



## AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : [ddoc-thesesexercice-contact@univ-lorraine.fr](mailto:ddoc-thesesexercice-contact@univ-lorraine.fr)

## LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

[http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg\\_droi.php](http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php)

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

**ACADEMIE DE NANCY - METZ  
UNIVERSITE DE LORRAINE  
FACULTE D'ODONTOLOGIE**

ANNEE 2017

N° 10116

**THESE**

pour le

**DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE**

par

**Théo GEORGE**

Né le 30 mai 1992 à Verdun (55)

**Prothèse amovible partielle à infrastructure métallique :  
CFAO ou techniques conventionnelles**

Présentée et soutenue publiquement le 22 décembre 2017

**Examineurs de la thèse :**

Pr. J.M. MARTRETTE	Professeur des Universités	Président
<u>Dr. A.S. VAILLANT</u>	<u>Maître de Conférences des Universités</u>	<u>Co-directrice</u>
<u>Dr. P. HIRTZ</u>	<u>Assistant Hospitalier Universitaire</u>	<u>Directeur</u>
Dr. O. CRAHAY	Docteur en chirurgie dentaire	Juge

Par délibération en date du 11 décembre 1972,  
la Faculté de Chirurgie Dentaire a arrêté que  
les opinions émises dans les dissertations  
qui lui seront présentées  
doivent être considérées comme propres à  
leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner  
aucune approbation ni improbation.

**Président : Professeur Pierre MUTZENHARDT**

**Doyen : Professeur Jean-Marc MARTRETTE**

Vice-Doyens : Dr Céline CLEMENT – Dr Rémy BALTHAZARD – Dr Anne-Sophie VAILLANT

Membres Honoraires : Dr L. BABEL – Pr. S. DURIVAUX – Pr A. FONTAINE – Pr G. JACQUART – Pr D. ROZENCWEIG - Pr ARTIS - Pr M. VIVIER \*

Doyens Honoraires : Pr J. VADOT, Pr J.P. LOUIS

Professeur émérite : Pr M-P FILLEUL

<b>Sous-section 56-01</b> Odontologie pédiatrique	Mme <b>DROZ Dominique</b>	Maître de Conférences *
	Mme JAGER Stéphanie	Maître de Conférences *
	M. PREVOST Jacques	Maître de Conférences
	Mme HERNANDEZ Magali	Maître de Conférences Associée *
	M. LEFAURE Quentin	Assistant
	M. MERCIER Thomas	Assistant *
<b>Sous-section 56-02</b> Orthopédie Dento-Faciale	M. <b>EGLOFF Benoît</b>	Maître de Conférences *
	Mme GREGOIRE Johanne	Assistante
<b>Sous-section 56-03</b> Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie légale	Mme <b>CLEMENT Céline</b>	Maître de Conférences *
	Mme NASREDDINE Greyce	Assistante
	M. BAUDET Alexandre	Assistant *
<b>Sous-section 57-01</b> Parodontologie	M. <b>AMBROSINI Pascal</b>	Professeur des Universités *
	Mme BISSON Catherine	Maître de Conférences *
	M. JOSEPH David	Maître de Conférences *
	M. PENAUD Jacques	Maître de Conférences
	M. LACH Patrick	Assistant
	Mme MAYER-COUPIN Florence	Assistante
	Mme PAOLI Nathalie	Enseignante univ.-Praticien Hospitalier*
<b>Sous-section 57-02</b> Chirurgie Buccale, Pathologie et Thérapeutique, Anesthésiologie et Réanimation	Mme <b>GUILLET-THIBAUT Julie</b>	Maître de Conférences *
	M. BRAVETTI Pierre	Maître de Conférences
	Mme PHULPIN Bérengère	Maître de Conférences *
	M. DELAITRE Bruno	Assistant
	Mme NACHIT Myriam	Assistante
	Mme KICHENBRAND Charlene	Assistante *
<b>Sous-section 57-03</b> Sciences Biologiques (Biochimie, Immunologie, Histologie, Embryologie, génétique, Anatomie pathologique, Bactériologie, Pharmacologie)	M. <b>YASUKAWA Kazutoyo</b>	Maître de Conférences *
	M. MARTRETTE Jean-Marc	Professeur des Universités *
	Mme EGLOFF-JURAS Claire	Assistante*
<b>Sous-section 58-01</b> Odontologie Conservatrice, Endodontie	M. <b>MORTIER Éric</b>	Maître de Conférences *
	M. AMORY Christophe	Maître de Conférences
	M. BALTHAZARD Rémy	Maître de Conférences *
	M. ENGELS-DEUTSCH Marc	Maître de Conférences
	M. VINCENT Marin	Maître de Conférences*
	M. GEVREY Alexis	Assistant
	Mme GEBHARD Cécile	Assistante
	M. GIESS Renaud	Assistant *
<b>Sous-section 58-02</b> Prothèses (Prothèse conjointe, Prothèse adjointe partielle, Prothèse complète, Prothèse maxillo- faciale)	M. <b>DE MARCH Pascal</b>	Maître de Conférences
	M. SCHOUVER Jacques	Maître de Conférences
	Mme VAILLANT Anne-Sophie	Maître de Conférences *
	Mme CORNE Pascale	Maître de Conférences Associée *
	M. GILLET Marc	Assistant
	M. HIRTZ Pierre	Assistant *
	M. KANNENGISSER François	Assistant
	Mme MOEHREL Bethsabée	Assistante*
	M. VUILLAUME Florian	Assistant
<b>Sous-section 58-03</b> Sciences Anatomiques et Physiologiques Occlusodontiques, Biomatériaux, Biophysique, Radiologie	Mme <b>STRAZIELLE Catherine</b>	Professeur des Universités *
	Mme MOBY Vanessa (Stutzmann)	Maître de Conférences *
	M. SALOMON Jean-Pierre	Maître de Conférences
	Mme KARKABA Alaa	Assistante Associée

**Souligné : responsable de la sous-section**

\* temps plein

**Mis à jour le 06/10/2017**

**A notre président de thèse,**

**Monsieur le Professeur Jean-Marc MARTRETTE,**

Docteur en Chirurgie Dentaire

Spécialiste qualifié en Médecine Bucco-Dentaire

Docteur en Sciences Pharmacologiques

Habilité à Diriger des Recherches

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier

Sous-section : Chirurgie orale ; parodontologie ; biologie orale

Doyen de la Faculté d'odontologie de Nancy

*Vous nous faites l'honneur d'accepter la  
présidence de notre jury de thèse. Veuillez  
trouver dans ce travail le témoignage de  
notre admiration et notre profond respect.*

**A notre Co-directrice de thèse,**

**Madame Anne-Sophie VAILLANT,**

Docteur en chirurgie dentaire

Ancien interne En odontologie

Maître de Conférences des Universités—Praticien Hospitalier

Sous-section : Dentisterie restauratrice, endodontie, prothèses, fonction-dysfonction, imagerie, biomatériaux

Vice—Doyen de la Faculté d’Odontologie de Nancy

*Nous vous remercions d’avoir accepté de codiriger notre thèse. Nous sommes reconnaissant pour la sympathie et le soutien que vous avez apporté tout au long de nos études. Veuillez trouver dans ce travail l’expression de notre sincère reconnaissance.*

**A notre directeur de thèse,**

**Monsieur Pierre HIRTZ,**

Docteur en chirurgie dentaire

Assistant Hospitalo-Universitaire

Sous-section : Dentisterie restauratrice, endodontie, prothèses, fonction-dysfonction, imagerie, biomatériaux

*Vous nous avez fait le grand honneur de bien vouloir diriger cette thèse. Nous vous sommes très reconnaissants pour votre disponibilité, votre soutien et votre implication tout au long de sa rédaction. Veuillez trouver ici, l'expression de notre plus profond respect*

**A notre juge,**

**Monsieur Olivier CRAHAY,**

Docteur en chirurgie dentaire

*Nous vous remercions d'avoir accepté de faire partie de notre jury. Que ce travail soit pour vous l'expression de notre profond respect et de toute notre reconnaissance.*

## **Remerciements :**

### **A Mes Parents,**

Sans vous rien n'aurait été possible. Vous avez toujours été là pour moi. Vous m'avez soutenu dans mes choix et enseigné les valeurs qui m'ont permis d'arriver où je suis aujourd'hui. Merci de m'avoir donné la motivation pour atteindre mes objectifs.

### **A Audrey,**

Merci de m'avoir soutenu et supporté durant toute la rédaction de cette thèse. Sans toi, je n'aurais toujours pas fini. Je t'aime.

### **A Tonton,**

Merci de m'avoir donné envie de faire ce métier et pour le soutien pendant ces années d'études.

### **A Mémère et à Ma Famille,**

Vous avez su me soutenir et vous m'avez permis d'avancer et de progresser.

### **A Antoinette et Dominique,**

Merci pour votre soutien et pour votre relecture. Merci d'avoir toujours eu le frigo plein de fromages et une belle réserve de café à chacun de nos passages.

### **A Pierre-Alexandre,**

A toi le futur chirurgien digestif, merci pour ces années de lycées et de m'avoir donné la motivation en PACES et pour la suite.

### **A Jérémie et à Jérôme,**

Merci à vous mes copains de Verdun, pour tous les moments de sport, de bonne humeur et de bonnes bouffes.

**A Rollet,**

Merci à toi et à Dark Rollet, grâce à vous, que de bons souvenirs.

Grace à toi j'aurai pu découvrir la plus belle ville du monde ainsi que leur boisson très anisée. Tu pourras venir voir les champs de bataille autant que tu veux sur Verdun.

**A Bouchard,**

A toi mon gros loulou avec qui j'ai passé de formidables soirées. Ta présence à mes côtés en TP m'a permis d'évoluer très vite à force de corriger tous tes modèles.

**A Alexis P,**

Avec toi mon frère, mon chichi, que ce soit à la salle, en cours ou en soirée, que des bons souvenirs que nous avons partagé. Plein d'autre à venir en Meuse.

**A Paulin,**

Merci pour tout le temps passé à bosser sur des vélos, des voitures ou n'importe quoi sur le balcon au lieu de réviser. Et surtout pour toutes ces soirées.

**A tous mes amis Paul, Mass, Pierre, Grabber, Wiwy, Raph, Martino, Renaud et Wall-E,**

Je vous remercie pour tous les bons moments passés ensemble, en espérant qu'il y en aura encore beaucoup d'autres.

**A Maya**

Merci à toi ma petite bouille pour la compagnie pendant cette rédaction.

**Au Cabinet Dentaire,**

Merci pour votre accueil, votre apprentissage et pour m'avoir donné la possibilité de réaliser ce cas clinique.

**Éric, Pascal et Aurélie,**

Merci pour votre temps consacré à la réalisation de ce cas au laboratoire.

Il ne manque plus qu'un canapé pour que je passe plus de temps avec vous.

## Sommaire

### Introduction

#### 1. Généralités sur la prothèse amovible partielle à infrastructure métallique

##### 1.1. Classifications de Kennedy (1, 10, 48, 58)

##### 1.2. Facteurs d'équilibre

1.2.1. Triade de Housset

1.2.2. Mouvements fondamentaux de Tabet

##### 1.3. Composants principaux d'une PAPIM (5, 24, 29, 30,53,58)

1.3.1. Armature ou connexion principale

1.3.2. Selles

1.3.3. Appuis dentaires principaux

1.3.4. Connexions secondaires

1.3.5. Moyens d'ancrage : les crochets

##### 1.4. Etapes de réalisation des PAPIM en technique conventionnelle

1.4.1. Séquences cliniques

1.4.2. Séquences de laboratoire

#### 2. Le concept de CFAO en prothèse amovible partielle

##### 2.1. Définition et principes généraux (12, 14, 56, 60)

##### 2.2. Méthodes

2.2.1. Numérisation 3D

2.2.2. Conception assistée par ordinateur (7, 17, 35, 36, 42, 60)

2.2.3. Fabrication assistée par ordinateur

##### 2.3. Moyens

2.3.1. Station de travail (26, 60)

2.3.2. Scanner optique (26, 60)

2.3.3. Ordinateur de travail (26, 60)

2.3.4. Spatule numérique (26, 60)

2.3.5. Machines-outils de FAO (60)

2.3.6. Solutions logicielles et matérielles sur le marché

#### 3. Comparaison des techniques d'élaboration des châssis : Illustrations avec un cas clinique

##### 3.1. Conception traditionnelle (5, 29, 30)

3.1.1. Modèle d'étude

- 3.1.2. Etude au paralléliseur
- 3.1.3. Tracé du châssis et préparation du modèle
- 3.1.4. Duplication
- 3.1.5. Fabrication

**3.2. Conception et fabrication assistées par ordinateur**

- 3.2.1. Duplication du maître-modèle par numérisation
- 3.2.2. Modélisation du châssis à l'aide du logiciel inLab<sup>®</sup> Partial Framework
- 3.2.3. Fabrication du châssis

**3.3. Analyse critique des deux techniques de conception (2, 6, 21, 38)**

- 3.3.1. Avantages
- 3.3.2. Inconvénients

**3.4. Perspectives d'avenir**

- 3.4.1. Nouveaux matériaux usinables : exemples du polyétheréthercéthane (15, 28)
- 3.4.2. Chaîne de CFAO semi directe pour l'élaboration des PAPIM (3, 18, 37, 45, 59)

**Conclusions**

## Table des illustrations

Figure 1 : classification de Kennedy (d'après : Dentagama, 2015).....	22
Figure 2 : classe II mod 1 (source : Al-Johany et Andres, 2008).....	23
Figure 3 : Mouvements de Tabet (Begin et Fouilloux, 2004).....	24
Figure 4 : A connexion principale, B taquets, C Crochets, D grilles rétentes, E potence, F Appuis secondaire (source McCracken et coll, 2016).....	25
Figure 5 : simple plaque palatine (source McCracken et coll, 2016) .....	26
Figure 6 : plaque palatine à recouvrement complet (source McCracken et coll, 2016) .....	26
Figure 7 : cadre palatin (source McCracken et coll, 2016) .....	27
Figure 8 : bandeau palatin (source : Begin et Fouilloux, 2004) .....	27
Figure 9 : entretoise palatine (source : Begin et Fouilloux, 2004).....	28
Figure 10 : barre linguale (source McCracken et coll, 2016) .....	28
Figure 11 : bandeau lingual (source : Begin et Fouilloux, 2004).....	29
Figure 12 : bandeau cingulaire (source McCracken et coll, 2016).....	29
Figure 13 : selles métalliques (source : Kaiser, 2012) .....	30
Figure 14 : positionnement du taquet occlusal lors d'un édentement libre (source : Kaiser, 2012) .....	30
Figure 15 : trois éléments constitutifs d'un crochet (source : Kaiser, 2012).....	31
Figure 16 : le bras rétentif d'un crochet, seul le dernier tiers est rétentif (source : Kaiser, 2012) .....	32
Figure 17 : la surface dentaire en contre dépouille et la tige d'analyse définissent, en vue de profil, un angle de convergence (source : Schittly et coll, 2012).....	35
Figure 18 : les différents protocoles de CFAO (source : Normand et Petit, 2015) ....	44
Figure 19 : numérisation par contact : micro-palpeur Procera (source : Deschamp, Fages et Duret, 2016).....	46
Figure 20 : la lumière LASER (source : Deschamp, Fages et Duret, 2016) .....	47
Figure 21 : la lumière standard ou incohérente (source : Deschamp, Fages et Duret, 2016) .....	47
Figure 22 : la mesure optique : le rayonnement émis est réfléchi par les structures enregistrées (source : Deschamp, Fages et Duret, 2016) .....	48
Figure 23 : numérisation par triangulation laser (Source : Cnifpd-Unppd, 2009).....	49
Figure 24 : principe d'un détecteur utilisant la triangulation laser. Deux positions de	

l'objet sont montrées (Source : Cnifpd-Unppd, 2009).....	49
Figure 25 : numérisation d'une empreinte par lumière structurée (Source : Cnifpd-Unppd, 2009).....	50
Figure 26 : principe d'un détecteur utilisant l'holographie conoscopique (Source : Cnifpd-Unppd, 2009) .....	51
Figure 27 : différence entre la numérisation par triangulation et holographie conoscopique (Source : Cnifpd-Unppd, 2009).....	51
Figure 28 : numérisation simultanée de 16 préparations avec le scanner DW de dental Wings (Source : Cnifpd-Unppd, 2009).....	53
Figure 29: nouveau scanner 3D du système Nobel Procera basé sur la technologie d'holographie conoscopique brevetée Optimet (Source : Cnifpd-Unppd, 2009).....	53
Figure 30 : modèle virtuel mandibulaire. La partie la plus postérieure des crêtes est peu enregistrée et devra être complétée par une empreinte secondaire anatomo-fonctionnelle (source : Bonnet et coll, 2016).....	55
Figure 31 : visualisation du futur châssis mandibulaire (source : Bonnet et coll, 2016) .....	55
Figure 32 : impression 3D du modèle physique (source : Bonnet et coll, 2016).....	56
Figure 33 : châssis fabriqué sur son modèle physique avec les selles pour la future empreinte sectorielle de correction (source : Bonnet et coll, 2016) .....	56
Figure 34 : modèle de l'empreinte sectorielle de correction réalisée (source : Bonnet et coll, 2016).....	56
Figure 35 : maitre modèle (source : Taddei, Etienne et Baixe, 2012) .....	58
Figure 36 : maitre modèle numérisé (source : Taddei, Etienne et Baixe, 2012).....	58
Figure 37 : tracé des espaceurs au niveau des crêtes édentées (source : Taddei, Etienne et Baixe, 2012) .....	59
Figure 38 : préparation du modèle virtuel (source : Taddei, Etienne et Baixe, 2012)	59
Figure 39 : tracé de la barre linguale sur le modèle virtuel (source : Taddei, Etienne et Baixe, 2012) .....	60
Figure 40 : éléments du châssis assemblés entre eux (barre linguale, crochets sur les dents, grilles de rétentions) (source : Taddei, Etienne et Baixe, 2012).....	60
Figure 41 : finitions des zones de transitions (source : Taddei, Etienne et Baixe, 2012) .....	60
Figure 42 : maquette imprimée en cire placée sur le maitre modèle (source : Taddei, Etienne et Baixe, 2012) .....	61

Figure 43 : fonctionnement d'une imprimante 3D (Source : Cnifpd-Unppd, 2009) ...	64
Figure 44 : fonctionnement de la micro-fusion de poudre (Source : Cnifpd-Unppd, 2009) .....	65
Figure 45 : un problème du la micro-fusion est l'aspect rugueux de la surface (source : Ohkubu et coll, 2017).....	66
Figure 46 : fonctionnement de la stéréolithographie (Source : Cnifpd-Unppd, 2009)	67
Figure 47 : mouvements possibles des axes d'une usineuse (Source : Cnifpd-Unppd, 2009) .....	68
Figure 48 : la station de travail. Comprenant deux ordinateurs, un scanner optique et une spatule numérique (source : Taddei, Etienne et Baixe, 2012).....	71
Figure 49 : le modèle de travail stabilisé sur une plaquette, allant être positionné sur la rotule de la chambre du scanner (source : Taddei, Etienne et Baixe, 2012).....	71
Figure 50 : spatule numérique (source : Negrel, 2007) .....	72
Figure 51 : le Digiscan (source : Digilea).....	73
Figure 52 : numérisation d'un modèle en plâtre par lumière blanche structuré (source : Digilea) .....	74
Figure 53: reconnaissance de tracé de châssis (source : Digilea).....	75
Figure 54: ajustement du châssis (source : Digilea) .....	75
Figure 55 : numérisation du modèle en plâtre terminé et importation du fichier STL dans le logiciel Digistell ® (source : document personnel) .....	76
Figure 56 : choix de l'axe d'insertion de la prothèse et visualisation de la ligne guide suivant cet axe (source : document personnel) .....	76
Figure 57 : mise de dépouille du modèle et lissage de cette cire au niveau du dernier bras rétentif (source : document personnel) .....	77
Figure 58 : tracé et visualisation des cires d'espacement pour les futures grilles de rétention (source : document personnel) .....	77
Figure 59 : tracé du crochet sur la 23 et visualisation des bras rétentifs et de rétentions de tous les crochets (source : document personnel).....	77
Figure 60 : tracé et visualisation des potences des crochets (source : document personnel).....	78
Figure 61 : tracé d'un taquet occlusal sur la 16 et du dessin de la plaque (source : document personnel).....	78
Figure 62 : visualisation de la plaque et tracé de la ligne d'arrêt puis tracé des limites de la première grille de rétention (source : document personnel).....	78

Figure 63 : choix de l'orientation de la grille de rétention et visualisation du châssis avec les deux grilles de rétentions finies (source : document personnel).....	79
Figure 64 : possibilité d'ajout ou de lissage de la prothèse (source : document personnel).....	79
Figure 65 : visualisation du châssis terminé sur le modèle numérique et seul avant fabrication (source : document personnel).....	79
Figure 66 : enregistrement du châssis au fichier STL (source : document personnel) .....	80
Figure 67 : Prodig ®, Prodig Advanced ® et Prodigstell ® (source : Digilea).....	80
Figure 68 : usinage dans un bloc de cire brut et essayage de cette maquette sur le modèle (source : Digilea).....	81
Figure 69 : système d'acquisition numérique de 3Shape ® et numérisation du modèle de travail (Source : 3Shape).....	82
Figure 70 : visualisation du modèle numérique et des zones de contres dépouilles selon l'axe d'insertion de la prothèse choisi (Source : 3Shape).....	82
Figure 71 : possibilité de positionner virtuellement les futures dents prothétiques puis tracés des limites des grilles de rétention (Source : 3Shape).....	83
Figure 72 : positionnement et choix de l'orientation des grilles de rétention puis tracé des limites de la connexion principale (Source : 3Shape) .....	83
Figure 73 : visualisation de la connexion principale, choix de l'épaisseur, granité puis tracé du bras rétentif du crochet (Source : 3Shape).....	83
Figure 74 : visualisation des crochets, des potences et des taquets occlusaux modélisés (Source : 3Shape) .....	84
Figure 75 : visualisation du châssis modélisée seul et sur le modèle de travail (Source : 3Shape) .....	84
Figure 76 : réalisation d'un bridge de 13 à 23 en CAO et choix de l'axe d'insertion de la future prothèse amovible (source : Sireix, 2016) .....	85
Figure 77 : mise en place des attachement sur le bridge avec axe ayant pour insertion celle de la futur prothese (source : Sireix, 2016).....	85
Figure 78 : Visualisation du bridge et du châssis métallique avec contreplaque sur la 14 sur le modele virtuel et sans le modèle avant FAO (source : Sireix, 2016).....	86
Figure 79 : coulée du modèle (source : document personnel).....	87
Figure 80 : choix de l'axe d'insertion et tracé de la ligne de plus grand contour (source : document personnel).....	88

Figure 81 : comblement des zones de contre dépouilles et mise en place des espacements des grilles (source : document personnel).....	89
Figure 82 : obtention d'un silicone de duplication (source : document personnel)....	89
Figure 83 : coulée de la duplication en matériau de revêtement (source : document personnel).....	90
Figure 84 : fabrication de la maquette du châssis à l'aide des préformes en cire (source : document personnel) .....	91
Figure 85 : maquettage du châssis terminé (source : document personnel) .....	91
Figure 86 : mise en place des tiges de coulées (source : document personnel) .....	93
Figure 87 : mise en cylindre du modèle et de la maquette (source : document personnel).....	93
Figure 88 : suppression de la maquette calcinable au four (source : document personnel).....	94
Figure 89 : coulée du châssis par aspiration, et refroidissement du cylindre (source : document personnel).....	94
Figure 90 : sablage, suppression des tiges de coulées, dégrossissage et ajustage sur le modèle de travail (source : document personnel) .....	95
Figure 91 : isolation des crochets avant passage au bain électrolytique (source : document personnel).....	95
Figure 92 : Insertion du châssis dans le bain électrolytique (source : document personnel).....	96
Figure 93 : fabrication du châssis terminé et mise en place sur son modèle de travail (source : document personnel) .....	96
Figure 94 : logiciel inLab 16.1, préparation pour numérisation d'un modèle maxillaire (source : document personnel) .....	97
Figure 95 : mise en place du modèle en plâtre sur le support (source : document personnel).....	97
Figure 96 : mise en place du support sur le bras rotor du scanner 3D inEos X5 (source : document personnel) .....	98
Figure 97 : numérisation en cours par lumière structurée (source : document personnel).....	98
Figure 98 : numérisation du modèle et suppression des parties inutiles (source : document personnel).....	98

Figure 99 : visualisation du modèle numérisé puis exportation au format STL (source : document personnel).....	99
Figure 100 : visualisation du modèle maxillaire dans le logiciel (source : document personnel).....	99
Figure 101 : visualisation de l'axe d'insertion de la prothèse et des contre dépouilles (source : document personnel).....	100
Figure 102 : mise de dépouille par ajout de cire virtuelle du modèle suivant l'axe d'insertion choisi, et suppression de cire au niveau du dernier tiers rétentif des futurs crochets pour être dans la zone de contre dépouille (source : document personnel) .....	100
Figure 103 : tracé et visualisation des grilles de rétention (source : document personnel).....	100
Figure 104 : tracé et visualisation du bras rétentif et de calage sur la 16 (source : document personnel).....	101
Figure 105 : tracé et visualisation des bras rétentif et de calage (source : document personnel).....	101
Figure 106 : tracé et visualisation de la plaque palatine (source : document personnel).....	101
Figure 107 : tracé des taquets occlusaux et des potences (source : document personnel).....	102
Figure 108 : visualisation d'une potence ajoutée puis de tous les éléments sur le modèle virtuel (source : document personnel).....	102
Figure 109 : visualisation du châssis terminé sur le modèle avant exportation (source : document personnel).....	102
Figure 110 : visualisation du châssis sans le modèle (source : document personnel) .....	103
Figure 111 : création d'une nouvelle plateforme avec le matériel VarseoWax CAD/Cast pour châssis de prothèse adjointe (source : document personnel).....	104
Figure 112 : choix de l'orientation de fabrication et positionnement des supports pour la première maquette (source : document personnel) .....	104
Figure 113 : choix de l'orientation de fabrication et positionnement des supports pour la seconde maquette (source : document personnel).....	104
Figure 114 : positionnement des deux maquettes sur la plaque de fabrication (source : document personnel).....	105

Figure 115 : exportation du fichier de fabrication au format TAR (source : document personnel).....	105
Figure 116 : machine-outil Bego Varseo et visualisation de l'écran de contrôle de fabrication (source : document personnel).....	106
Figure 117 : visualisation de la cartouche contenant les objets imprimés (source : document personnel).....	107
Figure 118 : démontage du support et nettoyage à l'éthanol (source : document personnel).....	107
Figure 119 : séparation des deux maquettes (source : document personnel) .....	108
Figure 120 : visualisation de la maquette dégrossie sur son modèle (source : document personnel).....	108
Figure 121 : visualisation de la maquette imprimée et du châssis fabriqué traditionnellement (source : document personnel).....	109
Figure 122 : préparation de la fabrication à la verticale, et lancement d'impression (source : document personnel).....	109
Figure 123 : obtention du châssis fabriqué verticalement avec ses supports (source : document personnel).....	110
Figure 124 : impression du modèle avec ses supports verticaux en place (source : document personnel).....	110
Figure 125 : visualisation du modèle de travail en plâtre et celui imprimé par stéréolithographie (source : document personnel).....	111
Figure 126 : la pyramide de performance des matériaux thermoplastiques (source : Picart et coll, 2016).....	116
Figure 127 : formule chimique du PEEK (source : Picart et coll, 2016) .....	116
Figure 128 : les différentes méthodes de production de châssis pour prothèse amovible partielle en CFAO (source : Picart et coll, 2016) .....	117
Figure 129 : châssis usiné et découpé dans un disque en PEEK (source : Picart et coll, 2016).....	117
Figure 130 : insertion du châssis en PEEK sur le modèle (source : Picart et coll, 2016) .....	118

## Liste des tableaux

Tableau 1 : les différentes méthodes de production de châssis pour prothèse amovible partielle en CFAO ; en rouge : nécessite deux étapes avec la technique de coulée ; en bleu : une seule étape de fabrication (source : document personnel)....	69
Tableau 2 : résumé comparatif des différents procédés de fabrication : procédés, matériaux, avantages et inconvénients (source : document personnel).....	70
Tableau 3: Durée moyenne (en minutes) de chaque étape en fonction de la technique de conception de châssis employée (source : Baixe et coll, 2010).....	114

## Liste des abréviations

3D : trois dimensionnelle

ASCII : american standard code for information interchange

CAO : conception assistée par ordinateur

CFAO : conception et fabrication assistées par ordinateur

DLP : direct light projection

FAO : fabrication assistée par ordinateur

IGES : initial graphics exchange specification

ISO : image disque

NURBS : non uniform rational basis splines

PAEK : polyaryléthercétone

PAPIM : prothèse amovible partielle à infrastructure métallique

PEEK : polyétheréthercétone

PMMA : polyméthacrylate de méthyle

RP : rapid prototyping

TAR : tape archiver

SLA : stereolithography apparatus

SLM : selective laser melting

STL : stéréolithographie

UV : ultra-violet

## Introduction

La prothèse amovible partielle à infrastructure métallique (PAPIM) est une réhabilitation d'usage amovible ayant pour base un châssis métallique servant de support aux futures dents prothétiques.

