. Elles peuvent augmenter le risque de développer une maladie carieuse ou parodontale.

Le simple fait de rajouter une attache sur une molaire augmente le risque carieux, augmentant la rétention de plaque, d'autant plus que la dent est en position postérieure dans la cavité orale. On nuancera cependant le risque carieux en fonction du type d'attache, les tubes orthodontiques collés facilitant l'hygiène (34). On retrouve une décalcification amélaire moins importantes avec les bagues conventionnelles qu'avec les tubes collés (29, 31, 34). En résumé, l'hygiène optimale fera partie des facteurs orientant notre choix vers un tube, et un risque carieux augmenté sera un argument pour des bagues conventionnelles.

Nous savons aujourd'hui que nos appareillages orthodontiques ont un effet sur le parodonte et inversement (35). La présence d'attaches sur les molaires a une influence sur l'accumulation et la composition du microbiote sous-gingival (36). CORBACHO DE MELO a constaté une augmentation de l'Index Gingival chez les patients porteurs de bagues sur les secondes molaires en comparaison à un groupe contrôle (37). L'essayage de bagues conventionnelles augmente le risque de bactériémie (29). En dehors de la plaque retenue par les attaches, les excès de matériaux d'assemblage qui n'ont pas été éliminés peuvent causer une irritation mécanique (38).

Le design même des attaches molaires, que ce soient des tubes collés ou des bagues conventionnelles, présente un relief plus à même de blesser ou d'irriter les muqueuses du patient. Tant pour des raisons iatrogènes mécaniques (blessures, irritations) que biologiques (risque parodontal, carieux), on peut supposer qu'un design d'attache plus arrondi et lisse pourrait limiter ce type de conséquences.

d) Transmission d'une information non individualisée

Dans le cas des tubes orthodontiques collés comme des bagues conventionnelles, les tubes ont une position fixe sur leur support. Certains praticiens ont parfois recours au soudage de tubes sur une base de tube collé ou une bague pour obtenir une position spécifique. En dehors du coût financier et temporel, cette technique reste très opérateur-dépendant.

On a donc avec les attaches molaires conventionnelles la transmission d'une information non individualisée, qui devra être compensée durant le traitement par le praticien, notamment en rajoutant cette information directement sur le fil.

B. Les attaches personnalisées

1. Historique : (39)

GHAFARI et JOSEPH délimitent trois périodes dans le développement de l'orthodontie du 20^e et début du 21^e siècle (40) :

Dans le début des années 1900, des attaches dites « simples » sont utilisées. L'information est créée par le praticien en pliant le fil et celui-ci est inséré dans les brackets.

Dans les années 1970, arrive une période marquée par l'utilisation d'attaches « intelligentes » et le développement de l'orthodontie linguale. Des attaches que l'on appelle aujourd'hui « pré-informées » font leur apparition, réduisant le besoin de pliage durant le traitement. Les mouvements que l'on veut obtenir ne se font plus seulement par déformation du fil, mais aussi en modifiant la géométrie de la gorge de nos attaches.

A la fin des années 1990 l'imagerie tridimensionnelle émerge, via l'introduction des scanners intra-oraux associée à l'utilisation de programmes de simulation virtuelle de traitement.

Cette innovation sera couplée à l'apparition de la CFAO et l'évolution des techniques de fabrication, telle que la fabrication additive ou impression 3D, qui ouvre le champ des possibilités quant à la personnalisation de nos outils de traitement.

Le concept de personnalisation en orthodontie n'est pas récent. On peut citer à titre d'exemple le développement dans le début des années 90 de systèmes d'orthodontie linguale dont les ancrages molaires ressemblent assez fortement au design des bagues molaires personnalisées (41).

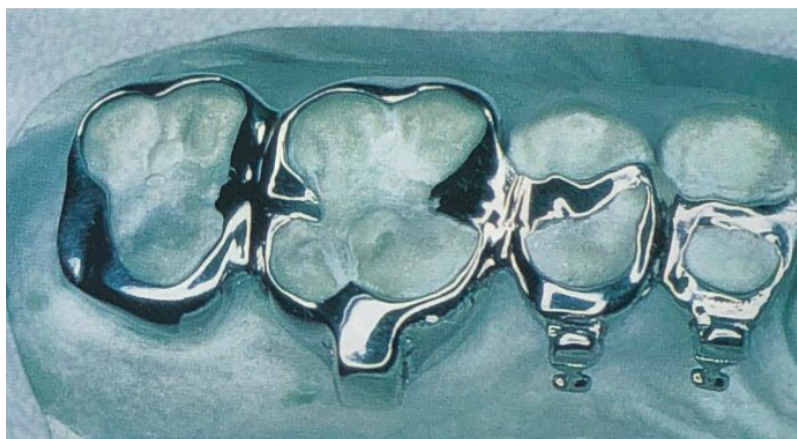


Figure 13: Attaches personnalisées coulées dans le cadre de traitements linguals complexes (1993) (16)

Ces attaches étaient réalisées par le technicien en technique de cire coulée et s'intégraient dans le cadre d'appareillages complexes d'orthodontie linguale (**figure 13**).



Figure 14: Les attaches précédentes, au stade de cire avant coulée (41)



Figure 15: L'appareillage lingual dans son ensemble, sur plâtre après coulée et polissage (41)

Le concept d'attaches personnalisées a de façon générale évolué avec le développement de l'orthodontie linguale. Contrairement aux attaches standards, qui ont des bases en treillis standardisées, ont été introduites des bases spécifiquement adaptées à la surface linguale des dents. Elles sont souvent plus larges que celles des attaches traditionnelles, recouvrant une part importante de la surface linguale, ce qui rajoute un facteur d'adhésion. Les surfaces de bases générées sont suffisamment larges pour obtenir une bonne force d'adhésion et une bonne propriété d'adaptation anatomique (42). Le positionnement du bracket en lui-même sur la base est également personnalisé, allant dans le sens d'une meilleure efficacité de traitement par la transmission d'une information plus individualisée.

Cette personnalisation de nos outils thérapeutiques s'est fortement accentuée avec l'arrivée du numérique. Il a cependant été plus lent à se développer que dans d'autres domaines en raison de la petite taille relative du marché orthodontique. Les premiers produits à impacter le marché orthodontique digital ont été les aligneurs et les modèles d'étude numériques (10). Le processus de scan, qui élimine le besoin d'empreinte, peut prendre 5 à 15 minutes, dépendant de l'opérateur. La durée de l'acquisition et la précision de ces outils ne cesse d'évoluer.

Figure 16: Modèle numérique maxillaire sur son socle numérique (Cabinet du docteur LE GALL, Aubagne, France)



Le scan intra-oral va offrir au praticien une solution ergonomique : les données peuvent être envoyées immédiatement au laboratoire orthodontique, où les techniciens impriment un modèle pour construire un appareillage, voire impriment directement l'appareillage. L'évolution tend à atteindre un « digital workflow » : réaliser une chaîne numérique complète à partir d'un scan intra-oral.

Le développement de l'orthodontie linguale a également participé à celui de la fabrication additive en orthodontie. En effet, dans la technique linguale INCOGNITO™, après scan et conception assistée par ordinateur, les brackets sont créés en cire par prototypage rapide. Une technique de cire perdue permet ensuite de transformer les attaches en or (42).

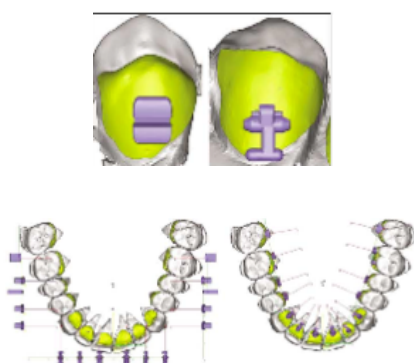


Figure 17: Conception assistée par ordinateur des attaches personnalisées INCOGNITO™ (INCOGNITO™, 3M™, USA)

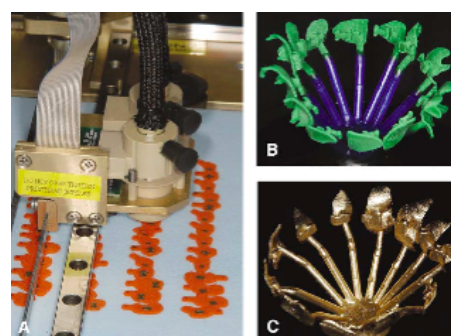


Figure 18: Impression des attaches en cire et transformation en or par technique de cire perdue (INCOGNITO™, 3M™, USA)

Les techniques d'impression ont ensuite continué d'évoluer. Au lieu d'imprimer de la cire qui sera ensuite coulée en attache, les nouvelles techniques d'impression 3D métallique permettent d'imprimer directement les bagues.

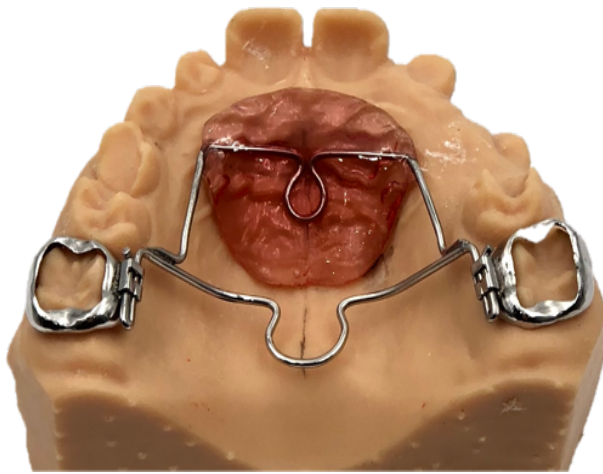


Figure 19: Arc de NANCE sur attaches molaires personnalisées imprimées. Les fourreaux linguaux ont ici été rajoutés dans un second temps par soudure (laboratoire ORTHOMOOV, Eguilles, France)

Des laboratoires proposant des bagues imprimées personnalisées se développent actuellement. Cependant la plupart d'entre eux doit réaliser ces attaches en deux étapes. En effet, après réalisation d'un modèle numérique et impression de la bague, les tubes et autres éléments que l'on désire à sa surface doivent être soudés dans un second temps. Avec les techniques actuelles, cet ajout sera le plus souvent réalisé par soudage laser.

