



<http://portaildoc.univ-lyon1.fr>

Creative commons : Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale  
- Pas de Modification 4.0 France (CC BY-NC-ND 4.0)



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>

**UNIVERSITÉ CLAUDE BERNARD-LYON I**

**U.F.R. D'ODONTOLOGIE**

**Année 2025**

**THÈSE N° 2025 LYO1D 034**

**T H È S E**  
**POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE**

Présentée et soutenue publiquement le :

**24/06/2025**

par

**Léa MERCIER**

**Née le 7 mai 2001, à Décines-Charpieu (69)**

---

**L'empreinte lors d'une mise en charge immédiate dans le cas d'une  
réhabilitation complète, pour un bridge implanto-porté provisoire :  
de l'empreinte conventionnelle à l'empreinte numérique.**

---

**JURY**

**Monsieur le Professeur Cyril VILLAT**

**Président**

**Monsieur le Professeur Christophe JEANNIN**

**Assesseur**

**Madame le Docteur Sophie VEYRE**

**Assesseur**

**Monsieur le Docteur Romain BUI**

**Assesseur**

**Monsieur le Docteur Harmik MINASSIAN**

**Invité**

# UNIVERSITÉ CLAUDE BERNARD LYON I

**PRÉSIDENT DE L'UCBL**

Bruno LINA

**Directeur Général des Services par Intérim**

Gaël ASTIER

## VICE-PRÉSIDENTS ET VICE-PRÉSIDENTES ÉLUS

**Conseil d'Administration**

Sandrine CHARLES

**Commission de la Recherche du Conseil Académique**

Arnaud BRIOUDE

**Commission de la Formation et de la Vie Universitaire du Conseil Académique**

Julie-Anne CHEMELLE

**En charge des Ressources Humaines**

Fabien DE MARCHI

**En charge de la Transition Écologique et de la Responsabilité Sociétale**

Gilles ESCARGUEL

**En charge des Relations avec les Hospices Civils de Lyon et les Partenaires Hospitaliers**

Frédéric BERARD

## SECTEUR SANTÉ

**Président du Comité de Coordination des Études Médicales**

Philippe PAPAREL

**Doyen de l'UFR de Médecine Lyon-Est**

Gilles RODE

**Doyen de l'UFR de Médecine et de Maïeutique Lyon Sud - Charles Mérieux**

Philippe PAPAREL

**Directeur de l'Institut des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques (ISPB)**

Claude DUSSART

**Doyen de l'UFR d'Odontologie**

Jean-Christophe MAURIN

**Directeur de l'Institut des Sciences & Techniques de Réadaptation (ISTR)**

Jacques LUAUTÉ

## SECTEUR SCIENCES ET TECHNOLOGIE

**Directrice de l'UFR Biosciences**

Kathrin GIESELER

**Directeur de l'UFR Faculté des Sciences**

Olivier DEZELLUS

**Directeur de l'UFR Sciences & Techniques des Activités Physiques et Sportives (STAPS)**

Guillaume BODET

**Directeur de Polytech Lyon**

Emmanuel PERRIN

**Directeur de l'Institut Universitaire de Technologie Lyon 1 (IUT)**

Michel MASSENZIO

**Directeur de l'Institut des Science Financière & Assurances (ISFA)**

Christian ROBERT

**Directeur de l'Observatoire de Lyon**

Bruno GUIDERDONI

**Directeur de l'Institut National Supérieur du Professorat & de l'Éducation (INSPÉ)**

Pierre CHAREYRON

**Directrice du Département-composante Génie Électrique & des Procédés (GEP)**

Sophie CAVASSILA

**Directrice du Département-composante Informatique**

Saida BOUAZAK BRONDEL

**Directeur du Département-composante Mécanique**

Marc BUFFAT

# FACULTÉ D'ODONTOLOGIE DE LYON

**Doyen :** Pr. Jean-Christophe MAURIN, Professeur des Universités-Praticien hospitalier

**Vice-Doyens :** Pr. Maxime DUCRET, Professeur des Universités - Praticien hospitalier  
Pr. Brigitte GROSGOGEAT, Professeure des Universités - Praticien hospitalier  
Pr. Cyril VILLAT, Professeur des Universités - Praticien hospitalier

## **SOUS-SECTION 56-01 :**

### **ODONTOLOGIE PÉDIATRIQUE ET ORTHOPÉDIE DENTO-FACIALE**

Professeur Emérite des Universités-PH : M. Jean-Jacques MORRIER

Professeur des Universités-PH : Mme Béatrice THIVICHON-PRINCE

Maîtres de Conférences-PH : Mme Sarah GEBEILE-CHAUTY, Mme Claire PERNIER,  
Mme Guillemette LIENHART

## **SOUS-SECTION 56-02 :**

### **PREVENTION – EPIDEMIOLOGIE ECONOMIE DE LA SANTE - ODONTOLOGIE LEGALE**

Professeur des Universités-PH : M. Denis BOURGEOIS

Maîtres de Conférences-PH : M. Bruno COMTE

Maîtres de Conférences-Associé : M. Laurent LAFOREST

## **SOUS-SECTION 57-02 :**

### **CHIRURGIE ORALE – PARODONTOLOGIE – BIOLOGIE**

Professeur des Universités-PH : M. Jean-Christophe FARGES, Mme Kerstin GRITSCH  
M. Arnaud LAFON

Maîtres de Conférences-PH : Mme Doriane CHACUN, M. Thomas FORTIN, Mme Kiadiatou SY, M. François VIRARD

## **SOUS-SECTION 58-01:**

### **DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE, PROTHÈSE, FONCTION-DYSFONCTION, IMAGERIE, BIOMATÉRIAUX**

Professeur Emérite des Universités-PH : Mme Dominique SEUX

Professeur des Universités-PH : M. Maxime DUCRET, M. Pierre FARGE, Mme Brigitte GROSGOGEAT, M. Christophe JEANNIN, M. Jean-Christophe MAURIN, Mme Catherine MILLET, Mme Sarah MILLOT, M. Olivier ROBIN, M. Cyril VILLAT

Maîtres de Conférences-PH : Mme Marie-Agnès GASQUI DE SAINT-JOACHIM, Mme Marion LUCCHINI, M. Raphaël RICHERT, M. Thierry SELLI, Mme Sophie VEYRE, M. Stéphane VIENNOT

Professeur Associé M. Hazem ABOUELLEIL-SAYED

Maîtres de Conférences Associés Mme Marjorie FAURE, Mme Ina SALIASI, Mme Marie TOHME

## **SOUS-SECTION 87:**

### **SCIENCES BIOLOGIQUES FONDAMENTALES ET CLINIQUES**

Professeur des Universités : Mme Florence CARROUEL



À notre Président de Jury,

**Monsieur le Professeur Cyril VILLAT**

Professeur des Universités à l'UFR d'Odontologie de Lyon - Praticien Hospitalier

Docteur en Chirurgie Dentaire

Ancien Interne en Odontologie

Docteur de l'Ecole Centrale Paris

Habilité à Diriger des Recherches

Vice-Doyen à l'UFR d'Odontologie de Lyon

Responsable du département pédagogique de Dentisterie Restauratrice – Endodontie

*Nous vous remercions sincèrement pour l'honneur et le plaisir que vous nous faites en acceptant de  
présider notre jury de thèse.*

*Nous tenons à exprimer toute notre reconnaissance pour votre bienveillance, votre générosité et,  
surtout, votre soutien constant tout au long de ces cinq années d'études en chirurgie dentaire.  
De nos premiers travaux pratiques en troisième année aux consultations auprès des patients du  
centre de soins, vous avez su nous encadrer avec justesse et rigueur, en nous guidant pas à pas vers  
notre avenir professionnel.  
Merci de m'accompagner aujourd'hui, jusqu'à ma dernière heure en tant qu'étudiante.*