Elle a pour but de rétablir les fonctions de l'appareil manducateur telles que la phonation et la mastication ainsi que l'esthétique en compensant les édentements des arcades maxillaires et mandibulaires.

Les techniques de conceptions et de fabrications assistées par ordinateur (CFAO) s'étendent de plus en plus au sein des cabinets dentaires et des laboratoires prothétiques.

L'évolution numérique ainsi que la qualité des matériaux ont permis de réaliser des restaurations prothétiques de plus en plus fiables, tant sur le plan esthétique que sur le plan biomécanique.

Au fil du temps, les techniques de CFAO ont permis de passer de restaurations fixées unitaires aux restaurations complexes de grandes étendues, soit par des techniques additives soit par des techniques soustractives.

Aujourd'hui il est possible de réaliser l'infrastructure métallique de cette prothèse par CFAO.

Nous allons mettre en évidence dans ce travail, les différences entre les techniques dites conventionnelles et les techniques de CFAO pour la réalisation de cette infrastructure métallique.

Nous verrons d'abord quelques généralités sur la prothèse amovible, puis sur le concept de CFAO en prothèse amovible, pour finir par une comparaison des techniques d'élaborations des châssis (méthode conventionnelle et CFAO) illustrée par un cas clinique afin de mettre en évidence les apports de la CFAO sur les techniques conventionnelles.

# 1. Généralités sur la prothèse amovible partielle à infrastructure métallique

## 1.1. Classifications de Kennedy (1, 10, 48, 58)

La classification des édentements nous aide pour communiquer entre professionnels concernant l'état de l'édentement des patients. Elle permet également d'établir des principes de traitement, ainsi que des règles de tracé. Il y aurait 64534 combinaisons d'édentements possibles pour chaque arcade et 32000 possibilités de tracés.

Il existe différentes classifications, la classification de Kennedy (1925) étant la plus utilisée, elle facilite la visualisation du cas et systématise le futur tracé de la prothèse. La classification de Kennedy prend en compte la situation des crêtes édentées par rapport aux dents.

Il existe 4 classes dans cette classification : (Fig 1)

- Classe I de Kennedy : c'est un édentement bilatéral situé à l'arrière des dents naturelles restantes. Il n'y a pas de dents postérieures dans les deux zones édentées.
- Classe II de Kennedy : c'est un édentement unilatéral postérieur libre. Il y a une zone édentée unilatérale située à l'arrière des dents naturelles restantes.
- Classe III de Kennedy : c'est un édentement encastré. Il y a une zone édentée unilatérale avec des dents naturelles à la fois antérieure et postérieure à la zone
- Classe IV de Kennedy : c'est un édentement antérieur. Il y a une zone édentée traversant la ligne médiane située à l'avant des dents naturelles restantes.

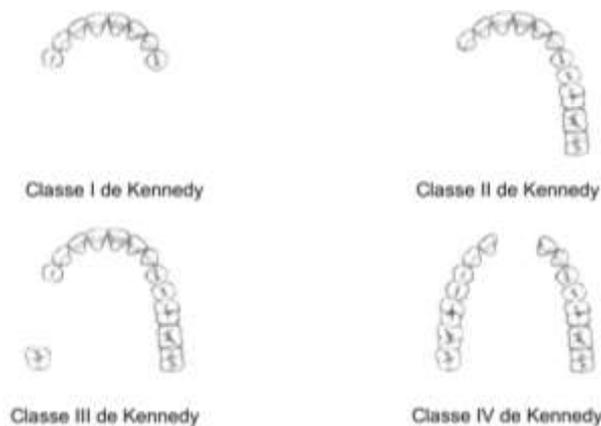


Figure 1 : classification de Kennedy (d'après : Dentagama, 2015)

Des modifications ont été apportées à la classification de Kennedy

Si plusieurs édentements coexistent sur l'arcade, la classe est indiquée par l'édentement le plus postérieur, et la modification correspond au nombre d'édentements encastrés supplémentaires.

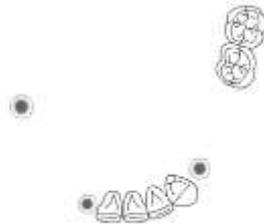


Figure 2 : classe II mod 1 (source : Al-Johany et Andres, 2008)

## 1.2. Facteurs d'équilibre

### 1.2.1. Triade de Housset

La triade de Housset est composée de 3 principes biomécaniques permettant d'assurer l'équilibre de la prothèse amovible. (57)

- La sustentation : elle correspond à l'ensemble des forces qui s'opposent à l'enfoncement de la prothèse dans le sens occluso-cervical dans les tissus de soutien durant la mastication.
- La stabilisation : elle correspond à l'ensemble des forces qui s'opposent aux mouvements de translation ou de rotation de la prothèse dans le plan horizontal.
- La rétention : elle correspond à l'ensemble des forces qui s'opposent à l'éloignement de la prothèse de sa surface d'appui dans le sens cervico-occlusal durant la mastication.

### 1.2.2. Mouvements fondamentaux de Tabet

Lorsqu'une arcade est partiellement édentée, on remarque qu'il y a deux types d'appuis différents, les dents et la fibromuqueuse. Ces deux appuis n'ont pas la même dépressibilités.

D'après Tabet (1961), il existe six mouvements fondamentaux pour une selle prothétique en tension : trois mouvements de translation et trois mouvements de rotation : (5)

- Translation mésiodistale : c'est une translation qui est contrôlée par les dents bordants l'édentement et les appuis dentaires.
- Translation verticale : deux sens possibles de translation verticale.
  - o Vers l'enfoncement de la selle, elle dépend de la dépressibilité de la fibromuqueuse ainsi que les éléments permettant la sustentation de la prothèse au niveau muqueuse et dentaire.
  - o Vers la désinsertion de la prothèse, elle dépend de la rétention de la prothèse grâce aux crochets.
- Translation horizontale : c'est une translation qui est contrôlée par les éléments du châssis, les bras de crochet, les barres à appuis dentaire, les connexions et les selles.
- Rotation verticale : c'est une rotation qui est contrôlée lorsque le polygone de sustentation est assez large.
- Rotation autour de l'axe de la crête : c'est une rotation autour de l'axe de la crête qui est contrôlée grâce aux éléments à appui dentaire du châssis métallique ainsi que par la selle enveloppant la crête.
- Rotation horizontale : c'est une rotation horizontale qui est contrôlée par les éléments de stabilisation du châssis métallique ainsi que par la selle enveloppant la crête.

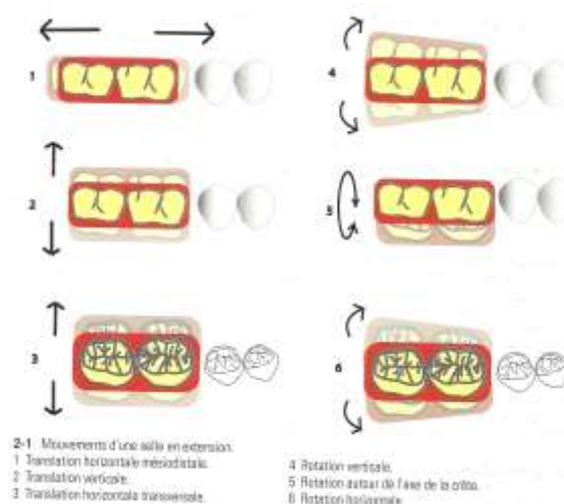
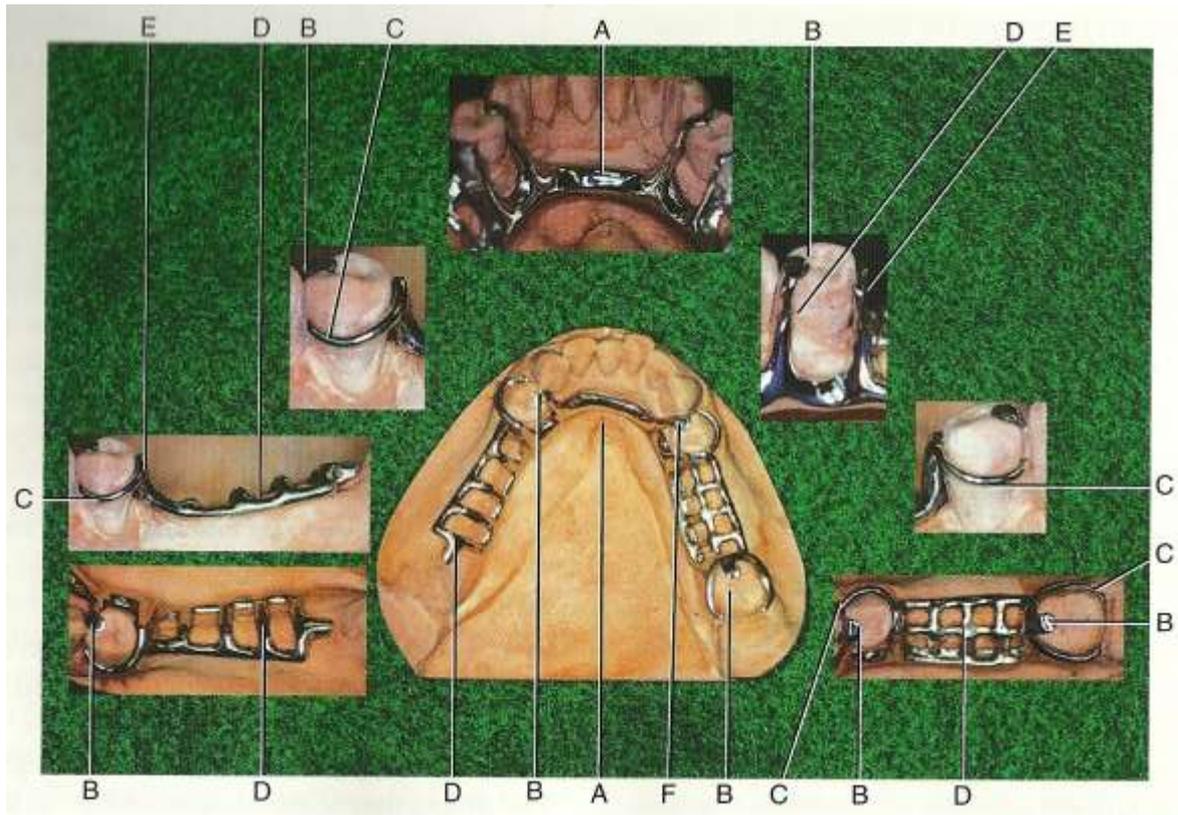


Figure 3 : Mouvements de Tabet (Begin et Fouilloux, 2004)

### 1.3. Composants principaux d'une PAPIM (5, 24, 29, 30,53,58)

Le châssis d'une PAPIM est composé de différents éléments que nous allons détailler ci-dessous.



*Figure 4 : A connexion principale, B taquets, C Crochets, D grilles rétentives, E potence, F Appuis secondaire (source McCracken et coll, 2016)*

#### 1.3.1. Armature ou connexion principale

C'est la base de la prothèse, elle a pour but de rigidifier le châssis, d'assurer un confort au patient ainsi que de respecter les structures d'appuis.

L'armature permet de connecter l'ensemble des composants de la prothèse entre eux, afin de constituer le châssis métallique.

- Connexions principales au maxillaire

La liaison entre les éléments prothétiques au maxillaire peut être assurée par cinq types de connexions principales :

- Simple plaque palatine

C'est la plaque la plus utilisée, elle assure une bonne sustentation. L'étendue et la largeur de la plaque palatine large diffèrent selon les cas.

Utilisée dans les classe I, II et IV de Kennedy.



*Figure 5 : simple plaque palatine (source McCracken et coll, 2016)*

- Plaque palatine à recouvrement complet

C'est une plaque qui recouvre les dents jusqu'au cingulum avec un espace d'un demi millimètre en regard de la gencive marginale, elle permet d'avoir une meilleure sustentation de la prothèse.

Elle est utilisée dans les classes I de fortes étendues et permet de contrer l'axe de rotation de la prothèse.



*Figure 6 : plaque palatine à recouvrement complet (source McCracken et coll, 2016)*

- Cadre palatin

C'est une plaque utilisée lors des édentations de classe 4 de petites étendues, le cadre donne une rigidité à la plaque et permet d'éviter des structures anatomiques telles qu'un torus.



*Figure 7 : cadre palatin (source McCracken et coll, 2016)*

- Bandeau palatin

C'est une plaque ayant un faible encombrement, utilisée dans les classes III de petites étendues.



*Figure 8 : bandeau palatin (source : Begin et Fouilloux, 2004)*

- Entretoise palatine

C'est une plaque peu large, mais beaucoup plus épaisse que les autres, environ 3 mm contre moins de 1 mm pour les autres. Elle est indiquée dans les classes III, et contre indiquée quand le palais est profond.



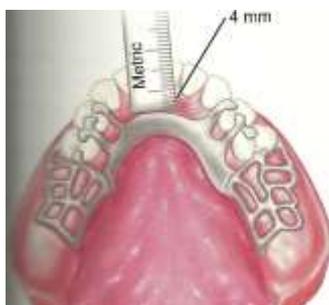
*Figure 9 : entretoise palatine (source : Begin et Fouilloux, 2004)*

- Connexions principales à la mandibule

La liaison des éléments prothétiques à la mandibule peut être assurée par 3 types différents de connexions principales :

- Barre linguale

C'est la plaque la plus utilisée, d'une épaisseur de 2 mm avec une hauteur de 3 mm, elle suit la table interne, située à 1 mm du frein et du plancher lingual et à moins de 4 mm des anneaux gingivaux. Elle est espacée de 0,5 mm de la muqueuse et sa section présente une forme de demi poire.



*Figure 10 : barre linguale (source McCracken et coll, 2016)*

- **Bandeau lingual**

Cette plaque est utilisée lorsque la barre linguale est contre-indiquée, la hauteur de la table interne n'est pas assez haute pour pouvoir l'accepter.

L'espacement en regard de la muqueuse doit être de 0,5 mm.

Elle prend appui en plus sur le cingulum des dents.



*Figure 11 : bandeau lingual (source : Begin et Fouilloux, 2004)*

- **Bandeau cingulaire**

C'est une plaque qui est utilisée lorsque la hauteur entre le plancher de la bouche et la gencive marginale est quasiment inexistante, et que de ce fait la barre linguale ne peut pas être utilisée.

C'est une barre épaisse (jusque 2 mm) s'appuyant uniquement sur le cingulum des dents avec un espacement de 1,5 mm de la gencive marginale et des embrasures dégagées pour faciliter l'hygiène.



*Figure 12 : bandeau cingulaire (source McCracken et coll, 2016)*

### 1.3.2. Selles

Les selles ont pour intérêt de supporter les futures dents artificielles et de combler les espaces édentés. Elles peuvent permettre la transmission de forces masticatoires à la fibromuqueuse. Elles doivent être rétentives à la future résine permettant la liaison avec les dents artificielles, elles correspondent aux grilles métalliques.

Ces grilles métalliques doivent avoir un espace de 0,5 mm avec les tissus gingivaux pour contrer la dépressibilité de la fibromuqueuse.

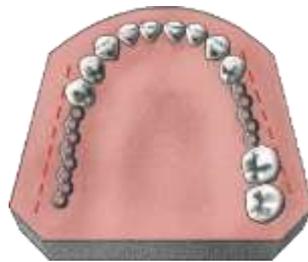


Figure 13 : selles métalliques (source : Kaiser, 2012)

### 1.3.3. Appuis dentaires principaux

Il est nécessaire de trouver le polygone de sustentation dentaire le plus large possible pour avoir la meilleure stabilité de la prothèse.

Un taquet devra être réalisé sur toutes les dents bordant les édentements, les taquets peuvent être positionnés de deux façons différentes :

Le taquet peut être positionné en regard de l'édentement si celui-ci est encastré.

Ou le taquet peut être opposé à l'édentement si cet édentement est libre.



Figure 14 : positionnement du taquet occlusal lors d'un édentement libre (source : Kaiser, 2012)

#### 1.3.4. Connexions secondaires

Ce sont des appuis secondaires permettant d'élargir au maximum le polygone de sustentation pour contrer les axes de rotation.

Ces connexions secondaires peuvent être de différentes formes : des taquets secondaires, des barres cingulaires ou des barres corono-cingulaires.

#### 1.3.5. Moyens d'ancrage : les crochets

Les crochets sont des dispositifs mécaniques situés autour des dents supports, ils sont composés de plusieurs parties.

- Un taquet d'appui relié par une potence au châssis.
- Un bras rétentif.
- Un élément de calage qui permet de guider l'insertion.

Chaque partie a un rôle dans la triade d'houset.

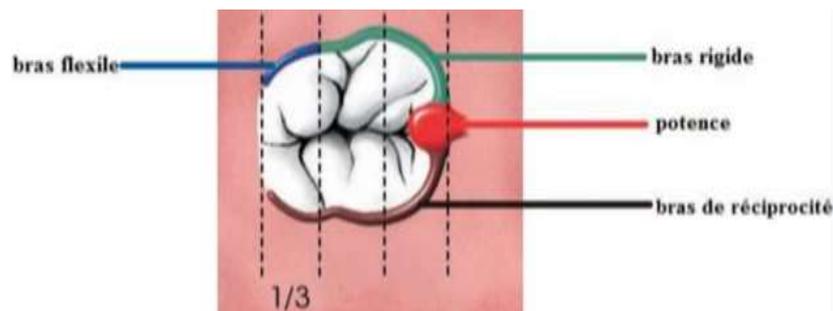


Figure 15 : trois éléments constitutifs d'un crochet (source : Kaiser, 2012)

Ces trois éléments ne sont pas forcément jointifs, cela dépendra du type de crochet. Contrairement aux prothèses amovibles partielles résines (PAP), les crochets de la PAPIM sont adaptés et coulés sur mesure.

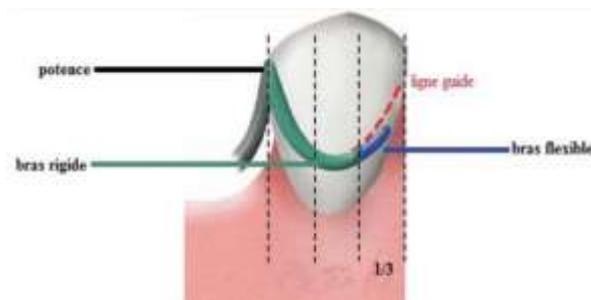
La ligne de plus grand contour permet de séparer les zones de dépouilles et de contres dépouilles.

La ligne guide, elle correspond à la ligne de plus grand contour déterminée suivant l'axe d'insertion de la prothèse. Seule la partie sous la ligne guide est rétentive.

Le bras rétentif du crochet n'a que son dernier tiers sous cette ligne guide. Ce bras est flexible, mais il exerce quand même une pression sur la dent lors du passage de cette ligne. Lors de l'insertion il se produit un léger déplacement de la dent.

Pour contrer ce déplacement, on doit exercer une autre force opposée, c'est le rôle du bras de calage.

Le bras de calage sera toujours au-dessus de cette ligne guide, il permet la stabilisation et de s'opposer aux forces du crochet de rétention : cela correspond à la réciprocité d'action.



*Figure 16 : le bras rétentif d'un crochet, seul le dernier tiers est rétentif (source : Kaiser, 2012)*

Il existe différents crochets :

- Crochet d'ACKERS
- Crochet cavalier de BONWILL
- Crochet circonférentiel ou anneau
- Crochet circonférentiel Nally-MARTINET
- Crochet RPA ou RPC
- Crochet RPI
- Crochet en T de Roach

## 1.4. Etapes de réalisation des PAPIM en technique conventionnelle

### 1.4.1. Séquences cliniques

- Examen clinique (5, 19, 29, 30, 53)

La démarche se doit d'être systématisée. Parmi les éléments qui la composent, on retrouve l'examen clinique, l'historique médical et dentaire du patient mais aussi ses attentes.

L'examen clinique est très important, il nous permet de prendre connaissance du terrain.

En effet suivant la réalisation prothétique que le praticien souhaite réaliser il doit connaître les futures contraintes et l'environnement clinique.

Un examen approfondi clinique et radiologique doit être réalisé au niveau :

- Des dents

Il faut détecter la présence de caries, vérifier la qualité des restaurations antérieures, voir si il y a de besoin renouveler les soins ou de les réhabiliter à l'aide de prothèses fixées.

De même, pour les traitements canalaires, il faut voir si le traitement est imparfait ou s'il présente une lésion inflammatoire d'origine endodontique qui nécessiterait soit le retraitement soit l'avulsion suivant le cas.

- Du parodonte

Il est nécessaire de vérifier la présence de plaque bactérienne ou de tartre dentaire permettant d'évaluer l'hygiène dentaire.

L'examen parodontal permet aussi de mettre en évidence la mobilité dentaire, la présence de poches parodontales, et d'évaluer le rapport couronne/racine en mettant en évidence le niveau osseux de chaque dent par l'intermédiaire d'exams radiologiques.

- Des structures osseuses

Il faut évaluer la résorption osseuse et voir la situation des émergences des trous mentonniers pour savoir si la prothèse risque de comprimer ou non.

La présence ou non de torus mandibulaire ou palatin influence la conception de la prothèse, que ce soit au niveau de son insertion ou de sa désinsertion, c'est le même cas pour les tubérosités osseuses.

Il est nécessaire de réaliser des plasties osseuses pour éliminer des contres-dépouilles.

- L'articulation temporo mandibulaire (ATM)

Il est nécessaire de vérifier que le patient ne présente pas de symptomatologie au niveau articulaire, ou musculaire, à la suite d'une édentation non compensée.

Lorsque le patient est atteint d'algies ou de dysfonctionnement de l'appareil manducateur, les prothèses amovibles transitoires peuvent jouer le rôle habituellement dévolu aux gouttières occlusales.

Seul le port d'une prothèse transitoire asymptomatique nous permet de décider du début de la réalisation des prothèses d'usage.

- Traitement pré-prothétique (5, 29, 30, 53)

Il est nécessaire de préparer le terrain avant de réaliser la prothèse amovible.

- Meulages sélectifs et aménagement des courbes occlusales

Il est nécessaire de mettre en évidence les interférences occlusales pour que la prothèse soit bien calée et centrée en bouche.

Ces interférences peuvent être présentes dans les plans sagittal, frontal et lors des mouvements de diduction et de propulsion.

Après avoir mis en évidence ces interférences à l'aide de papier à articuler, elles sont corrigées par soustraction ou parfois par addition.

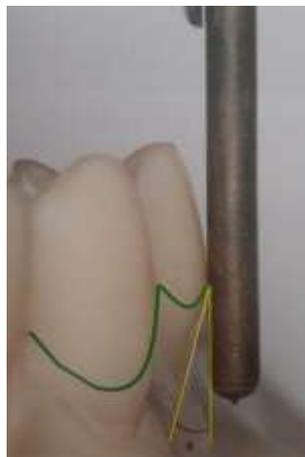
- Préparations coronaires

- Appuis occlusaux :

Ce sont des préparations permettant l'appui de taquets occlusaux, ils sont localisés sur les angles occluso-proximaux des dents pluricuspidées.

- Surfaces de guidage

Après avoir déterminé l'axe d'insertion de la prothèse, on observe la ligne guide autour de chaque dent. Il est nécessaire de modifier certaines surfaces dentaires en supprimant des surplombs trop importants afin de modifier la position de cette ligne guide. On peut diminuer ou éliminer le triangle sombre localisé sur les secteurs antérieurs et modifier la hauteur de l'angle de convergence cervicale afin de régler la hauteur du futur crochet.



*Figure 17 : la surface dentaire en contre dépouille et la tige d'analyse définissent, en vue de profil, un angle de convergence (source : Schittly et coll, 2012)*

- Appuis cingulaires

Afin de préparer un appui cingulaire, on peut réaliser des préparations en forme de croissant sur les surfaces cingulaires. Ces appuis cingulaires peuvent aller du simple petit taquet d'appui ou s'étendre jusqu'à une barre corono-cingulaire.

- Zone de retrait

Lors de la mise en évidence de la ligne guide, il est possible qu'aucune zone de rétention ne soit mise en évidence sur la surface vestibulaire.

Si aucune zone de rétention n'est mise en évidence, il est possible de créer sur les faces vestibulaires à l'aide d'une préparation en forme de gorge, une zone de contre dépouille afin de favoriser la rétention de la prothèse amovible.

- Prothèse fixée supports

Lorsque la pose de prothèse fixée est indiquée, la réalisation de toutes les modifications morphologiques qui viennent d'être décrites peuvent être réalisées préalablement au laboratoire sur l'élément prothétique.

La couronne fraisée prend en compte la morphologie nécessaire à l'intégration de la PAPIM.

○ Chirurgie muccogingivale et osseuse

La prothèse amovible est en rapport étroit avec le parodonte. Il existe certaines situations où la hauteur de gencive kératinisée, la hauteur des vestibules ou encore l'insertion des brides fibreuses ont une influence dans le devenir des dents restantes et dans l'intégration de la future prothèse. Parfois ces différents paramètres empêchent également la bonne insertion de la prothèse.

La chirurgie pré prothétique permet de préparer les structures environnantes, afin de reconstruire un parodonte marginal de la dent et de la protéger.

Le parodonte peut subir différentes chirurgies, que ce soit au niveau muco-gingival (greffes épithélio-conjonctives de conjonctif enfouie, des lambeaux de translation, des freinectomies, régularisation des crêtes, aménagement des tubérosités, ...) ou au niveau osseux (élongation coronaire, aménagement osseux au niveau des crêtes, ...)

- Empreintes (primaire et anatomo-fonctionnelles) (8, 13, 29, 30, 52)

Les empreintes permettent d'obtenir les moulages de l'anatomie exacte des dents ainsi que des structures mucco-osseuses.

L'empreinte doit mettre en évidence la limite d'action des insertions musculaires périphériques.

En effet après réalisation d'une empreinte primaire réalisée à partir d'un porte empreinte du commerce, le laboratoire confectionne un porte empreinte individuel permettant de réaliser une empreinte secondaire afin d'obtenir une empreinte anatomo-fonctionnelles.

Cette empreinte anatomo fonctionnelle permet de mettre en évidence les insertions musculaires et de définir les limites de la prothèse pour ne pas avoir de déstabilisation.

Pour l'empreinte primaire on utilise généralement des matériaux de viscosité unique, car ils sont plus faciles à utiliser et présentent une plus grande résistance à l'arrachement.

L'alginate convient dans la majorité des cas, d'autre tels que les polysulfures ou les polyvinyl siloxane peuvent être utilisés mais sont plus onéreux et sont utilisés pour des techniques plus élaborées.

Pour les empreintes secondaires ou encore appelées anatomo-fonctionnelles, le porte empreinte individuel est indispensable. Il ne gêne pas les insertions musculaires. Les bords du PEI doivent être arrondis et avoir un retrait de 1 à 2 mm par rapport aux lignes de réflexion de la muqueuse, des freins ainsi que des insertions musculaires. L'empreinte secondaire permet d'enregistrer les différences de dépressibilités entre les différentes structures, dentaire et ostéo-muqueuses, afin d'obtenir une prothèse bien adaptée à son environnement mais aussi d'obtenir les limites des insertions musculaires et des fonds du vestibule.

Le PEI étant adapté au patient, les espaces entre les structures dentaires et la muqueuse alvéolaire sont plus fins et la quantité de matériau par rapport à la première empreinte est plus faible et plus homogène.