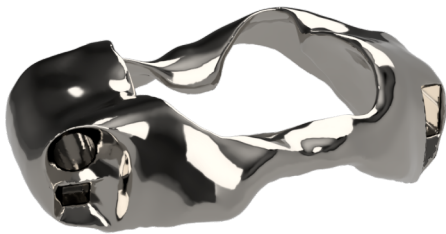


Figure 20: Bague molaire personnalisée imprimée ORTHOMOOV (Eguilles, France)

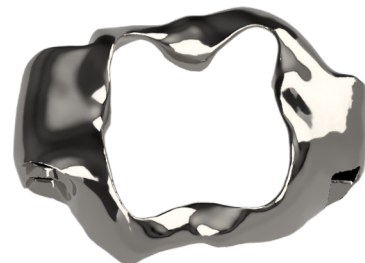


Figure 21: Bague molaire personnalisée imprimée ORTHOMOOV (Eguilles, France)

Le laboratoire ORTHOMOOV propose cependant l'impression dans un même temps de la base de la bague et des tubes et autres accessoires. Cette technologie brevetée comporte un certain nombre d'avantages qui seront décrits dans la partie III.

2. Description : (43)

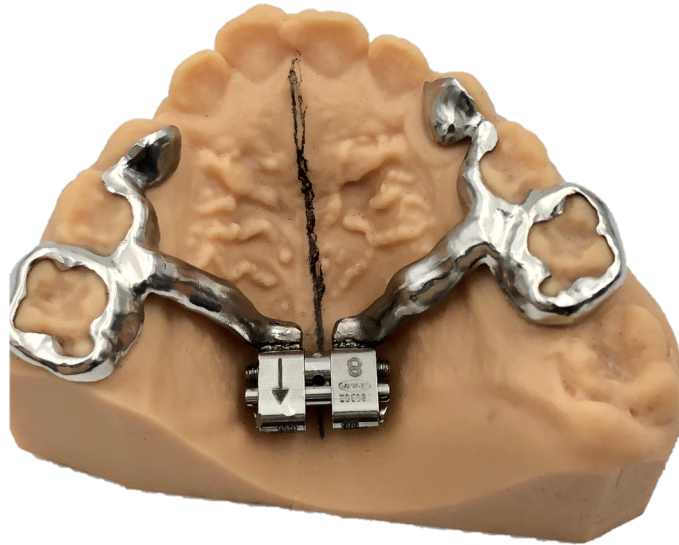


Figure 22: Disjoncteur anatomique avec appuis molaires par bagues personnalisées imprimées

Bien qu'étant identiquement des bandes de métal entourant les dents, les bagues personnalisées imprimées présentent de nombreuses différences :

Au lieu d'avoir une forme arrondie régulière, la bague personnalisée suit la morphologie de la dent pour laquelle elle a été conçue, avec un léger espace calculé pour laisser de la place au matériau d'assemblage.

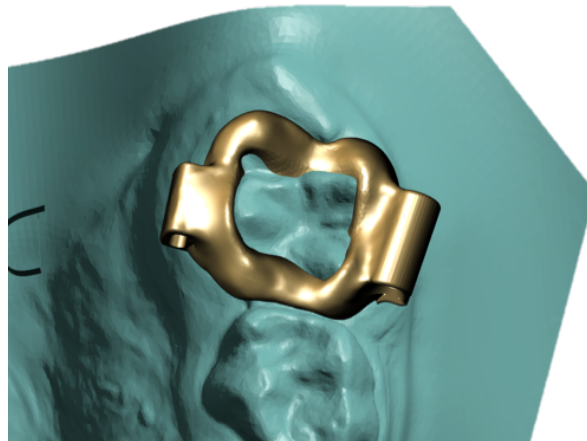


Figure 23: Conception Assistée par Ordinateur d'une bague imprimée personnalisée ORTHOMOOV (Eguilles, France)

- Les bagues personnalisées ne rentrent pas dans les espaces interdentaires, le scan ne pouvant de toute façon pas les enregistrer. Ceci permet d'éviter une séance de pose

de séparateurs préalable à l'essayage des bagues tout en limitant l'inconfort du patient.

- L'intrados de la bague personnalisée est souvent plus rugueux que la bague conventionnelle pour en majorer la rétention. L'état de surface post-impression, brut, est en effet souvent laissé volontairement tel quel.
- La bague personnalisée présente des retours occlusaux plus ou moins importants et s'interposant ou non au niveau des points de contact occlusaux, selon la prescription du praticien. Il faut cependant noter qu'on ne pourra les enlever complètement car ils sont nécessaires à la stabilité ainsi qu'à la rétention de l'attache.



Figure 24: Bague personnalisée imprimée ORTHOMMOV en vue mésiale
(Laboratoire ORTHOMOOV, Eguilles, France)

- Les tubes, qu'ils soient vestibulaires ou linguaux, ont une position, une angulation et des informations propres au plan de traitement prévu. La zone de transition, dans le cas de bagues dont les tubes sont imprimés avec celle-ci, est lisse et continue. Une forme en entonnoir ou chanfrein à l'entrée mésiale du tube facilite l'insertion du fil dans celui-ci par le praticien.
- Les accessoires, au travers de la Conception Assistée par Ordinateur, ont une position optimisée sur la surface de la bague.

Il peut aussi être utile d'avoir une partie produite plus fine au niveau de la bague molaire pour avoir une « sortie de secours ». Dans le cas où la bague est difficile à déposer, il sera plus simple de la découper à cet endroit spécifiquement prévu. La dépose sera facilitée, et pourra être complétée par l'utilisation un arrache couronne dans les cas les plus complexes. On retrouve sur certains modèles une encoche en vue gingivale de la bague, au niveau du tube le plus souvent, permettant de faciliter sa dépose.

3. Mise en place :

La mise en place des bagues personnalisées sur les molaires est similaire à celle d'une bague conventionnelle au niveau du matériau que l'on placera dans l'intrados. La différence se fera cependant au niveau de la pression exercée pour insérer l'attache. La bague personnalisée ne pénètre pas dans les espaces interdentaires, on exercera donc une pression moindre.

4. Procédés de fabrication : L'impression 3D métallique (7)

De nos jours, l'émergence de nouvelles technologies telles que la fabrication additive offre des perspectives innovantes, en complexifiant les formes et en répondant à de nouvelles exigences, comme les produits personnalisés qui nous intéressent.

a) Définition

La fabrication additive, également appelée impression 3D, regroupe l'ensemble des procédés permettant de fabriquer, couche après couche et par ajout de matière, un objet à partir de logiciels de conception assistée par ordinateur (CAO) (44). Cette définition correspond à la norme NF E67-001 pour définir l'expression fabrication additive, éditée par le comité Européen UNM 920. On peut également retrouver dans la littérature les noms de prototypage rapide, fabrication par ajout de matière.

Sans outillage ni moule, la fabrication additive donne une grande liberté géométrique pour imaginer des formes complexes, sur-mesure si nécessaire. Elle permet de réaliser certaines formes impossibles à usiner ou à mouler. Cette technologie récente, utilisée dans l'aérospatial, la défense ou encore l'art a particulièrement trouvé ses applications en dentisterie. Les avancées de l'imagerie tridimensionnelle, de l'empreinte optique et de la CFAO de façon générale, une fois mise en relation avec la fabrication additive permettent la production de divers appareillages (45).

Actuellement, le marché des matériaux d'impression 3D a une portée importante et est encore en pleine croissance. Il est prévu qu'en 2021, le marché des matériaux 3D atteigne une valeur d'1,4 milliard de dollars. (46). Le rapport annuel « *Wohlers Report 2018* » du cabinet américain Wohlers Associates, référence sur le marché de la fabrication additive depuis plus de 23 ans, met l'accent sur la fabrication additive métal avec une hausse de 80 % des solutions vendues en 2017. L'industrie globale de la fabrication additive a d'ailleurs connu une hausse globale de 21 % en 2017. (47).

L'idée clé de cette méthode est le fait de segmenter le modèle que l'on souhaite fabriquer, de façon numérique, en fines couches dont l'épaisseur correspondra à la machine-outil, donc l'imprimante, utilisée. L'équipement utilise alors ces données pour fabriquer le produit de façon séquentielle, couche par couche (45).

Un modèle numérique (fichier STL) est donc nécessaire pour le prototypage rapide. Celui-ci sera réalisé à l'aide d'un traitement du fichier par un logiciel qui va le segmenter en tranches. Chacune de ces tranches représente une couche d'impression et sera donc adaptée au dispositif de fabrication additive. Ce logiciel se chargera également d'ajouter les supports pour éviter l'effondrement de la pièce à imprimer si la technologie utilisée le nécessite, ainsi que la mise à l'échelle des dimensions dans le cas d'une technique dont le post-traitement provoque une rétractation de la pièce.

S'en suit le processus d'impression proprement dit. Ceci nécessite le choix du ou des matériaux pour permettre d'atteindre les propriétés requises de qualité (granulosité de la pièce, solidité, résistance aux agressions physiques ou chimiques spécifiques, ...), d'industrialisation (temps d'impression, étapes nécessaires, post-traitement, ...) et bien sûr de coût (appareillage, matériaux). La dernière étape est un ou plusieurs processus de finition, spécifiques à la technique utilisée. En d'autres termes, la FAO permet d'associer à une géométrie CAO des données techniques liées à son processus de fabrication afin d'obtenir un modèle CAO enrichi (25).

La fabrication additive présente de nombreux avantages par rapport à la fabrication soustractive (45). En effet, l'usinage présente des limitations par rapport à l'impression 3D tout en imposant une importante perte de matériau de fabrication, ceux étant fraisés ne pouvant que rarement être recyclés. Les outils de fraisage utilisés en méthode soustractive sont soumis à une abrasion et une usure importante, ce qui diminue leur durée de vie.

La fabrication additive a au fil des années atteint une résolution extrêmement haute, d'environ 80 µm d'épaisseur par couche en technique SLS (*SPro230 HS, 3D System*) (48).

b) La fabrication sur lit de poudre métallique : SLS/SLM (Selective Laser Sintering/Selective Laser Melting) (48)

L'impression sur lit de poudre se divise en deux techniques selon que les particules de la poudre soient assemblées par frittage (SLS, Selective Laser Sintering ou Frittage de Poudre par Laser) ou fusion (SLM, Sélective Laser Melting ou Fusion de Poudre par Laser).