*Cher Professeur Villat, veuillez recevoir l'expression de notre profonde gratitude et de notre plus  
profond respect.*

À notre directeur de thèse,

**Monsieur le Docteur Romain BUI**

Chef de Clinique des Universités - Assistant hospitalier

Docteur en Chirurgie Dentaire

*Nous vous remercions chaleureusement d'avoir accepté de diriger notre thèse.*

*Dès les premières idées, vous nous avez fait confiance, en nous offrant à la fois autonomie et soutien.*

*Votre écoute, vos conseils et votre regard attentif ont été essentiels à la réussite de ce travail.*

*Votre détermination m'inspire, cher docteur Bui. Merci de m'avoir tendu la main dès la troisième année, de m'avoir accompagné et soutenu sans relâche.*

*Accomplir ce travail à vos côtés fût un réel plaisir et un véritable honneur.*

*Veillez recevoir, par ces quelques mots, toute la considération et le respect que nous vous portons.*

À nos membres du jury,

**Monsieur le Professeur Christophe JEANNIN**

Professeur des Universités à l'UFR d'Odontologie de Lyon - Praticien Hospitalier

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur de l'Institut National Polytechnique de Grenoble

Habilitation à Diriger les Recherches

*Nous sommes sensibles à l'honneur que vous nous faites en acceptant de siéger parmi notre jury de thèse.*

*Il est particulièrement cher et significatif de finir ce parcours avec vous.*

*À plusieurs moments au cours de la rédaction de cette thèse, vos paroles ont résonné en moi. Je me souvenais notamment de l'importance que vous accordiez à la qualité d'une empreinte — un geste que je considérais autrefois comme simple. Aujourd'hui, je mesure pleinement à quel point cette étape est fondamentale.*

*Tout au long de nos années d'études, vous avez su nous transmettre votre passion avec la patience et la pédagogie qui vous caractérisent.*

*Merci de nous avoir fait partager votre savoir, votre rigueur et votre exigence.*

*Nous garderons à l'esprit votre sens clinique et scientifique, votre gentillesse, votre accompagnement et votre bienveillance.*

*Cher Professeur Jeannin, veuillez trouver ici l'expression de notre profonde reconnaissance et de nos sincères remerciements.*

**Madame le Docteur Sophie VEYRE**

Maître de conférences des Universités à l'UFR d'Odontologie de Lyon - Praticien Hospitalier

Docteur en Chirurgie Dentaire

Ancien Interne en Odontologie

Docteur de l'Université Lyon I

Spécialiste qualifié en Chirurgie Orale

Responsable du département pédagogique Fonction - Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux

*Nous vous remercions sincèrement pour la gentillesse et la spontanéité avec lesquelles vous avez  
accepté de faire partie de notre jury de thèse.*

*Clôturer mes années d'études en odontologie en votre présence est un véritable privilège.*

*Je vous suis profondément reconnaissante de m'avoir offert l'opportunité de rester encore deux  
années à vos côtés.*

*Merci encore pour votre présence bienveillante et votre accompagnement.*

*À travers ce travail, veuillez recevoir l'expression de notre plus respectueuse considération.*

**Monsieur le Docteur Harmik MINASSIAN**

Docteur en chirurgie-dentaire

*Nous vous remercions profondément d'avoir accepté de faire partie de notre jury de thèse.*

*Nous vous remercions pour votre accompagnement, votre intérêt et votre investissement qui a grandement contribué à la qualité de cette dernière.*

*Votre présence à mes côtés pour cette étape symbolique de fin d'études a une signification toute particulière pour moi.*

*Vous êtes bien plus qu'un maître de stage : vous êtes un réel mentor.*

*À travers votre regard bienveillant, vos conseils éclairés et votre exigence juste, vous m'avez permis de gagner en assurance, de progresser chaque jour et de croire en mes capacités.*

*Grâce à vous, j'ai acquis des compétences solides, mais surtout, une confiance en moi que je n'aurais jamais imaginé atteindre au début de ce parcours.*

*Merci pour votre patience, votre disponibilité et votre générosité.*

*Cher Docteur Minassian, recevez, à travers ces lignes, l'expression de ma profonde gratitude, de mon respect sincère et de toute mon estime.*

## Liste des abréviations

---

- MUA : Multi-Unit Abutment (pillier multi-unit)
- CAO : Conception Assistée par Ordinateur
- PE : Porte-Empreinte
- IPG : mode spécifique d'un scanner intra-oral
- STL : fichiers de Stéréolithographie
- RMM : relation maxillo-mandibulaire
- All-on-X : Protocole de réhabilitation complète sur implants (X= Nombre d'implants)
- VPS : Polyvinylsiloxane
- PEI : Porte-Empreinte Individuel
- PMMA : Poly Méthyl Méthacrylate
- IOS : Scanner Intra-Oral
- 3D : 3 Dimensions
- CMOS : Complementary Metal Oxide Semiconductor
- CCD : Charge Coupled Device
- DAN : Dispositif d'Aide à la Numérisation
- PEEK : Polyaryléthercétones
- DICOM : Digital Imaging and Communication in Medicine
- NURBS : Non-Uniformal Rational B-Splines
- FP : Fixed Prosthetics
- IPG: Intra-oral Photogrammetry
- STL : Standard Tessellation Language

# Table des matières

---

<b>TABLE DES MATIERES .....</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
<b>1 L'EMPREINTE CONVENTIONNELLE DU BRIDGE IMPLANTO-PORTE PROVISOIRE LORS D'UNE MISE EN CHARGE IMMEDIATE .....</b>	<b>3</b>
1.1    INDICATIONS ET INTERETS .....	3
1.1.1 <i>Indication .....</i>	<i>4</i>
1.1.2 <i>Intérêts .....</i>	<i>4</i>
1.2    IMPERATIFS ET MATERIAUX .....	5
1.2.1 <i>L'empreinte au plâtre (Snow White Plaster de Kerr).....</i>	<i>5</i>
1.2.2 <i>L'empreinte au polyéther (IMPREGUM).....</i>	<i>6</i>
1.2.3 <i>L'empreinte au vinyles polysiloxanes (SILICONE LIGHT/LOURD) .....</i>	<i>6</i>
1.2.4 <i>L'empreinte mixte plâtre/polyéther .....</i>	<i>7</i>
1.2.5 <i>Comparaison des différents matériaux .....</i>	<i>8</i>
1.3    LES DIFFERENTES TECHNIQUES D'EMPREINTE CONVENTIONNELLE .....	9
1.3.1 <i>Choix du porte-empreinte .....</i>	<i>9</i>
1.3.2 <i>Solidarisation des transferts.....</i>	<i>11</i>
1.3.3 <i>Empreinte indirecte : technique repositionnée/ciel fermé. ....</i>	<i>12</i>
1.3.4 <i>Empreinte directe sur implant : technique emportée, « ciel ouvert », « pick up » .....</i>	<i>14</i>
1.3.5 <i>Comparaison de ces 2 techniques d'empreinte.....</i>	<i>16</i>
1.4    LA PRISE DE LA RELATION INTERMAXILLAIRE .....	17
1.5    LES LIMITES DE L'EMPREINTE CONVENTIONNELLE .....	18
1.5.1 <i>L'inconfort pour le patient .....</i>	<i>18</i>
1.5.1 <i>La logistique entre le praticien et le prothésiste .....</i>	<i>18</i>
1.5.2 <i>Le temps et le nombre de rendez-vous.....</i>	<i>19</i>
1.5.3 <i>La précision et la déformation .....</i>	<i>19</i>
<b>2 L'EMPREINTE NUMERIQUE DU BRIDGE IMPLANTO-PORTE PROVISOIRE LORS D'UNE MISE EN CHARGE IMMEDIATE .....</b>	<b>20</b>
2.1    INDICATIONS ET INTERETS .....	20
2.1.1 <i>Indications.....</i>	<i>20</i>
2.1.2 <i>L'intérêt de l'empreinte numérique.....</i>	<i>22</i>