Il existe plusieurs types d'empreintes secondaires :

- Les empreintes globales qui enregistrent l'anatomie des dents ainsi que les structures ostéo-muqueux en un seul temps, que ce soit avec un matériau de viscosité unique ou avec deux matériaux en technique double mélange.

- Ou les empreintes composées qui sont alors réalisées en plusieurs temps avec différents matériaux d'empreintes. Il y a deux expressions cliniques de ce type d'empreinte : les empreintes composées globales qui concernent toute l'arcade et les empreintes composées sectorielles qui ne concernent que les zones édentées postérieures mandibulaire.
  - Enregistrement de la relation inter maxillaire (5, 11,29, 30)

L'enregistrement du rapport intermaxillaire permet de transférer la position spatiale de la mandibule par rapport au maxillaire sur l'articulateur.

Cette position dépend de plusieurs paramètres :

- Dans le sens vertical : la D.V.O dimension verticale d'occlusion

La DVO détermine la hauteur des futures couronnes et permet d'assurer un équilibre neuromusculaire.

- Dans le sens horizontal : l'OIM ou la RC
  - L'OIM : Il s'agit de la position mandibulaire de fermeture caractérisée par le plus grand nombre de contacts inter-dentaires. C'est une position statique qui est constamment utilisée lors de la déglutition et lors de la phase terminale des cycles de mastication.  
Cette position est indépendante de la situation des condyles dans les fosses mandibulaires.
  - La RC : la relation centrée correspond à la position la plus haute, la plus postérieure, et médiane des condyles dans la fosse mandibulaire.

En prothèse partielle amovible, on peut intégrer la prothèse en OIM lorsque :

- La DVO n'a pas été modifiée
- L'occlusion est asymptomatique
- Les dents en OIM sont stables
- Le décalage sagittal entre OIM et ORC n'excèdent pas quelques dixièmes de millimètres
- Le guidage antérieur est efficace grâce à dents naturelles

Il faut choisir une ORC en prothèse partielle lorsque :

- La DVO est modifiée
- Le guidage antérieur est pris en charge partiellement ou totalement par la prothèse amovible
- Une des arcades comporte une prothèse amovible complète.

Le but lors de cet enregistrement est de fournir un maximum d'informations au laboratoire.

A l'aide des maquettes d'occlusion fournies par le laboratoire, on essaie de rechercher et d'enregistrer la position privilégiée de la mandibule par rapport au maxillaire. L'enregistrement se réalise par deux techniques, soit par technique cires collées soit par technique chevrons.

- Cires collées : On réchauffe l'une des deux cires, puis après insertion des deux cires en bouche, on vient faire l'enregistrement de la position souhaitée des maxillaires, les cires vont venir se coller l'une à l'autre. Il ne reste plus qu'à récupérer les cires collées entre elles, puis de les donner au prothésiste pour qu'il puisse connaître la relation inter maxillaires. C'est la technique la plus répandue mais à éviter car elle n'est pas reproductible.
- Chevrons : cette technique est simple et efficace. On réalise des indentations au niveau des bourrelets maxillaires, puis à l'aide d'une bande de cire d'Aluwax collée à chaud sur le bourrelet mandibulaire puis on vaseline la maquette maxillaire. On va ensuite enregistrer la position de fermeture avec la cire d'Aluwax mandibulaire chaude. L'Aluwax vient enregistrer l'empreinte des chevrons antagoniste et une fois l'enregistrement fait on va pouvoir désinsérer les deux maquettes d'inclusion.

L'avantage par rapport à l'autre technique est que ces deux maquettes peuvent être séparées et il est alors plus facile de vérifier la position enregistrée et si nécessaire on peut la modifier. Cette technique est reproductible.

- Essayage du châssis nu (8, 30)

L'étape de l'essayage du châssis nu permet de vérifier la bonne insertion du châssis en bouche mais aussi de vérifier la qualité de fabrication du châssis, par exemple voir s'il n'y a pas de bascule ou problème d'insertion et si la sustentation stabilisation et rétention sont bien respectées.

- Essayage du montage des dents sur châssis (8, 30)

L'essayage du montage de dents sur châssis permet de vérifier la qualité du montage réalisé au laboratoire, voir si le patient ne présente pas de doléances à l'essayage et de voir si les résultats esthétiques et fonctionnels sont de qualités.

Le patient doit donner son avis avant de pouvoir terminer les prothèses, au niveau esthétique et de la fonctionnalité, une fois le patient et le dentiste satisfait, on peut renvoyer les prothèses au laboratoire pour les finitions avant réaliser l'insertion prothétique.

- Insertion prothétique (8, 30)

Lors de la réception de la prothèse au cabinet, plusieurs éléments sont vérifiés : la qualité du polissage de l'intrados, de l'extrados ainsi que les bords de celle-ci. La prothèse est décontaminée dans du bain de bouche puis insérée en bouche.

L'occlusion est vérifiée à nouveau. Si le patient ne présente pas de doléance, il peut repartir avec sa prothèse.

#### 1.4.2. Séquences de laboratoire

- Traitement des empreintes (8, 13, 29, 30, 47)

Une fois l'empreinte anatomo-fonctionnelle reçue, celle-ci est rincées à l'eau claire, puis plongée dans un bain désinfectant antiseptique. Son analyse est importante pour vérifier qu'aucune déformation n'est visible.

Un coffrage (ou emboxage) est réalisé avant la coulée, il permet de reproduire les bords de l'empreinte sur le moulage de travail.

De la cire sera appliquée au niveau des bords du PEI à l'aide d'un bâtonnet de cire. Une bande de cire sera ensuite collée verticalement le long de la cire précédemment ajoutée pour obtenir le coffrage de l'empreinte.

Ensuite, la coulée de ce coffrage peut être réalisée à l'aide d'un vibreur tout en évitant les inclusions de bulles d'air. On obtient après séchage, démoulage et élimination des excès de plâtre au taille plâtre, le modèle de travail.

- Maquettes d'occlusion (8, 11,30, 54)

Les maquettes d'occlusion sont composées d'une plaque base et de bourrelets modelables permettant d'enregistrer la relation intermaxillaire.

Elles préfigurent le volume et la forme de la future prothèse et servent à enregistrer les différents repères buccaux que l'on doit fournir au laboratoire tels que la position des dents, l'axe médian, la position de la ligne de sourire.

Différents matériaux peuvent constituer la base : soit en résine lui apportant résistance aux différentes manipulations, soit en cire renforcée à l'aide un fil en acier. Les bourrelets sont réalisés en cire dure, d'une hauteur supérieure à la surface occlusale.

- Réalisation des châssis métalliques

A partir de ce modèle on peut fabriquer le châssis métallique de différentes manières :

- Conception et fabrication traditionnelle par le prothésiste
- Conception et fabrication assistées par un ordinateur

Dans ces deux types de fabrications on obtient le châssis métallique prêt à recevoir les futures dents prothétiques.

- Choix et montage dents prothétiques (8, 30,47, 54)

Après fabrication, essayage et validation du châssis métallique, le montage des dents peut être réalisé.

Le choix des dents sur des prothèses amovibles partielles se fait de la même manière que le choix des dents sur les prothèses amovibles complète.

Les dents prothétiques peuvent être de différents types, différentes couleurs, formes et dimensions. La présence de dents restantes dans les cas de prothèses amovibles partielles est un avantage, on peut se référer à celle-ci pour le futur choix des dents prothétiques.

Le montage des dents prothétiques se fait tout en respectant les objectifs esthétiques et fonctionnels. Elles sont montées sur de la cire rose, par-dessus le châssis métallique.

Le châssis avec les dents montées peut être envoyé au chirurgien-dentiste afin de valider l'essayage avec le patient.

- Polymérisation de la résine et finitions (25, 30, 31, 54)

Une fois la validation de l'essayage du châssis métallique avec le montage de dents prothétiques, la cire permettant le montage des dents va pouvoir être remplacée par des bases en résine polymérisable.

Il est plus compliqué de remplacer la cire en résine dans une PAPIM que dans une prothèse amovible complète par la présence du châssis métallique.

Il existe différentes méthodes afin de polymériser les bases en résine :

- Mise en moufle conventionnelle

Après finition du montage sur cire, la mise en moufle peut s'effectuer sur le moulage de travail.

Le moufle correspond à une boîte elliptique en bronze constituée de plusieurs parties.

Un apport de plâtre est mis en place dans la première partie du moufle avec le modèle de travail et la prothèse. Puis une fois durci un isolant est mise en place sur le plâtre et la deuxième partie du moufle est placé puis remplie de plâtre à nouveau.

On obtient après séparation, la première partie avec le châssis métallique sur le modèle de travail et dans la contrepartie les dents artificielles. La cire va pouvoir être éliminée.

Après les différentes étapes d'ébouillantage, de préparation de résine thermoformable, de bourrage de celle-ci, de pressage et enfin de polymérisation on obtient le remplacement de la cire par de la résine.

Il est nécessaire, après récupération de la prothèse, de réaliser des étapes de finitions et de polissages afin d'avoir un état de surface parfait afin de ne pas blesser les muqueuses.

Cette technique rend le moulage inutilisable à la sortie du moufle.

- Clés vestibulaires et linguales

La mise en moufle est assez compliquée, il est possible à l'aide de clés en silicone ou en plâtre d'éviter cette technique.

L'enregistrement de la position des dents prothétiques sur le modèle de travail se fait avec ces clés. Après ébouillantage et suppression de la cire, la vérification du bon repositionnement des dents prothétiques est réalisée. La résine chémo-polymérisable peut être mise en place et recouverte par les clés contenant les dents, puis polymérisée dans de l'eau chaude.

## 2. Le concept de CFAO en prothèse amovible partielle

### 2.1. Définition et principes généraux (12, 14, 56, 60)

La CFAO englobe deux concepts distincts : la conception assistée par ordinateur (CAO) et la fabrication assistée par ordinateur (FAO).

La CFAO permet la fabrication de prothèses dentaires et nécessite un ensemble d'équipements allant de la chaîne numérique pour la numérisation et la conception aux machines-outils pour fabriquer ces prothèses.

La CAO permet de concevoir virtuellement une structure en la modélisant sur un ordinateur à l'aide d'un logiciel spécialisé. La FAO permet de réaliser cette structure à l'aide d'une machine-outil.

La CFAO peut être de trois types : directe, semi directe et indirecte.

Le type d'acquisition d'empreinte diffère, cela peut se faire par empreinte optique intra-buccal (à l'aide d'une caméra optique) ou par empreinte traditionnelle à l'aide d'un matériau d'empreinte.

Le lieu de la conception et de la fabrication peut aussi différer et se faire directement au cabinet dentaire par le praticien ou être réalisé dans un centre extérieur par un laboratoire de prothèse.

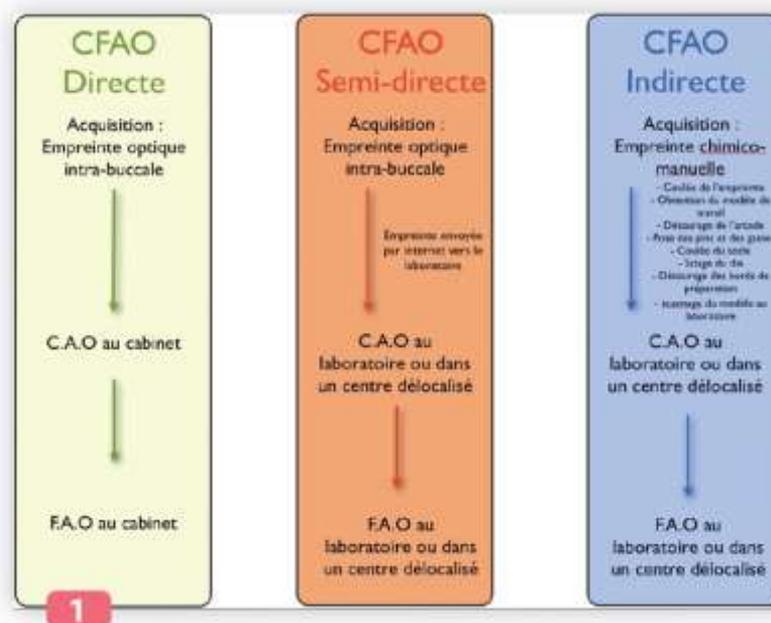


Figure 18 : les différents protocoles de CFAO (source : Normand et Petit, 2015)

La pratique courante de fabrication d'un châssis métallique par CFAO est indirecte. L'acquisition optique est tout à fait possible en prothèse amovible, mais actuellement elle devra être corrigée par une seconde acquisition de type empreinte traditionnelle afin de visualiser les limites anatomo-fonctionnelles non visualisables en numérique. L'acquisition obtenue sur un modèle en plâtre après avoir réalisé l'empreinte au cabinet est la plus courante. La CFAO se déroule en trois grandes étapes successives :

- Numérisation du moulage par un scanner
- Conception virtuelle du châssis par CAO
- Réalisation de la maquette du châssis par FAO

La CFAO est apparue dans les années 1970 et introduite en chirurgie dentaire par François DURET.

## **2.2. Méthodes**

### 2.2.1. Numérisation 3D

- Principe (4,12, 23, 46, )

Un scanner tridimensionnel est un appareil de numérisation et d'acquisition 3D.

La numérisation permet de transférer les données tridimensionnelles d'un objet en données informatiques. L'objectif est d'obtenir le positionnement spatial (coordonnées x, y et z) de chaque point de l'objet.

La numérisation peut se faire sur trois types de structures différentes :

- Soit directement en bouche en numérisant les tissus dentaires et les tissus environnants.
- Soit indirectement sur une empreinte non coulée, c'est à dire une empreinte surfacique négative.
- Ou encore indirectement sur le modèle coulé en positif.

La numérisation de la forme d'un objet peut se faire de deux manières : soit de manière mécanique (avec contact physique) ou non.

- Dans le premier cas la numérisation utilise un palpeur qui vient toucher l'objet.
- Dans l'autre, il n'y a pas de contact physique et l'interaction avec l'objet se fait par des phénomènes ondulatoires, acoustiques ou magnétiques.

- Méthode mécanique

Cette méthode nécessite un palpeur, il y a un contact, entre ce palpeur et la surface de l'objet, qui est enregistré dont les coordonnées x, y et z dans l'espace.

Après balayage de la surface de l'objet, on enregistre tous les points spatiaux de celui-ci. En multipliant les prises de points on peut reconstituer la forme et la taille de l'objet.

La numérisation par palpation est lente puisque la mesure s'effectue point par point. Elle peut être manuelle ou automatisée.



*Figure 19 : numérisation par contact : micro-palpeur Procera (source : Deschamp, Fages et Duret, 2016)*

- Méthode sans contact

C'est une numérisation sans contact physique, elle se fait par des phénomènes ondulatoires, acoustiques ou encore magnétiques. En odontologie seule la méthode ondulatoire (ou optique) est retenue.

En effet, les techniques acoustiques ou magnétiques posent des contraintes dans les applications cliniques.

Que ce soit les scanners buccaux ou ceux utilisés dans les laboratoires de prothèses, c'est l'empreinte optique qui a toujours été privilégiée.

L'empreinte optique utilise toujours une source lumineuse. La lumière est constituée d'ondes électromagnétiques caractérisées chacune par leurs phases et leurs longueurs d'ondes.

Il existe deux types de lumières :

- Le laser (light amplification by stimulated emission of radiation) qui est une source lumineuse amplifiée. Sa lumière est cohérente, c'est à dire que les rayonnements émis ont tous la même direction et sont tous en phase.

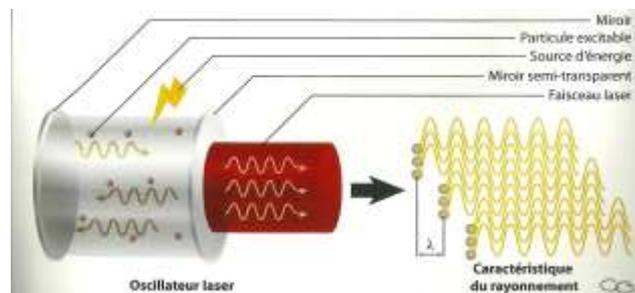


Figure 20 : la lumière LASER (source : Deschamp, Fages et Duret, 2016)

- La lumière blanche polychromatique est composée de plusieurs ondes électromagnétiques. Elle est dite incohérente car ici les ondes qui la composent ont différentes phases.

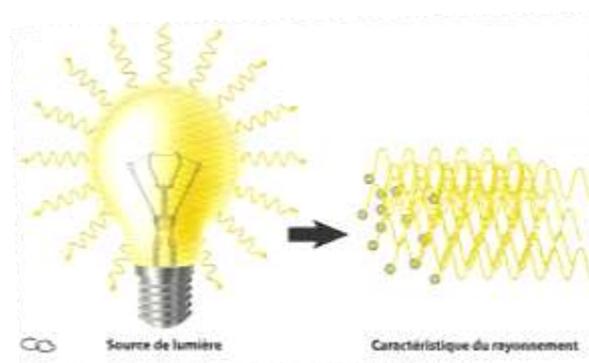


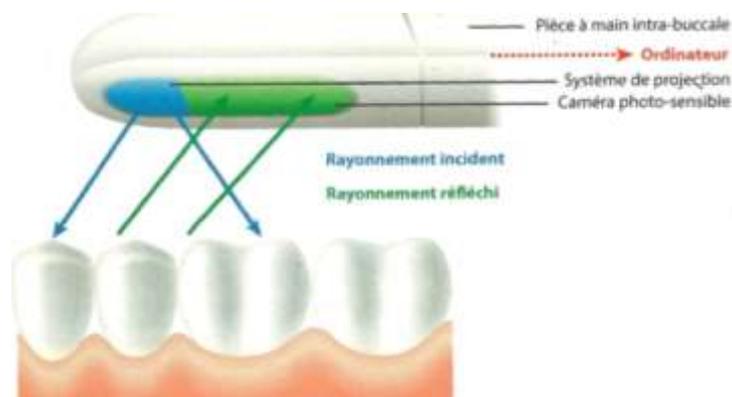
Figure 21 : la lumière standard ou incohérente (source : Deschamp, Fages et Duret, 2016)

A partir de ces deux types de lumières, il est possible d'obtenir une mesure optique permettant la numérisation, cette mesure est une mesure de déformation.

Un rayonnement lumineux de référence dont on connaît tous les paramètres (le rayon incident), projeté sur l'objet à scanner, va renvoyer à son tour une partie du rayonnement reçu.

La partie renvoyée est mesurée à l'aide d'une caméra photosensible, puis convertie en information numérique et comparée au rayonnement de départ.

On obtient une série d'images qui sera traitée à l'aide d'applications logicielles et qui nous permet une reconstruction en trois dimensions de la réalité clinique sur l'ordinateur : c'est la mesure optique.



*Figure 22 : la mesure optique : le rayonnement émis est réfléchi par les structures enregistrées (source : Deschamp, Fages et Duret, 2016)*

- Technique de numérisation 3D (9, 23, 33, 46, 55, 60, 61)

En CFAO dentaire il existe principalement trois types de méthodes de mesure : la triangulation laser, la lumière structurée et l'holographie conoscopique.

- Triangulation laser

Les scanners 3D laser par triangulation sont d'une précision de l'ordre du micromètre. Cette technique basée sur la triangulation a été développée par le Conseil National de Recherches du Canada en 1978.

La triangulation laser correspond à un balayage de la surface de l'objet à scanner. Le balayage s'effectue à l'aide d'un rayon lumineux de type laser. Une caméra numérique analyse les distorsions du rayon au fur et à mesure du balayage de la surface de l'objet. Cette technique vient analyser le rayon lumineux réfléchi de l'impact sur la surface de l'objet à scanner sur la lentille de la caméra. En effet, en fonction de la distance entre l'émetteur laser et la surface de l'objet à scanner, le point d'impact lumineux apparaît à différents endroits dans le champ de vision de la caméra. Il est donc possible à partir de calcul trigonométrique de déterminer la position exacte du laser.

L'ensemble entre le point laser, la caméra et l'émetteur laser forment un triangle, d'où l'origine de la triangulation.



Figure 23 : numérisation par triangulation laser (Source : Cnifpd-Unppd, 2009)

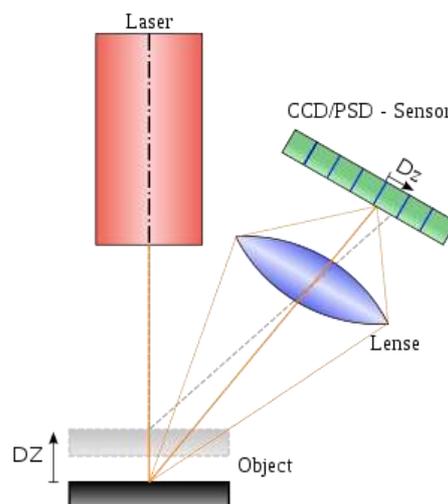


Figure 24 : principe d'un détecteur utilisant la triangulation laser. Deux positions de l'objet sont montrées (Source : Cnifpd-Unppd, 2009)

- Lumière structurée

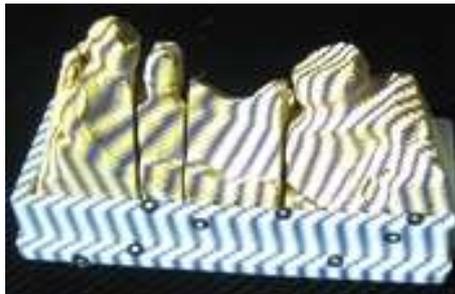
Le scanner 3D à lumière structurée est une technique qui projette un motif lumineux sur l'objet à scanner.

Le motif lumineux est en général des franges à une ou deux dimensions. Ces motifs sont projetés à l'aide d'un rétroprojecteur ou d'un laser.

Une caméra déportée de l'origine du signal lumineux vient enregistrer la déformation du motif lumineux sur l'objet à scanner.

En analysant la déformation du motif lumineux sur une surface il est possible à l'aide de techniques similaires à la triangulation de calculer la distance et donc la position des points représentant la surface de l'objet.

Les scanners 3D à lumière structurée ont l'avantage d'être rapides. En effet ils peuvent scanner un objet entier, ils scannent tout un champ de vision à la fois contrairement aux autres qui scannent une bande à la fois.



*Figure 25 : numérisation d'une empreinte par lumière structurée (Source : Cnifpd-Unppd, 2009)*

- Holographie conoscopique

Le scanner 3D à holographie conoscopique surpasse les autres techniques en précision. Elle enregistre des hologrammes en lumière incohérente à l'aide d'un cristal monodirectionnel. La numérisation peut se faire en utilisant un faisceau lumineux de type laser et en utilisant un filtre spatial permettant de supprimer les fréquences indésirables. On obtient un hologramme dont la période de diffraction nous permet de mesurer très précisément la position du point scanné.

Les faisceaux projetés et réfléchis à partir de l'objet scanné ont la même trajectoire linéaire. Cette colinéarité nous permet de mesurer des cavités profondes.

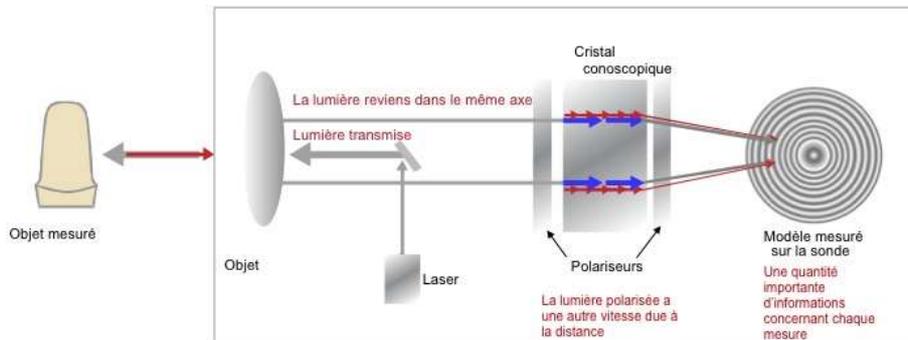


Figure 26 : principe d'un détecteur utilisant l'holographie conoscopique (Source : Cnifpd-Unppd, 2009)

Cette technique permet de mesurer des angles prononcés jusqu'à 85°, tandis que les scanners par triangulation sont plus limités, jusque 40 à 60°.

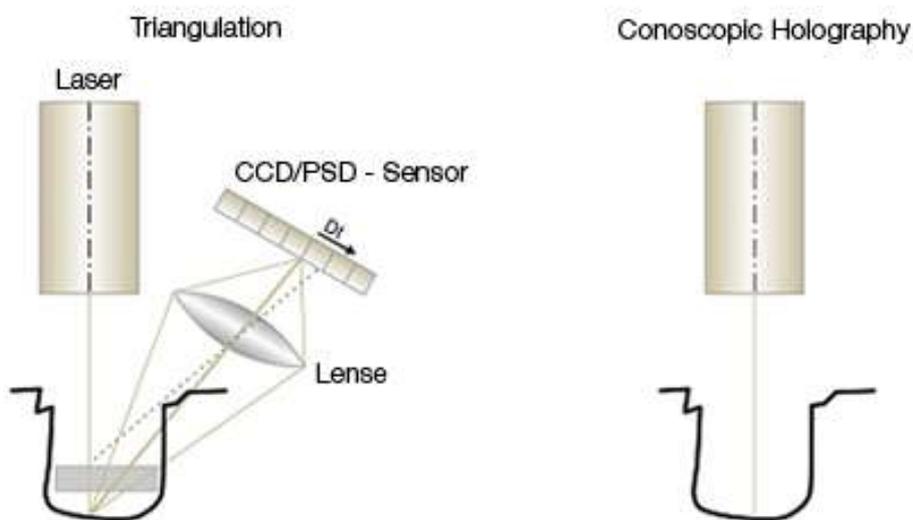


Figure 27 : différence entre la numérisation par triangulation et holographie conoscopique (Source : Cnifpd-Unppd, 2009)

- Modélisation des nuages de points (35, 46)

Le nuage de points correspond à l'ensemble des points prélevés par balayage de la surface de l'objet à scanner. L'ensemble de tous les points permet de représenter la forme de cet objet sous version numérique.

La qualité de la reconstruction dépendra de la distance entre chaque point scanné, plus la distance est faible et plus le nombre de point sera élevé, plus la qualité sera elle aussi élevée.

Les points ont pour coordonnées x, y et z dans un système de référence commun.

Les scanners 3D produisent des nuages de points mais ne peuvent être utilisés tels quels car les applications pour CAO utilisent une reconstitution 3D.

La plupart des logiciels fournis par les fabricants de scanners permettent le traitement des nuages de points.

Il est nécessaire de relier tous les points adjacents entre eux afin de produire une surface triangulée continue, c'est la modélisation polygonale 3D.

Une fois tous les points fusionnés, on obtient la représentation du modèle scanné correspondant au modèle numérique 3D.

On obtient donc à partir de la conversion du nuage de points, un fichier informatique de type STL ou NURBS correspondant au modèle numérique 3D.

Le format de fichier 3D STL date de l'arrivée des techniques de fabrications additives il y a plus de 20 ans.

La société 3D System fut la première à commercialiser la technique de Stéréolithographie, d'où l'abréviation STL.

Ce format est devenu standard pour les fabrications numériques.

- Types de numérisation 3D (9, 18, 23, 33, 37, 43, 45, 46, 59)
  - Numérisation de modèles en plâtre

La numérisation des modèles en plâtre est la plus pratiquée. Les scanners numérisant les modèles en plâtre ont une précision allant de l'ordre de 20 micromètres.

Il est possible de numériser plusieurs éléments grâce à un grand champ d'acquisition en une seule fois.



*Figure 28 : numérisation simultanée de 16 préparations avec le scanner DW de dental Wings (Source : Cnifpd-Unppd, 2009)*

- Numérisation des empreintes

Les scanners 3D ont évolué, ils peuvent désormais numériser des empreintes.

L'avantage de cette numérisation est la suppression de la coulée du modèle et ainsi l'augmentation la productivité des laboratoires.

Il est plus dur pour le prothésiste d'analyser les limites de préparation et l'occlusion dans le cas d'une prothèse fixée, car il n'a plus de modèle de plâtre auquel se référer.

L'empreinte correspond au négatif d'une arcade dentaire, elle présentera alors des zones difficiles à visualiser dues aux contre dépouilles. Pour optimiser l'angle de prise de vue de ces zones, les fabricants se sont basés sur la technique d'holographie conoscopique permettant la mesure d'angle allant jusque 85° et sur des scanners intégrant deux caméras d'acquisition sur plusieurs axes de rotations.