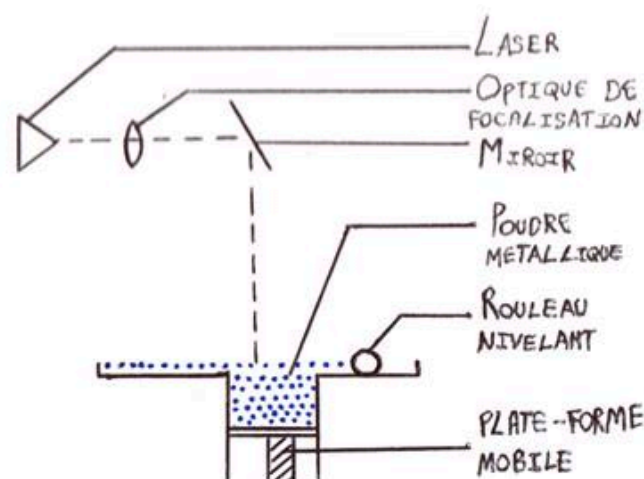


Figure 25: Schéma général de la fabrication additive sur lit de poudre

(1) Technique SLM (Selective Laser Melting) ou fusion de poudre par laser

i. Origine

Cette invention du procédé de fusion sélective a d'abord été appliqué aux poudres polymères en 1992 (49). Il a ensuite été appliqué aux poudres métalliques en 1995 à l'institut Fraunhofer de Aachen (Allemagne). Realizer GmbH a sorti la première machine SLM en 1999.

ii. Principe

Un matériau sous forme de poudre d'une granulométrie inférieure à 50 µm est disposé dans un bac de l'imprimante 3D et est étalé par un racleur en lit d'une épaisseur variable de 30 à 50 µm.

Une source d'énergie, en général un faisceau laser YAG à fibre optique, d'une puissance pouvant atteindre 1 KW selon les matériaux, vient faire fusionner les grains de poudre sélectionnés mathématiquement par logiciel pour former couche après couche une structure solide.

On parle ici de fusion car la température pouvant atteindre 2000 °C, fait fondre la couche de poudre supérieure mais aussi une ou plusieurs des couches inférieures, créant ainsi localement un liquide qui se solidifie très rapidement. En général la fusion s'effectue sous atmosphère de gaz neutre pour éviter l'oxydation et l'inflammation des matériaux.

Alors que le frittage à l'état solide peut être réalisé pour la plupart des matériaux entre 0,5-1 fois la température de fusion, la fusion sélective au laser SLM et la fusion EBM (Electron Beam Melting) utilisent une énergie intense pour chauffer la poudre au-delà de la température de fusion, pour complètement fusionner les particules en une structure consolidée de pleine densité.

iii. Matériaux

Actuellement, la fusion sélective par laser ne peut être utilisée qu'avec certains métaux comme l'acier inoxydable, le titane, le chrome cobalt ou encore l'aluminium. En pratique, la fusion est plus simple si toute la poudre a un seul point de fusion, et est donc plus facilement réalisée avec des métaux purs qu'avec des alliages en raison de la variation du comportement du flux liquide, de la tension superficielle et des interactions laser. Par conséquent, la gamme de matériaux pour SLM est plus limitée que pour la SLS.

A l'origine, cette technologie était plutôt orientée sur la réalisation de prototypes compte tenu des temps de fabrication relativement longs et des coûts significatifs. Néanmoins, l'évolution des outils informatiques pour la définition des modèles 3D et le pilotage de l'outil de production permettent aujourd'hui d'élargir le champ d'application (50).

De plus, l'amélioration des sources énergétiques (laser, faisceau d'électron) a permis d'améliorer la vitesse de réalisation des pièces ainsi que leur précision. Ces outils de production s'orientent donc vers une fabrication fiable de petites et moyennes séries de pièces à part entière. Ceci offre de grandes perspectives, tant du point de vue de la complexité des formes géométriques générées que de la diversité des matériaux pouvant être traités

iv. Inconvénients

La fusion sélective par laser est un processus à très haute énergie, car chaque couche de poudre de métal doit être chauffée au-dessus du point de fusion du métal. Les gradients de température élevés qui se produisent pendant la fabrication du SLM peuvent donc entraîner des contraintes et des dislocations à l'intérieur du produit final, ce qui peut compromettre ses propriétés physiques.

La poudre non fusionnée entourant la pièce en cours de fabrication ne peut la maintenir en position stable ainsi, pour éviter les risques de déformations, des supports doivent être fabriqués en même temps que la pièce. Ceux-ci, tout en maintenant correctement la pièce, jouent également un rôle de dissipateur thermique mais imposent des opérations de finition supplémentaire de la pièce et donc des surcoûts.

Cette technologie impose la manipulation de poudre métallique potentiellement nocives pour la santé humaine. Un dérivé de cette technique existe, mise au point par le suédois Arcam dans les années 2000. Appelée EBM pour Electron Beam Melting, ce procédé s'apparente à la technique SLM mais utilise un faisceau d'électron au lieu d'un rayonnement laser classique pour faire fondre la poudre de métal.

(2) [Technique SLS \(Selective Laser Sintering\) ou Frittage de Poudre par Laser \(51\)](#)

i. Origine

Cette technologie dite de Frittage Sélectif par Laser a été développée par le Dr. Carl Deckard, et brevetée chez DTM Corporation (actuellement 3D Systems) à Austin, USA. Elle permet, tout comme la technique SLM, d'imprimer des objets fonctionnels sans avoir recours à un liant intermédiaire ou à une éventuelle étape d'assemblage.

ii. Principe

Ici aussi le laser (haute puissance, généralement CO₂) scanne la surface de la poudre (épaisseur de l'ordre de 0,1 mm) avec un motif 2D spécifique. Cette poudre est d'ailleurs préchauffée à une température légèrement inférieure ou égale à la température de fusion. Cependant en technique SLS il le fait pour fritter, et non fusionner, en chauffant au-delà de la température de transition vitreuse.

Durant le frittage, la diffusion moléculaire le long de la surface la plus externe de la particule conduit à la formation du col entre les particules voisines. Les particules fusionnent mécaniquement sans pour autant fondre totalement, pour créer une pièce solide. Après la création d'une couche, le piston contenant le produit s'abaisse et une nouvelle couche de poudre est étalée sur la surface. La couche suivante est formée et est liée à la couche précédente. Une fois la pièce terminée, la poudre non liée et perdue est enlevée et traitée thermiquement pour atteindre sa pleine densité.

Une structure de support temporaire n'est pas nécessaire, contrairement à la technique SLA puisque les particules solides non liées supportent toutes les structures en porte-à-faux. Puisque le frittage n'entraîne pas la fusion complète de la particule de poudre, la porosité entre les particules d'origine peut être préservée, et une large variété de matériaux purs et de mélanges de matériaux peut être traitée.

La résolution est déterminée par la taille des particules utilisées, le diamètre du rayonnement laser et le transfert de chaleur dans le lit de poudre. La limite de taille des particules est de 10μ en raison d'une mauvaise diffusion et d'un frittage trop rapide, provoquant des imprécisions de bord. Une fois la couche fabriquée par le laser, la plateforme descend, une nouvelle fine couche de poudre est répartie uniformément à la surface. Une haute résolution peut être obtenue, de l'ordre de 60μ . Aucun matériau support n'est nécessaire tant que la structure imprimée est portée par la poudre environnante.

c) Technique de projection de liant MBJ (Metal Binder Jetting):

(1) Principe

Cette technique, basée sur le dépôt de liant et la consolidation par chauffage, s'effectue en trois étapes (52).

Pour la première, l'imprimante projette couche après couche de façon sélective, sur un lit de poudre métallique préalablement étalée, du liant dans les zones où la pièce doit être fabriquée. Ce liant permet d'agglomérer les particules métalliques qui constitueront la pièce finale sans les faire fondre. La projection est faite par des têtes d'impression à la façon d'une imprimante à jet d'encre. Ce liant peut être déposé par des têtes multiples. Ce processus d'impression s'effectuant à température ambiante et sans processus thermique, il n'est pas nécessaire de réaliser simultanément des supports pour la pièce qui peut ainsi être uniquement maintenue par les forces de cohésion de la poudre.

Une fois toutes les couches réalisées, une étape d'étuvage permet la consolidation du liant en donnant à la pièce une résistance suffisante pour leur manipulation.

L'étape finale consiste à consolider la pièce en lui faisant subir un cycle thermique sous atmosphère contrôlée. La température est maintenue en dessous du point de fusion du

constituant de base du matériau, pour éliminer dans un premier temps le liant (déliantage) puis fritter la pièce pour lui conférer sa densité et ses propriétés mécaniques finale.

(2) Inconvénients

L'opération de frittage induit une rétractation poly-directionnelle d'environ 20% ce qui impose une vraie maîtrise du procédé. La difficulté à contrôler les tolérances des pièces augmente avec leur taille. Plus la pièce est volumineuse, plus il sera délicat de maintenir des tolérances serrées sur la pièce. Aujourd'hui le processus est bien maîtrisé pour des composants dont la dimension principale est inférieure à 100 mm, ou de quelques centaines de grammes.

d) *Fabrication additive non métallique :*

Lorsque les bagues et appareillages ne sont pas directement imprimés en métal, les moules (on parle dans ce cas d'outillage rapide) ou modèles dentaires nécessaires à leur réalisation peuvent être eux-mêmes imprimés en résine.

Seront ici de façon succincte présentées les principales techniques permettant d'obtenir ces produits :

(1) Le dépôt de matière fondue (FDM pour Fused Deposition Modelling ou FFF pour Fused Filament Fabrication)

Il s'agit d'une technique d'extrusion. Un filament plastique est entraîné et fondu (environ 200°C) par la tête d'impression (extrudeur) de l'imprimante et déposé couche par couche sur la plateforme d'impression pour créer l'objet voulu. L'épaisseur d'une couche d'une imprimante FDM varie entre 0,05 mm et 0,3 mm. La qualité des produits est cependant moindre par rapport aux autres types d'impression.

Il faut cependant noter que cette technique, jusqu'ici réservée aux plastiques, pourrait s'ouvrir à l'impression du métal grâce aux recherches de l'Ifam. On retrouve dans les prototypes une partie extrusion avec un filament mêlant 45% de plastique à 55% de métal sur une imprimante de bureau. Le plastique est ensuite retiré par traitement thermique (procédé similaire à la technique MIM) (53).

(2) Stéréolithographie (54)

Cette technique est largement utilisée dans les laboratoires ODF pratiquant l'impression de modèles. Une résine liquide photosensible est polymérisée de manière précise grâce à un laser ou projecteur UV, formant ainsi directement l'objet 3D dans le bac de l'imprimante contenant la résine. Cette photopolymérisation est réalisée par le passage couche par couche du rayonnement sur la résine photosensible.

Une fois la fabrication terminée, un passage dans un four UV est généralement nécessaire pour finaliser le processus de photopolymérisation et accroître la résistance mécanique de l'objet final.