2.2	FACTEURS AFFECTANT LA PRISE D'EMPREINTE NUMERIQUE .....	24
2.2.1	<i>Facteurs intrinsèques</i> .....	24
2.2.2	<i>Facteurs extrinsèques</i> .....	26
2.2.3	<i>Type de caméra intra-orale</i> .....	27
2.2.4	<i>Types de corps de numérisation</i> .....	30
2.3	LES DIFFERENTS PROTOCOLES DE PRISE D'EMPREINTE NUMERIQUE DANS LES CAS DE MISE EN CHARGE IMMEDIATE .....	30
2.3.1	<i>Scannage des muqueuses avec les scanbodies</i> .....	31
2.3.2	<i>Laisser des dents lors du scannage des arcades avec les scanbodies</i> .....	34
2.3.3	<i>Protocole RISE (Reproductible, Simple, Immédiat &amp; Économique)</i> .....	38
2.4	LIMITES DE L'EMPREINTE NUMERIQUE DANS LE CAS D'EMPREINTE POST-CHIRURGICAL DU TYPE « ALL ON X ».....	40
2.4.1	<i>Complexité technique</i> .....	41
2.4.2	<i>Problèmes de visibilité et d'accès</i> .....	41
2.4.3	<i>Coût initial élevé</i> .....	41
2.4.4	<i>Dépendance à la technologie</i> .....	41
2.4.5	<i>Durée de prise d'empreinte</i> .....	42
<b>3</b>	<b>L'APPORT DE LA PHOTOGRAMMETRIE DANS LES EMPREINTES DE BRIDGE IMPLANTO-PORTE DE GRANDE ETENDUE .....</b>	<b>43</b>
3.1	DEFINITIONS .....	43
3.2	LES DISPOSITIFS DE PHOTOGRAMMETRIE DISPONIBLES ACTUELLEMENT EN DENTISTERIE : .....	43
3.2.1	<i>Système de photogrammétrie extra-orale</i> .....	43
3.2.2	<i>Système de photogrammétrie intra-orale</i> .....	45
3.3	INTERET ET INDICATION DE LA PHOTOGRAMMETRIE .....	47
3.3.1	<i>Indication</i> .....	47
3.3.2	<i>Précision et justesse</i> .....	47
3.3.3	<i>Résultats fiables</i> .....	48
3.4	PRESENTATION D'UN CAS CLINIQUE EN UTILISANT LA PHOTOGRAMMETRIE INTRA-ORALE DANS LE CAS D'UNE EMPREINTE MAXILLAIRE ET MANDIBULAIRE POUR DES BRIDGES COMPLETS SUR IMPLANT .....	49
<b>4</b>	<b>CONCLUSION.....</b>	<b>51</b>
<b>5</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>52</b>



# Introduction

---

Face à un plan de traitement complexe chez un patient présentant une arcade édentée ou des dents inexploitablement prothétiquement, il est nécessaire de pouvoir lui proposer une solution fiable tant sur le plan fonctionnel qu'esthétique. Avec l'évolution des techniques chirurgicales et prothétiques, il est devenu possible de répondre à la demande du patient avec la réalisation d'une mise en charge immédiate d'un bridge provisoire implanto-porté afin de réduire à 1 journée la phase d'édentement complet. (1)

Cette approche permet d'éviter les conséquences négatives d'un édentement prolongé, qui constitue un handicap. Effectivement, l'édentement total altère profondément la fonction orale, la santé générale, ainsi que la qualité de vie, avec un retentissement psychosocial majeur. (2)

Dans ce protocole, le patient se présente au cabinet avec une arcade édentée, des dents condamnées ou prothétiquement inutilisables. Après extraction et assainissement chirurgical, les implants sont immédiatement posés (droit ou angulé), selon la quantité osseuse résiduelle et le projet prothétique établi. (3)

Une étape déterminante intervient alors : la réalisation d'une empreinte précise, visant à enregistrer la position tridimensionnelle des implants ainsi que la topographie des tissus mous, afin de créer un modèle de travail, réel ou virtuel, nécessaire à la fabrication de la prothèse implanto-portée provisoire. (4) Cette phase s'accompagne de l'enregistrement de la relation intermaxillaire afin de concevoir un bridge respectant les contraintes occlusales.

Cette prothèse provisoire sera en place entre 3 à 18 mois dans la bouche du patient, avant de faire le bridge définitif. Elle se doit d'être passive (i.e s'insérer sans contrainte), au risque d'engendrer des complications d'ordre prothétique (dévissage, fracture), voire biologique (obtention d'une ostéo-intégration partielle). (5)

À travers cette thèse, nous allons retracer l'évolution des techniques d'empreinte post-opératoire, et les raisons des débats inhérents à cette dernière au sein des praticiens réalisant ce type d'acte. Nous verrons dans un premier temps, les empreintes conventionnelles utilisées avant l'arrivée du numérique dans notre profession. Puis, dans un second temps, nous analyserons la précision et les

limites de l’empreinte optique dans des cas de mise en charge immédiate. Enfin nous verrons, comment de nouveaux outils viennent compléter l’empreinte numérique afin d’obtenir un résultat satisfaisant en termes de précision d’empreinte.

# 1 L'empreinte conventionnelle du bridge implanto-porté provisoire lors d'une mise en charge immédiate

---

## 1.1 Indications et intérêts

L'empreinte post-chirurgicale est essentielle afin que le prothésiste puisse obtenir la position des implants et réaliser le bridge complet transvissé.

Les implants sont positionnés dans l'os alvéolaire, il existe actuellement 2 grandes catégories d'implants :

- Les implants tissue level, dans ce cas-là, le bridge sera transvissé directement dans les implants
- Les implants bone level, sur lesquels, nous pouvons transvisser des piliers multi-unit droit ou angulé. (fig 2a, fig 2b) Dans ce cas, le bridge sera transvissé sur les multi-unit. (Fig1)



*Figure 1 : Schéma du bridge complet sur implant, vissé sur des piliers multi-unit à la mandibule (6)*

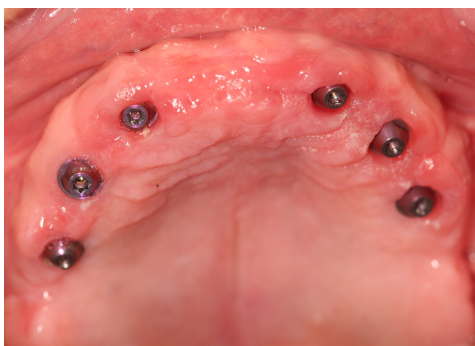


Fig a



Fig b

*Figure 2 : Photographies intra-orales du maxillaire (fig a) et de la mandibule (fig b) avec des piliers multi-unit sur implant, courtoisie du cabinet Implantys*

Il est important de rappeler qu'il n'y a pas de ligament parodontal entre l'implant et l'os alvéolaire, c'est pourquoi il n'y a pas de possibilité d'adaptation de cet implant. En ce sens, la pérennité d'un implant dépend de la prothèse. (7) Il est primordial que cette prothèse soit passive et donc que l'empreinte soit la plus précise possible. (8)

### 1.1.1 Indication

L'empreinte conventionnelle post-chirurgicale est une copie de ce que le dentiste voit en bouche pour le prothésiste qui lui n'a pas le patient sous les yeux.