*Figure 29: nouveau scanner 3D du système Nobel Procera basé sur la technologie d'holographie conoscopique brevetée Optimet (Source : Cnifpd-Unppd, 2009)*

- Numérisation intra-buccale

Il est possible de numériser une arcade dentaire en bouche à l'aide d'une caméra intra-orale. Elle permet d'éviter le passage par le moulage. Le patient en cas d'un réflexe nauséux et d'une faible ouverture buccale, peut ainsi éviter l'empreinte conventionnelle difficile.

L'empreinte optique permet d'augmenter la précision en supprimant les erreurs liées à la coulée. La caméra Omnicam® présente une haute résolution avec contrôle de température, ainsi qu'un double miroir amovible. La technique de mesure par cette caméra est la triangulation laser. Ce procédé est amélioré par une source lumineuse de type DEL qui est une lumière blanche et non polarisée.

La prise en main de la caméra est facile, elle présente une taille moyenne qui permet à son utilisateur de bien la maintenir et son apprentissage est aisé.

En prothèse amovible partielle, le problème majeur résulte de la dualité tissulaire.

Il est nécessaire par conséquent d'enregistrer les zones anatomo-fonctionnelles afin de définir les limites de la prothèse, pour ne pas provoquer ni de blessures ni de déstabilisation de celle-ci.

En bouche, l'empreinte optique nous permet d'enregistrer les zones dentées et édentées parfaitement visibles et stables, mais il n'est pas possible de défléchir et enregistrer en même temps les zones dépressibles contrairement aux empreintes chimico-manuelles.

Actuellement l'empreinte optique nous permet d'obtenir une empreinte anatomique, mais ne nous permet pas d'obtenir une empreinte anatomo-fonctionnelle.

L'empreinte optique en prothèse amovible doit être réservée aux édentements de faible étendue lorsqu'une empreinte anatomique est suffisante.

Dans le cas contraire, deux possibilités s'offrent à nous après empreinte optique :

- Soit la réalisation d'un porte empreinte individuel en sous extension par CFAO pour réaliser une empreinte secondaire en bouche et obtenir ces limites. L'empreinte réalisée sera scannée ou coulée puis scannée pour la CFAO du châssis métallique.

- Soit réalisation d'un châssis métallique sur le modèle virtuel obtenu puis lors de son essayage, une empreinte sectorielle de correction de type physico-chimique sera réalisée à l'aide de selles porte-empreintes sur les grilles de rétention.

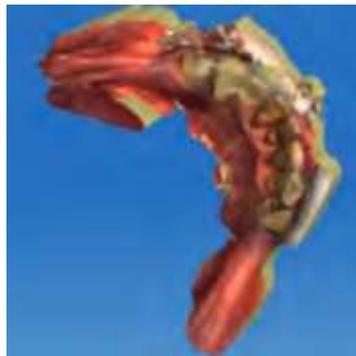
Voici le cas d'un patient présentant un édentement de classe I traité par PAPIM conçue et fabriquée par CFAO.

Une empreinte anatomique à l'aide d'une caméra optique intrabuccale a été réalisée, il est bien sur impossible de délimiter les limites exactes de la future résine sans empreinte anatomo-fonctionnelle.

L'acquisition numérique finie, la conception et la fabrication du châssis métallique sont réalisées, mais nécessiteront une empreinte sectorielle de correction.

Cette empreinte se réalise à l'aide de selles porte-empreintes ajoutées au châssis.

Une fois la coulée réalisée, on obtient un modèle avec les limites anatomo-fonctionnelle, le montage des dents et la finition du châssis peut commencer.



*Figure 30 : modèle virtuel mandibulaire. La partie la plus postérieure des crêtes est peu enregistrée et devra être complétée par une empreinte secondaire anatomo-fonctionnelle (source : Bonnet et coll, 2016)*



*Figure 31 : visualisation du futur châssis mandibulaire (source : Bonnet et coll, 2016)*



*Figure 32 : impression 3D du modèle physique (source : Bonnet et coll, 2016)*



*Figure 33 : châssis fabriqué sur son modèle physique avec les selles pour la future empreinte sectorielle de correction (source : Bonnet et coll, 2016)*



*Figure 34 : modèle de l'empreinte sectorielle de correction réalisée (source : Bonnet et coll, 2016)*

### La numérisation intrabuccale pour la PAPIM:

Les empreintes optiques permettent de réaliser une empreinte anatomique.

Les prothèses amovibles nécessitent une empreinte permettant de visualiser les limites fonctionnelles pour une bonne intégration de la prothèse.

L'acquisition numérique doit être réservée :

- Aux édentements de faibles étendues et encastrés
- Lorsqu'il n'est pas nécessaire de venir enregistrer les limites fonctionnelles du jeu musculaire

Si une empreinte anatomo-fonctionnelle est nécessaire lorsque l'édentement est plus grand, l'utilisation de la caméra optique intrabuccale est possible. Après acquisition anatomique par caméra optique, il sera nécessaire de réaliser une seconde empreinte :

- Soit après confection d'un porte-empreinte individuel, l'empreinte chimico-manuelle sera réalisée afin de visualiser les limites de la future prothèse. L'empreinte sera coulée puis scannée ou directement scannée, puis la conception et la fabrication du châssis peut se faire par CFAO.
- Soit conception et fabrication du châssis par CFAO à partir de cette empreinte numérique, puis correction des selles à l'aide d'une empreinte sectorielle après ajout de selles porte-empreintes sur le châssis.

Les indications d'empreinte par caméra optique en prothèse amovible partielle restent encore limitées.

On doit réaliser une seconde empreinte chimico-manuelle de correction, c'est pourquoi les praticiens préfèrent faire une empreinte traditionnelle en bouche. Celle-ci sera numérisée directement ou juste après sa coulée.

### 2.2.2. Conception assistée par ordinateur (7, 17, 35, 36, 42, 60)

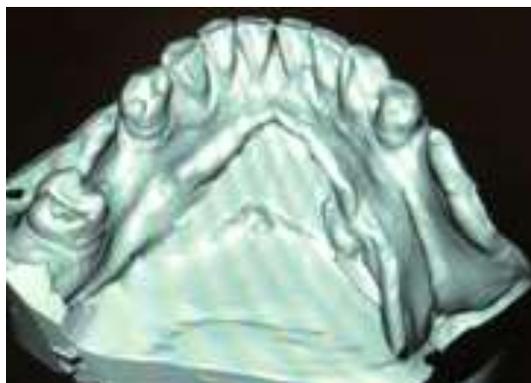
Le praticien reste le véritable architecte de la prothèse, c'est à lui de faire le lien entre les éléments cliniques et biomécaniques afin d'obtenir le tracé le plus pertinent. Le praticien devra permettre la mise en place d'appuis occlusaux en rapport avec les crochets choisis, qu'ils soient rigides ou semi rigides, en fonction de la nature de l'édentement, encastré ou non. Il doit choisir la nature des crochets et le choix des appuis secondaires en fonction de l'axe principal de rotation de la prothèse. Mais il doit aussi définir le tracé final des selles prothétiques et de l'armature reliant tous les éléments pour constituer l'infrastructure de la prothèse.

Une fois la numérisation 3D du maître-modèle réalisée, la conception du châssis virtuel peut commencer.

Le fichier représentant le maître modèle virtuel est incorporé dans le logiciel de CAO.



*Figure 35 : maître modèle (source : Taddei, Etienne et Baixe, 2012)*



*Figure 36 : maître modèle numérisé (source : Taddei, Etienne et Baixe, 2012)*

Les logiciels actuels présents sur le marché nous aident à analyser les zones de contre dépouilles et zones de retraits sur toutes les dents, en fonction d'un axe d'insertion de la prothèse choisi de la même manière qu'un paralléliseur le ferait en utilisant sa table orientable de manière traditionnelle.

Le logiciel permet de transformer un modèle virtuel en un modèle de travail. Grâce à cette analyse au paralléliseur virtuel, les zones de contre-dépouilles sont comblées virtuellement afin d'obtenir un modèle de dépouille.



*Figure 37 : tracé des espaceurs au niveau des crêtes édentées (source : Taddei, Etienne et Baixe, 2012)*



*Figure 38 : préparation du modèle virtuel (source : Taddei, Etienne et Baixe, 2012)*

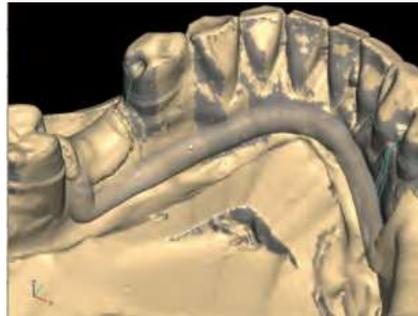
Les espacements des selles de la prothèse sont mis en place afin d'avoir la place pour la future résine.

Les parties de rétention des crochets sont délimitées.

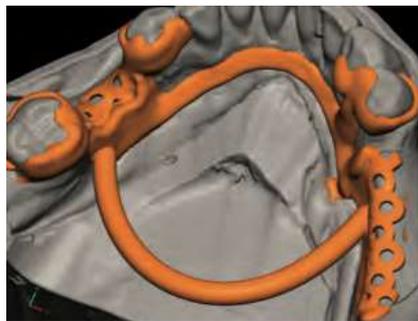
Chaque élément peut être ajouté dans n'importe quel ordre.

Une fois tous les éléments ajoutés, on obtient une forme grossière que l'on peut retravailler à l'aide d'outils spécifiques permettant le lissage, l'épaississement et le rognage entre les différents éléments afin d'obtenir une meilleure connexion entre chacun.

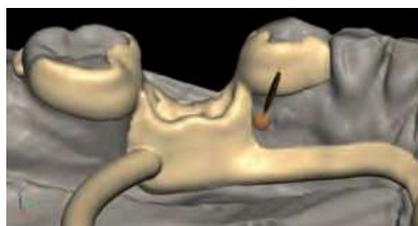
Ces éléments peuvent être modifiés à tout moment.



*Figure 39 : tracé de la barre linguale sur le modèle virtuel (source : Taddei, Etienne et Baixe, 2012)*



*Figure 40 : éléments du châssis assemblés entre eux (barre linguale, crochets sur les dents, grilles de rétentions) (source : Taddei, Etienne et Baixe, 2012)*



*Figure 41 : finitions des zones de transitions (source : Taddei, Etienne et Baixe, 2012)*

Une fois la modélisation terminée, les tiges de coulées sont ajoutées à la maquette virtuelle.

Une fois la CAO validée, la maquette est enregistrée sous un fichier STL.

Le fichier STL peut être envoyé au logiciel de FAO.

La fabrication de la pièce prothétique pourra se faire soit par soustraction soit par addition.

La CAO apporte au praticien la précision du modèle virtuel ainsi que la visualisation de la pièce prothétique.

Lors de la coulée des maquettes de fonderie, il est possible qu'une erreur se produise. Dans la méthode traditionnelle, il faut recommencer tout recommencer à l'étapes de duplication en revêtement. La CFAO permet de rattraper ces erreurs de coulée à partir de la réimpression de la maquette de fonderie.



*Figure 42 : maquette imprimée en cire placée sur le maître modèle (source : Taddei, Etienne et Baixe, 2012)*

### 2.2.3. Fabrication assistée par ordinateur

La fabrication assistée par ordinateur permet de réaliser deux opérations :

- La préparation de la fabrication en fonction du matériau utilisé et de la procédure de mise en forme.
- La création des séquences de mise en forme d'une ou de plusieurs maquettes numériques à fabriquer.

Les solutions techniques de fabrications de châssis métalliques font appel à deux procédés de fabrication très différents : la fabrication par technique additive (par couches) et la fabrication par technique d'usinage (par soustraction)

- Préparation de la fabrication (4, 12, 46, 60)

Suivant la procédure de mise en forme, la préparation sera différente :

- Dans le cas d'usinage, le logiciel de FAO suggère le positionnement des maquettes dans le brut à usiner ainsi que le positionnement des tiges de maintien. Il est possible d'intervenir dans le positionnement afin d'augmenter le nombre d'éléments à produire sur un même bloc de matière brut à usiner.
- Dans le cas de fabrication additive, la préparation des plateaux est elle aussi automatisée. Le matériau calcinable qui est déposé formera la pièce à fabriquer mais aussi un matériau de support qui est dissout après fabrication. Ce matériau de support permet de maintenir la pièce pendant sa fabrication. Les logiciels intègrent généralement le placement des modélisations 3D sur le plateau avec génération automatique des tiges de construction. Il est toujours possible de modifier le positionnement des tiges et des maquettes.

- Création des séquences de fabrication (4, 12, 46, 60)

La création des séquences est différente suivant la procédure de fabrication

- Dans le cas de technique d'usinage, une fois la modélisation 3D de la pièce à fabriquer finie, le logiciel de FAO doit calculer tous les mouvements que doit exécuter la machine-outil, les trajectoires d'usinage à mettre en œuvre et choisit la vitesse de coupe.  
Après avoir calculé avec le logiciel de FAO toutes les trajectoires d'usinage à effectuer, un fichier ISO (langage de programmation normalisé) est converti. C'est lui qui sera transmis à la commande numérique puis exécuté par la machine outils.
- Dans le cas de fabrication additive, chaque fabricant a sa propre technique de mise en forme brevetée.  
Les fabricants de machine-outil de FAO ont leur propre logiciel de paramétrage et de création des séquences de mise en couche.

Il n'existe pas de logiciel de FAO permettant de contrôler diverses machines-outils.

- Techniques additives
  - Impression 3D (6,21, 26, 34,36-38,46)

L'impression 3D se déroule sur un plateau. Il est possible de fabriquer un ou plusieurs objets à la fois suivant la place du plateau. La fabrication des parois de support s'effectue en même temps que l'objet afin que les parois ne s'effondrent pas. Les buses d'impression se déplacent sur un plan horizontal et projettent sélectivement un matériau de construction. Le matériau de construction est ajouté couche par couche afin de former le futur objet.

Chaque couche correspond à une strate. Entre chaque impression de couche, le plateau descend de la longueur de celle-ci, pour ajouter une nouvelle couche à la suite.

Les supports de l'objet pendant l'impression sont éliminés une fois l'impression terminée par un bain ou par la projection d'une solution liquide.

Les modèles d'impressions en dentaire pourront être utilisés comme modèle pour la fonderie à cire perdue.

Il existe deux techniques d'impression 3D : la technique par injection de cire et la technique par injection de résine avec polymérisation par UV (ultra-violet), chacune ayant ses propres avantages et inconvénients.

#### - Injection de cire

Cette technique projette deux cires simultanément, celle pour le modèle et celle pour le support de modèle.

Les épaisseurs de couches sont d'environ 13 à 76 micromètres.

Entre chaque couche un surfaçage est réalisé par fraisage afin d'obtenir un bon état de surface et d'améliorer la précision des pièces obtenues.

Après chaque passage une vérification au niveau des buses à l'aide de bandes de papier est nécessaire, pour vérifier le bon fonctionnement.

Le support du modèle fabriqué étant d'une cire différente de celle du modèle proprement dit, il sera supprimé par dilution dans un bain de solvant à température élevée.

Ce type d'injection a l'avantage d'être facile à mettre en œuvre, très précis, et d'avoir son support de construction fabriqué automatiquement.

En revanche, les temps de fabrication sont importants.

- Injection de résines et polymérisation par UV

Cette technique projette deux résines simultanément, celle pour le modèle et celle pour le support du modèle.

Les épaisseurs de couches sont d'environ de 16 à 32 micromètres.

Entre chaque couche, la résine doit être solidifiée par photopolymérisation. La photopolymérisation est obtenue à partir d'une source lumineuse de type ultra-violet.

Une fois la fabrication finie, la résine support du modèle sera supprimée par dilution dans un bain de solvant à haute température comme précédemment.

Une étape de polymérisation dans un four est nécessaire afin de finaliser la fabrication du modèle.

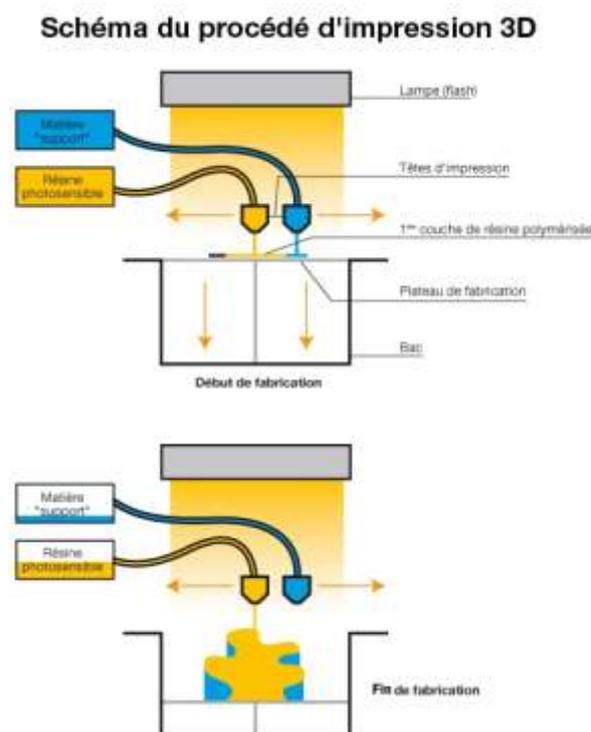


Figure 43 : fonctionnement d'une imprimante 3D (Source : Cnifpd-Unppd, 2009)

Ce type d'injection est facile à mettre en œuvre, son support est aussi fabriqué automatiquement, et elle peut fabriquer jusqu'à 20 châssis par plateau en même temps.

En revanche, le matériau a un coût élevé et la machine lorsqu'elle est peu utilisée nécessite des entretiens car celle-ci a les têtes d'impression qui ont tendance à se boucher.

- Micro-fusion de poudre (6, 21, 22, 26, 27, 36-38, 46)

La micro-fusion de poudre consiste à partir d'un faisceau laser ou d'électrons à chauffer de la poudre métallique jusqu'à sa température de fusion. A partir d'une plaque support recouverte de poudre d'épaisseur de quelques dizaines de micromètres, un faisceau de type laser ou d'électrons vient chauffer ses grains. Ce faisceau est contrôlé à l'aide d'un miroir directionnel. Cette poudre est fondue de manière sélective selon les paramètres géométriques définis à partir du fichier CAO. La poudre en état de fusion est solidifiée rapidement, permettant de former un amas de matière solide.

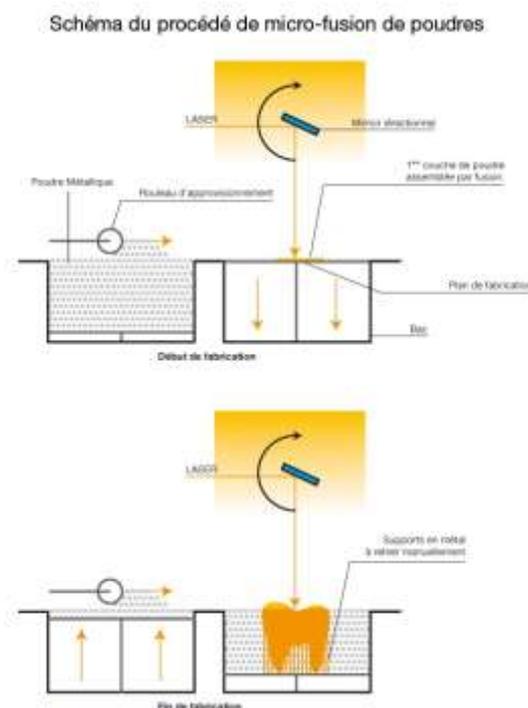


Figure 44 : fonctionnement de la micro-fusion de poudre (Source : Cnifpd-Unppd, 2009)

Lorsque la première couche est fabriquée, le plateau descend et une nouvelle couche de poudre est déposée. Une nouvelle étape de micro fusion sélective est ensuite réalisée afin d'obtenir une nouvelle strate.

Les étapes se reproduisent jusqu' à obtenir le modèle fini. Cette technique a l'avantage de ne pas avoir d'usure d'outils de coupe, et d'avoir peu de perte de matière grâce au recyclage de poudre non fusionnée.

Pour éviter l'oxydation du métal à haute température, la fabrication doit se réaliser dans une chambre de travail contrôlée, sous atmosphère protectrice composée de différents gaz tels que l'azote et l'argon.

Une fois le frittage laser terminé, il est nécessaire de séparer les pièces produites de leurs supports métalliques. La surface de fabrication des châssis métallique est très rugueuse et nécessite un polissage très approfondi.

Un traitement post-fabrication est nécessaire, un passage dans un four de cuisson permettra d'améliorer les propriétés physiques du matériau.

La fabrication est de haute précision, de l'ordre de 20 micromètres, mais il persiste des difficultés dans la métallurgie des crochets lors de la finition.



*Figure 45 : un problème de la micro-fusion est l'aspect rugueux de la surface  
(source : Ohkubu et coll, 2017)*

Ces machines-outils restent limitées à quelques centres de fabrication industriels.

Les erreurs de technique de coulée de l'alliage étant éliminées, cette technique semble être la solution d'avenir en termes de précision de fabrication, et reste en plein développement pour la fabrication des châssis métalliques de prothèses amovibles.

- Stéréolithographie par UV sélectifs (6, 20-22, 26, 27, 36-38, 46)

La technique SLA (Stereo-Lithographie Apparatus) a été la première technique de prototypage rapide à être développée dans les années 1980 par l'industrie.

Le logiciel de FAO va venir découper virtuellement l'objet en strate et créer une image bitmap de chaque strate.

Une plateforme horizontale mobile supporte l'objet en cours de fabrication immergé dans une cuve remplie de résine liquide photosensible.

En effet la technologie DLP (Direct Light Projection) projète l'image bitmap de la strate en surface du bain de résine. La résine photosensible en contact avec la lumière est alors photopolymérisée selon l'image bitmap projetée. On obtient une couche fabriquée. Puis le plateau descend de l'épaisseur de la nouvelle couche à fabriquer (de 25 à 150 micromètres). Il y aura autant de couches que nécessaire à la fabrication de l'objet. La fabrication du modèle nécessite la construction de supports, ces supports sont de même nature que la pièce fabriquée, ils seront supprimés manuellement.

L'image lumineuse projetée peut apparaître de deux façons, soit d'une image formée par orientation de différents miroirs (environ un million), soit en bloquant la lumière.

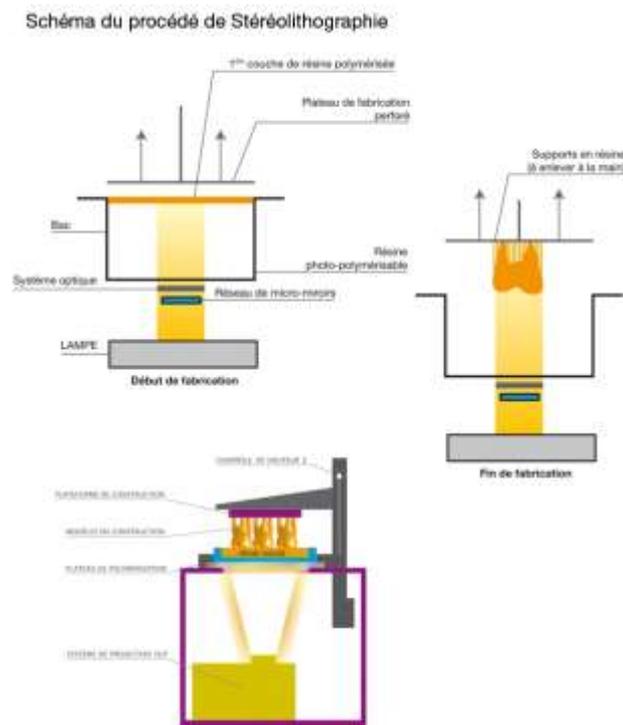


Figure 46 : fonctionnement de la stéréolithographie (Source : Cnifpd-Unppd, 2009)

- Techniques soustractives (6, 16, 20-22, 26, 27, 36-38, 46)
  - Usinage titane

Il est possible d'usiner directement dans un disque en titane.

Les machines-outils soustractives peuvent aller de trois à cinq axes pour usiner dans un matériau brut. On peut usiner de simples couronnes unitaires mas également des structures plus complexes telles que des barres à directions divergentes ou des châssis métalliques. La précision sera de l'ordre de 1 à 30 micromètres.



Figure 47 : mouvements possibles des axes d'une usineuse (Source : Cnifpd-Unppd, 2009)

Le titane présente une excellente biocompatibilité, une faible masse volumique et une excellente mouillabilité.

Mais malheureusement son usinage présente des inconvénients. En effet, lors du fraisage, des copeaux inflammables sont produits ce qui nécessite obligatoirement un arrosage à haute pression. De plus les outils de coupe de ce métal ont une durée de vie très courte et le temps d'usinage est assez important. L'usinage nécessite des blocs bruts très volumineux avec beaucoup de perte de matières. La complexité des châssis notamment au niveau des crochets rend l'usinage compliqué. Une machine-outil utilisée doit avoir 4 ou 5 axes pour fabriquer de tels éléments aussi complexes. Cette technologie novatrice est encore peu pratiquée car le coût de production à l'unité reste conséquent.

- Usinage cire/PMMA

L'usinage dans des matériaux calcinables est la plus retenue des techniques d'usinage. La pièce prothétique peut être usinée dans un matériau en cire ou en résine calcinable.

L'usinage dans la cire ou la résine est beaucoup plus rapide que dans le titane mais nécessite une fois produit, les techniques de coulée habituelles avec la mise en revêtement, technique de cire perdue et grattage.

La fabrication par CFAO redevient traditionnelle une fois l'usinage terminé, mais permet d'économiser du temps de travail sur les étapes de préparations, de duplications des modèles et de confection des maquettes en cire avec le positionnement des tiges de coulée.

*Tableau 1 : les différentes méthodes de production de châssis pour prothèse amovible partielle en CFAO ; en rouge : nécessite deux étapes avec la technique de coulée ; en bleu : une seule étape de fabrication (source : document personnel)*

Fabrication de Châssis de prothèses amovibles partielles				
Méthode additive			Méthode soustractive	
Impression 3D	Stéréolithographie	Frittage laser métal	Usinage PMMA, cire	Usinage titane
Maquette de fonderie		Châssis fini	Maquette de fonderie	Châssis fini
Châssis fini			Châssis fini	

Les procédés de fabrications additifs ou soustractifs permettent d'arriver au même résultat, à la fabrication du châssis métallique.

En CFAO, les procédés d'usinage sont plus précis que les procédés de soustraction car ils éliminent les effets de distorsion lors de la fabrication, mais dans le cas de châssis métallique l'usinage est contre indiqué non pas dû à une impossibilité technique, mais par le fait de l'importance de la masse à soustraire et du gaspillage de matières bruts. Le coût de production par usinage dans du titane est très élevé, ce qui limite son utilisation.

Les solutions additives restent un choix à préférer pour la fabrication de châssis métalliques.

Les techniques additives de fabrication de maquettes calcinables nécessitent une intervention humaine pour les transformer en pièces métallique finie contrairement à la technique par frittage laser. La technique par frittage laser direct, permettant de supprimer la coulée, semble être actuellement la technique de choix et d'avenir pour la réalisation des châssis métalliques. (6, 16, 20-22, 26, 27, 34-38, 46)

*Tableau 2 : résumé comparatif des différents procédés de fabrication : procédés, matériaux, avantages et inconvénients (source : document personnel)*

	Procédés	Matériaux	Avantages	Inconvénients
Techniques Additives	Impression 3D	Matériaux calcinables : cire ou résine	Facile à mettre en œuvre, très précis	Temps d'impression long, entretien des buses nécessaires, coulée obligatoire, suppression délicate du matériau support
	Stéréolithographie	Résine	Très bonne précision	Retrait délicat des supports, cout élevé des équipements, doit passer par une étape de coulée
	Frittage laser	Poudre cobalt-chrome	Poudre non solidifiée recyclé, pas d'usure d'outils de coupe et haute précision (de 20 à 50 micromètres)	Equipement lourds, complexe et couteux
Techniques soustractives	Usinage titane	Alliage de titane	Très haute précision, pas de porosités, pas d'impuretés, étapes de coulée supprimées	Cout de l'équipement, prix de revient d'une plaque élevé
	Usinage PMMA/Cire	Cire ou résine calcinable	Pas de porosités, pas d'impuretés	Nécessite une coulée traditionnelle

## 2.3. Moyens

### 2.3.1. Station de travail (26, 60)

La station de travail est une combinaison d'outils permettant la fabrication du châssis de la prothèse amovible.