Une technique dérivée existe, appelée la technologie DLP (Digital Light Processing). Le principe de polymérisation par faisceau lumineux est similaire à la technique SLA classique, la différence étant que la source lumineuse diffère (DLP).

III. Comparaison bagues conventionnelles/imprimées

A. Critères de comparaison sur l'ergonomie du cabinet

1. Comparaison du nombre de séances de soins dans le cadre d'un traitement orthodontique par appareillage supporté par bagues molaires

a) *Protocole le plus commun*

Dans tous les cas la prise en charge du patient commence par le bilan orthodontique. Le praticien réalise un examen clinique complet, associé à des clichés photographiques et radiologiques. L'ensemble, pour permettre une bonne analyse du cas, sera complété par la prise d'empreintes, pouvant être numériques ou physiques. Le diagnostic sera posé et le plan de traitement établi. Prenons l'exemple d'un appareillage supporté par des attaches molaires, tel que le disjoncteur.

Séances cliniques dans le cas d'attaches conventionnelles

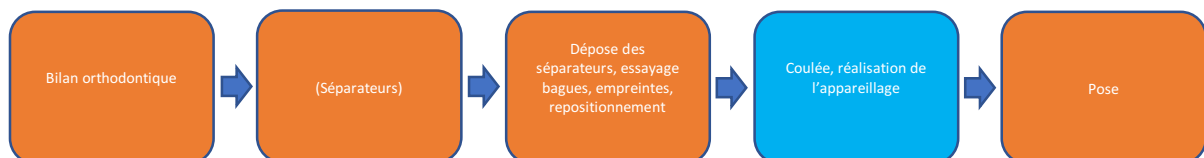


Figure 26: Chronologie classique des étapes cliniques et de laboratoire dans le cadre d'un appareillage supporté par bagues molaires conventionnelles

Le processus le plus courant de réalisation d'un appareillage supporté par bagues molaires est représenté ci-dessus. Pour donner suite au bilan orthodontique, une éventuelle séance peut être prévue selon les habitudes pour pose de séparateurs. Ceux-ci permettent de légèrement diminuer l'intensité des points de contacts interdentaires au niveau des dents à appareiller pour faciliter la seconde séance, durant laquelle ils devront être déposés. Vient ensuite l'essai des bagues. Une fois les bagues adéquates sélectionnées, une empreinte est réalisée. Les bagues sont ensuite déposées et réinsérées dans l'empreinte.



Figure 28: Empreinte physique à l'alginate d'une arcade avec bagues positionnées en bouche (Cabinet du docteur LE GALL, Aubagne, France)



Figure 27: Repositionnement manuel des attaches conventionnelles dans l'empreinte (Cabinet du docteur LE GALL, Aubagne, France)

Après transport au laboratoire, les empreintes sont coulées et l'appareil est réalisé. Une fois renvoyé au lieu de pratique, l'appareil est posé.

Dans le processus le plus classique, 2 à 3 séances cliniques après le bilan orthodontique sont nécessaires pour réaliser et poser l'appareil.

b) Variante : Empreinte numérique avec bagues scellées en bouche

On pourrait se poser la question d'une réalisation de l'appareil à partir d'une empreinte numérique avec les bagues conventionnelles déjà scellées en bouche. Ceci permettrait d'éviter leur dépose pour l'envoi au laboratoire, ainsi que le recours à un coursier pour acheminer les empreintes au laboratoire.

Le fichier numérique correspondant à l'appareillage désiré, dans sa version numérique, serait utilisé sans bagues par le laboratoire. Il serait ensuite adapté aux fourreaux des bagues conventionnelles déjà présentes en bouche par un procédé de matching numérique. Ce procédé n'existe cependant pas aujourd'hui, il n'y a aucun moyen technologique actuel le permettant. Ceci pourrait constituer une des voies à explorer pour proposer de nouveaux procédés de réalisation clinique aux praticiens comme aux laboratoires.

c) Variante : Empreinte sans bagues en place et choix de la bague conventionnelle par le laboratoire

L'empreinte serait donc dans cette variante envoyée au prothésiste, permettant d'éviter un essai clinique.

Que l'empreinte soit physique ou numérique, les espaces interdentaires ne sont pas enregistrés par celle-ci. Le prothésiste devra donc meuler le modèle au niveau des espaces proximaux des molaires support, et estimer une taille de bague (souvent volontairement surévaluée) pour réaliser l'appareillage.

Ce type de procédé permet d'éviter l'éventuelle séance de séparateurs, et la séance d'essai et empreinte dans le cadre d'une acquisition numérique, mais cela au prix d'une perte de précision importante dans la conception de l'appareillage.



Figure 29: Modèle imprimé meulé pour l'adaptation de bagues conventionnelles (ORTHOMOOV, Eguilles, France)



Figure 30: Modèle en plâtre meulé pour l'adaptation de bagues conventionnelles (ORTHOMOOV, Eguilles, France)

Dans le cas d'attaches personnalisées imprimées



Figure 31: Chronologie classique des séances dans le cas d'un appareillage supporté par bagues personnalisées imprimées

Les bagues personnalisées imprimées ne pénètrent pas dans les espaces interdentaires au-delà du point de contact, ce qui rend leur réalisation parfaitement compatible avec un enregistrement intra-oral numérique. Les fichiers des empreintes numériques réalisées lors du bilan orthodontique sont directement envoyés au laboratoire qui imprimera les bagues et l'appareillage, ou alors imprimera un modèle et les bagues avant de réaliser son appareillage de façon conventionnelle.

La première séance clinique en dehors du bilan orthodontique sera donc directement la pose de l'appareillage. On gagne une à deux séances cliniques par rapport au processus classique.

Le simple fait de pouvoir faire ces appareillages à partir d'empreintes numériques apporte de nombreux avantages : (55)

- La plupart des patients constatent un meilleur confort avec les empreintes numériques, même si certaines études aboutissent à des conclusions opposées (55). On peut cependant considérer qu'avec la diminution du temps de prise d'empreinte au fil de l'évolution des caméras, associé au fait de ne plus avoir à poudrer, l'expérience du patient devrait s'améliorer. Les coûts et temps de transport sont réduits. Les empreintes physiques doivent être stockées dans le cabinet, retrouvées durant ou après le traitement orthodontique. Les modèles en plâtre sont de plus sujets à la fracture.
- Certains scanners peuvent réaliser en une prise le scan, les photographies couleurs, l'enregistrement dynamique en vidéo HD. Ceci permettrait de remplacer non seulement les empreintes, mais aussi les photographies intra-buccales. Après empreinte, les modèles sont immédiatement disponibles pour analyse et réutilisable autant qu'on le souhaite.
- L'empreinte numérique trouve aussi son utilité dans la prise en charge des patients anxieux, porteurs fentes labio-alvéolo-palatines (risque de projection du matériau d'empreinte, porte-empreinte inadapté), et des patients appareillés en multi-attaches. Aujourd'hui le temps de prise d'empreinte en numérique est inférieur à celui utilisé pour une empreinte PVS double mélange mais plus long que pour une empreinte alginate (55). Les modèles numériques permettent un partage simple avec les fabricants d'appareillages, les confrères, spécialistes dentaires et médicaux, et le patient.

Un scan imprécis peut être amélioré en scannant de nouveau une partie spécifique de l’empreinte. Ceci permet d’éviter, comme c’est le cas dans une empreinte conventionnelle, de devoir recommencer entièrement l’empreinte. L’amélioration des empreintes physiques n’est évidemment pas réalisable.

L’empreinte classique chimico-manuelle est de plus une manipulation longue nécessitant une certaine technicité et expérience. Elle est souvent représentée par son caractère agressif vis à vis du patient, imprécis, non reproductible, fragile et non conservable (25).

Les praticiens ne possédant pas l’équipement nécessaire à l’acquisition numérique peuvent réaliser une empreinte conventionnelle physique, sans bagues en place, et l’envoyer au laboratoire. Celle-ci sera numérisée à l’aide d’un « *desktop scanner* » et la suite du processus reste identique.

2. Comparaison du nombre de séances de soins dans le cadre d’un traitement orthodontique fixe

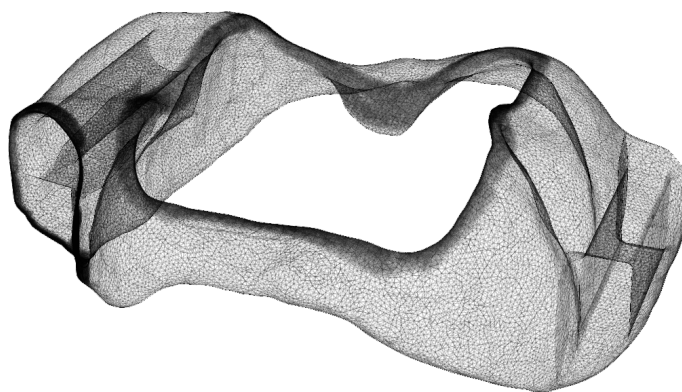


Figure 32: Conception assistée par ordinateur d’une bague personnalisée imprimée (ORTHOMOOV, Equilles, France)

Dans le cas d’un traitement orthodontique fixe, utiliser des bagues imprimées personnalisées n’apportera aucun gain en termes de nombre de séance par rapport aux attaches molaires conventionnelles. En effet, ces dernières sont immédiatement disponibles dans le stock du praticien. Les changements apportés à notre pratique en cas de passage des attaches conventionnelles aux attaches personnalisées dans le cas d’un traitement orthodontique fixe se fera sur les autres caractéristiques cliniques et techniques.

3. Diminution de la durée des séances de soins, du nombre de séances d'urgences

Malgré cela, ces séances sont relativement longues et assez pénibles pour le praticien comme le patient.

Les bagues imprimées personnalisées, n'ayant qu'un seul axe d'insertion et une bonne adaptation à l'anatomie des dents supports, seront facilement positionnées lors de leur scellement. La surface occlusale de la dent support étant en parfaite correspondance avec l'intrados de la bague (avec un espace aménagé pour le matériau d'assemblage), le positionnement de la bague serait limité dans les trois ordres, avec une bonne reproductibilité.

Par ailleurs, leur adhésion à la dent serait majorée par rapport aux attaches conventionnelles. On peut donc supposer un nombre inférieur voire nul de séances d'urgence dues au décollement d'une attache. De nouvelles études cliniques sont nécessaires pour confirmer ces affirmations.