Elle doit être fiable, la plus précise possible mais cela dépend des matériaux utilisés. Il est possible d'utiliser trois matériaux pour ce type d'empreinte : les polyéthers, les silicones et le plâtre à empreinte. (Fig 3). Le choix d'un matériau d'empreinte nécessite la prise en compte de plusieurs facteurs, notamment la précision du matériau, l'expérience du clinicien, le délai avant la coulée de l'empreinte, la quantité de contre-dépouilles intrabuccales et l'ouverture buccale du patient.(9)

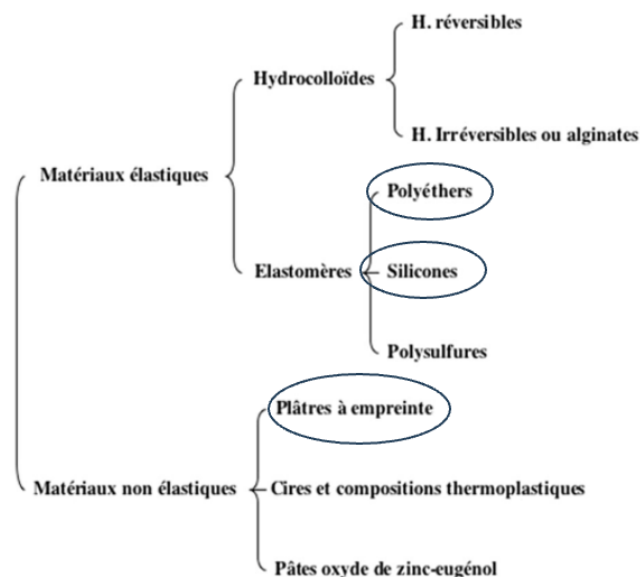


Figure 3 : Classification des matériaux selon WJ O'Brien. (10)

*Les matériaux cerclés sont indiqués pour la réalisation d'empreintes en prothèse implanto-portée fixée.*

### 1.1.2 Intérêts

L'empreinte conventionnelle reste aujourd'hui la méthode la plus fiable dans les cas de mise en charge immédiate, puisqu'elle bénéficie d'un certain recul clinique. (5) Il s'agit d'une étape fondamentale pour assurer la passivité des suprastructures prothétiques, et une condition sine qua none de la pérennité

des restaurations prothétiques. La qualité de l’empreinte est primordiale pour un ajustement optimal, une bonne stabilité de la prothèse provisoire et a un impact sur la guérison des tissus mous et durs. (1)

## **1.2 Impératifs et matériaux**

Il est impératif que l’empreinte implantaire renseigne la position tridimensionnelle des implants de manière fiable. Les critères de succès sont intimement liés à la précision et à la stabilité dimensionnelle des matériaux.

Les propriétés recherchées dans les matériaux à empreinte sont :

- La viscosité : permet d’avoir une stabilité dimensionnelle de l’empreinte dans le temps.(11)
- L’élasticité : permet d’éviter les déchirures à la désinsertion de l’empreinte. (4)

Il est à noter que les articles comparant ces matériaux ainsi que les techniques d’empreintes sont en grande partie faites in-vitro, sans présence de sang, de tissus mous et de salive. Ces éléments peuvent affecter de manière significative la précision de l’empreinte et limiter de facto la transposition des résultats dans le monde in vivo. (7) Certes, le meilleur des matériaux reste celui que l’on maîtrise le mieux ; pour autant, chaque type d’empreinte requiert des propriétés spécifiques et aucun matériau ne peut se prétendre universel. (9)

### **1.2.1 L’empreinte au plâtre (Snow White Plaster de Kerr)**

Le plâtre est considéré par de nombreux auteurs comme le matériau de référence, souvent qualifié de « gold standard », pour la réalisation d'empreintes. (1,12,13) Ce matériau ne présente aucune déformation élastique (14), tout en ayant des propriétés hydrophiles, ce qui permet d’enregistrer les tissus mous. Toutefois, son utilisation est considérée comme très délicate. (15) Ce matériau est indiqué uniquement en situation d’édentement complet, afin d’éviter la formation de contre-dépouilles. (14) En termes de temps, il convient de mélanger le plâtre jusqu’à ce qu’il devienne mat et qu’il ait une consistance « crème anglaise ». On injecte du plâtre au niveau des transferts et dans le porte-empreinte. Il faut 3 à 5 minutes en bouche pour que le plâtre durcisse. (Cf protocole d’utilisation du plâtre Snow white Plaster No.2 présenté par la société Kerr). Les vis transferts sont ensuite dévissées, et les transferts seront emportés dans l’empreinte lors de sa désinsertion. (Fig 4)

Ce matériau est de moins en moins utilisé, étant donné la qualité des autres matériaux présents sur le marché de la dentisterie et le fait que cette technique est moins enseignée aujourd’hui dans nos universités.



*Figure 4 : Photo d'une empreinte d'un cas All on 6 maxillaire faite au plâtre, courtoisie du cabinet Implantys*

### **1.2.2 L'empreinte au polyéther (IMPREGUM)**

Les polyéthers sont considérés comme les élastomères les plus hydrophiles. Ceci est un avantage pour l'enregistrement des tissus mous environnant les implants.(14) Le polyéther présente une stabilité dimensionnelle, une résistance à la déchirure ainsi qu'une certaine rigidité. Il est plutôt simple d'utilisation lorsqu'on a un auto-mélangeur. On commence à injecter dans le porte-empreinte puis autour des transferts. Ce matériau a un temps de prise de 4-5 minutes environ.(16) Les vis transferts sont ensuite dévissées, et les transferts seront emportés dans l'empreinte lors de sa désinsertion. (Fig 5)



*Figure 5 : Photo d'une empreinte d'un cas All on 4 maxillaire faite à l'impregum, courtoisie du cabinet Implantys*

### **1.2.3 L'empreinte au vinyles polysiloxanes (SILICONE LIGHT/LOURD)**

Ce matériau, plus souple, facilite le retrait de l’empreinte, notamment dans les accès cliniques complexes. Sa manipulation est également simplifiée pour le praticien ; toutefois, la procédure nécessite l'assistance d'une seconde personne, afin de pouvoir malaxer le silicone lourd pendant que le praticien injecte le silicone léger autour des transferts d’empreinte.

Une large gamme de viscosités est disponible sur le marché, permettant ainsi une adaptation optimale aux diverses situations cliniques rencontrées. Cependant, ce matériau présente une certaine sensibilité aux variations de température et d'humidité, ce qui peut induire des déformations mineures.

Par ailleurs, le polyvinylsiloxane (VPS) est intrinsèquement hydrophobe (7), ce qui complique la prise d’empreinte en présence d’humidité excessive, notamment dans le contexte particulier des empreintes réalisées immédiatement après une chirurgie. Enfin, sa viscosité favorise la rétention de bulles d'air, pouvant altérer la précision de l'empreinte.

Dans une revue systématique, Lee et al n'ont pas trouvé de différence significative dans la précision de ces matériaux d'empreinte (3). En raison de sa récupération élastique optimale, le VPS est considéré comme le matériau d'empreinte préféré pour la prise d'empreintes d’implants angulés. (7) Cependant, cette propriété importe peu car nous avons le plus souvent recours à des piliers à rattrapage d’axe qui rattrapent l’angulation des implants. De plus, dans la majorité des cas nous faisons des empreintes à ciel ouvert, donc les transferts restent solidaires de l’empreinte, ainsi les axes divergents ne gênent pas.