Ces outils sont composés d'un scanner optique, d'un ordinateur de travail, d'une spatule numérique et d'une machine-outil de FAO.



*Figure 48 : la station de travail. Comprenant deux ordinateurs, un scanner optique et une spatule numérique (source : Taddei, Etienne et Baixe, 2012)*

### 2.3.2. Scanner optique (26, 60)

A l'intérieur du scanner optique se trouve un compartiment appelé chambre de scannage. Le scanner optique permet de numériser le modèle de travail qui est positionné sur une plaquette servant de support à l'intérieur de ce compartiment. La plaquette elle-même est montée sur une rotule permettant sa rotation afin de visualiser toute la surface du modèle.



*Figure 49 : le modèle de travail stabilisé sur une plaquette, allant être positionné sur la rotule de la chambre du scanner (source : Taddei, Etienne et Baixe, 2012)*

### 2.3.3. Ordinateur de travail (26, 60)

L'ordinateur est dédié uniquement à la chaîne d'exploitation de CFAO et les logiciels installés dessus permettent de commander le scanner, la CAO et la FAO.

### 2.3.4. Spatule numérique (26, 60)

La spatule numérique correspond à un bras à retour de force, elle remplace la souris d'ordinateur lors de la modélisation du châssis métallique sur l'ordinateur.

L'utilisation de cette spatule a plusieurs avantages, elle retransmet des sensations à son utilisateur comme s'il manipulait le modèle réel et de ce fait l'utilisateur peut percevoir différents reliefs du modèle.

La spatule a beaucoup d'avantages mais elle nécessite un apprentissage long. Certains logiciels de CAO utilisent la souris numérique et d'autres la spatule numérique.



*Figure 50 : spatule numérique (source : Negrel, 2007)*

### 2.3.5. Machines-outils de FAO (60)

Il existe actuellement deux types de machines-outils de FAO en prothèse amovible : les machines-outils à techniques soustractives et les machines-outils à techniques additives.

L'une usinera directement dans le métal ou dans des matériaux calcinables et l'autre permettra de construire couche par couche la maquette soit en matériaux calcinables soit directement en métal.

La machine-outil est commandée depuis son pilote installé sur l'ordinateur. Le pilote gère l'ensemble des paramètres d'usinage ou d'impression, la gestion des supports maquette, ainsi que l'orientation des maquettes.

### 2.3.6. Solutions logicielles et matérielles sur le marché

- Digilea ® par C4W

En 2007, la société C4W éditrice de logiciel CFAO dans divers domaines, a créé un département qui permet de développer des logiciels de conception et de fabrication assistées par ordinateur dans le domaine dentaire. DIGILEA® correspond à la division dentaire de C4W.

La société DIGILEA® présente une solution complète dans la conception et la fabrication de châssis métallique assistées par un ordinateur.

Elle a développé son propre scanner 3D optique le DIGISCAN®, son propre logiciel de CAO DIGISTELL® ainsi que le PRODIG un centre d'usinage. (51)

- Digiscan ® : (50)

Le Digiscan est un scanner numérique de haute performance. Il présente une caméra de haute définition et un projecteur de lumière blanche structurée.

Sa précision est de 10 microns.



Figure 51 : le Digiscan (source : Digilea)

Le temps de numérisation pour un modèle en plâtre issu d'une empreinte secondaire varie entre 4 et 5 minutes suivant la résolution choisie. Le scanner dispose d'une table rotative qui lui permet à l'aide d'un mouvement de bascule de venir scanner les zones les moins faciles d'accès telles que des contre dépouilles.

Une fois la numérisation terminée, les données peuvent être enregistrées sous différents formats (STL, IGES ou ASCII), afin d'être utilisées si besoin par différents logiciels de conceptions ouverts.



*Figure 52 : numérisation d'un modèle en plâtre par lumière blanche structuré  
(source : Digilea)*

- Digistell ® (51)

Le logiciel DIGISTELL est un logiciel de conception assistée par ordinateur pour les châssis métalliques de prothèse amovible partielle.

Ce logiciel est un logiciel ouvert, il est compatible avec la plupart des scanners 3D et des machines-outils de fabrication.

Il permet de concevoir virtuellement le châssis d'une prothèse amovible partielle en moins de 15 minutes.

Ce logiciel de CAO permet de choisir le futur axe d'insertion de la prothèse et de combler les contre dépouilles, en utilisant un paralléliseur virtuel.

La modélisation peut se faire en ajoutant crochet, potence, taquet, selle puis tracé de châssis.

La dernière mise à jour de DIGISTELL est la version 4.0 et donne accès à quelques nouvelles fonctions. Premièrement il est possible d'utiliser la reconnaissance des tracés sur le modèle de travail, facilitant la modélisation.

Il est aussi possible dans le cas de prothèses mixtes d'importer les données modélisées de prothèse fixée afin de poursuivre dans DIGISTELL. On peut réaliser par CFAO un châssis métallique sur implants ou sur couronnes fixées en même temps avec cette dernière version.



*Figure 53: reconnaissance de tracé de châssis (source : Digilea)*



*Figure 54: ajustement du châssis (source : Digilea)*

- Etapes de conception d'un châssis métallique :

1. Numérisation du modèle et importation du modèle numérique

La numérisation 3D du modèle en plâtre et enregistrement sous un fichier STL.  
Puis importation de ce fichier numérisé dans le logiciel de CAO.

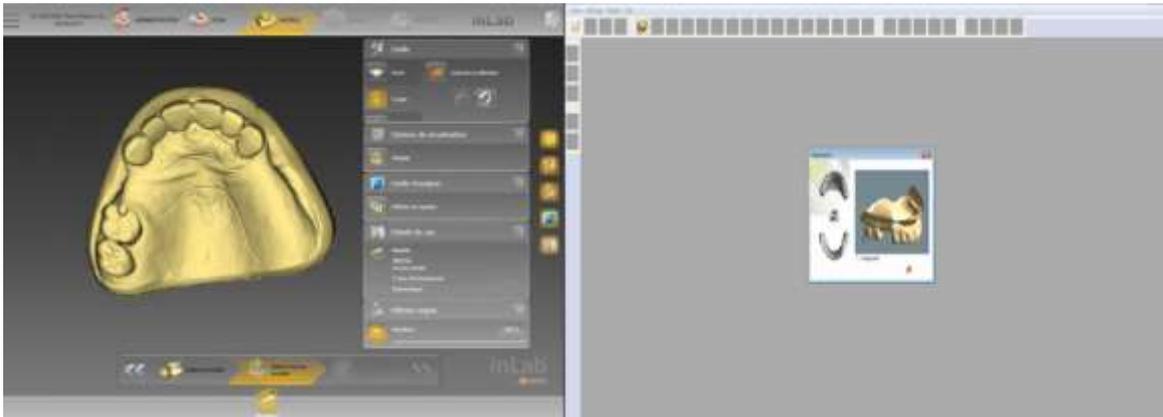


Figure 55 : numérisation du modèle en plâtre terminé et importation du fichier STL dans le logiciel Digistell ® (source : document personnel)

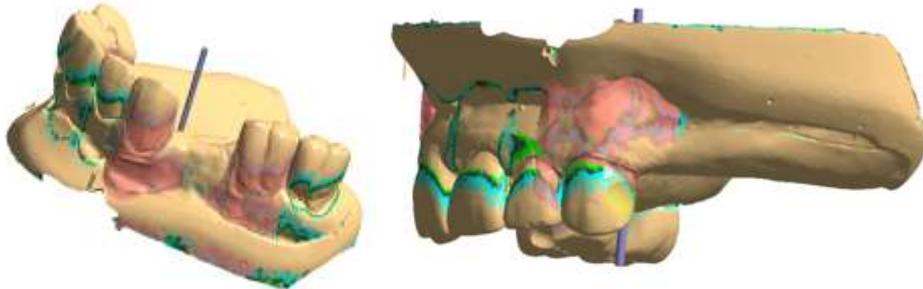
2. Détermination de l'axe d'insertion :



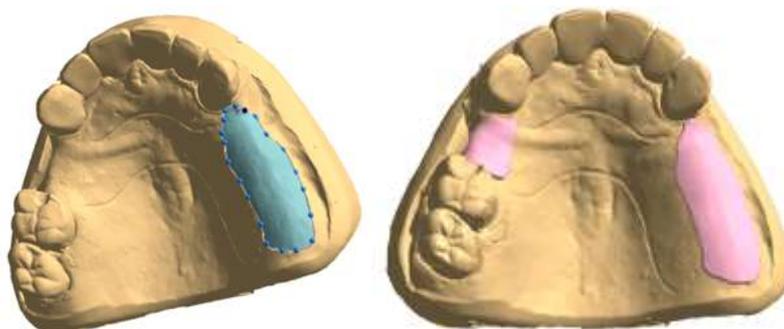
Figure 56 : choix de l'axe d'insertion de la prothèse et visualisation de la ligne guide suivant cet axe (source : document personnel)

### 3. Comblement des contre-dépouilles :

Le logiciel est capable de combler les contre dépouilles, permettant d'obtenir un ajustage parfait.

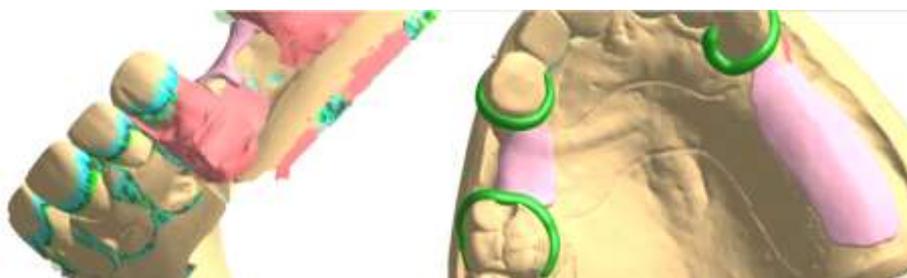


*Figure 57 : mise de dépouille du modèle et lissage de cette cire au niveau du dernier bras rétentif (source : document personnel)*



*Figure 58 : tracé et visualisation des cires d'espacement pour les futures grilles de rétention (source : document personnel)*

### 4. Tracé des crochets, des potences et des taquets :



*Figure 59 : tracé du crochet sur la 23 et visualisation des bras rétentifs et de rétentions de tous les crochets (source : document personnel)*

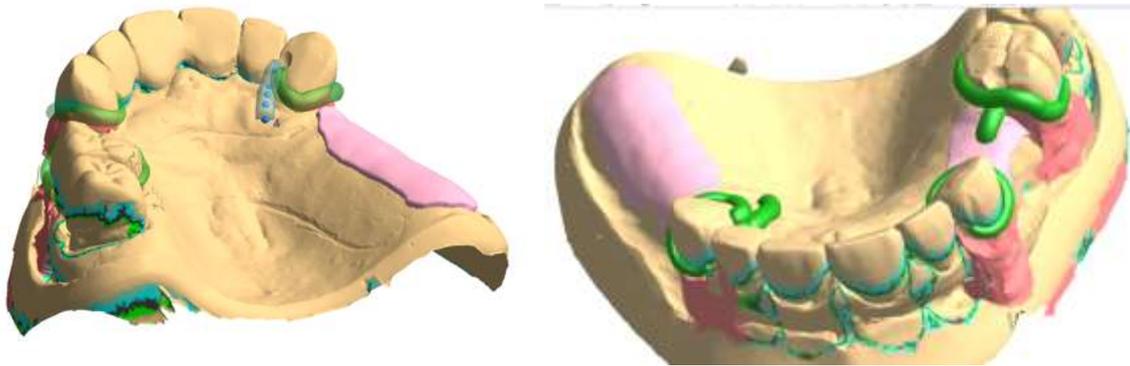


Figure 60 : tracé et visualisation des potences des crochets (source : document personnel)

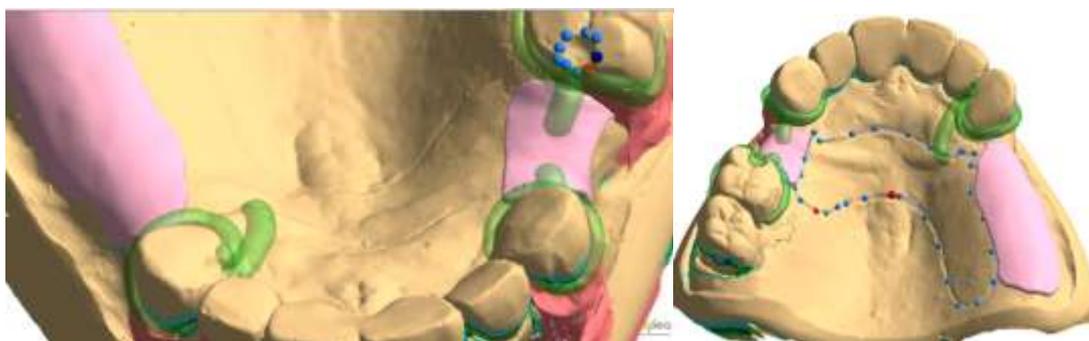


Figure 61 : tracé d'un taquet occlusal sur la 16 et du dessin de la plaque (source : document personnel)

##### 5. Tracé de la plaque :

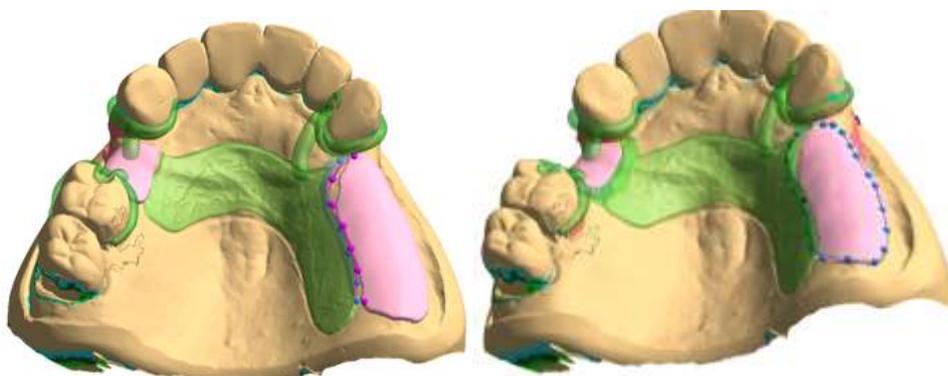


Figure 62 : visualisation de la plaque et tracé de la ligne d'arrêt puis tracé des limites de la première grille de rétention (source : document personnel)

6. Tracé des grilles de rétention :

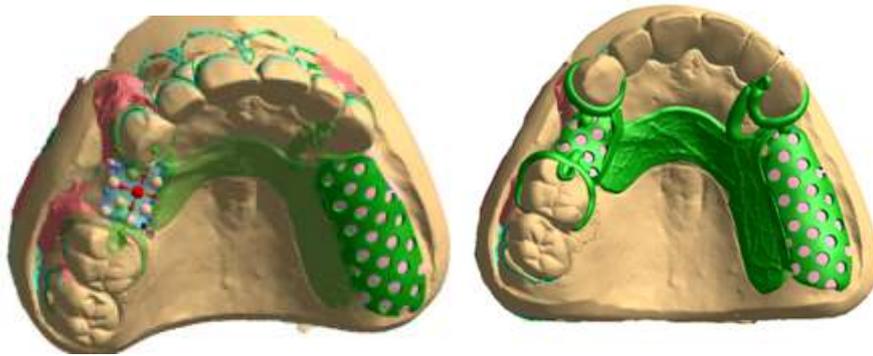


Figure 63 : choix de l'orientation de la grille de rétention et visualisation du châssis avec les deux grilles de rétentions finies (source : document personnel)

7. Obtention de la modélisation du châssis fini :

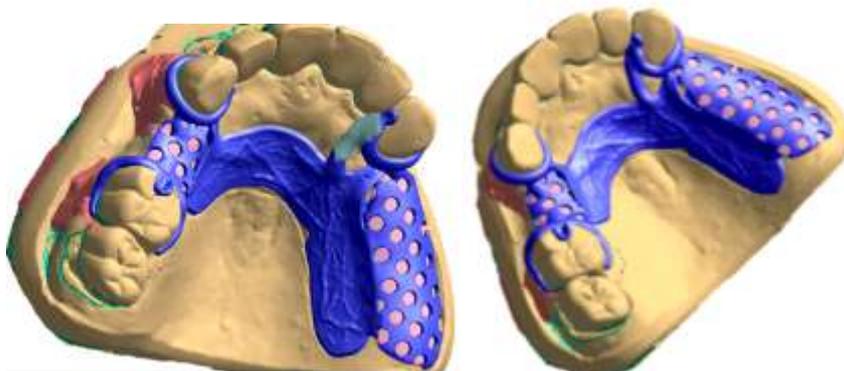


Figure 64 : possibilité d'ajout ou de lissage de la prothèse (source : document personnel)



Figure 65 : visualisation du châssis terminé sur le modèle numérique avant fabrication (source : document personnel)

## 8. Exportation en un fichier STL :



Figure 66 : enregistrement du châssis au fichier STL (source : document personnel)

### - Prodig<sup>®</sup> (51)

Le Prodig est un système d'usinage de haute précision. Cette machine-outil est capable d'usiner dans la cire, le polyméthacrylate de méthyle (PMMA), des disques de zircone ainsi que dans des disques de résine provisoire.

On peut donc produire de la prothèse fixe ainsi que de la prothèse amovible.

Cette machine-outil permet d'usiner dans des disques bruts, permet une gestion des matériaux, une gestion des usinages, une traçabilité des fabrications et un placement automatique des fichiers à usiner dans le disque.

Elle fabrique automatiquement les supports nécessaires lors de la fabrication de la pièce.

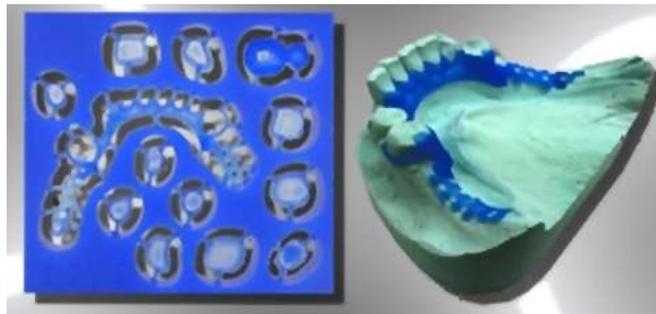


Figure 67 : Prodig<sup>®</sup>, Prodig Advanced<sup>®</sup> et Prodigstell<sup>®</sup> (source : Digilea)

Le logiciel de FAO contrôlant la machine-outil est le Prodig CAD/CAM®.

Il existe trois types de machine-outil : Prodig, Prodig Advanced et Prodigstell, les trois étant des usineuses à 4 axes pilotés.

Grâce à ces machines-outils, il est possible d'usiner jusque trente éléments en zircon et quatre châssis métalliques en un seul cycle à l'aide de l'optimisation des parcours d'outils et de la gestion des matériaux.



*Figure 68 : usinage dans un bloc de cire brut et essai de cette maquette sur le modèle (source : Digilea)*

- Logiciel de CFAO 3Shape Dental System® (40, 41)

3 Shape ® fait partie des solutions innovantes de CAO et de numérisation 3D. Cette société a été créée en 2000 par deux étudiants de deuxième cycle.

Son innovation constante fait évoluer les méthodes de travail traditionnelles, permettant aux professionnels du secteur dentaire d'optimiser leur productivité.

Shape ® a développé son propre module PPA pour la conception de châssis métallique prothèse partie amovible.

Les utilisateurs de ce logiciel peuvent maintenant placer des dents virtuelles sur le modèle afin d'optimiser la conception du châssis. La durée de conception du châssis est de moins de quinze minutes.

Différentes nouveautés ont été apportées à ce module en 2017 :

- Lors de la conception du crochet, il est possible d'ajouter virtuellement un renfort.
- Un large choix de types de connecteurs principaux a été apporté.

- Il est possible de venir modéliser des dents massives en métal afin de venir les intégrer dans le châssis.
- Il est possible de numériser le tracé de châssis au crayon sur le modèle.
- Si on veut partager la configuration des paramètres du châssis, il est désormais possible de le faire en quelques clics et de sauvegarder ces données.



*Figure 69 : système d'acquisition numérique de 3Shape ® et numérisation du modèle de travail (Source : 3Shape)*



*Figure 70 : visualisation du modèle numérique et des zones de contres dépouilles selon l'axe d'insertion de la prothèse choisi (Source : 3Shape)*

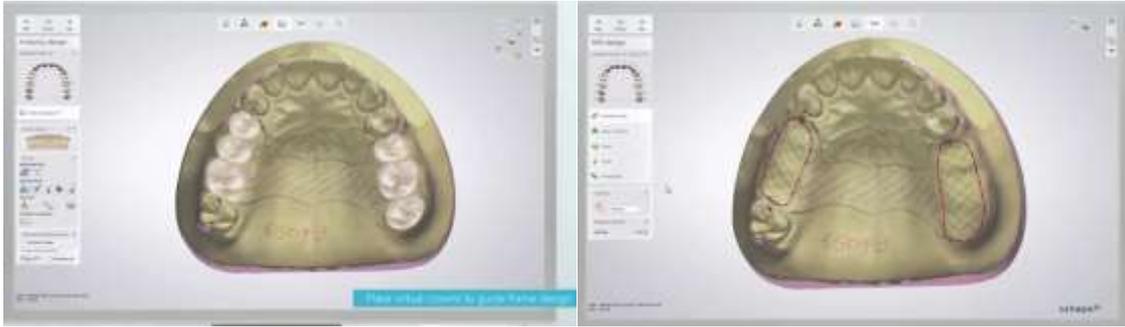


Figure 71 : possibilité de positionner virtuellement les futures dents prothétiques puis tracés des limites des grilles de rétention (Source : 3Shape)

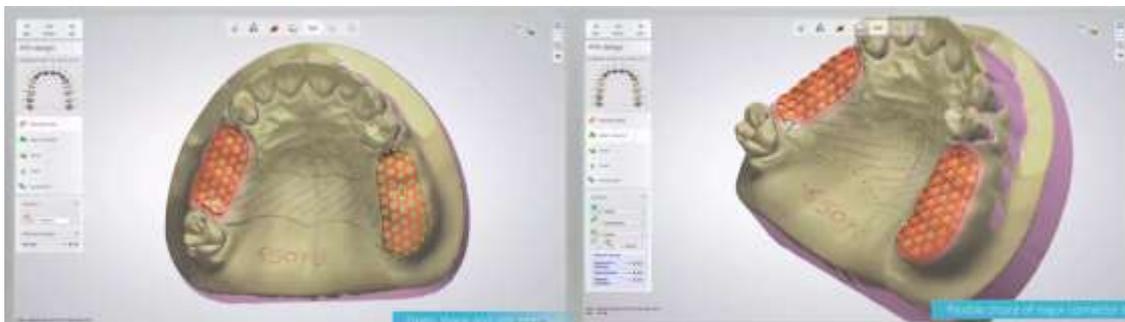


Figure 72 : positionnement et choix de l'orientation des grilles de rétention puis tracé des limites de la connexion principale (Source : 3Shape)

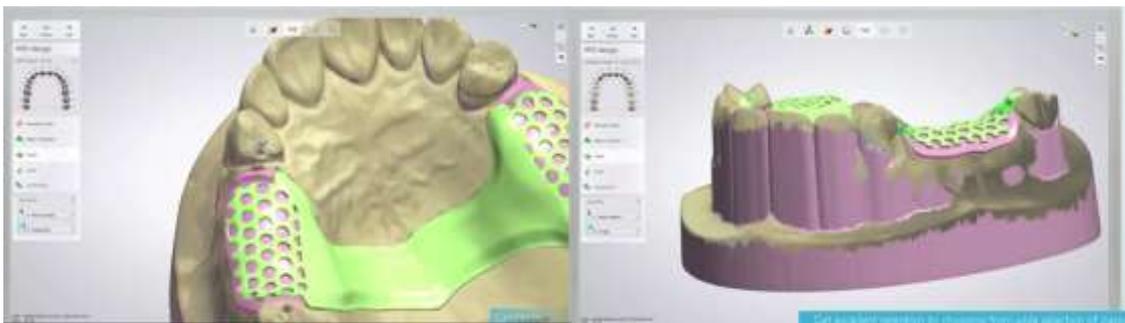
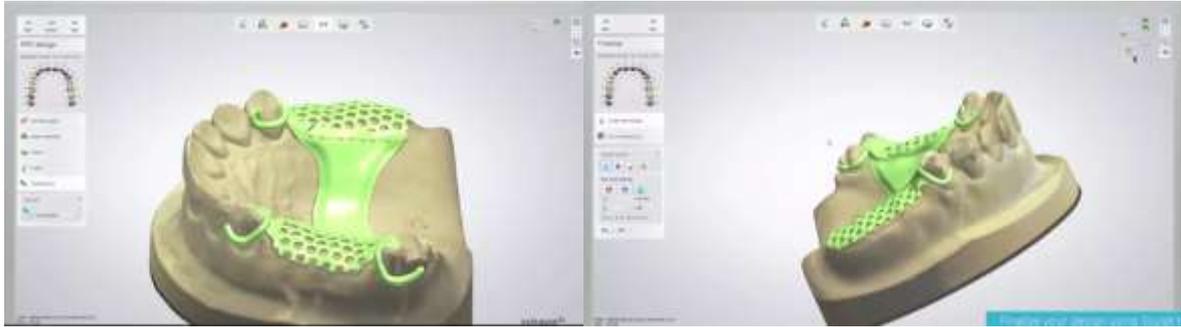


Figure 73 : visualisation de la connexion principale, choix de l'épaisseur, granité puis tracé du bras rétentif du crochet (Source : 3Shape)



*Figure 74 : visualisation des crochets, des potences et des taquets occlusaux modélisés (Source : 3Shape)*



*Figure 75 : visualisation du châssis modélisée seul et sur le modèle de travail (Source : 3Shape)*

- Logiciel Dental Wings (32, 49)

Dental Wings est un important fournisseur de technologies numériques. Cette société a été créée en 2007 à Montréal et s'est implantée en Chine ainsi que dans les villes européennes telles que Berlin, Chemnitz et Lyon.

Dental Wing Open Systeme (DWOS) est le logiciel de cette société. La dernière mise à jour est le DWOS 7.0, elle permet d'améliorer la productivité ainsi que l'efficacité de la CFAO numérique.

DWOS permet de subvenir à de nombreuses fonctionnalités dentaires. Ce logiciel permet la conception des couronnes, de prothèses sur implant, de prothèses partielles, de prothèses complètes, de modèles virtuels, de plaque occlusale ainsi qu'un archivage orthodontique.

Le grand avantage de ce logiciel est sa compatibilité avec pratiquement toutes les sources d'entrée (numérisation) et de sortie (fabrication). (Les fichiers sont ouverts).

DWOS prothèses partielles ® est le module de conception des infrastructures de prothèses amovibles partielles. Le module de conception de prothèses partielles et le module de conception de couronnes et ponts sont complémentaires. Le prothésiste peut combiner la conception de ces deux types en même temps.

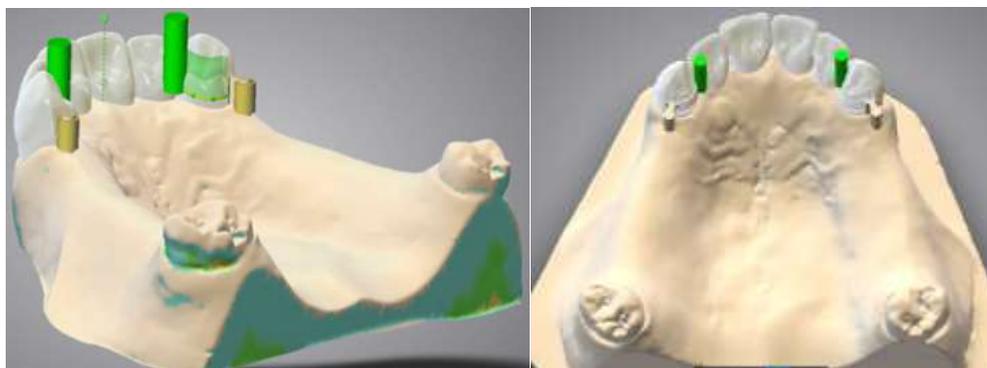
Ce module présente la possibilité de modifier la banque de plaques palatines, de grilles de rétention ainsi que les crochets puis les enregistrer afin de les utiliser pour d'autre cas.