4. Absence de stock sur le lieu de travail

Chaque bague personnalisée est adaptée à la dent support, commandée et reçue pour chaque patient. Il n'y a donc pas de besoin d'immobiliser un stock de bagues dans le lieu de travail, comme c'est le cas pour les attaches conventionnelles. Pour ces dernières cela implique une immobilisation d'une partie de l'espace de travail de praticien, ainsi que de capitaux. L'inconvénient, notamment dans le cadre d'un traitement orthodontique fixe, est l'absence de disponibilité immédiate de l'attache, qui peut même dans certaines situations particulières nécessiter de programmer une séance supplémentaire.

5. Une gestion des urgences facilitée

Etant donné la présence d'une seule possibilité de positionnement et d'un seul axe d'insertion, la prise en charge des urgences de type décollement est facilitée. En effet, le repositionnement de l'attache dans sa position initiale sera donc plus simple et rapide que dans le cadre d'une attache conventionnelle.

6. Une image moderne de notre pratique

Ce type d'outil thérapeutique étant aujourd'hui encore peu développé, le fait de montrer au patient un appareillage ou du moins des attaches personnalisées, obtenus à partir d'une empreinte numérique et de l'impression 3D peut contribuer à montrer que l'équipe du cabinet continue de se former aux dernières technologies.

B. Confort du patient et hygiène

1. Une surface de contact et une adaptation laissant un minimum de hiatus

L'adaptation optimisée à l'anatomie dentaire de la bague personnalisée permet de minimiser la présence de hiatus entre la bague et l'organe dentaire. Ces espaces sont en effet source de rétention de plaque pouvant entraîner le développement d'une maladie carieuse.

2. Moins d'aspérités

Le design des bagues personnalisées donne un résultat avec moins d'aspérités que les bagues conventionnelles. La surface est lisse, arrondie, adaptée à l'anatomie.

Un avantage donné par la nouvelle génération de bagues personnalisées imprimées où les tubes et accessoires sont également imprimés en une fois donne des transitions lisses, ce qui optimisera le confort du patient et facilitera l'hygiène.

La non-pénétration de la bague personnalisée imprimée dans les espaces interdentaires facilite également l'hygiène par un accès plus aisé à cette zone.

3. Un état de surface brut rugueux, puis post-traité

L'évolution des techniques de fabrication, et notamment les procédés Metal Binder Jetting, permettent, avec l'aide de post-traitements, l'obtention d'un état de surface qui semble comparable à celui des bagues conventionnelles.



Figure 33: A gauche, des bagues directement après impression en technique MBJ, et à droite en technique SLS (Laboratoire ORTHOMOOV, Eguelles, France)

La technique actuellement utilisée pour l'impression des bagues personnalisée est principalement le SLS. On note un état de surface post-impression dans tous les cas trop rugueux pour une utilisation clinique directe. Un des points positifs de la technique MBJ est que l'état de surface brut après impression est déjà plus lisse qu'en technique SLS.

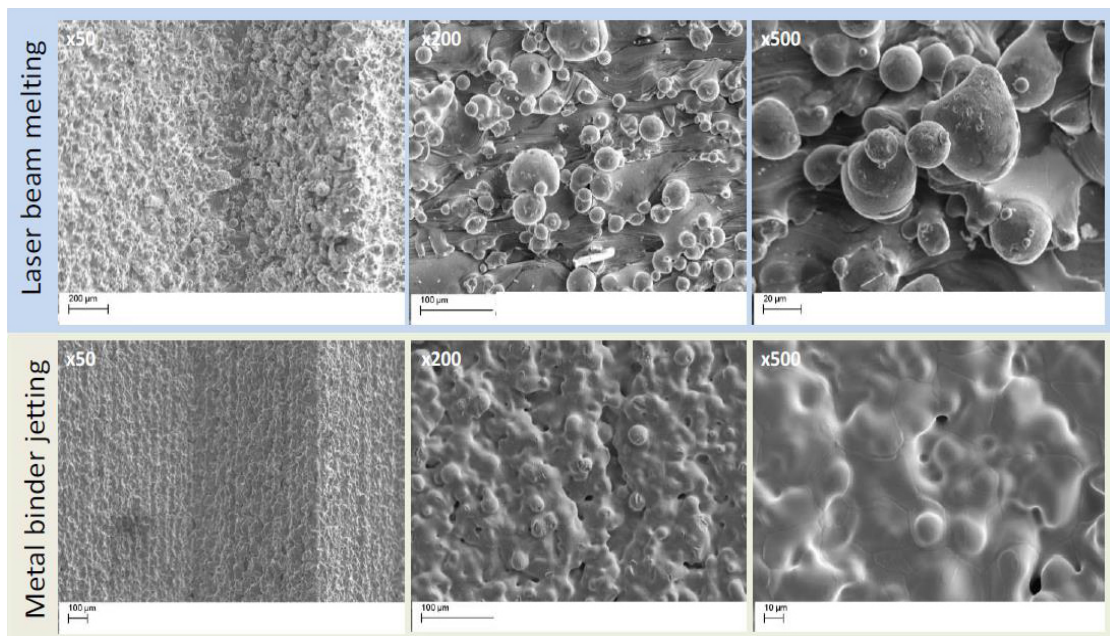


Figure 34: Vue en microscopie à balayage de l'état de surface brut post-impression des éléments créés par technique Laser Beam Melting (variante de la SLS) et MBJ (Laboratoire ORTHOMOOV, Eguelles, France en partenariat avec le CETIM ou centre technique des industries mécaniques)

États de surfaces

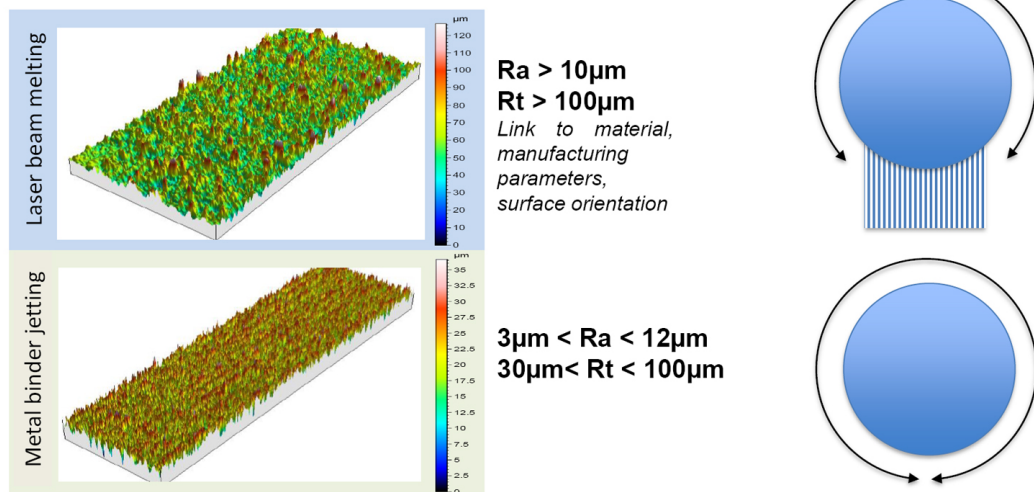


Figure 35: Scan de surface et mesure des rugosités surfaciques sur des éléments imprimés en technique Laser Beam Melting et Metal Binder Jetting (machine de métrologie optique 3D de surface de haute résolution). On constate la rugosité majorée dans le cas de bagues imprimées par Laser Beam Melting.

(R_a et R_t représentent des valeurs de rugosités mesurées)

Les paramètres utilisés ont été les suivants :

- Zoom : X20
- Résolution verticale : 40μ
- Résolution horizontale : 2μ
- (Laboratoire ORTHOMOOV, Eguilles, France en partenariat avec le CETIM)

On a donc un état de surface rugueux en sortie d'impression, même si les études en cours montrent une tendance à l'amélioration et l'homogénéisation de la microstructure des éléments avec le développement de nouvelles techniques comme le MBJ.

Dans tous les cas, la bague imprimée devra être post-traitée pour atteindre un état de surface similaire aux bagues conventionnelles. Celui-ci comprendra le plus souvent un sablage et un polissage mécanique de la pièce. Les procédés de post-traitement sont variables entre les laboratoires et surtout en évolution constante.

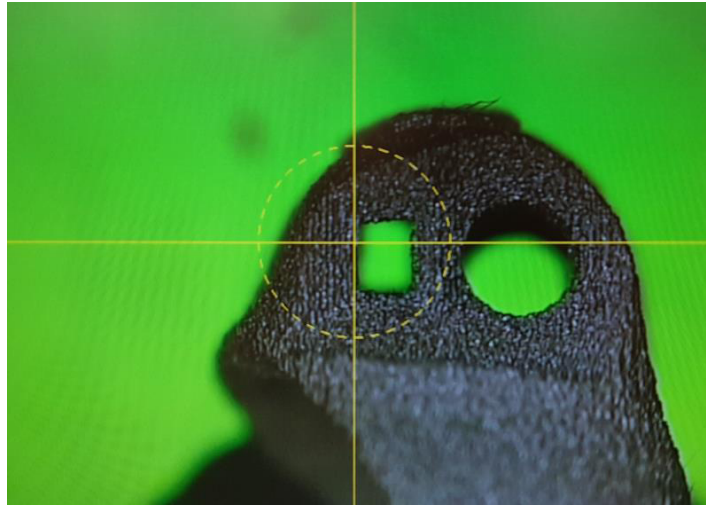


Figure 36: Vue frontale des tubes de bagues personnalisées imprimées en technique SLM (Machine de projection de profil TESA Visio300, grossissement X10)

(Laboratoire ORTHOMOOV, Eguilles, France en partenariat avec le CETIM)

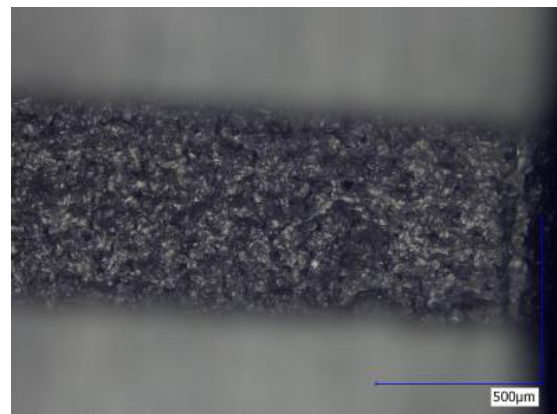
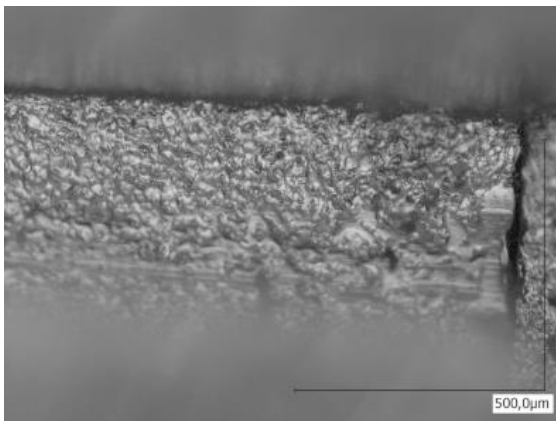


Figure 37: Etat de surface de l'intérieur des tubes de bague réalisée par technique MIM (à gauche) et en technique MBJ (à droite) (microscopie optique, grossissement x100)

(Laboratoire ORTHOMOOV, Eguilles, France en partenariat avec le CETIM)

Pour ce qui est de l'intrados, en contact avec l'organe dentaire, laisser un état brut d'impression ou moins post-traité que l'extrados permettrait de majorer la rétention micromécanique des bagues.