#### **1.2.4 L’empreinte mixte plâtre/polyéther**

L’empreinte dite mixte (Fig 6) allie deux matériaux aux qualités complémentaires : les polyéthers et le plâtre. (14) Ce type d’empreinte est sans doute la plus fiable en termes de stabilité dimensionnelle (15). La technique en 2 temps proposée par le docteur N.Eid permet de pouvoir réaliser l’empreinte per-opératoire du bridge implanto-porté : il faut réaliser une fenêtre dans le porte-empreinte assez large au niveau des transferts des implants. Ensuite, on fait l’empreinte avec le polyéther sans les transferts des implants, il faut, à nouveau, évier la fenêtre, mettre les transferts, et injecter du plâtre au niveau des transferts et on fait l’empreinte.(15) L’empreinte mixte a aussi été décrite en 1 temps par O.Etienne et P.Magniez, ils mettent en avant le caractère hydro-compatible des deux matériaux. Il commence par visser les transferts sur les implants, évier le porte-empreinte au niveau des transferts. Le praticien met en place sur les crêtes édentées le polyéther, puis il injecte du plâtre avant l’insertion du porte-empreinte. (14) Cette technique permet une solidarisation des transferts avec le plâtre.



*Figure 6 : Photo intra-orale d'une empreinte mixte sur un cas de all on 5 mandibulaire. (10)*

### **1.2.5 Comparaison des différents matériaux**

En 2011, Bennasar et coll. ont publié une revue de la littérature sur les études comparant la précision d'enregistrement des matériaux polyéthers et silicones A en prothèse supra-implantaire. (17) Leur conclusion est, qu'à ce jour, aucune différence dans la précision tridimensionnelle n'est significative entre ces deux matériaux élastomères. Néanmoins, plus la surface édentée est étendue et plus la zone muqueuse péri-implantaire à enregistrer est importante, plus le caractère hydrophile et la rigidité du matériau deviennent primordiaux. En ce sens, les polyéthers et le plâtre à empreinte présentent des atouts certains.

En conclusion, le choix du matériau d'empreinte doit être guidé par la décision de conserver ou non certaines dents lors de la chirurgie de type "All-on-X".

Lorsque des dents résiduelles sont maintenues, l'utilisation du polyéther est privilégiée. En cas d'édentement complet, le recours au plâtre est recommandé pour obtenir une empreinte d'une précision optimale.

Par ailleurs, la technique d'empreinte mixte semble offrir la meilleure précision ; cependant, elle requiert un temps opératoire plus long et une maîtrise technique plus avancée de la part du praticien.



### 1.3 Les différentes techniques d'empreinte conventionnelle

Au-delà du/des matériau(x) utilisé, le protocole de la prise d'empreinte est essentiel afin d'avoir une empreinte précise et fiable. Attention l'empreinte implantaire nécessite un accastillage particulier, propre à chaque implant/marque. Il reste essentiel d'en discuter avec le commercial du système implantaire choisi et avec le prothésiste qui va réaliser la prothèse.

Le choix de la technique d'empreinte est plus important que celui du matériau pour l'équipe de Wostmann. (1)

#### 1.3.1 Choix du porte-empreinte

Nous avons le choix entre un porte-empreinte du commerce avec des tailles différentes, ou bien un porte-empreinte individuel (PEI). Ce porte-empreinte individuel est conçu par le laboratoire de prothèse spécifiquement pour un patient, il est le plus souvent en résine.(7)

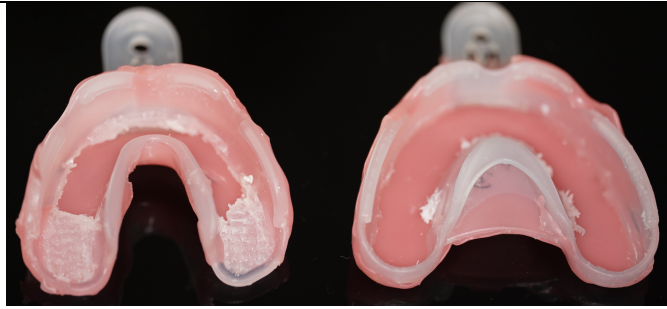
Deux paramètres sont importants lorsqu'on choisit un porte-empreinte :

- La rigidité : cela influe sur la précision finale du modèle de travail. Certains auteurs recommandent les portes-empreintes individuels réalisés en résine et déconseillent les porte-empreintes du commerce en polycarbonate.
- L'adaptation : épaisseur à peu près égale de matériau.

##### 1.3.1.1 Porte-empreinte du commerce

On retrouve sur le marché de la dentisterie des portes empreintes en plastique et des portes empreintes métalliques. Selon de nombreuses études, il vaudrait mieux utiliser les portes-empreintes métalliques afin que le matériau à empreinte soit le plus compressif possible et donc le plus près des muqueuses. Cependant, il est impossible d'éviter ce porte-empreinte en regard des transferts et nous verrons par la suite que cela complique la réalisation de l'empreinte.

Les porte-empreintes plastiques peuvent être évidés au niveau des puits de vis des transferts implantaires, ce qui permet une possibilité d'adaptation. (Fig 7) Néanmoins, cela diminue leur résistance. (1) Le coût de ces portes-empreintes est moindre comparé au PEI.

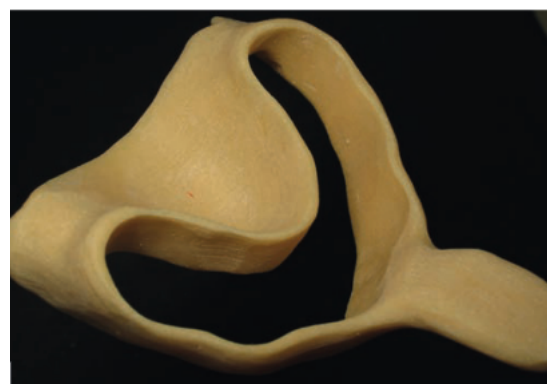
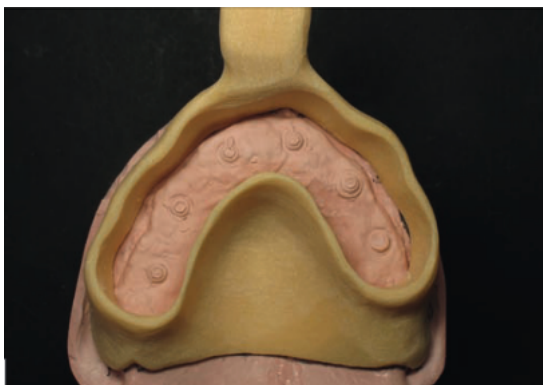


*Figure 7 : Photo de PE du commerce évidés au niveau des transferts d'empreinte recouvert avec une feuille de cire.*

#### 1.3.1.2 Porte empreinte individuel

Ce porte-empreinte, en résine, est fait par le laboratoire en amont de la chirurgie. Celui-ci semble plus précis et adapté en termes de longueur, de largeur à l'arcade du patient. (15) Le prothésiste aménage une hauteur plus importante au niveau des transferts d'empreinte et le praticien met une feuille de cire au-dessus de la fenêtre du PEI afin de mieux sertir le matériau.(1)

En revanche, il faut faire attention, dans ce type de chirurgie, le PEI ne sera qu'approximatif et fait à partir de l'empreinte initiale du patient. Celui-ci sera perforé au niveau des puits de vis des futurs transferts (à partir de la planification implantaire). (Fig 8, Fig 9) Cela semble être le porte-empreinte le plus adapté, mais il y a souvent une adaptation à faire le jour de la chirurgie.



*Figure 8 : PEI implantaire (SR Ivolen®, Ivoclar Vivadent), une fenêtre est réalisée pour englober et maintenir les transferts d'empreinte.(1)*



*Figure 9 : PEI implantaires fait au laboratoire, des fenêtres ont été réalisées au niveau des transferts implantaires. Courtoisie du cabinet Implantys.*

### **1.3.2 Solidarisation des transferts**

La technique dite “directe modifiée” permet d’assurer une empreinte avec le minimum de distorsion et d’erreur de positionnement des transferts.(1)

Dans ce protocole, tous les transferts d'empreinte sont reliés ensemble à l'aide d'un matériau rigide pour empêcher tout mouvement individuel.