Il est possible d'appliquer le blocage automatique des contre-dépouilles, ce qui permet d'assurer une meilleure rétention et insertion.

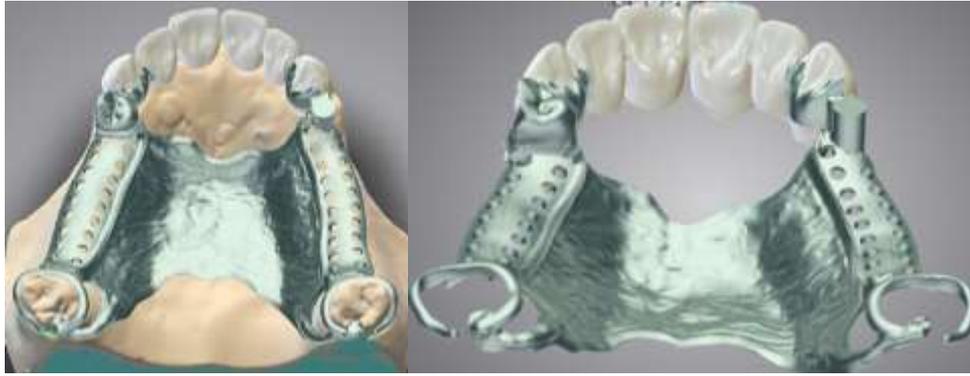
L'occlusion avec l'antagoniste est automatiquement ajustée, pour assurer une meilleure fabrication des taquets et autres appuis occlusaux.



*Figure 76 : réalisation d'un bridge de 13 à 23 en CAO et choix de l'axe d'insertion de la future prothèse amovible (source : Sireix, 2016)*



*Figure 77 : mise en place des attachement sur le bridge avec axe ayant pour insertion celle de la futur prothese (source : Sireix, 2016)*



*Figure 78 : Visualisation du bridge et du châssis métallique avec contreplaque sur la 14 sur le modèle virtuel et sans le modèle avant FAO (source : Sireix, 2016)*

### 3. Comparaison des techniques d'élaboration des châssis : Illustrations avec un cas clinique

#### 3.1. Conception traditionnelle (5, 29, 30)

##### 3.1.1. Modèle d'étude

Une fois le moule de l'empreinte anatomo-fonctionnelle obtenu, la fabrication du châssis commence. Le châssis est élaboré à partir du dessin de châssis fourni par le praticien. Le dessin et les informations complémentaires seront indiqués sur la fiche de laboratoire.

Le moulage de l'empreinte est souvent de plâtre extra dur, il permet une bonne stabilité dimensionnelle et une bonne reproduction des détails.



*Figure 79 : coulée du modèle (source : document personnel)*

##### 3.1.2. Etude au paralléliseur

Après l'étude de l'axe d'insertion de la future prothèse, le tracé de la ligne de plus grand contour peut être réalisé à l'aide d'un paralléliseur suivant l'axe d'insertion choisi.

L'axe d'insertion dépend de plusieurs choses :

- De la position des dents restantes
- De la hauteur des futurs crochets
- De l'insertion de l'attache épithéliale

Toutes les zones en dessous de cette ligne guide seront dans des zones de rétention. Cette ligne guide correspond à la ligne de plus grand contour selon l'axe d'insertion choisi.



*Figure 80 : choix de l'axe d'insertion et tracé de la ligne de plus grand contour  
(source : document personnel)*

### 3.1.3. Tracé du châssis et préparation du modèle

Le tracé de la plaque et de ses différents éléments est réalisé sur le modèle à partir d'une mine de graphite.

Le tracé des crochets sera pour le dernier tiers du bras de rétention sous la ligne guide, le reste au-dessus.

La plaque sera décollée d'au moins 5 mm de la gencive marginale pour éviter d'appliquer des points de pressions.

Le tracé des selles avec une forme esthétique et le tracé de la plaque sont réalisés.

Une fois le dessin de plaque et de ses différents éléments obtenus, la préparation du modèle peut commencer.

Les contres dépouilles sont supprimées et les espacements des grilles et de l'intrados sont assurés par l'apport de cire.

Le dessin du châssis réalisé et les contre dépouilles comblées, la fabrication de la réplique en matériau réfractaire peut commencer.



*Figure 81 : comblement des zones de contre dépouilles et mise en place des espacements des grilles (source : document personnel)*

#### 3.1.4. Duplication

- Silicone de duplication

Le modèle en plâtre est fixé au milieu d'un socle dans un cylindre, les deux composants du silicone sont mélangés sous vide en quantités égales et injectés autour du modèle dans le cylindre.



*Figure 82 : obtention d'un silicone de duplication (source : document personnel)*

Une fois le silicone durci le modèle peut être démoulé, nous obtenons un silicone de duplication.

- Duplication en matériau de revêtement

Le revêtement peut être coulé dans l'empreinte en silicone, il est mélangé comme le silicone sous vide afin d'éviter la formation de bulles.

Après durcissement complet (environ 40 minutes), ce modèle est placé au four environ 1 heure à 200 degrés Celsius afin de le déshydrater totalement.



*Figure 83 : coulée de la duplication en matériau de revêtement (source : document personnel)*

### 3.1.5. Fabrication

- Réalisation de la maquette du châssis métallique

Le tracé du châssis créé précédemment est reporté sur le moulage réfractaire à l'aide d'un crayon.

Pour réaliser la maquette du châssis métallique, on utilise des préformes en cire ou en résine commercialisées par les fabricants.

Il existe différentes épaisseurs des plaques en cire, suivant le futur alliage utilisé ou la localisation de la plaque, l'épaisseur sera plus ou moins importante.

Les connexions principales sont maquetées en premier, puis les grilles de rétention des selles reliées à la plaque sont découpées et enfin appliquées sur le modèle tout en respectant les limites du châssis.

Les crochets sont réalisés à leur tour en cire. On utilise des profils en cire qui sont appliqués sur les dents en respectant le marquage des zones rétentives.

A l'aide d'une spatule chauffée et de cire, les taquets d'appui ainsi que les potences peuvent être réalisés et l'ensemble peut être relié à la plaque du châssis.

La finition est assurée par la technique de la cire ajoutée pour obtenir une continuité parfaite entre chaque élément du châssis, et les défauts sont eux supprimés.

La maquette du châssis métallique enfin prête sur le modèle en revêtement, la mise en place des tiges de coulées peut être réalisée.



*Figure 84 : fabrication de la maquette du châssis à l'aide des préformes en cire  
(source : document personnel)*



*Figure 85 : maquettage du châssis terminé (source : document personnel)*

- Choix des alliages

Les alliages utilisés pour la confection des PAPIM doivent être légers, inoxydables, rigides dans les parties massives et élastiques dans les parties rétentives des crochets.

Ces alliages utilisés sont les alliages chrome-cobalt, les alliages d'or et le titane.

- Alliages cobalt-chrome

Ces alliages sont les plus répandus, ils présentent des propriétés mécaniques élevées et un coût raisonnable. Ils sont de loin les alliages les plus utilisés.

Ils sont utilisés pour toutes les techniques de fabrication des châssis métalliques, en technique de coulée.

- Alliages d'or

Ces alliages ont été les premiers à être employés, ils offrent une bonne coulabilité, ils sont faciles à souder ou à braser mais ils sont lourds et très onéreux.

- Titane

Il est beaucoup plus léger que les autres alliages, il offre d'excellentes propriétés tensioactives et est biocompatible.

Il nécessite un équipement spécifique au laboratoire de prothèses. Pour les châssis métalliques, son utilisation se fait par CFAO, par technique d'usinage dans un bloc en titane.

- Mise en cylindre et coulée
  - Mise en cylindre

Il existe différents types d'alliages et différents protocoles de fonderie et il est possible suivant le cas d'utiliser de deux à quatre tiges de coulée.

Les tiges de coulée utilisées sont, comme la maquette du châssis métallique, en cire et ont un diamètre de 3,5 à 4 mm.

Elles sont fixées à la maquette au niveau des parties les plus épaisses, souvent localisées au niveau de la jonction entre la grille et l'armature.

L'ensemble des tiges connectées au châssis se rejoint au niveau du cône de coulée. Lorsque la maquette est terminée, la mise en revêtement avant la coulée peut être réalisée.

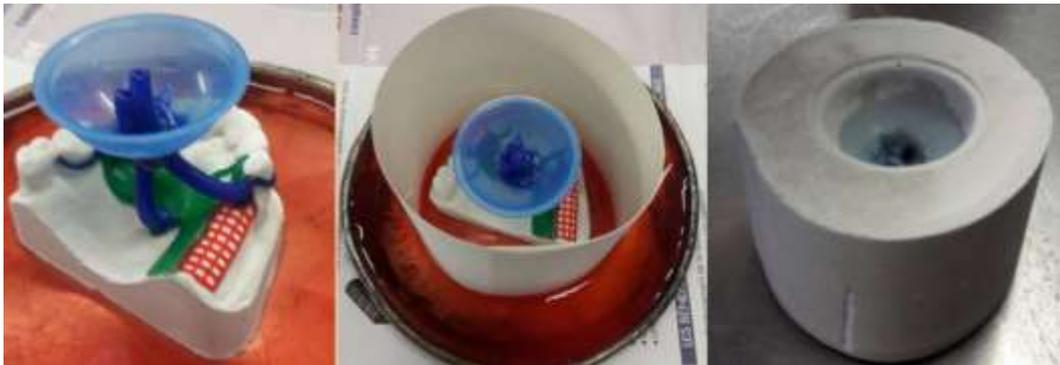
Le modèle est placé dans un cylindre qui est scellé avec de la cire collante au niveau de sa base afin d'éviter tout déplacement lors de son remplissage.

Le revêtement peut être coulé autour du modèle.

Le revêtement est le même que celui du modèle et on suit le même protocole de coulée.



*Figure 86 : mise en place des tiges de coulées (source : document personnel)*



*Figure 87 : mise en cylindre du modèle et de la maquette (source : document personnel)*

- Coulée

Le cylindre est placé au four à une température de 900 degrés Celsius pendant une heure. Les cires et les résines utilisées pour le maquettage sont calcinables et ne laissent pas de résidus.

Le but étant d'évaporer l'eau résiduelle, de provoquer l'expansion du revêtement liée à la transformation des phases cristallines ce qui correspond au traitement thermique du cylindre et surtout d'éliminer les cires et résines de la maquette du châssis.



*Figure 88 : suppression de la maquette calcinable au four (source : document personnel)*

La coulée de l'alliage est réalisée par deux techniques, soit à l'aide d'une fronde utilisant la centrifugation, soit par pression dépression.

Le métal en fusion prend alors la place de la maquette en cire précédemment éliminée. La coulée étant terminée, il faut attendre que le cylindre refroidisse à température ambiante afin de ne pas provoquer de choc thermique.



*Figure 89 : coulée du châssis par aspiration, et refroidissement du cylindre (source : document personnel)*

Arrivé à une température ambiante, la pièce de coulée peut être libérée en fractionnant le moule en revêtement. Ici la technique utilisée est celle de la pression dépression.

- Grattage, sablage et finition de la PAPIM

Les tiges de coulées encore présentes sont sectionnées avec l'aide d'un disque à métal, puis l'ensemble des bords du châssis est fini à la pièce à main pour donner une finition lisse. Toutes les parties métalliques qui ne correspondaient pas au maquetage de départ sont supprimées.



*Figure 90 : sablage, suppression des tiges de coulées, dégrossissage et ajustage sur le modèle de travail (source : document personnel)*

Les derniers résidus de revêtement sur la pièce de coulée sont nettoyés à l'aide d'un sablage à l'alumine.



*Figure 91 : isolation des crochets avant passage au bain électrolytique (source : document personnel)*

Le châssis peut désormais être poli avec l'aide de bains électrolytiques et de l'utilisation de pointes en silicone. Les crochets sont affinés et polis, et l'ensemble du châssis est passé au tour à polir afin de le faire briller. Le lustrage est obtenu avec une brosse dure et du Dialux blanc ®.

Le châssis métallique enfin poli peut-être nettoyé à la vapeur puis ajusté sur le modèle maitre qui aura été débarrassé des restes de cire.

La fabrication du châssis métallique est terminée, un essayage en bouche avant le montage des dents permet de valider le châssis métallique.



*Figure 92 : Insertion du châssis dans le bain électrolytique (source : document personnel)*



*Figure 93 : fabrication du châssis terminé et mise en place sur son modèle de travail (source : document personnel)*

## 3.2. Conception et fabrication assistées par ordinateur

### 3.2.1. Duplication du maître-modèle par numérisation

La numérisation du modèle en plâtre se réalise dans cet exemple grâce au scanner 3D inEos X5.

Ce scanner 3D utilise la technologie par lumière structurée.

Le logiciel permettant d'utiliser ce scanner est inLab 16.1 de Sirona®.

Une fois numérisée, un fichier STL est enregistré.



Figure 94 : logiciel inLab 16.1, préparation pour numérisation d'un modèle maxillaire  
(source : document personnel)



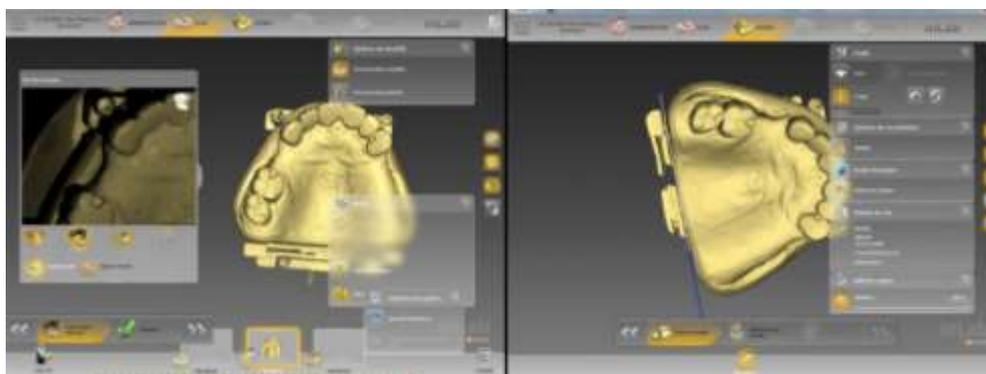
Figure 95 : mise en place du modèle en plâtre sur le support (source : document  
personnel)



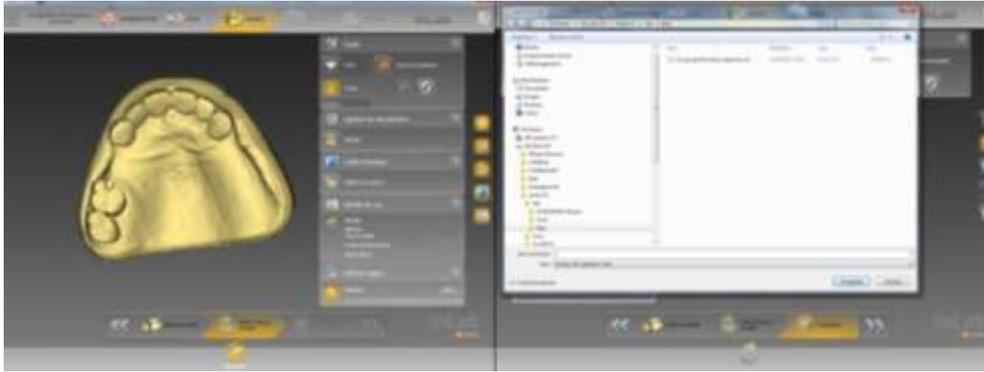
*Figure 96 : mise en place du support sur le bras rotor du scanner 3D inEos X5  
(source : document personnel)*



*Figure 97 : numérisation en cours par lumière structurée (source : document personnel)*



*Figure 98 : numérisation du modèle et suppression des parties inutiles (source : document personnel)*



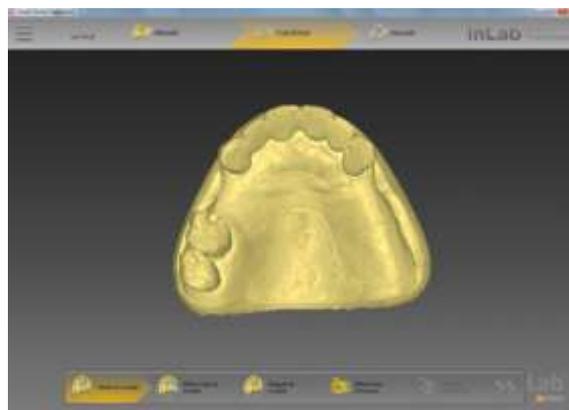
*Figure 99 : visualisation du modèle numérisé puis exportation au format STL  
(source : document personnel*

### 3.2.2. Modélisation du châssis à l'aide du logiciel inLab® Partial Framework

Le modèle numérisé puis enregistré sous un format STL est importé dans le logiciel de CAO inLab® Partial Framework.

- Etapes de préparation numérique du modèle

La préparation du modèle permet d'obtenir un modèle de travail virtuel avec un axe d'insertion choisi et la suppression des contres dépouilles par comblements des espaces.



*Figure 100 : visualisation du modèle maxillaire dans le logiciel (source : document personnel)*

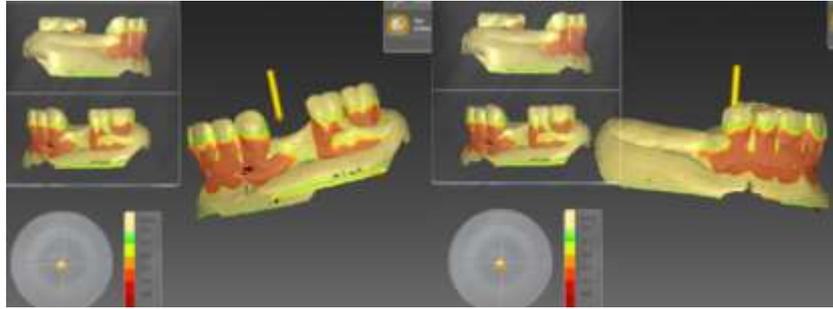


Figure 101 : visualisation de l'axe d'insertion de la prothèse et des contre dépouilles  
(source : document personnel)

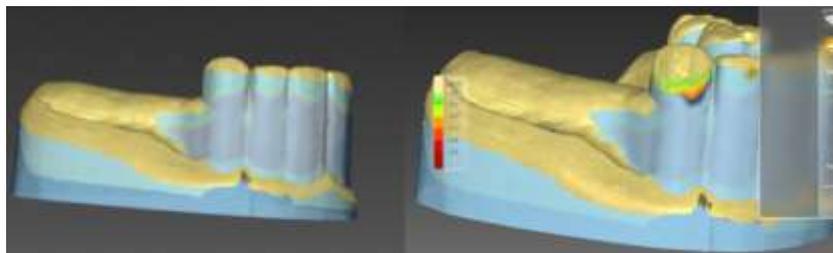


Figure 102 : mise de dépouille par ajout de cire virtuelle du modèle suivant l'axe d'insertion choisi, et suppression de cire au niveau du dernier tiers rétentif des futurs crochets pour être dans la zone de contre dépouille (source : document personnel)

- Etapes de design et du choix des éléments du châssis

La conception du châssis se réalise en ajoutant élément par élément jusqu'à obtention d'un châssis virtuel.

- L'espacement entre les grilles métalliques et le modèle peut être choisi, ici 0,5 mm a été appliqué.

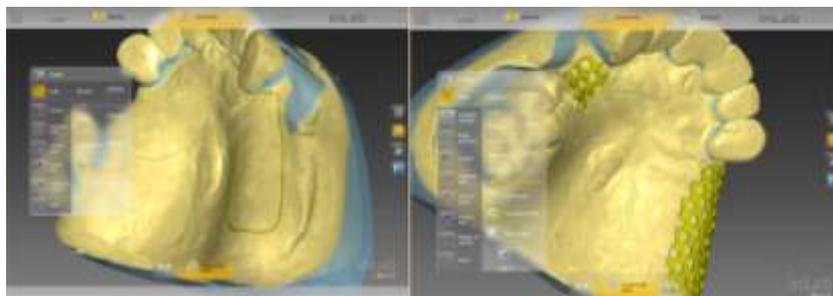
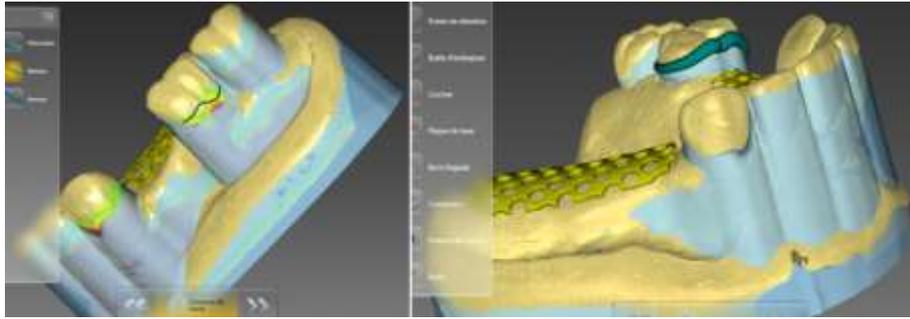


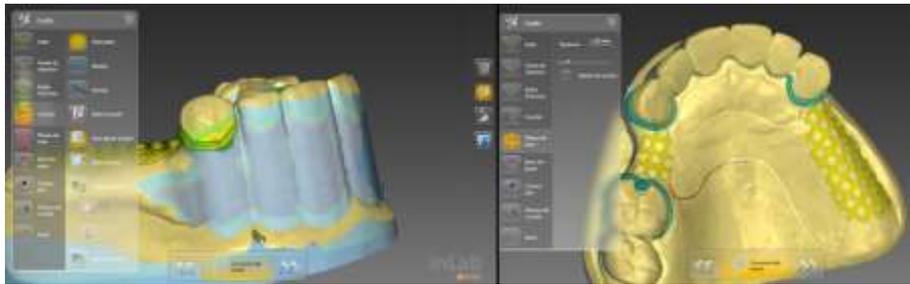
Figure 103 : tracé et visualisation des grilles de rétention (source : document personnel)

- Le tracé des bras de rétention et des bras de calage sont réalisés.



*Figure 104 : tracé et visualisation du bras rétentif et de calage sur la 16 (source : document personnel)*

- Le tracé de la plaque est réalisé à son tour.

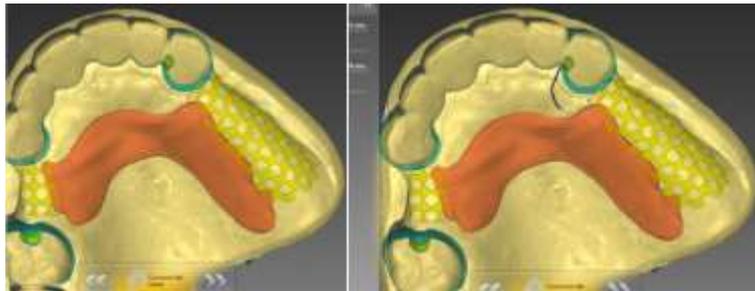


*Figure 105 : tracé et visualisation des bras rétentif et de calage (source : document personnel)*

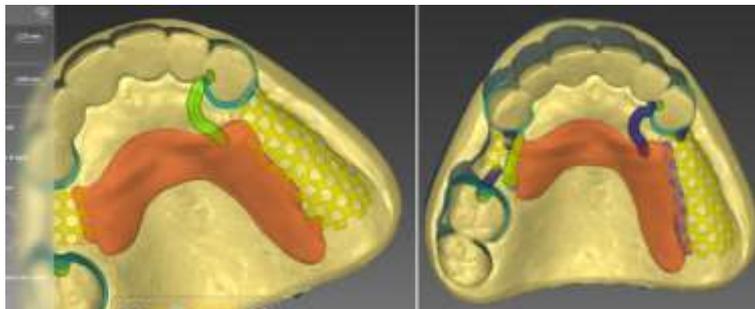


*Figure 106 : tracé et visualisation de la plaque palatine (source : document personnel)*

- Puis le tracé des taquets occlusaux, des appuis secondaires et des potences est réalisé.



*Figure 107 : tracé des taquets occlusaux et des potences (source : document personnel)*



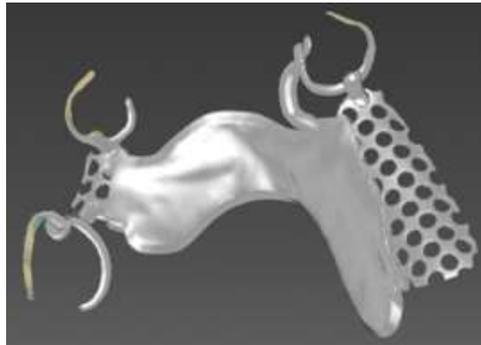
*Figure 108 : visualisation d'une potence ajoutée puis de tous les éléments sur le modèle virtuel (source : document personnel)*

- Il est tout à fait possible de lisser ou de gonfler les éléments afin d'avoir une meilleure finition. Tous les éléments sont ensuite reliés entre eux pour obtenir un seul élément : le châssis de la prothèse.



*Figure 109 : visualisation du châssis terminé sur le modèle avant exportation (source : document personnel)*

Avant exportation sous format STL, le châssis est visualisé sur le modèle virtuel, puis seul.



*Figure 110 : visualisation du châssis sans le modèle (source : document personnel)*

### 3.2.3. Fabrication du châssis

Dans cette partie, le châssis métallique est fabriqué par la technique d'impression par stéréolithographie. La fabrication nous permet d'obtenir une maquette du châssis en résine calcinable.

La préparation de la fabrication se réalise à l'aide du logiciel 3SHAPE CAM bridge. Ce logiciel permet d'augmenter l'efficacité et de simplifier la production. L'automatisation améliore le rendement des matériaux, de même pour la capacité de production.

Il permet de gérer la disposition et l'orientation de l'objet, la fabrication des supports, le lien avec la machine et la gestion des commandes. (39)

Deux maquettes de châssis vont être fabriquées, l'une conçue par le logiciel inLab ® Partial Framework (voir partie 3.2.2) et l'autre par le logiciel Digistell ® (voir partie 2.3.6).