C. Précision du positionnement / du traitement

La bague personnalisée ne présente qu'une seule position possible sur la dent et est stable dans celle-ci. Elle suit en effet les bombés vestibulaires et linguaux de la dent et s'insère dans

les reliefs occlusaux, présentant le minimum d'interférences et prématurités occlusales (dans le cas d'une prescription sans surélévation).

On peut donc supposer un positionnement de la base de la bague précis et reproductible. Un ensemble d'études est en cours, dans le cadre du mémoire de spécialité correspondant à ce travail, pour évaluer la différence de positionnement dans les trois sens de l'espace d'une bague conventionnelle entre l'essayage de la bague et sa pose. Ceci sera comparé avec les bagues personnalisées, pour lesquelles seront comparé la position de la bague dans la simulation sur ordinateur et sa position effective en bouche.

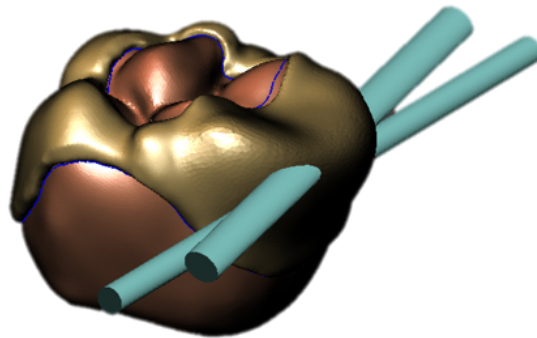


Figure 38: (Capture d'écran découpée) Conception assistée par ordinateur des bagues personnalisées imprimées: étape du choix de l'axe des tubes (ORTHOMOOV, Equilles, France)

Ce type de bague permet également de majorer la précision du traitement dans le sens où la position et l'angulation du tube seront adaptées au plan de traitement, avec des informations anticipant le mouvement désiré dans les trois ordres (par exemple prévoir les mésiorotations des molaires maxillaires lors des traitements par extraction mono maxillaires dans les classes II thérapeutiques).

Le design pourra donc aussi s'adapter aux dents qui ont des atypies morphologiques, que ce soit une dysmorphie coronaire rendant l'adaptation d'une bague conventionnelle difficile, ou une atypie d'orientation radulaire qui sera rattrapé par l'orientation du tube dans les trois ordres.

D. Décollement et dépose, résistance à l'arrachement

Le décollement peut survenir au niveau de l'une des trois interfaces entre la dent et l'attache : Entre l'attache et le matériau d'assemblage, dans le matériau d'assemblage lui-même, entre le matériau d'assemblage et la dent. La plupart des décollages semblent être entre l'attache et la résine ou entre la résine et la dent (12).

Le succès d'un appareillage orthodontique fixe dépend en partie des attachements métalliques (brackets et bagues) collés sur les dents pour qu'ils ne se détachent pas durant le

traitement. L'échec des brackets, des tubes sur bagues ou collés ralentissent la progression du traitement. Cela peut être couteux en termes de temps clinique, de matériaux et de temps d'éducation du patient (31).

Une perte de la bague et son repositionnement induirait donc moins de perte d'information. On peut donc supposer que suite au recollement d'une bague personnalisée imprimée durant un traitement orthodontique fixe en arc acier, diminuer la section ou revenir à un arc en Nickel-Titane si la dent ne s'est pas déplacée serait peut-être moins souvent nécessaire.

Une des raisons des échecs des attachements molaires est une mauvaise adaptation de la base du tube à la surface dentaire (11). Les bagues imprimées personnalisées, étant adaptées à l'anatomie, présentent une épaisseur uniforme du joint de matériau d'assemblage, ce qui va en faveur d'une majoration de la rétention.

E. Interférence occlusale

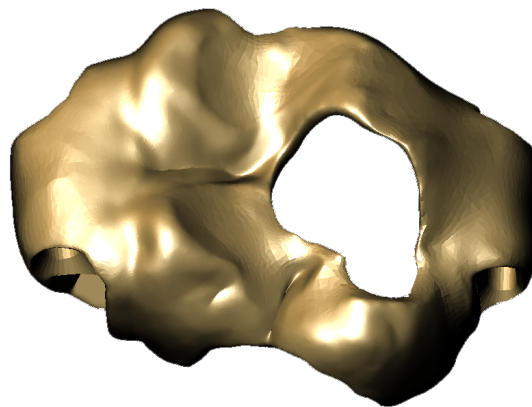


Figure 39: Conception Assistée par Ordinateur (CAO) d'une bague personnalisée imprimée ORTHOMOOV avec un recouvrement majoré de la surface occlusale (ORTHOMOOV, Equilles, France)

Une des particularités des bagues personnalisées imprimées, qui selon leur situation peut représenter un défaut, est la création de prématurités et interférences occlusales.

Les retours occlusaux sont nécessaires à leur rétention et leur stabilité. Même si lors de la Conception Assistée par Ordinateur (CAO), ils sont placés de façon à interférer au minimum avec l'occlusion, les déplacements dentaires au cours du traitement engendreront souvent un contact au niveau de ces éléments de la bague. On notera cependant que ces retours occlusaux ne semblent représenter le plus souvent qu'une gêne dans les premières semaines de traitement.

Il est possible au contraire de réaliser une prescription de bagues avec des retours occlusaux volontairement épais, voire une surface occlusale entièrement recouverte. Ceci peut représenter une alternative aux cales de surélévation molaires dans les traitements le

nécessitant. Le design de la bague peut d'ailleurs intégrer des zones de faiblesse imprimées dans une épaisseur moins importante pour faciliter leur dépose.

IV. Conclusion

Le « *custom lab work* » est un des nouveaux enjeux dans le développement de l'orthodontie moderne (55). On passe progressivement d'un processus traditionnel entièrement physique à une chaîne numérique (« *digital workflow* ») dont les étapes aboutissant à la pose de l'appareillage sont entièrement numérisées (56). Ceci donne de plus une image novatrice au cabinet, de dynamique en montrant les investissements réalisés. Les patients apprécient de pouvoir suivre la réalisation sous leur yeux (55).

Les bagues personnalisées imprimées en sont un parfait exemple. Leurs caractéristiques permettraient de palier les défauts des attaches conventionnelles tout en apportant de nouveaux avantages cliniques. Le fait de pouvoir totalement intégrer ses éléments dans une chaîne numérique complète représente de plus un avantage ergonomique majeur.

L'évolution de la fabrication additive n'est pas prête de s'arrêter ; en effet la technologie actuelle mono-matériau semble vouloir évoluer vers une technologie 4D particulièrement prometteuse, associant l'impression 3D de matériaux possédant diverses propriétés physiques pouvant ainsi (entre autres) dynamiquement modifier leur structure 3D au contact d'un liquide comme l'eau. (57). Il nous revient de valider ces nouveaux outils et de suivre l'apparition de leurs évolutions à venir.