Certains praticiens utilisent des élastiques d’orthodontie ou du fil dentaire (18) qu’ils viennent mettre au niveau des transferts pour les relier entre eux (Fig 11), puis ils viennent appliquer du composite structur sur ce fil pour lier les transferts entre eux.

D’autres utilisent de la résine acrylique auto polymérisable (Fig 10), celle-ci va durcir, se rétracter, il faut donc la sectionner et en remettre pour avoir une précision parfaite. (19)

Une méta-analyse sur la précision des techniques d'empreinte implantaire a montré que la majorité des études rapportent une meilleure précision lorsque les transferts sont solidarisés, comparativement à leur utilisation sans solidarisation.(20)

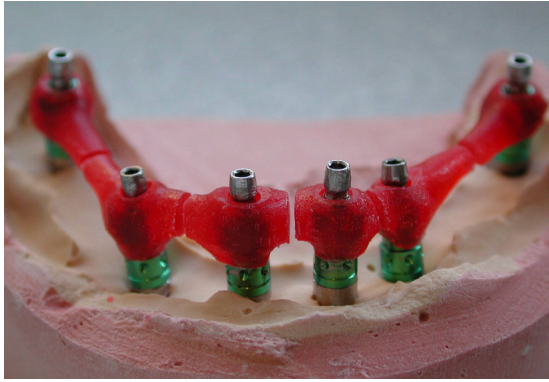


Fig a

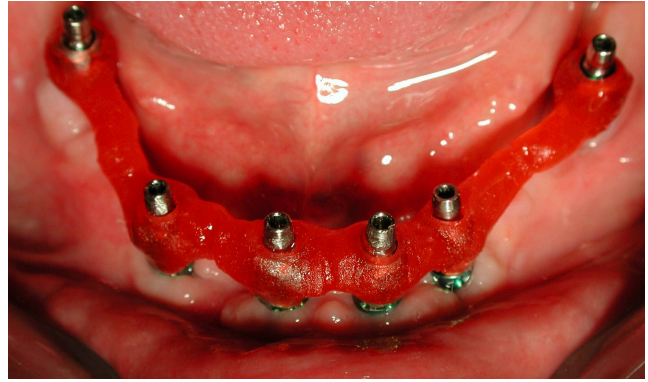


Fig b

*Figure 10 : Solidarisation des transferts avec de la résine Duralay, fait par le laboratoire (fig a) et adapté en bouche (fig b), courtoisie du cabinet Implantys*



*Figure 11 : Liaison des transferts avec du fil dentaire (18)*

### **1.3.3 Empreinte indirecte : technique repositionnée/ciel fermé.**

#### **1.3.3.1 Généralité**

Dans cette technique dite « repositionnée » ou « ciel fermé », le porte-empreinte n'est pas perforé. Le transfert reste en place sur l'implant puis il est replacé dans l'empreinte à l'aide d'un analogue qui sera fourni au laboratoire de prothèse. Ce type d'empreinte se rapproche de l'empreinte traditionnelle fixe supra-dentaire. En implantologie, cette technique est réservée aux cas d'implants peu nombreux et dans les situations où les implants sont « relativement » parallèles.

### 1.3.3.2 Protocole

À la fin de la chirurgie :



*Figure 12 : Photo intra-orale d'une arcade avec des transferts implantaires pour une empreinte ciel fermé (21)*

- 1- Vissage des transferts d'empreintes sur les piliers multi-unit ou implants directement. (Fig 12)
- 2- Contrôle radiographique du positionnement des transferts d'empreintes :  
Une radiographie panoramique ou plusieurs rétro-alvéolaires seront faites afin de vérifier qu'il n'y a pas de hiatus entre le col implantaire ou le pilier MUA et le transfert d'empreinte.
- 3- Essayage du porte-empreinte : (Fig 13a,b)  
Il ne doit pas avoir d'interférence ni avec les tissus dentaires, ni avec les transferts.



*Fig a*



*Fig b*

*Figure 13 : Photo extra-orale d'un PE du commerce (fig a) et d'un PEI (fig b) sur des modèles en plâtre pour une empreinte à ciel fermé. (22)*

- 4- Réalisation de l'empreinte :  
Le temps de prise et mode d'emploi indiqué par le fabricant doit être respecté selon le matériau choisi. Peu importe le matériau, la cavité buccale sera séchée et le matériau fluide

est injecté à l'aide d'une seringue autour des transferts d'empreinte. Une pression constante sur le porte-empreinte garantit une immobilité, ce qui est primordial pour obtenir une belle empreinte.

5- Désinsertion de l'empreinte :

Au terme du temps de prise du matériau choisi, le porte-empreinte doit être désinséré d'un geste très bref, de manière à minimiser les déformations. (Fig 14)



*Figure 14 : Photo d'une empreinte ciel fermé réalisée à l'Impregum (21)*

6- Dévisage des transferts à empreinte et vissage des vis de cicatrisation :

Il est important d'aller vite dans cette étape et de ne pas laisser les implants sans vis de cicatrisation.

7- Repositionnement des transferts dans l'empreinte

### 1.3.3.3 Conclusion

Dans cette technique, le remplacement des transferts dans l'empreinte peut être source d'erreurs. (1)  
Le manque de précision de cette empreinte fait qu'elle est devenue très peu utilisée mais reste intéressante dans les cas de faibles ouvertures buccales.

Elle peut être également intéressante lors de la prise d'empreinte sous anesthésie générale ou sous sédation consciente (l'espace de travail étant limité par le packing ou la sonde d'intubation).

### 1.3.4 Empreinte directe sur implant : technique emportée, « ciel ouvert », « pick up »

#### 1.3.4.1 Généralité

Dans ce protocole, le porte-empreinte est perforé au niveau des puits de vis des transferts. Ceux-ci sont transvissés sur les implants ou piliers multi-unit, ils sont de forme rétentive et suffisamment hauts



pour que le praticien ait accès à la tête de vis après prise du matériau d'empreinte. Les transferts sont dévissés et restent solidaires du matériau lors de la désinsertion du porte-empreinte.

#### 1.3.4.2 Protocole

- 1- Vissage des transferts d'empreinte sur les piliers MUA ou directement sur les implants (Fig 15)



*Figure 15 : Photo intra-orale avant empreinte, courtoisie du cabinet Implantys*

- 2- Contrôle radiographique du positionnement des transferts d'empreinte

Une radiographie panoramique ou plusieurs rétro-alvéolaires seront faites afin de vérifier qu'il n'y a pas de hiatus entre le col implantaire ou le pilier MUA et le transfert d'empreinte.

- 3- Préparation du porte-empreinte

On met une feuille de cire au niveau de la zone perforée, afin d'éviter un échappement du matériau lors de l'empreinte.

- 4- Essayage du porte-empreinte individuel ou porte empreinte du commerce

*a. En cas d'utilisation d'un porte-empreinte individuel :*

*Il peut être perforé au laboratoire ou bien au cabinet directement en regard des transferts d'empreinte.*

*b. En cas d'utilisation d'un porte-empreinte du commerce :*

*Choisir un porte-empreinte en plastique, le perforer en regard des transferts d'empreintes et mettre une feuille de cire ramollie au-dessus de la zone évidée.*

Dans tous les cas, à cette étape, il faut prendre le temps de désinsérer et réinsérer le PE pour mémoriser le trajet d'insertion et être sûr que tous les transferts d'empreintes pourront être dévissés après la prise du matériau.