- Création du fichier TAR pour la fabrication :

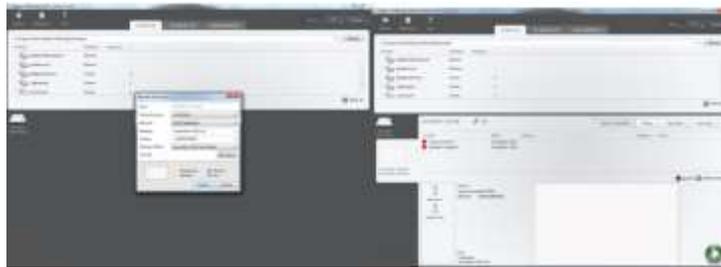


Figure 111 : création d'une nouvelle plateforme avec le matériel VarseoWax CAD/Cast pour châssis de prothèse adjointe (source : document personnel)

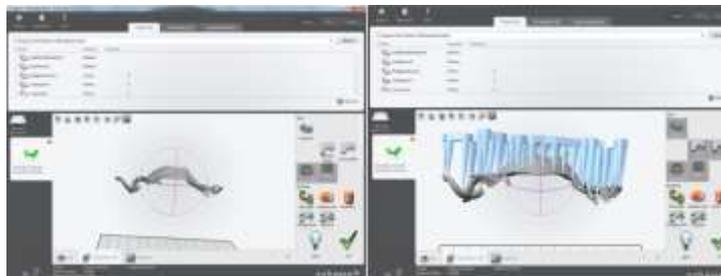


Figure 112 : choix de l'orientation de fabrication et positionnement des supports pour la première maquette (source : document personnel)

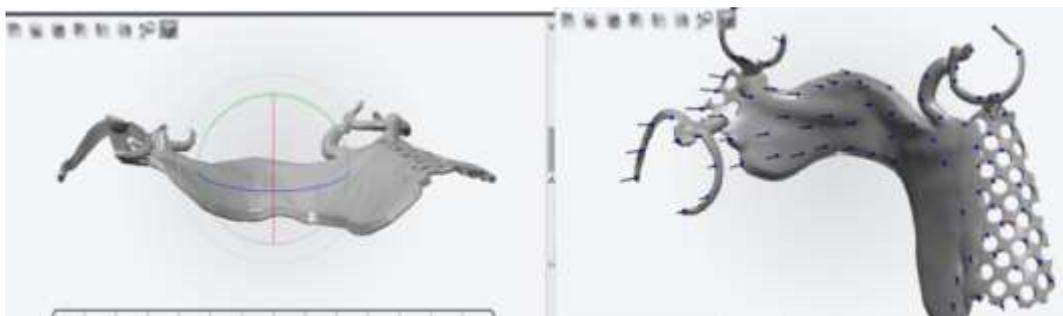
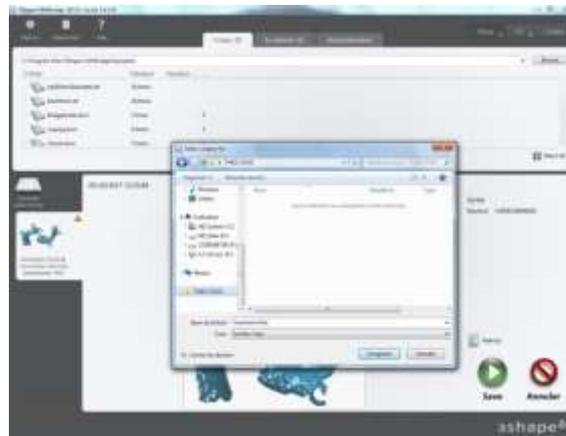


Figure 113 : choix de l'orientation de fabrication et positionnement des supports pour la seconde maquette (source : document personnel)



*Figure 114 : positionnement des deux maquettes sur la plaque de fabrication  
(source : document personnel)*



*Figure 115 : exportation du fichier de fabrication au format TAR (source : document personnel)*

La fabrication des maquettes calcinables se réalise grâce à la machine-outil Bego Varseo qui travaille par addition grâce à la méthode de stéréolithographie. Son système d'impression utilise la technologie DLP (Digital Light Processing), un masque lumineux sélectif est projeté permettant de créer couche par couche la maquette désirée. (44)

Cette machine machine-outil a le choix pour le matériau de fabrication additif, il y a le VarseoWax CAD/Cast pour l'impression en résine calcinable, le VarseoWax Surgical Guide pour l'impression de guides chirurgicaux, le VarseoWax Splint pour l'impression de gouttières occlusales, le VarseoWax Tray pour l'impression de portes empreintes individuels, le VarseoWax Model pour l'impression des modèles dentaires et le VarseoWax Base pour l'impression de bases de prothèses amovibles complètes.

Après insertion dans la machine-outil de la clé USB contenant le fichier TAR, la fabrication peut être lancée. Ici la fabrication des deux maquettes se réalise à l'aide du VarseoWax CAD/Cast. Les maquettes en positions horizontales nécessitent une heure et trente-cinq minutes et 436 couches de fabrication.

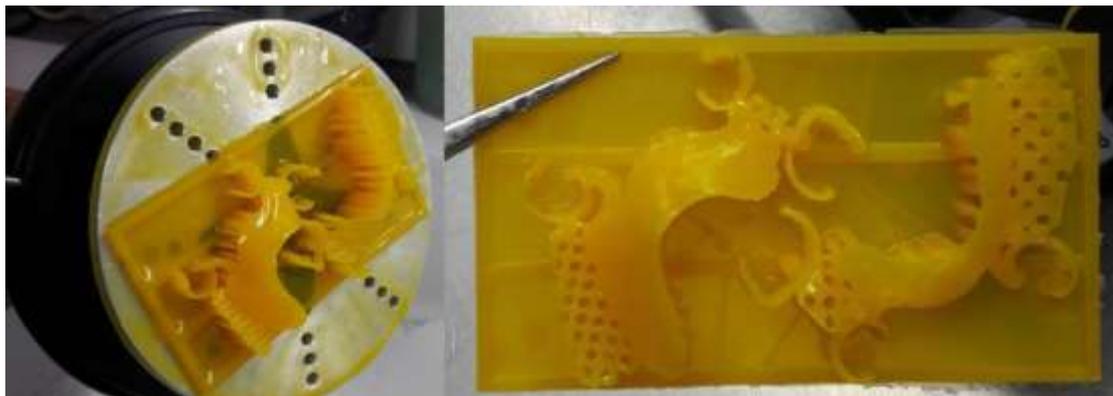


*Figure 116 : machine-outil Bego Varseo et visualisation de l'écran de contrôle de fabrication (source : document personnel)*

Une fois l'impression terminée, la cartouche contenant l'impression et la résine photosensible est sortie de la machine-outil.



*Figure 117 : visualisation de la cartouche contenant les objets imprimés (source : document personnel)*



*Figure 118 : démontage du support et nettoyage à l'éthanol (source : document personnel)*

Une fois la plaque d'impression démontée, il est conseillé de nettoyer l'objet imprimé. Le nettoyage s'effectue à l'aide d'un bain à ultrasons avec de l'éthanol en deux temps, 3 minutes dans le premier bain avec une solution réutilisable d'éthanol puis 2 minutes dans une solution fraîche d'éthanol.

Il ne faut pas dépasser 5 minutes au total, car les objets imprimés risquent de se déformer.



*Figure 119 : séparation des deux maquettes (source : document personnel)*

Un dégrossissage permet d'obtenir la maquette finie. Il faut sectionner les structures de support puis éliminer les restes de supports avec une fraise résine. Il faut être vigilant lors du dégrossissage afin de ne pas déformer l'objet, puis bien vérifier son adaptation sur le modèle.

Un traitement par photopolymérisation est nécessaire afin de garantir la résistance mécanique des objets. La durée sera fonction de la puissance de la lampe utilisée.

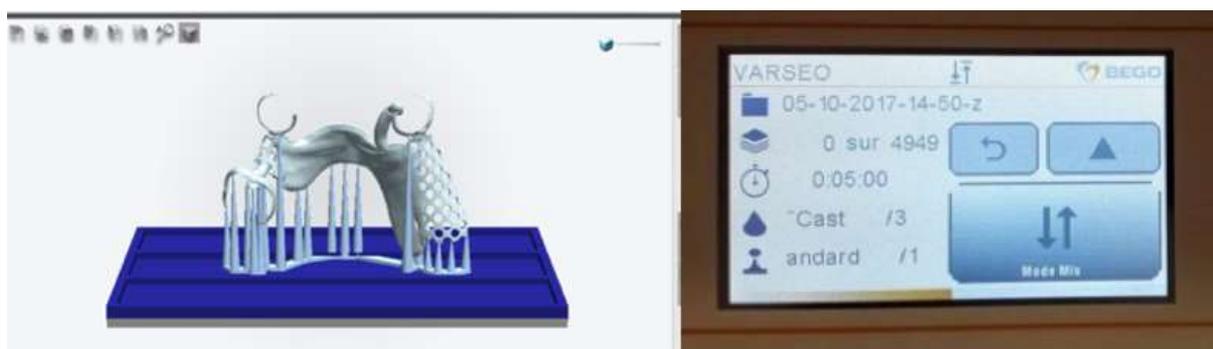


*Figure 120 : visualisation de la maquette dégrossie sur son modèle (source : document personnel)*



*Figure 121 : visualisation de la maquette imprimée et du châssis fabriqué traditionnellement (source : document personnel)*

Lors du démontage des supports sur une des maquettes, un crochet s'est fracturé. Le choix d'augmenter l'épaisseur des crochets a été fait en repassant sur le logiciel de CAO, puis pour la FAO, l'orientation de la fabrication a été changée. La fabrication du châssis à la position verticale a une durée de 5 heures, 4949 couches sont nécessaires. Moins de supports sont mis en place mais le temps de fabrication est beaucoup plus long.



*Figure 122 : préparation de la fabrication à la verticale, et lancement d'impression (source : document personnel)*

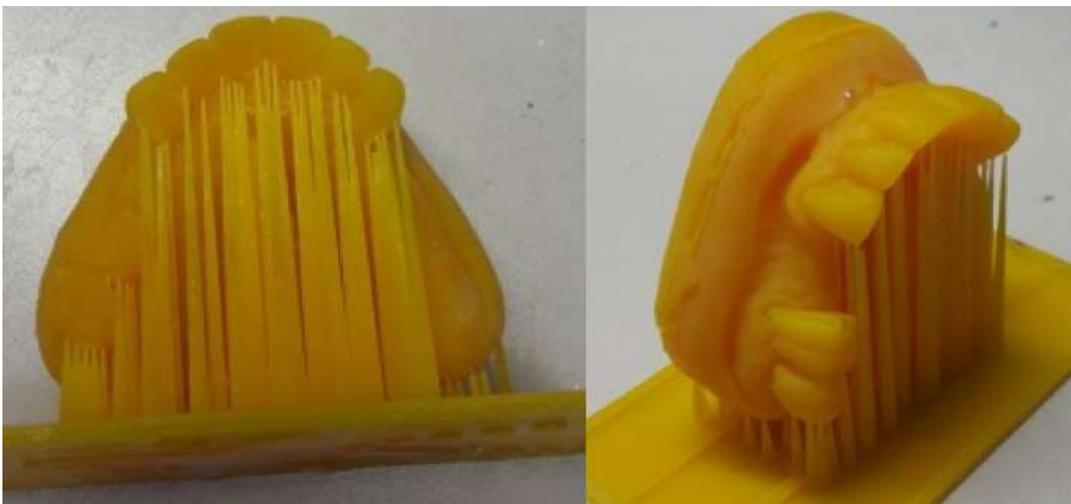
Une fois les maquettes en résine calcinable fabriquées nettoyées, dégrossies et polymérisées, elles peuvent passer par la technique de cire perdue.

La coulée terminée, il est nécessaire comme dans la technique de fabrication conventionnelle de venir réaliser les étapes de grattage, sablage et de finition pour obtenir un châssis métallique lisse prêt à être essayé en bouche.



*Figure 123 : obtention du châssis fabriqué verticalement avec ses supports  
(source : document personnel)*

Le modèle numérisé avec conception du socle a été lui aussi imprimé avec la résine VarseoWax CAD/Cast afin de visualiser les possibilités de l'impression par stéréolithographie.



*Figure 124 : impression du modèle avec ses supports verticaux en place (source :  
document personnel)*



*Figure 125 : visualisation du modèle de travail en plâtre et celui imprimé par stéréolithographie (source : document personnel)*

### **3.3. Analyse critique des deux techniques de conception (2, 6, 21, 38)**

L'apparition de la CFAO a entraîné un bouleversement des techniques conventionnelles de fabrication en laboratoire. Certaines étapes de conception sont ajoutées, modifiées ou supprimées.

Dans les deux cas, que ce soit la CFAO ou la technique conventionnelle, l'objectif est d'aboutir au même résultat : une prothèse stable, ajustée et intégrée aux structures dentaire et muqueuses du patient.

Nous allons voir dans cette partie les avantages et inconvénients de la technique par CFAO par rapport à la technique conventionnelle

#### **3.3.1. Avantages**

- Economie de matériaux :

Pour la technique par CFAO, on ne fait pas de duplication classique du modèle de travail, ce qui économise du revêtement réfractaire.

En une étape de fonderie, il est possible de positionner jusqu'à trois maquettes de châssis dans un cylindre au lieu d'une seule en technique conventionnelle.

La consommation globale de revêtement est alors divisée par trois.

Grâce à la duplication numérique on économise également la cire d'espacement, la cire de mise à dépouille du modèle, et les matériaux de duplication.

- Réduction de matériaux néfastes

Comme nous l'avons vu dans le paragraphe précédent, la CFAO permet d'économiser du matériau de revêtement réfractaire. Or ce matériau contient du phosphate nocif pour l'environnement et de la silice potentiellement nocive pour la santé.

On peut noter également un impact écologique de par l'économie de matériaux qui ne seront plus jetés.

- Rattrapage des échecs de fonderie

Il est possible que le cylindre se fracture lors de la coulée de l'alliage de la maquette ou que la coulée soit incomplète.

En technique conventionnelle, le prothésiste est obligé de recommencer à l'étape de la duplication du modèle de travail.

Le travail par CFAO étant numérique et sauvegardé, il suffit de fabriquer de nouveau cette maquette. Cela évite de recommencer les étapes de conception.

La CFAO permet d'économiser du matériau, des étapes de travail et du temps si on doit refaire toutes les étapes de maquettage à la suite d'une erreur de fonderie.

- Confort du travail.

La CFAO permet de limiter les contacts du prothésiste avec des matériaux dangereux, tels que la silice et le phosphate présent dans les matériaux réfractaires, et limite ses déplacements.

Toutefois, la position assise prolongée peut entraîner des douleurs lombaires, il faut donc veiller à se positionner correctement.

- Risque d'erreurs diminué

La diminution du nombre d'étapes de duplication et de conception permet de diminuer les imprécisions et le risque d'erreur.

La visualisation du travail par CFAO permet de voir plus facilement les erreurs possibles (mauvaise mise en place des dépouilles du modèle...) et les logiciels de plus en plus intuitifs permettent de les corriger.

- Précision des machines-outils

Les machines-outils à partir de fichiers STL de hautes qualités permettent d'obtenir des maquettes en résine calcinable ou directement des infrastructures en métal de hautes précisions. Grâce à ces fabrications de plus en plus précises, le prothésiste va avoir un temps de finition plus courts.

- Diminution des délais de fabrication

Un châssis dans le cadre de la méthode traditionnelle peut être réalisé en moyenne en 4 jours. Pour la méthode par CFAO, il peut être réalisé en 2 jours et demi. De par ces délais de fabrications plus courtes, le prothésiste pourra s'organiser plus facilement pour effectuer ses autres tâches dans la journée et ne pas prendre de retard pour la livraison de la prothèse.

- Simplicité d'utilisation

Comme tout logiciel informatique, les logiciels pour réaliser les CFAO vont nécessiter un apprentissage et un temps d'adaptation pour le prothésiste. On note une simplification avec l'évolution des logiciels de leur utilisation, ce qui les rend plus accessibles.

- Gain de temps

Le temps de travail actif est réduit par la suppression des étapes de duplication du moulage secondaire et par la réduction du temps de modelage et de finition du châssis.

Le temps mort est lui aussi réduit par la suppression du temps d'attente de prise des différents matériaux lors de la duplication dans le cadre de la méthode classique et par la réalisation de l'impression 3D la nuit.

Au total le gain de temps lorsqu'on travaille par CFAO est estimé à environ 30%.

L'un des temps morts les plus longs de la méthode par CFAO est la fabrication par la machine-outil. Cette étape peut être réalisée la nuit afin de ne pas retarder la livraison du travail au praticien.

Tableau 3: Durée moyenne (en minutes) de chaque étape en fonction de la technique de conception de châssis employée (source : Baixe et coll, 2010)

		Conventionnelle		CFAO	
		Temps actif	Temps mort	Temps actif	Temps mort
Coulée empreinte secondaire		5		5	
Prise de plâtre			40		40
Préparation du maitre moulage, paralléliseur, tracé et mise de dépouille		13		1	
Scannage	Manipulations			2	
	Temps d'attente				6
Duplication	Manipulations	8			
	Durcissement du gel		60		
	Prise de revêtement		60		
	Déshydratation du modèle de travail		45		
Modélisation de la maquette		25		20	
Tiges de coulée		2			
Prototypage rapide					480
Décirage	Manipulation			8	
	Temps d'attente dans l'étuve				80
Cire perdue	Mise en cylindre	6		1	
	Prise de revêtement		60		40
	Cycle de chauffe (four)		210		150
	Coulée de métal	3		1	
	Refroidissement		90		90
Bain électrolytique- sablage			30		30
Ebarbage et finition		60		45	
Total		<b>122</b>	<b>595</b>	<b>84</b>	<b>916</b>
		Temps moyen pour la réalisation d'un châssis sur une base de 12 pièces produites.		Temps moyen pour la réalisation d'un châssis sur une base de 6 pièces réduites.	

### 3.3.2. Inconvénients

- La maquette peut être déformée

Dans la technique conventionnelle, la maquette en cire est fabriquée sur un modèle réfractaire dur alors qu'il n'existe pas de support pour stabiliser la maquette lors de la CFAO. De ce fait la maquette peut se retrouver déformée lors du passage dans le cylindre de coulée à cause des contraintes liées à l'expansion de prise du revêtement. Ces déformations restent cependant occasionnelles et une bonne maîtrise de la technique permet de diminuer le risque qu'elles aient lieu.

- Coût de l'obtention du logiciel et des machines et de mises à jour

L'acquisition des machines utilisées pour la fabrication de prothèses par CFAO représente un investissement conséquent (80 000 à 200 000 euros) auquel vont s'ajouter les coûts de formation du personnel.

Une fois la machine acquise il faudra aussi faire face aux frais de mise à jour des logiciels lorsque nécessaire et aux coûts de licences élevés mais indispensables pour pouvoir utiliser le logiciel.

Il faut réfléchir, avant l'acquisition d'une telle machine, à l'utilisation qui pourra en être faite, et à sa rentabilité.

- Fragilité des machines

Comme tout matériel informatique, des pannes peuvent survenir sur les machines-outils et l'ensemble des équipements de la CFAO. Il est donc important lors de l'acquisition du matériel de prévoir un contrat de maintenance afin d'éviter les pannes qui pourront retarder la production et perturber les rendez-vous des patients et l'ensemble du planning du cabinet et du prothésiste.

La maintenance et la réparation des machines effectuées par un organisme extérieur représentent aussi un coût.

### 3.4. Perspectives d'avenir

#### 3.4.1. Nouveaux matériaux usinables : exemples du polyétheréthercéthane (15, 28)

Depuis des années, les matériaux ont continué d'évoluer. La conception et la fabrication des châssis de prothèse amovible partielle se sont adaptées à ces nouveaux matériaux.

Des matériaux thermoplastiques à hautes performances ayant une grande résistance mécanique, une bonne rigidité et une bonne résistance à l'hydrolyse ont été mis au point. Ces matériaux sont les PAEK, les polyaryléthercétones. Les PAEK sont une famille de polymères.

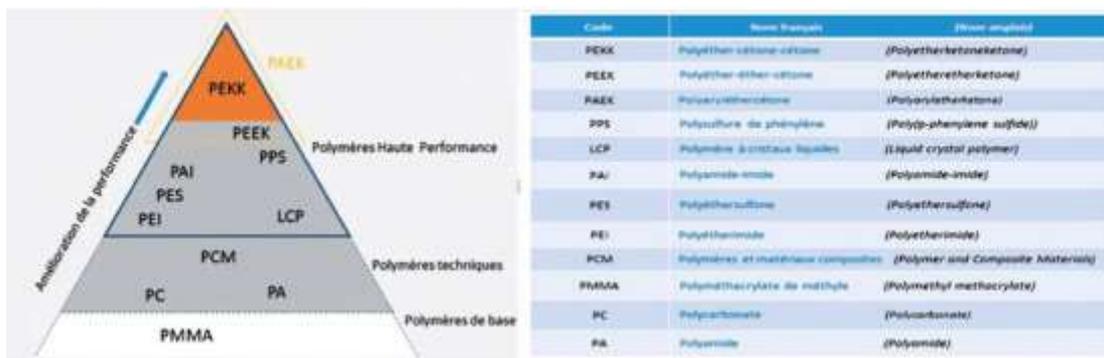


Figure 126 : la pyramide de performance des matériaux thermoplastiques (source : Picart et coll, 2016)

Le PEEK fait partie de ces nouveaux matériaux, il est le plus connu de la famille des PAEK.

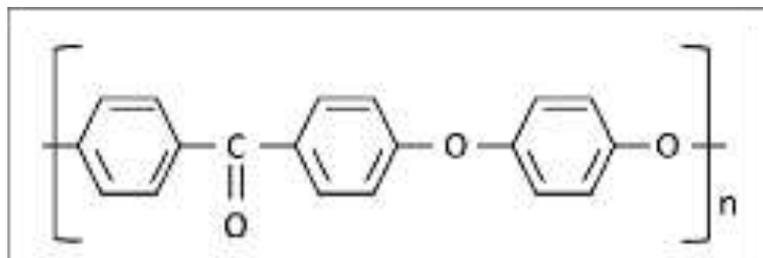


Figure 127 : formule chimique du PEEK (source : Picart et coll, 2016)

Le PEEK a été utilisé tout d'abord en médecine afin de remplacer les articulations aux niveaux des doigts, des genoux et des espaces intervertébraux. Puis avec le temps ce matériau a été utilisé en chirurgie dentaire.

A l'heure actuelle, la structure chimique du PEEK permet d'assurer l'une des meilleures propriétés mécaniques de tous les polymères hautes résistances.

Le PEEK est un matériau usinable par l'intermédiaire des machines-outils. La FAO du châssis par ce matériau a l'avantage d'être sous sa forme définitive et ne nécessite pas de traitement supplémentaire une fois l'usinage terminé.

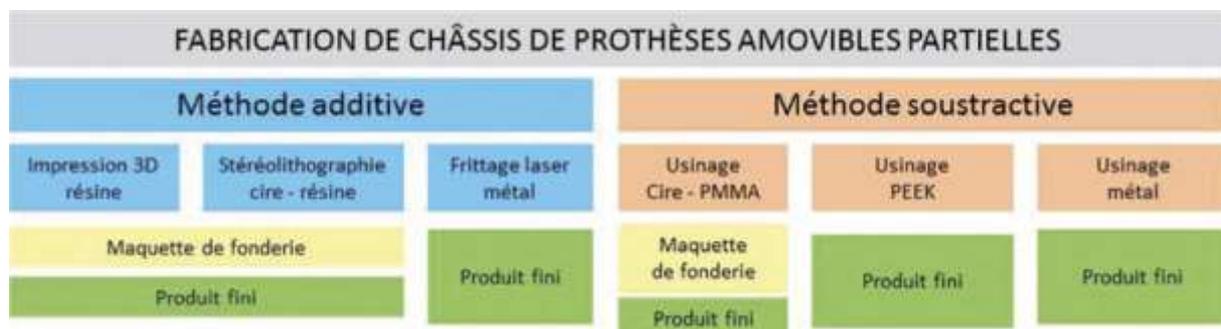


Figure 128 : les différentes méthodes de production de châssis pour prothèse amovible partielle en CFAO (source : Picart et coll, 2016)



Figure 129 : châssis usiné et découpé dans un disque en PEEK (source : Picart et coll, 2016)



*Figure 130 : insertion du châssis en PEEK sur le modèle (source : Picart et coll, 2016)*

Le PEEK présente plusieurs avantages en prothèse amovible partielle :

- Biocompatible
- Non iatrogène
- Légèreté (9 fois moins lourds que le métal)
- Meilleure acceptation par le patient, aucun goût de métal ressenti
- Pas d'usure des dents par les crochets
- Mémoire de forme, il est flexible et revient à sa forme initiale
- Il est réparable avec de la résine et son primer
- Laisse une certaine mobilité aux dents

L'inconvénient de ce matériau reste le prix.

### 3.4.2. Chaîne de CFAO semi directe pour l'élaboration des PAPIM (3, 18, 37, 45, 59)

La CFAO semi-directe correspond à une acquisition numérique à l'aide d'une caméra intra-buccale en bouche, puis la conception et la fabrication de la prothèse dans un laboratoire de prothèses dentaires ou dans un centre délocalisé.

L'empreinte optique est considérée comme une empreinte anatomique (muco-statique), elle n'est pas anatomo-fonctionnelle (muco-dynamique). Elle est incapable de reproduire la dépressibilité des tissus mous comme le ferait une empreinte conventionnelle.

L'empreinte numérique par caméra optique en intra buccale nécessite une stratégie pour contrer ces problèmes pour les PAPIM.

Les empreintes optiques de l'arcade édentée et de son antagoniste sont réalisées. Pour le succès d'une empreinte optique, l'enregistrement doit commencer par une zone dentée avec un relief occlusale marqué, puis se déplacer vers les zones édentées plus compliquées à enregistrer. L'aide d'un écarteur ou d'un miroir est fortement conseillé pour obtenir une position des tissus mous parfaitement stables. Le rapport maxillaire est une donnée indispensable pour la conception du châssis.

- Lorsque les rapports dento-dentaires existent et sont pertinents : le rapport est facile à acquérir, l'enregistrement se déroule par numérisation des cotés droit et gauche de la position d'occlusion intercuspidie maximale.
- Lorsque le rapport dento-dentaire n'existe pas ou lorsqu'il est inadéquat : il sera nécessaire de déterminer la bonne position dento-dentaire en fonction de sa classe d'édentement. Son enregistrement est fait à l'aide d'une cire d'occlusion ajoutée sur l'armature lors de son essayage et de son empreinte secondaire si nécessaire.

Les données enregistrées sont envoyées au laboratoire de prothèses directement pour fabrication du châssis.

La chaîne numérique est lancée, le prothésiste reçoit directement par internet les données intra-orales. Il peut s'affranchir de la coulée en plâtre mais aussi de la numérisation de celui-ci, ce qui limite le risque d'imprécision par diminution d'étapes.

Lorsque les secteurs édentés sont encastrés et/ou que les supports ostéo-muqueux en bouche sont fermes, le prothésiste peut directement fabriquer et finaliser la prothèse amovible sur un modèle de travail obtenue par impression 3D.

Dans le cas contraire, le châssis pourra être fabriqué, mais devra comporter un design spécifique permettant de réaliser une empreinte secondaire à l'aide de selles porte-empreintes.

Suivant la classification de l'édentement, les grilles de rétention assurant le rôle de porte empreinte sectoriel seront plus ou moins espacées des zones édentées.

Une fois la CAO terminée, la FAO du châssis peut être réalisée jusqu'à obtention du châssis en métal.

Sur ce châssis les selles porte empreintes sont ajoutées pour réaliser une empreinte secondaire des zones édentées.

Le rapport intermaxillaire peut être réenregistré à l'aide de cire d'occlusion sur le châssis (afin de valider celui obtenu numériquement) et de réaliser le montage en articulateur.

La finition de la prothèse consiste à ajouter les dents et la résine support, Bien que le montage des dents et la finition soit possible par CFAO, il est nécessaire d'obtenir un modèle de travail comportant la reproduction de l'empreinte secondaire.

Deux possibilités s'offrent à nous pour l'obtention de ce modèle après empreinte secondaire :

- Soit la correction du modèle de travail imprimé en le rebasant après réalisation d'un espacement au niveau des zones édentées.
- Soit obtention d'une sur-empreinte du châssis en bouche afin d'obtenir un modèle de travail. L'antagoniste sera soit imprimée soit obtenue par une empreinte l'alginat.

#### A retenir :

En prothèse amovible partielle, l'empreinte optique est une alternative récente à l'utilisation des matériaux d'empreinte conventionnelle.

L'absence du modèle de travail en plâtre permet de concevoir le châssis métallique plus rapidement et avec fiabilité.

L'empreinte optique en bouche se réalise sans compression et assure le bon positionnement de la future selle pour l'empreinte secondaire.

Aujourd'hui, la chaîne numérique permettant de fabriquer des prothèses amovibles est partielle. Les limites de cette chaîne ne sont pas d'ordre technique car il est tout à fait possible de produire le châssis métallique, les dents et les bases prothétiques par CFAO, mais d'ordre cliniques. Ces problèmes cliniques sont liés à la dépressibilité des muqueuses, aux fluides salivaires et à l'enregistrement dynamique des tissus à obtenir.

Les méthodes conventionnelles permettent de débiter ces problèmes.

Il est tout à fait possible de concevoir avec le temps et les progrès scientifiques de lever tous ces obstacles, permettant d'obtenir une chaîne de CFAO totale pour la fabrication des prothèses amovibles partielles à infrastructure métallique.

### L'empreinte optique pour la PAPIM en CFAO

#### Avantages :

- Reproductibilité d'utilisation
- Vue en couleurs par les caméras permettant de visualiser les marquages notés en bouche
- Suppression des matériaux d'empreinte permettant d'éviter les déformations par compression
- Communication aisée avec le laboratoire de prothèse
- Possibilité de corriger une zone de l'empreinte en la supprimant et en les remplaçant par corrélation
- Possibilité d'interrompre l'empreinte si patient le souhaite puis de la reprendre

#### Inconvénients :

- Empreinte ne tenant pas compte de la dualité tissulaire
- Lors de rétractions gingivales marquées il est difficile de visualiser les embrasures
- Lors d'édentement encastré de faible étendue, il est difficile d'enregistrer correctement les faces proximales des dents

## Conclusions

La CFAO a connu un essor ces dernières années grâce aux performances informatiques. Elle s'est développée dans les applications en prothèse fixée puis en prothèse amovible.