V. Tables des illustrations

FIGURE 1: TUBE ORTHODONTIQUE COLLE (TUBES VICTORY SERIES, 3M ORTHODONTICS, USA)	2
FIGURE 2: TUBE SEUL, AU SENS STRICT, QUE L'ON POURRA SOUDER A UNE BAGUE POUR EN FAIRE UNE BAGUE ORTHODONTIQUE OU A UNE BASE A COLLER POUR EN FAIRE UN TUBE ORTHODONTIQUE. (MODELE DE HABERN ORTHODONTICS™, USA)	2
FIGURE 3: BAGUE ORTHODONTIQUE CONVENTIONNELLE (BAGUES VICTORY SERIES, 3M ORTHODONTICS, USA)	3
FIGURE 4: TUBE ORTHO-CAST M-SERIES, DENTAURUM, FRANCE, AVEC DOUBLE TUBE	3
FIGURE 5: EXEMPLE D'UNE BAGUE ORTHODONTIQUE PREFORMEE DE LA MARQUE RMO (ROCKY MOUNTAIN ORTHODONTICS, DENVER, COLORADO, 1962).....	4
FIGURE 6: TUBE ORTHODONTIQUE COLLE IFIT, AMERICAN ORTHODONTICS, USA	5
FIGURE 7: LES DIFFERENTS DESIGNS DE RETENTION DE L'INTRADOS DES BASES DE TUBES COLLES (12).....	6
FIGURE 8: VICTORY SERIES (3M ORTHODONTICS, USA) (17)	8
FIGURE 9: DB ORTHODONTICS, UK (16).....	8
FIGURE 10: BAGUE PRESENTANT DU COTE LINGUAL UN CLIT, ET DU COTE VESTIBULAIRE UN TUBE PRINCIPAL, UN TUBE A FEO ET UN CROCHET (18)	11
FIGURE 11: SCHEMA D'UN SYSTEME CLASSIQUE DE FONDERIE. LE METAL EN FUSION INJECTE A L'AIDE DU PISTON DANS LE MOULE. LES EXCES ET GAZ SONT EVACUES A L'AIDE DES EJECTEURS	12
FIGURE 12: SCHEMA DECRIVANT LE PROCESSUS MIM.....	13
FIGURE 13: ATTACHES PERSONNALISEES COULEES DANS LE CADRE DE TRAITEMENTS LINGUALS COMPLEXES (1993) (16).....	18
FIGURE 14: LES ATTACHES PRECEDENTES, AU STADE DE CIRE AVANT COULE (41)	19
FIGURE 15: L'APPAREILLAGE LINGUAL DANS SON ENSEMBLE, SUR PLATRE APRES COULEE ET POLISSAGE (41)	19
FIGURE 16: MODELE NUMERIQUE MAXILLAIRE SUR SON SOCLE NUMERIQUE (CABINET DU DOCTEUR LE GALL, AUBAGNE, FRANCE). 20	
FIGURE 17: CONCEPTION ASSISTEE PAR ORDINATEUR DES ATTACHES PERSONNALISEES INCOGNITO™ (INCOGNITO™, 3M™, USA).....	20
FIGURE 18: IMPRESSION DES ATTACHES EN CIRE ET TRANSFORMATION EN OR PAR TECHNIQUE DE CIRE PERDUE (INCOGNITO™, 3M™, USA)	20
FIGURE 19: ARC DE NANCE SUR ATTACHES MOLAIRES PERSONNALISEES IMPRIMEES. LES FOURREAUX LINGUAUX ONT ICI ETE RAJOUTES DANS UN SECOND TEMPS PAR SOUDURE (LABORATOIRE ORTHOMOOV, EGUILLES, FRANCE).....	21
FIGURE 20: BAGUE MOLAIRE PERSONNALISEE IMPRIMEE ORTHOMOOV (EGUILLES, FRANCE)	21
FIGURE 21: BAGUE MOLAIRE PERSONNALISEE IMPRIMEE ORTHOMOOV (EGUILLES, FRANCE)	21
FIGURE 22: DISONCTEUR ANATOMIQUE AVEC APPUIS MOLAIRES PAR BAGUES PERSONNALISEES IMPRIMEES	22
FIGURE 23: CONCEPTION ASSISTEE PAR ORDINATEUR D'UNE BAGUE IMPRIMEE PERSONNALISEE ORTHOMOOV (EGUILLES, FRANCE)	22
FIGURE 24: BAGUE PERSONNALISEE IMPRIMEE ORTHOMOOV EN VUE MESIALE.....	23
FIGURE 25: SCHEMA GENERAL DE LA FABRICATION ADDITIVE SUR LIT DE POUDRE	25
FIGURE 26: CHRONOLOGIE CLASSIQUE DES ETAPES CLINIQUES ET DE LABORATOIRE DANS LE CADRE D'UN APPAREILLAGE SUPPORTE PAR BAGUES MOLAIRES CONVENTIONNELLES	30
FIGURE 28: REPOSITIONNEMENT MANUEL DES ATTACHES CONVENTIONNELLES DANS L'EMPREINTE (CABINET DU DOCTEUR LE GALL, AUBAGNE, FRANCE).....	31
FIGURE 27: EMPREINTE PHYSIQUE A L'ALGINATE D'UNE ARCADE AVEC BAGUES POSITIONNEES EN BOUCHE (CABINET DU DOCTEUR LE GALL, AUBAGNE, FRANCE).....	31
FIGURE 29: MODELE IMPRIME MEULE POUR L'ADAPTATION DE BAGUES CONVENTIONNELLES (ORTHOMOOV, EGUILLES, FRANCE) 32	
FIGURE 30: MODELE EN PLATRE MEULE POUR L'ADAPTATION DE BAGUES CONVENTIONNELLES (ORTHOMOOV, EGUILLES, FRANCE)	32
FIGURE 31: CHRONOLOGIE CLASSIQUE DES SEANCES DANS LE CAS D'UN APPAREILLAGE SUPPORTE PAR BAGUES PERSONNALISEES IMPRIMEES.....	33
FIGURE 35: CONCEPTION ASSISTEE PAR ORDINATEUR D'UNE BAGUE PERSONNALISEE IMPRIMEE (ORTHOMOOV, EGUILLES, FRANCE)	34
FIGURE 33: A GAUCHE, DES BAGUES DIRECTEMENT APRES IMPRESSION EN TECHNIQUE MJB, ET A DROITE EN TECHNIQUE SLS (LABORATOIRE ORTHOMOOV, EGUILLES, FRANCE).....	37
FIGURE 34: VUE EN MICROSCOPIE A BALAYAGE DE L'ETAT DE SURFACE BRUT POST-IMPRESSIION DES ELEMENTS CRES PAR TECHNIQUE LASER BEAM MELTING (VARIANTE DE LA SLS) ET MJB (LABORATOIRE ORTHOMOOV, EGUILLES, FRANCE EN PARTENARIAT AVEC LE CETIM OU CENTRE TECHNIQUE DES INDUSTRIES MECANIQUES).....	37
FIGURE 35: SCAN DE SURFACE ET MESURE DES RUGOSITES SURFACIQUES SUR DES ELEMENTS IMPRIMES EN TECHNIQUE LASER BEAM MELTING ET METAL BINDER JETTING (MACHINE DE METROLOGIE OPTIQUE 3D DE SURFACE DE HAUTE RESOLUTION).ON	

CONSTATE LA RUGOSITE MAJOREE DANS LE CAS DE BAGUES IMPRIMEES PAR LASER BEAM MELTING.	38
FIGURE 36: VUE FRONTALE DES TUBES DE BAGUES PERSONNALISEES IMPRIMEES EN TECHNIQUE SLM (MACHINE DE PROJECTION DE PROFIL TESA VISIO300, GROSSISSEMENT X10)	39
FIGURE 37: ETAT DE SURFACE DE L'INTERIEUR DES TUBES DE BAGUE REALISEE PAR TECHNIQUE MIM (A GAUCHE) ET EN TECHNIQUE MBJ (A DROITE) (MICROSCOPIE OPTIQUE, GROSSISSEMENT X100).....	39
FIGURE 38: (CAPTURE D'ECRAN DECOUPEE) CONCEPTION ASSISTEE PAR ORDINATEUR DES BAGUES PERSONNALISEES IMPRIMEES: ETAPE DU CHOIX DE L'AXE DES TUBES (ORTHOMOOV, EGUILLES, FRANCE)	40
FIGURE 39: CONCEPTION ASSISTEE PAR ORDINATEUR (CAO) D'UNE BAGUE PERSONNALISEE IMPRIMEE ORTHOMOOV AVEC UN RECOUVREMENT MAJORE DE LA SURFACE OCCLUSALE (ORTHOMOOV, EGUILLES, FRANCE)	41

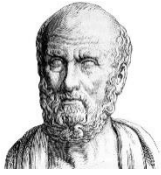
VI. Bibliographie

1. SFODF. Dictionnaire d'orthognathodontie. 3e éd. SFODF; 2015. 251 p
2. Cal-Neto JP e, Quintão CA, Almeida MA de O, Miguel JAM. Bond failure rates with a self-etching primer: a randomized controlled trial. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* juin 2009;135(6):782-6.
3. Jung M-H. Survival analysis of brackets and tubes: A twelve-month assessment. *Angle Orthod.* nov 2014;84(6):1034-40.
4. Petracci E, Farella M, Galeone C, Albano A, Ferraroni M, Decarli A. Survival analysis with clustered observations of orthodontic brackets. *Stat Med.* 10 déc 2009;28(28):3483-91.
5. Cacciafesta V, Sfondrini MF, Scribante A. Plasma arc versus halogen light-curing of adhesive-precoated orthodontic brackets: a 12-month clinical study of bond failures. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* août 2004;126(2):194-9.
6. Hobson RS, McCabe JF, Rugg-Gunn AJ. The relationship between acid-etch patterns and bond survival in vivo. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* mai 2002;121(5):502-9.
7. Eliades T. Orthodontic materials research and applications: part 2. Current status and projected future developments in materials and biocompatibility. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* févr 2007;131(2):253-62.
8. Ricketts R. *The Reappearing American.* Wright; 1993.
9. Histoire de l'orthodontie [Internet]. [cité 24 août 2018]. Disponible sur: <http://sfodf.org/Histoire-de-l-orthodontie>
10. Marcel TJ. Three-dimensional on-screen virtual models. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* juin 2001;119(6):666-8.
11. Sharma T. Expressly Fabricated Molar Tube Bases: Enhanced Adhesion. *J Clin Diagn Res [Internet].* 2014 [cité 23 août 2018]; Disponible sur: http://jcdr.net/article_fulltext.asp?issn=0973-709x&year=2014&volume=8&issue=6&page=ZD16&issn=0973-709x&id=4496
12. Wang WN, Li CH, Chou TH, Wang DDH, Lin LH, Lin CT. Bond strength of various bracket base designs. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* janv 2004;125(1):65-70.
13. Sharma-Sayal SK, Rossouw PE, Kulkarni GV, Titley KC. The influence of orthodontic bracket base design on shear bond strength. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* juill 2003;124(1):74-82.
14. BOILEAU M-J. ORTHODONTIE DE L'ENFANT ET DU JEUNE ADULTE. S.I.: EDUCA BOOKS; 2016.
15. Dr. Khushee S. Orthodontic Band Selection and Placement | University of Toronto Faculty of Dentistry Information and Instructional Technology Services [Internet]. University of Toronto, Faculty of Dentistry. [cité 18 févr 2018]. Disponible sur: <https://iits.dentistry.utoronto.ca/node/747>
16. DB78-LL29.5 - Bague orthodontique pour molaires by DB Orthodontics Limited | MedicalExpo [Internet]. [cité 16 sept 2018]. Disponible sur:

- <http://www.medicalexpo.fr/prod/db-orthodontics-limited/product-71880-807490.html>
17. 3M™ Victory Series™ [Internet]. [cité 16 sept 2018]. Disponible sur: https://www.3mfrance.fr/3M/fr_FR/notre-societe-fr/tous-les-produits-3M/~3M-Victory-Series-/?N=5002385+8707795+8707799+8710666+8711017+8717528+8717902+3290412381&rt=rud
 18. All-Orthodontics - Nos produits - Brackets - Bagues - Tubes [Internet]. [cité 16 sept 2018]. Disponible sur: <http://www.all-ortho.be/fr/bagues.html>
 19. Larousse É. Définitions : fonderie - Dictionnaire de français Larousse [Internet]. [cité 5 sept 2018]. Disponible sur: <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/fonderie/34492>
 20. Zinelis S, Annousaki O, Makou M, Eliades T. Metallurgical characterization of orthodontic brackets produced by Metal Injection Molding (MIM). *Angle Orthod.* nov 2005;75(6):1024-31.
 21. Alavi S, Kachuie M. Assessment of the hardness of different orthodontic wires and brackets produced by metal injection molding and conventional methods. *Dent Res J.* août 2017;14(4):282-7.
 22. Melli V, Rondelli G, Sandrini E, Altomare L, Bolelli G, Bonferroni B, et al. Metal injection molding as enabling technology for the production of metal prosthesis components: Electrochemical and *in vitro* characterization: MIM PRODUCTION OF METAL PROSTHESIS COMPONENTS. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* oct 2013;101(7):1294-301.
 23. Wang G, Zhu S, Li Y, Zhao Y, Zhou K, Huang B. [Study on biocompatibility of MIM 316L stainless steel]. *Sheng Wu Yi Xue Gong Cheng Xue Za Zhi J Biomed Eng Shengwu Yixue Gongchengxue Zazhi.* avr 2007;24(2):329-31.
 24. Larousse É. Définitions : façonnage - Dictionnaire de français Larousse [Internet]. [cité 5 sept 2018]. Disponible sur: <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/fa%C3%A7onnage/32592>
 25. La CFAO dentaire : une vision globale - Article 3Dcelo [Internet]. 3D Celo. 2018 [cité 21 avr 2018]. Disponible sur: <https://www.3dcelo.com/2018/03/12/la-cfao-dentaire-une-vision-globale/>
 26. Buonocore MG. A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *J Dent Res.* déc 1955;34(6):849-53.
 27. Millett DT, Hallgren A, Fornell c A-C, Robertson M. Bonded molar tubes: A retrospective evaluation of clinical performance. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* juin 1999;115(6):667-74.
 28. Almosa N, Zafar H. Incidence of orthodontic brackets detachment during orthodontic treatment: A systematic review. *Pak J Med Sci.* juin 2018;34(3):744-50.
 29. Nazir M, Walsh T, Mandall NA, Matthew S, Fox D. Banding versus bonding of first permanent molars: a multi-centre randomized controlled trial. *J Orthod.* juin 2011;38(2):81-9.
 30. Oeiras VJ, Silva VAAE, Azevedo LA, Lobato VS, Normando D. Survival analysis of banding and bonding molar tubes in adult patients over a 12-month period: a split-mouth randomized clinical trial. *Braz Oral Res.* 22 déc 2016;30(1):e136.
 31. Millett DT, Mandall NA, Mattick RC, Hickman J, Glennly A-M. Adhesives for bonded molar tubes during fixed brace treatment. *Cochrane Oral Health Group*, éditeur.

- Cochrane Database Syst Rev [Internet]. 23 févr 2017 [cité 3 mars 2018]; Disponible sur: <http://doi.wiley.com/10.1002/14651858.CD008236.pub3>
32. Banks P, Macfarlane TV. Bonded versus banded first molar attachments: a randomized controlled clinical trial. *J Orthod*. juin 2007;34(2):128-36; discussion 111-112.
 33. Finnema KJ, Özcan M, Post WJ, Ren Y, Dijkstra PU. In-vitro orthodontic bond strength testing: A systematic review and meta-analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. mai 2010;137(5):615-622.e3.
 34. Flores-Mir C. Bonded molar tubes associated with higher failure rate than molar bands. *Evid Based Dent*. 2011;12(3):84.
 35. Ngom PI, Benoist HM, Soulier-Peigue D, Niang A. [Reciprocal relationships between orthodontics and periodontics: relevance of a synergistic action]. *Orthod Francaise*. mars 2010;81(1):41-58.
 36. Mártha K, Lőrinczi L, Bică C, Gyergyay R, Petcu B, Lazăr L. Assessment of Periodontopathogens in Subgingival Biofilm of Banded and Bonded Molars in Early Phase of Fixed Orthodontic Treatment. *Acta Microbiol Immunol Hung*. mars 2016;63(1):103-13.
 37. Corbacho de Melo MM, Cardoso MG, Faber J, Sobral A. Risk factors for periodontal changes in adult patients with banded second molars during orthodontic treatment. *Angle Orthod*. mars 2012;82(2):224-8.
 38. Zachrisson S, Zachrisson BU. Gingival condition associated with orthodontic treatment. *Angle Orthod*. janv 1972;42(1):26-34.
 39. Al Mortadi N, Eggbeer D, Lewis J, Williams RJ. CAD/CAM/AM applications in the manufacture of dental appliances. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod*. nov 2012;142(5):727-33.
 40. Ghafari JG. Centennial inventory: the changing face of orthodontics. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod*. nov 2015;148(5):732-9.
 41. HAMON DESPECHE C. Prothèse dentaire: Réalisation d'attelles coulées dans les cas complexes d'orthodontie linguale. juin 1993;(80).
 42. Wiechmann D, Rummel V, Thalheim A, Simon J-S, Wiechmann L. Customized brackets and archwires for lingual orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod*. nov 2003;124(5):593-9.
 43. Graf S. Direct printed metal devices - The next level of computer-aided design and computer-aided manufacturing applications in the orthodontic care. *APOS Trends Orthod*. 2017;7(6):253.
 44. Fabrication additive – connaissez-vous la norme française spécifique à cette technologie industrielle innovante? [Internet]. AFNOR Normalisation. 2012 [cité 26 févr 2018]. Disponible sur: <https://normalisation.afnor.org/actualites/fabrication-additive-connaissiez-vous-la-norme-francaise-specifique-a-cette-technologie-industrielle-innovante/>
 45. Recent Trends of 3-D Printing in Dentistry- A review. *Ann Prosthodont Restor Dent*. 20 nov 2016;2(4):101-4.
 46. Les matériaux d'impression: un marché à 1,4Mi de dollars en 2021 [Internet]. 3Dnatives. 2016 [cité 5 sept 2018]. Disponible sur: <https://www.3dnatives.com/materiaux-dimpression-3d-12052016/>

47. Wohlers Report 2018: l'impression 3D métal en plein boom [Internet]. 3Dnatives. 2018 [cité 5 sept 2018]. Disponible sur: <https://www.3dnatives.com/wohlers-report-2018-28032018/>
48. Chia HN, Wu BM. Recent advances in 3D printing of biomaterials. J Biol Eng [Internet]. déc 2015 [cité 27 févr 2018];9(1). Disponible sur: <http://www.jbioleng.org/content/9/1/4>
49. Focus sur la fusion de poudre métallique par laser et ses applications | Archives | Traitements&Matériaux.fr [Internet]. [cité 11 sept 2018]. Disponible sur: <http://traitementsetmatériaux.fr/Archives-article/Fiche/1639/Focus-sur-la-fusion-de-poudre-metallique-par-laser-et-ses-applications>
50. Hur S-M, Kim H-C, Lee S-H. STL File Generation with Data Reduction by the Delaunay Triangulation Method in Reverse Engineering. Int J Adv Manuf Technol. 15 mai 2002;19(9):669-78.
51. Makers E. L'impression BJ, impression par liage de poudre [Internet]. Le blog Euro Makers. 2018 [cité 16 sept 2018]. Disponible sur: <http://blog.euro-makers.com/types-impressions/par-pulverisation-de-matiere/limpression-bj/>
52. Calves P. Metal Binder Jetting: une opportunité pour la production de petits composants complexes en petite et moyenne série. CETIM. juin 2018;(452).
53. L'impression 3D de bureau se met au métal - Impression 3D [Internet]. [cité 10 sept 2018]. Disponible sur: <https://www.usinenouvelle.com/article/l-impression-3d-de-bureau-se-met-au-metal.N604223>
54. FDM ou SLA: quelle technologie d'impression 3D choisir? [Internet]. 3Dnatives. 2018 [cité 10 sept 2018]. Disponible sur: <https://www.3dnatives.com/fdm-ou-sla-technologie-15012018/>
55. Breuning KH, Kau CH. Digital planning and custom orthodontic treatment [Internet]. 2017 [cité 7 avr 2018]. Disponible sur: <http://public.eblib.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=4816183>
56. Taneva E, Kusnoto B, Evans CA. 3D Scanning, Imaging, and Printing in Orthodontics. In: Bourzgui F, éditeur. Issues in Contemporary Orthodontics [Internet]. InTech; 2015 [cité 22 août 2018]. Disponible sur: <http://www.intechopen.com/books/issues-in-contemporary-orthodontics/3d-scanning-imaging-and-printing-in-orthodontics>
57. 4D Printing Technology Project with MIT and Stratasys | Stratasys [Internet]. [cité 5 sept 2018]. Disponible sur: <http://www.stratasys.com/resources/search/education-materials/4d-printing-technology-project-mit>



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.

Admis 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 déshonoré et méprisé de mes confrères si j'y manque.

HAMEURY Erwan – De l’attache molaire conventionnelle à l’introduction du concept d’attache molaire personnalisée imprimée : une revue descriptive et comparative

Th. : Chir. dent. : Marseille : Aix –Marseille Université : 2019

Rubrique de classement : Orthopédie Dento-Faciale

Résumé :

En Orthopédie Dento-Faciale, il existe deux types d’attaches molaires conventionnelles que sont les tubes orthodontiques collés et les bagues orthodontiques scellées. Bien que chacune d’elles présente des caractéristiques spécifiques, elles sont dans tous les cas standardisées. Un nouveau type d’attache molaire est alors proposé : les attaches molaires personnalisées imprimées, issues d’une chaîne numérique de type CFAO. Le but de cette thèse est de présenter les deux types d’attaches conventionnelles mais également ce nouveau type d’attaches molaires personnalisées imprimées afin d’en déduire les bénéfices que ces dernières peuvent apporter.

La première partie décrit les deux types d’attaches molaires conventionnelles. La seconde partie explicite les caractéristiques des attaches personnalisées imprimées. Finalement, la troisième partie compare les attaches molaires conventionnelles aux attaches molaires personnalisées imprimées, d’un point de vue technique mais également clinique.

Mots clés :

Attaches molaires - Fabrication additive - Impression 3D Personnalisées - Bague orthodontique - CFAO

HAMEURY Erwan – From conventional molar attachment to the introduction of the CAD/CAM custom molar attachment concept: a descriptive and comparative review

Abstract:

In Dento-Facial Orthopedics, two types of conventional molar attachments are found, bonded tubes and orthodontic banded tubes. Although each has specific characteristics, they are standardized in all cases. Consequently, a new type of molar tube has been also proposed: computer-aided design and computer-aided manufacturing (CAD/CAM) custom molar attachments, obtained from a CAD CAM digital workflow.

The aim of this thesis is to present the two conventional types of molar attachments, but also to describe the new CAD/CAM customized molar attachments, in order to establish the benefits that the latter may bring.

The first part describes the two types of conventional molar attachments. The second part explains the characteristics of CAD/CAM customized molar attachments. Finally, the third part compares the conventional tubes to the CAD/CAM customized molar attachments, from a technical and clinical point of view.

MeSH:

Molar attachment - Additive manufacturing - 3D printing – Customized - Orthodontic bands - CAD/CAM

Adresse de l’auteur :

65 chemin de la Madonette Terron
06200 NICE