- 5- Réalisation de l'empreinte (Fig 16)

Le temps de prise et mode d'emploi indiqué par le fabricant doit être respecté selon le matériau choisi. Peu importe le matériau, la cavité buccale sera séchée et le matériau fluide est injecté à l'aide d'une seringue autour des transferts d'empreinte. Une pression constante

sur le porte-empreinte garantit une immobilité, ce qui est primordial pour obtenir une empreinte de qualité.



*Figure 16 : Photo intra-orale pendant l'empreinte à ciel ouvert au plâtre, courtoisie du cabinet Implantys*

#### 6- Dévisage des vis des transferts d'empreinte

Dévisser les vis, les désinsérer de leur logement.

#### 7- Désinsertion de l'empreinte

Le porte-empreinte est désinséré d'un geste bref, pour minimiser les déformations, on emporte les transferts dans l'empreinte.

#### 8- Vissage des vis de cicatrisations

Mettre les vis de cicatrisation après avoir enlevé les transferts. Celles-ci vont rester en place le temps de la conception de la prothèse par le prothésiste.

#### 9- Positionnement des analogues au laboratoire de prothèse

### 1.3.4.3 Conclusion

L'empreinte à ciel ouvert semble donner les meilleurs résultats cliniques (9), notamment parce qu'il n'y a pas de manipulation des transferts d'empreintes. C'est la technique de choix pour les empreintes à la suite d'une chirurgie de type « all on X ». Elle est plus exigeante techniquement, et davantage chronophage pour les praticiens. De plus, elle nécessite une meilleure ouverture buccale du patient.

### 1.3.5 Comparaison de ces 2 techniques d'empreinte

Pour les situations dans lesquelles il y avait 3 implants ou moins parallèles, la plupart des études n'ont montré aucune différence entre ces 2 techniques. Pour les situations dans lesquelles il y avait 4



implants ou plus, davantage d'études ont montré que la précision des empreintes était meilleure avec la technique de l'empreinte à ciel ouvert qu'avec la technique de l'empreinte à ciel fermé.(20) Ainsi, au-delà de 4 implants, la technique à ciel ouvert est recommandée. (1)

EMPREINTE INDIRECTE	EMPREINTE DIRECTE
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Confort du patient (durée diminuée, convient dans le cas de petite ouverture buccale, patient anxieux et nauséux)</li> <li>- Simplicité technique</li> <li>- Moins précis (repositionnement des transferts dans l'empreinte).</li> <li>- Impossible si implants trop divergents (trop de contre dépouilles dans l'empreinte)</li> <li>- Contraintes lors de la désinsertion et de la réinsertions des transferts.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Essentielle dans le cas d'angulations implantaires importantes</li> <li>- Moins de risque de distorsions</li> <li>- Nombreux implants (+ de 4 implants)</li> <li>- Précision accrue</li> <li>- Préférée dans le cas d'implant enfouis.</li> <li>- Réduction des erreurs de transfert</li> <li>- Complexité technique</li> <li>- Plus chronophage</li> <li>- Hauteur nécessaire importante (grande ouverture buccale)</li> </ul>

Figure 17 : Tableau comparatif entre ces 2 types de protocole d'empreinte.

## 1.4 La prise de la relation intermaxillaire

À la suite de l'empreinte, il est nécessaire de déterminer la relation intermaxillaire afin que le prothésiste puisse concevoir le bridge implanto-porté, qui doit être en occlusion avec l'arcade antagoniste. Pour cela, nous demandons au prothésiste de réaliser une ou deux maquettes d'occlusion, en fonction du nombre d'arcades édentées. (Fig 18 a, b)

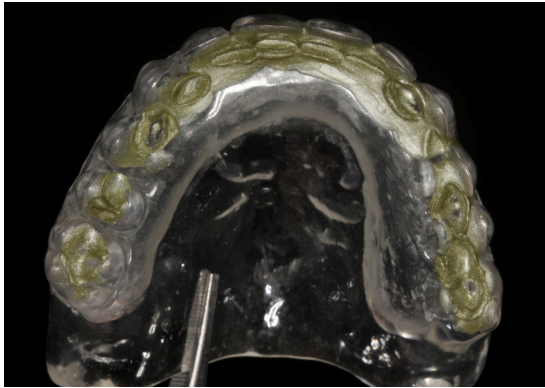
La maquette d'occlusion constitue une reproduction en résine du projet prothétique prévu pour le patient.

Ce projet prothétique répond aux exigences de la prothèse adjointe en respectant les courbes occlusales.

Cette étape permet de vérifier les paramètres esthétiques et fonctionnels de l'occlusion, mais elle sert avant tout à transférer la RMM au prothésiste afin qu'il puisse mettre les modèles sur articulateur.

Dans le cadre des réhabilitations de type "All-on-x", l'objectif est d'obtenir une occlusion équilibrée, c'est-à-dire des contacts à la fois antérieurs et postérieurs en relation centrée.

L'objet de cette thèse étant la réalisation des empreintes nous ne développerons pas plus la réalisation de la RMM, bien qu'elle soit une étape essentielle pour la pérennité du bridge implanto-porté. De plus, cette étape semble simplifiée lors de la réalisation en empreinte numérique comme nous le verrons par la suite.



*Fig a*



*Fig b*

*Figure 18 : Maquette d'occlusion maxillaire (fig a), mandibulaire (fig b), photo extra-oral, courtoisie du cabinet Implantys.*

## **1.5 Les limites de l'empreinte conventionnelle**

### **1.5.1 L'inconfort pour le patient**

L'empreinte conventionnelle se fait à l'aide de matériaux, qui peuvent provoquer un inconfort chez le patient.

Voici les principaux éléments :

- Le réflexe nauséeux
- La sensation de gêne ou de pression
- La durée de l'empreinte
- L'invasion de l'espace buccale
- Mauvaise adaptation du porte-empreinte.
- Goût et la texture du matériau
- Irritation des tissus mous
- Sensibilité des dents et des gencives.

### **1.5.1 La logistique entre le praticien et le prothésiste**

Une logistique entre le praticien et le prothésiste est nécessaire dans cette méthode d’empreinte, car il faut que le prothésiste ait réalisé les maquettes d’occlusion et les PEI avant l’intervention. Enfin, après la chirurgie, une logistique de transport doit être mise en place pour acheminer les empreintes au laboratoire de prothèse. Il semble donc très compliqué d’avoir la prothèse dans la journée même.

### **1.5.2 Le temps et le nombre de rendez-vous**

Le temps nécessaire pour la prise de l’empreinte sera prolongé, car il faudra prendre l’empreinte avec des transferts, attendre que le matériau durcisse, puis procéder à la prise de la relation intermaxillaire (RMM). En outre, le nombre de rendez-vous nécessaires pour la pose de la prothèse sera augmenté : le patient devra revenir dans les 24 à 48 heures. Cette séance pourra s’avérer particulièrement complexe en raison de l’inflammation et de l’œdème post-opératoire. Il sera nécessaire d’anesthésier à nouveau le patient, de lui demander d’ouvrir largement la bouche afin de visser la prothèse.

Au-delà des aspects techniques, cette étape présente également un défi psychologique pour le patient, qui devra rester sans dents pendant une à deux journées.

Une autre solution pour pallier ce délai d’attente est d’avoir un prothésiste et un laboratoire directement au sein du cabinet. Cette organisation permettrait de réaliser le travail prothétique plus rapidement, réduisant ainsi le temps d’attente.

### **1.5.3 La précision et la déformation**

Les étapes qui suivent la prise d’une empreinte physique — telles que la coulée et la préparation du modèle à l’aide d’un matériau supplémentaire comme le plâtre — peuvent engendrer des erreurs cumulatives, susceptibles de compromettre l’adaptation finale.