Avant l'apparition de la CFAO, le prothésiste travaillait sur un modèle en plâtre issu de la coulée d'une empreinte. Avec l'ère du numérique, le prothésiste peut travailler sur un modèle virtuel issu de la numérisation du modèle en plâtre, de la numérisation d'une empreinte anatomo-fonctionnelle ou encore d'une empreinte numérique réalisée en intrabuccal.

La conception du châssis assistée par ordinateur aboutira à une maquette en trois dimensions exportables en un fichier STL qui sera transféré à un logiciel de fabrication pour préparer les séquences et les supports de fabrication suivant la technique utilisée.

La fabrication peut être directement en métal, par technique d'usinage dans un bloc en métal ou par technique d'addition (frittage laser).

La fabrication peut se faire en une maquette soit en cire ou soit en résine calcinable par technique d'usinage dans un bloc en cire ou en PMMA ou par technique additive (stéréolithographie ou impression 3D). Cette maquette calcinable nécessite une étape de coulée par cire perdue afin d'obtenir un châssis en métal.

Les techniques additives sont préférées car les techniques d'usinages, certes extrêmement précises, produisent dans la masse importante à soustraire, une quantité élevée de matière brut gaspillée. L'usinage est tout à fait possible mais trop onéreux.

Les techniques additives aboutissant à une maquette calcinable nécessitent l'intervention du prothésiste afin de la transformer en une pièce métallique contrairement au frittage laser.

Le frittage laser, correspondant à une technique additive permet d'obtenir directement un châssis à l'état brut, semble être actuellement la technique de choix et d'avenir pour la réalisation des châssis métalliques.

Ce travail nous a permis de nous familiariser avec la CFAO, de comprendre le fonctionnement de la numérisation et la possibilité de concevoir virtuellement un châssis en trois dimensions puis de le fabriquer à l'aide de la technologie par stéréolithographie.

Les logiciels actuels sont de plus en plus intuitifs et permettent en moins de 15 minutes de le concevoir.

Lorsque qu'on a peu d'expérience dans la CFAO, la visualisation sur un écran du modèle et le travail de la maquette sont une difficulté. En effet, l'agrandissement obtenu sur l'écran rend le travail compliqué et il est difficile de se rendre compte du travail final comparé au travail réalisé sur le modèle en plâtre à l'échelle réelle.

Une fois la conception du châssis terminée, c'est seulement lors de la fabrication que nous avons visualisé que les épaisseurs de certains crochets étaient trop faibles, ce qui aurait forcément abouti à leurs fractures en bouche.

La maîtrise de la conception sur l'ordinateur et la fabrication par les machines-outils a permis de s'affranchir d'étapes fastidieuses comparées à la technique conventionnelle.

La CFAO est un outil qui apporte de nombreux avantages et provoque un changement dans les habitudes de travail des laboratoires de prothèses.

L'apport principal repose sur la précision du modèle virtuel et la visualisation de la pièce prothétique. Il est tout à fait possible de reproduire la maquette calcinable ou le châssis à la suite d'un problème lors de la fabrication car les données de CAO sont enregistrées et réutilisables.

Le futur de la CFAO en prothèse amovible partielle est le développement constant de la numérisation, des logiciels de conception, des machines-outils permettant la fabrication mais surtout des nouveaux matériaux prothétiques tels que les polymères comme le PEEK qui permettent d'obtenir directement un châssis terminé.

## Références bibliographiques

1. Al-Johany SS, Andres C. ICK Classification System for Partially Edentulous Arches. *J Prosthodont.* 2008; 17(6): 502-7.
2. Baixe S, Etienne O, Kress P, Taddei C. Apport de la CFAO en prothèse amovible partielle. *Cah Prothese.* 2010 ; (152) : 43-59.
3. Baixe S, Pilavayan E, Kress P, Taddei C, Etienne O. La prothèse partielle à châssis métallique : de l’empreinte optique à la fabrication additive. *Réal clin.* 2017 ; 28(1) : 44-55.
4. Bartala M, Duret F. La CFAO appliquée. Paris : Éditions Espace id ; 2014. 144p.
5. Begin M, Fouilloux I. La prothèse partielle amovible : conception et tracés des châssis. Paris, Berlin, Chicago, [etc.] : Quintessence international ; 2004. 135p.
6. Bilgin M, Baytaroglu E, Erdem A, Dilber E. A review of computer-aided design/computer-aided manufacture techniques for removable denture fabrication. *Eur J Dent.* 2016; 10(2): 286-91.
7. Bohnenkamp DM. Removable partial dentures: clinical concepts. *Dent Clin North Am.* 2014; 58(1): 69-89.
8. Borel JC, Schittly J, Exbrayat J. Manuel de prothèse partielle amovible. Paris, Barcelone, Milan : Masson ; 1994. 167p.
9. Cho SH, Schaefer O, Thompson GA, Guentsch A. Comparison of accuracy and reproducibility of casts made by digital and conventional methods. *J Prosthet Dent.* 2015; 113(4): 310-5.
10. Choudhary Z, Kumar P, Amin M, Malik S. Kennedy’s Classification : a Study Done at Dow International Dental Hospital. *Pakistan Oral & Dental Journal.* 2016; 36(4): 677-9.

11. Derrien G JV. Prothèse amovible partielle et rétablissement de la fonction occlusale. Cah Prothese. 2002 ; (120) : 81-90.
12. Descamp F, Fages M, Duret F. La CFAO en odontologie : les bases, les principes et les systèmes. Paris : Editions CdP ; 2016. 100p.
13. Goumy R, Daulce-Goumy V. Techniques d'empreintes en prothèse adjointe partielle et complète. Paris, New York, Barcelone : Masson ; 1987. 77p.
14. Hollender M, Allard Y, Richelme J, Casu JP. La CFAO indirecte. Inf Dent. 2014 ; (20) : 22-29.
15. Hosten J. Prothèses adjointes partielles en PEEK avec Mimesis. Tech Dent. 2017 ; 366(208) : 22-29.
16. Huettig F, Prutscher A, Goldammer C, Kreutzer CA, Weber H. First clinical experiences with CAD/CAM-fabricated PMMA-based fixed dental prostheses as long-term temporaries. Clin Oral Investig. 2016; 20(1): 161-168.
17. Joullie K, Julia M, Durand J, Nublat C, Sartorio A, Bertrand F. Prothèse amovible partielle à infrastructure métallique : conception du châssis par CAO. Strat Prothétique. 2011 ; 11(1) : 1-10.
18. Kattadiyil MT, Mursic Z, AlRumaih H, Goodacre CJ. Intraoral scanning of hard and soft tissues for partial removable dental prosthesis fabrication. J Prosthet Dent. 2014; 112(3): 444-8.
19. Koffi J. La prothèse partielle amovible au quotidien : plan de traitement conception-tracé des châssis, approche qualité prothèses obturatrices. Paris, France : l'Harmattan ; 2009. 118 p.

20. Lee JH, Lee CH. A stereolithographic resin pattern for evaluating the framework, altered cast partial removable dental prosthesis impression, and maxillomandibular relationship record in a single appointment. *J Prosthet Dent.* 2015; 114(5): 625-6.
21. Lima JMC, Anami LC, Araujo RM, Pavanelli CA. Removable partial dentures: use of rapid prototyping. *J Prosthodont.* 2014; 23(7): 588-591.
22. Liu YF, Yu H, Wang WN, Gao B. A preliminary study on the forming quality of titanium alloy removable partial denture frameworks fabricated by selective laser melting. *Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi.* 2017; 52(6): 351-354.
23. Mansour M, Sanchez E, Machado C. The Use of Digital Impressions to Fabricate Tooth-Supported Partial Removable Dental Prostheses: A Clinical Report. *J Prosthodont.* 2016; 25(6): 495-7.
24. McCracken WL, Carr AB, Brown DT. McCracken's removable partial prosthodontics. St. Louis: Elsevier; 2016. 375p.
25. Murakami N, Wakabayashi N, Matsushima R, Kishida A, Igarashi Y. Effect of high-pressure polymerization on mechanical properties of PMMA denture base resin. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2013; 20(Supplement C): 98-104.
26. Négre D. Stellite par CAD-CAM : Enfin. *Tech dent.* 2007 ; 243(85) : 33-8.
27. Ohkubo C, Sato Y, Nishiyama Y, Suzuki Y. Titanium removable denture based on a one-metal rehabilitation concept. *Dent Mater J.* 2017; 36(5): 517-523.
28. Picart J, Margerit M, Fages M, Lambert E, Chansavang E., Souvairan R, et al. PEEK vs Cr-Co : comparaison de deux types de châssis de prothèse amovible partielle. *Strat Prothétique.* 2016 ; 16(3) : 205-214.
29. Santoni P, Mariani P. Maîtriser la prothèse amovible partielle. Rueil-Malmaison : Éditions CdP ; 2004. 185p.

30. Schittly J, Schittly E, Millet P, Svoboda JM. Prothèse amovible partielle : clinique et laboratoire. Rueil-Malmaison : Edition Cdp ; 2012. 254p.
31. Shlosberg SR, Goodacre CJ, Munoz CA, Moore BK, Schnell RJ. Microwave Energy Polymerization of Poly(Methyl Methacrylate) Denture Base Resin. *Int j prosthodont.* 1989; 2(5): 453-458.
32. Sireix C. Adjointe métallique en CFAO avec Dental Wings, l'imprimante Asigna Pro et la résine Detax cast. *Tech Dent.* 2016 ; 357(199) : 36-45.
33. Walecki WJ, Szondy F, Hilali MM. Fast in-line surface topography metrology enabling stress calculation for solar cell manufacturing for throughput in excess of 2000 wafers per hour. *Meas sci technol.* 2008; 19(2): 6p.
34. Whitty T. RPD's get a high tech makeover: The new SensAble system at Pearl's Park St Dental Laboratory in Sydney applies CAD/CAM technology to dentures. *Aust Dent Pract.* 2010; 110-112.
35. Williams R, Bibb R, Rafik T. A technique for fabricating patterns for removable partial denture frameworks using digitized casts and electronic surveying. *J prosthet dent.* 2004; 91(1): 85-8.
36. Williams RJ, Bibb R, Eggbeer D, Collis J. Use of CAD/CAM technology to fabricate a removable partial denture framework. *J prosthet dent.* 2006; 96(2): 96-99.
37. Wu J, Li Y, Zhang Y. Use of intraoral scanning and 3-dimensional printing in the fabrication of a removable partial denture for a patient with limited mouth opening. *J Am Dent Assoc.* 2017; 148(5): 338-341.

38. Ye H, Ning J, Li M, Niu L, Yang J, Sun Y, et al. Preliminary Clinical Application of Removable Partial Denture Frameworks Fabricated Using Computer-Aided Design and Rapid Prototyping Techniques. *Int J Prosthodont*. 2017; 30(4): 348-353.

#### Références bibliographiques électroniques

39. 3Shape A/S. CAMbridge® : automating the 3D printing and manufacturing of your CAD designs. [Internet]. [cité le 26 octobre 2017]. Disponible sur: <https://www.3shape.com/products/cambridge>

40. 3Shape A/S. Dental System 2017 : CAD/CAM just got better. [Internet]. [cité le 12 octobre 2017]. Disponible sur: <https://www.3shape.com>

41. 3Shape A/S. Knowledge Center [Internet]. [cité le 17 septembre 2017]. Disponible sur: <https://www.3shape.com/knowledge-center/videos#myModal>

42. ADF (Association Dentaire Française) Quintessence du congrès 2015 [Internet]. 2015 [cité le 22 octobre 2017]. Disponible sur : [http://inscription.adf.asso.fr/images/pdf/ADF\\_QUINTES\\_2015-WEB-PAGE-SIMPLE.pdf](http://inscription.adf.asso.fr/images/pdf/ADF_QUINTES_2015-WEB-PAGE-SIMPLE.pdf)

43. Arrue J. Empreinte optique et CFAO en prothèse amovible partielle : à propos de deux cas de réhabilitation d'édentements mandibulaires. *Le fil dentaire magazine* [Internet]. 2016 [cité le 19 octobre 2017]. Disponible sur : <https://www.lefildentaire.com/articles/clinique/prothese/empreinte-optique-et-cfao-en-prothese-amovible-partielle-a-propos-de-deux-cas-de-rehabilitation-d-edentements-mandibulaires/>

44. Bego France. Le système d'impression 3D : Connectée et sûre pour le futur [Internet]. Bego France. 2017 [cité le 26 octobre 2017]. Disponible sur : <http://france.bego.com/impression-3d/>

45. Bonnet G, Batisse C, Nicolas E, Bessadet M, Philippon C, Bongert P, et al. Empreinte optique et prothèse amovible partielle [Internet]. Trucs et Astuces en CFAO. 2016 [cité le 19 octobre 2017]. Disponible sur : [https://www.henryschein.fr/~media/FR/Cabinet/actualite/trucs%20astuces%20cfao/TrucsAstucesCFAO\\_DT052016\\_2\\_PDF.ashx?hssc=4](https://www.henryschein.fr/~media/FR/Cabinet/actualite/trucs%20astuces%20cfao/TrucsAstucesCFAO_DT052016_2_PDF.ashx?hssc=4)
46. CNIFPD - UNPPD. Guide de la CFAO dentaire [Internet]. 2009 [cité le 12 octobre 2017]. Disponible sur : <http://www.cnifpd.fr/guidecfao/>
47. Deloge B. Armature stellite [Internet]. 2008 [cité le 12 octobre 2017]. Disponible sur : [http://lecoinduprothesiste.fr/forums/articles/memoires/book\\_stellite.pdf](http://lecoinduprothesiste.fr/forums/articles/memoires/book_stellite.pdf)
48. DentaGama. Kennedy Classification [Internet]. 2015 [cité le 9 octobre 2017]. Disponible sur: <https://dentagama.com/news/kennedy-classification>
49. Dental Wings. DWOS Prothèses partielles [Internet]. 2017 [cité le 12 octobre 2017]. Disponible sur : <http://www.dentalwings.com/fr/produits/logiciels/protheses-partielles/>
50. Digilea. Digiscan [Internet]. [cité le 12 octobre 2017]. Disponible sur : [http://www.digilea.com/Doc\\_files/BROCHURE%20DIGISCAN.pdf](http://www.digilea.com/Doc_files/BROCHURE%20DIGISCAN.pdf)
51. Digilea. La solution de référence pour la prothèse amovible partielle [Internet]. 2010 [cité le 12 octobre 2017]. Disponible sur : <http://www.digilea.com/>
52. Gorin C. Les empreintes aux alginates : de multiples indications et des erreurs simples à éviter [Internet]. Information Dentaire. 2015 [cité le 12 octobre 2017]. Disponible sur : [http://\\_65430983298\\_1\\_1364954400.id.elteg.net/011025-23115-Les-empreintes-aux-alginates-de-multiples-indications-et-des-erreurs-simples-a-eviter.html\\_2](http://_65430983298_1_1364954400.id.elteg.net/011025-23115-Les-empreintes-aux-alginates-de-multiples-indications-et-des-erreurs-simples-a-eviter.html_2)
53. Kaiser F. Prothèse Partielle Amovible [Internet]. 2012 [cité le 12 octobre 2017]. Disponible sur : [http://www.dentalstrategy.com/site/livros/ppr\\_fr.pdf](http://www.dentalstrategy.com/site/livros/ppr_fr.pdf)

54. Les cours dentaires. Réalisation du châssis au laboratoire [Internet]. 2011 [cité le 28 décembre 2016]. Disponible sur : <http://les-cours-dentaire.blogspot.com/2011/01/realisation-du-chassis-au-laboratoire.html>
55. Oral design. La technologie holographique conoscopique [Internet]. [cité le 15 juillet 2017]. Disponible sur : <http://www.oraldesign.fr/Francais/10/popup.php4?id=33>
56. Normand E, Petit N. Extraction / Implantation Mise en esthétique immédiate en CFAO : à propos d'un nouveau protocole. Le fil dentaire magazine [Internet]. 2015 [cité le 18 septembre 2017]. Disponible sur : <https://www.lefildentaire.com/articles/clinique/esthetique/extraction-implantation-mise-en-esthetique-immediate-en-cfao-a-propos-d-un-nouveau-protocole/>
57. Pirnay L. Quadrilatère d'équilibre en prothèse adjointe partielle illustration par un cas clinique d'édentement de classe I. Le fil dentaire magazine [Internet]. 2010 [cité le 12 octobre 2017]. Disponible sur : <https://www.lefildentaire.com/articles/clinique/implantologie/quadrilatere-dequilibre-en-prothese-adjointe-partielle-illustration-par-un-cas-clinique-dedentement-de-classe-i/>
58. Prateek B. Removable Partial Dentures: Kennedy Classification. Dentalnotebook [Internet]. 2014 [cité le 28 décembre 2016]. Disponible sur: <http://www.dentalnotebook.com/removable-partial-dentures-kennedy-classification/>
59. Soenen A, Le Gac O, Sireix C. L'empreinte optique intra-buccale au service de la CFAO semi-directe en clinique. Le fil dentaire magazine [Internet]. 2014 [cité le 23 juillet 2017]. Disponible sur : <https://www.lefildentaire.com/articles/clinique/esthetique/empreinte-optique-intra-buccale-au-service-de-la-cfao-semi-directe-en-clinique/>

60. Taddei PC, Etienne O, Baixe S. CFAO et prothèse amovible partielle métallique. Le fil dentaire magazine [Internet]. 2012 [cité le 14 novembre 2016] Disponible sur : <https://www.lefildentaire.com/articles/clinique/esthetique/cfao-et-prothese-amovible-partielle-metallique/>

61. Wikipédia. Scanner tridimensionnel. [Internet]. 2017 [cité le 10 juillet 2017]. Disponible sur : [https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Scanner\\_tridimensionnel&oldid=1344064](https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Scanner_tridimensionnel&oldid=1344064)

10

## Table des matières

<b>Introduction .....</b>	<b>21</b>
<b>1. Généralités sur la prothèse amovible partielle à infrastructure métallique .....</b>	<b>22</b>
<b>1.1. Classifications de Kennedy (1, 10, 48, 58) .....</b>	<b>22</b>
<b>1.2. Facteurs d'équilibre .....</b>	<b>23</b>
1.2.1. Triade de Housset.....	23
1.2.2. Mouvements fondamentaux de Tabet.....	23
<b>1.3. Composants principaux d'une PAPIM (5, 24, 29, 30,53,58) .....</b>	<b>25</b>
1.3.1. Armature ou connexion principale.....	25
• Connexions principales au maxillaire .....	26
○ Simple plaque palatine .....	26
○ Paque palatine à recouvrement complet .....	26
○ Cadre palatin .....	27
○ Bandeau palatin.....	27
○ Entretoise palatine .....	28
• Connexions principales à la mandibule .....	28
○ Barre linguale.....	28
○ Bandeau lingual .....	29
○ Bandeau cingulaire .....	29
1.3.2. Selles.....	30
1.3.3. Appuis dentaires principaux.....	30
1.3.4. Connexions secondaires .....	31
1.3.5. Moyens d'ancrage : les crochets .....	31
<b>1.4. Etapes de réalisation des PAPIM en technique conventionnelle .....</b>	<b>33</b>
1.4.1. Séquences cliniques .....	33
• Examen clinique (5,19, 29,30,53) .....	33
○ Des dents .....	33
○ Du parodonte .....	33
○ Des structures osseuses .....	34
○ L'articulation temporo mandibulaire (ATM) .....	34
• Traitement pré-prothétique (5, 29, 30, 53) .....	34
○ Meulages sélectifs et aménagement des courbes occlusales .....	34
○ Préparations coronaires.....	35
○ Chirurgie muccogingivale et osseuse.....	36
• Empreintes (primaire et anatomo-fonctionnelles) (8, 13, 29, 30, 52).....	36

•	Enregistrement de la relation inter maxillaire (5, 11,29, 30).....	38
•	Essayage du châssis nu (8, 30).....	40
•	Essayage du montage des dents sur châssis (8, 30) .....	40
•	Insertion prothétique (8, 30).....	40
1.4.2.	Séquences de laboratoire.....	40
•	Traitement des empreintes (8, 13, 29, 30, 47) .....	40
•	Maquettes d'occlusion (8, 11,30, 54) .....	41
•	Réalisation des châssis métalliques.....	41
•	Choix et montage dents prothétiques (8, 30,47, 54).....	41
•	Polymérisation de la résine et finitions (25, 30, 31, 54) .....	42
○	Mise en moufle conventionnelle .....	42
○	Clés vestibulaires et linguales.....	43
<b>2.</b>	<b>Le concept de CFAO en prothèse amovible partielle .....</b>	<b>44</b>
<b>2.1.</b>	<b>Définition et principes généraux (12, 14, 56, 60) .....</b>	<b>44</b>
<b>2.2.</b>	<b>Méthodes .....</b>	<b>45</b>
2.2.1.	Numérisation 3D .....	45
•	Principe (4,12, 23, 46, ) .....	45
○	Méthode mécanique .....	46
○	Méthode sans contact .....	46
•	Technique de numérisation 3D (9, 23, 33, 46, 55, 60, 61).....	48
○	Triangulation laser .....	48
○	Lumière structurée .....	50
○	Holographie conoscopique .....	50
•	Modélisation des nuages de points (35, 46) .....	52
•	Types de numérisation 3D (9, 18, 23, 33, 37, 43, 45, 46, 59) .....	52
○	Numérisation de modèles en plâtre .....	52
○	Numérisation des empreintes .....	53
○	Numérisation intra-buccale .....	54
2.2.2.	Conception assistée par ordinateur (7, 17, 35, 36, 42, 60) .....	58
2.2.3.	Fabrication assistée par ordinateur.....	61
•	Préparation de la fabrication (4, 12, 46, 60).....	62
•	Création des séquences de fabrication (4, 12, 46, 60) .....	62
•	Techniques additives .....	63
○	Impression 3D (6,21, 26, 34,36-38,46) .....	63
○	Micro-fusion de poudre (6, 21, 22, 26, 27, 36-38, 46).....	65
○	Stéréolithographie par UV sélectifs (6, 20-22, 26, 27, 36-38, 46).....	67

•	Techniques soustractives (6, 16, 20-22, 26, 27, 36-38, 46) .....	68
○	Usinage titane.....	68
○	Usinage cire/PMMA.....	69
<b>2.3.</b>	<b>Moyens.....</b>	<b>71</b>
2.3.1.	Station de travail (26, 60) .....	71
2.3.2.	Scanner optique (26, 60).....	71
2.3.3.	Ordinateur de travail (26, 60).....	72
2.3.4.	Spatule numérique (26, 60).....	72
2.3.5.	Machines-outils de FAO (60) .....	72
2.3.6.	Solutions logicielles et matérielles sur le marché .....	73
○	Digilea ® par C4W .....	73
○	Logiciel de CFAO 3Shape Dental System® (40, 41) .....	81
○	Logiciel Dental Wings (32, 49) .....	84
<b>3.</b>	<b>Comparaison des techniques d'élaboration des châssis : Illustrations avec un cas clinique.....</b>	<b>87</b>
<b>3.1.</b>	<b>Conception traditionnelle (5, 29, 30) .....</b>	<b>87</b>
3.1.1.	Modèle d'étude .....	87
3.1.2.	Etude au paralléliseur.....	87
3.1.3.	Tracé du châssis et préparation du modèle .....	88
3.1.4.	Duplication .....	89
•	Silicone de duplication .....	89
•	Duplication en matériau de revêtement .....	90
3.1.5.	Fabrication.....	90
•	Réalisation de la maquette du châssis métallique .....	90
•	Choix des alliages .....	91
•	Mise en cylindre et coulée .....	92
○	Mise en cylindre .....	92
○	Coulée.....	93
•	Grattage, sablage et finition de la PAPIM .....	95
<b>3.2.</b>	<b>Conception et fabrication assistées par ordinateur .....</b>	<b>97</b>
3.2.1.	Duplication du maitre-modèle par numérisation .....	97
3.2.2.	Modélisation du châssis à l'aide du logiciel inLab ® Partial Framework.....	99
•	Etapas de préparation numérique du modèle .....	99
•	Etapas de design et du choix des éléments du châssis .....	100
3.2.3.	Fabrication du châssis .....	103

<b>3.3. Analyse critique des deux techniques de conception (2, 6, 21, 38).....</b>	<b>111</b>
3.3.1. Avantages .....	111
3.3.2. Inconvénients .....	115
<b>3.4. Perspectives d'avenir .....</b>	<b>116</b>
3.4.1. Nouveaux matériaux usinables : exemples du polyétheréthercéthane (15, 28) .....	116
3.4.2. Chaîne de CFAO semi directe pour l'élaboration des PAPIM (3, 18, 37, 45, 59).....	118
<b>Conclusions .....</b>	<b>122</b>

*GEORGE Théo – Prothèse amovible partielle à infrastructure métallique : CFAO ou techniques conventionnelles*

*Nancy 2017 : 135 pages – 130 figures – 3 tableaux – 61 références*

*Th. Chir.-Dent. : 2017*

**Mots Clés :**

- Conception assistée par ordinateur
- Laboratoire dentaire
- Prothèse dentaire partielle amovible
- Impression tridimensionnelle

**Résumé :**

La prothèse amovible partielle à infrastructure métallique (PAPIM) a pour but de rétablir les fonctions de l'appareil manducateur telles que la phonation et la mastication ainsi que l'esthétique en compensant les édentements des arcades maxillaires et mandibulaires

Les techniques de conceptions et de fabrications assistées par ordinateur (CFAO) s'étendent de plus en plus au sein des cabinets dentaires et des laboratoires prothétiques, donnant la possibilité de réaliser, par l'intermédiaire de modèles de travail numériques, l'infrastructure métallique de cette prothèse par CFAO.

Dans ce travail, nous verrons d'abord quelques généralités sur la prothèse amovible, puis sur le concept de CFAO en prothèse amovible, pour finir par une comparaison des techniques d'élaborations des châssis (méthode conventionnelle et CFAO) illustrée par un cas clinique afin de mettre en évidence les apports de la CFAO sur les techniques conventionnelles.

La maîtrise de la conception sur l'ordinateur et la fabrication par les machines-outils a permis de s'affranchir d'étapes fastidieuses comparées à la technique conventionnelle.

L'apport principal repose sur la précision du modèle virtuel et la visualisation de la pièce prothétique. Il est tout à fait possible de reproduire la maquette calcinable ou le châssis à la suite d'un problème lors de la fabrication car les données de CAO sont enregistrées et réutilisables.

**Membres du jury :**

Pr. J-M. MARTRETTE	Professeur des Universités	Président
<u>Dr. A-S. VAILLANT</u>	<u>Maître de Conférences des Universités</u>	<u>Co-directrice</u>
<u>Dr. P. HIRTZ</u>	<u>Assistant Hospitalier Universitaire</u>	<u>Directeur</u>
Dr. O. CRAHAY	Docteur en chirurgie dentaire	Juge

**Adresse de l'auteur :**

*GEORGE Théo  
82 rue de la libération  
55840 Thierville sur Meuse*

Jury : Président : J.M. MARTRETTE – Professeur des Universités  
Juges : A.S. VAILLANT – Maître de Conférences des Universités  
P. HIRTZ – Assistant Hospitalo-Universitaire  
O. CRAHAY – Docteur en chirurgie dentaire

Thèse pour obtenir le diplôme d'État de Docteur en Chirurgie Dentaire

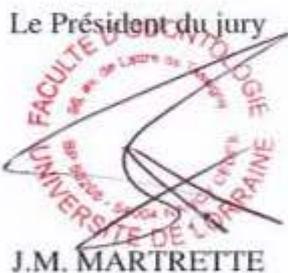
Présentée par: **Monsieur GEORGE Théo, Roger, Bernard**

né(e) à : **VERDUN (Meuse)**

le **30 mai 1992**

et ayant pour titre : « **Prothèse amovible partielle à infrastructure métallique : CFAO ou techniques conventionnelles** ».

Le Président du jury



J.M. MARTRETTE

Le Doyen,  
de la Faculté d'Odontologie



J.M. MARTRETTE

Autorise à soutenir et imprimer la thèse

10116.

NANCY, le

Le Président de l'Université de Lorraine



**P. MUTZENHARDT**