## **2 L’empreinte numérique du bridge implanto-porté provisoire lors d’une mise en charge immédiate**

---

### **2.1 Indications et intérêts**

L'empreinte numérique connaît un essor significatif dans le domaine de l'odontologie, devenant un outil essentiel dans la pratique dentaire moderne. Elle permet de réduire les risques d’erreurs liés aux techniques d’empreintes traditionnelles et à la coulée des modèles chez le prothésiste. En outre, elle offre au praticien la possibilité de visualiser en temps réel l'empreinte qu'il transmet au prothésiste, assurant ainsi une meilleure maîtrise du processus de conception prothétique.

Cette simplification du flux de travail est un avantage considérable, facilitant une collaboration plus fluide et plus rapide.

Cependant, bien que l’empreinte numérique offre de nombreux avantages, elle reste encore en phase d’évaluation et présente plusieurs limitations, notamment dans les cas de réhabilitation complète sur arcade édentée. (5)

Dans cette partie, nous analyserons les différents facteurs influençant la numérisation d’une arcade édentée et nous nous interrogerons sur la faisabilité de réaliser une empreinte numérique dans toutes les situations cliniques.(13)

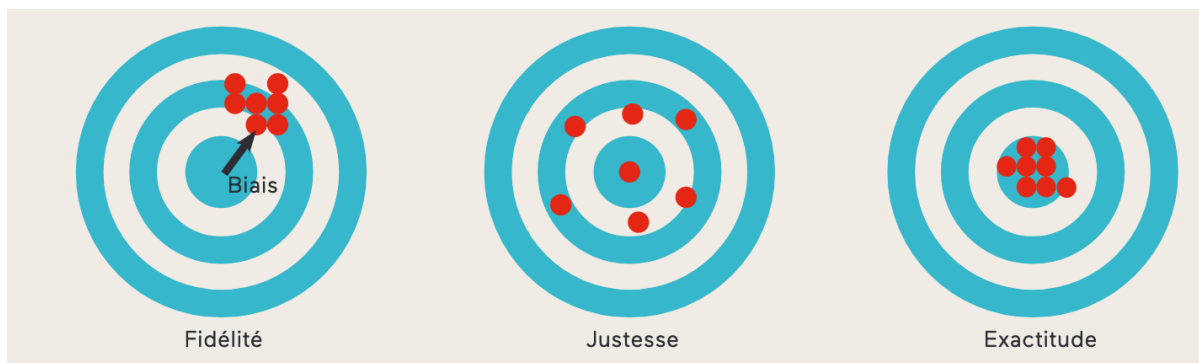
#### **2.1.1 Indications**

L’empreinte numérique, bien que présentant de nombreux avantages, n’est pas systématiquement indiquée dans le cadre des réhabilitations complètes sur implants. En effet, elle demeure confrontée à certaines limites techniques, notamment en ce qui concerne la capacité des caméras intra-orales à distinguer avec précision les différents corps de numérisation, ou scanbodies. Cette difficulté de reconnaissance peut entraîner des erreurs d’interprétation lors du processus de reconstitution tridimensionnelle. De manière générale, la numérisation des arcades totalement édentées constitue un véritable défi. L’absence de repères anatomiques fixes et la symétrie des structures peuvent induire une perte d’orientation de la caméra durant le balayage. Cette instabilité dans le processus de capture compromet la qualité de l’empreinte finale, ce qui peut nuire à la passivité du bridge implanto-porté.

### 2.1.1.1 L'idéal recherché

Dans le cadre d'une mise en charge immédiate, il serait souhaitable que le logiciel de la caméra intra-orale ait la capacité de comprendre le processus de cette chirurgie, en faisant correspondre l'empreinte pré opératoire avec l'empreinte post-opératoire et en conservant la relation intermaxillaire.

L'objectif principal est l'obtention d'un bridge provisoire passif (13), , afin de prévenir toute complication susceptible de compromettre la bonne cicatrisation des implants, ou de la prothèse elle-même. Cette exigence repose sur la nécessité d'une empreinte numérique à la fois « juste » et « fidèle », deux composantes définissant la notion d'exactitude. (13,23) La justesse se réfère à l'écart entre la moyenne des mesures obtenues et la valeur réelle, tandis que la fidélité correspond à la reproductibilité des mesures, évaluée par la dispersion des valeurs individuelles autour de cette moyenne. (Fig 19)



*Figure 19 : Schéma provenant de l'article sur les empreintes numériques pour les restaurations complètes implanto-portées : le point début de Flottes et al. (13)*

Selon la littérature internationale, le seuil clinique acceptable pour la précision de l'empreinte est fixé à 50  $\mu\text{m}$  (23), ce qui correspond à l'amplitude maximale de micro-mouvements observés des implants au sein de l'os. (24,25) Par ailleurs, la tolérance angulaire maximale est établie à 0,4°. (27) Cette tolérance concerne l'écart admissible entre la réalité clinique et l'empreinte exploitée par le prothésiste dentaire pour la conception du bridge. Au-delà de ce seuil, le risque de complications mécaniques et biologiques augmente.

Au-delà, cette valeur, l'ajustement passif de la prothèse peut être compromis.

Dans le cas de mise en charge immédiate, la tolérance peut être augmentée, notamment, car les implants ne sont pas encore ostéo-intégrés et que le bridge provisoire va être changé dans l'année. De

plus, le matériau utilisé (souvent résine PMMA) possède une faible résistance. De ce fait, un défaut de passivité risque d'engendrer un dévissage ou une fracture de la prothèse.

### **2.1.2 L'intérêt de l'empreinte numérique**

Les intérêts de l'empreinte numérique pour ce type de réhabilitation complète en post-opératoire sont multiples.

#### **2.1.2.1 Conservation de la relation intermaxillaire initiale**

Effectivement, avec la caméra intra-orale, nous pouvons reproduire l'occlusion de nos patients grâce à un articulateur virtuel.

Il faut pour cela scanner l'arcade dentaire supérieure, puis inférieure, et faire un ou deux mordus virtuels afin que la caméra mette les deux arcades en occlusion. On peut vérifier sans attendre sur l'écran de la caméra que le patient n'a pas décaler sa mâchoire ou autres mouvements qui pourraient induire des erreurs pour la conception de la prothèse. De plus, certaines caméras intra-orales, comme la Oralscan élite de shinning 3D, ont un dispositif d'enregistrement de l'occlusion dynamique.

Cette relation intermaxillaire sera conservée une fois les scanbodies en place. Le prothésiste pourra donc conserver cette occlusion lorsqu'il réalisera le bridge complet sur implant.

#### **2.1.2.2 Une relation avec le prothésiste simplifiée**

L'intégration de la caméra intra-orale dans le flux de travail clinique constitue un progrès majeur, notamment en matière de communication avec le prothésiste. (20) Grâce à la numérisation instantanée des empreintes, celles-ci peuvent être transmises au laboratoire en quelques minutes, permettant ainsi une conception rapide de la prothèse, ou une adaptation en temps réel du projet initial en fonction de la position des implants.

Le prothésiste est ainsi en mesure de vérifier immédiatement la conformité de l'empreinte, de valider la possibilité de faire le matching entre l'empreinte pré-opératoire et l'empreinte post-opératoire. Cette réactivité réduit considérablement les délais liés aux étapes traditionnelles de coulée de l'empreinte, de montage sur articulateur. Ce gain de temps permet, dans certaines situations cliniques, la pose du bridge provisoire sous 4 à 8h.

#### **2.1.2.3 Limiter les erreurs lors de l'enregistrement ou de la coulée**

Il a été montré dans de nombreux articles que la caméra intra-orale permettait de limiter les erreurs lors de l'enregistrement (prise des matériaux, erreur de l'opérateur lors de l'insertion ou désinsertion de l'empreinte) ou de la coulée.(13)

Actuellement, ce paramètre n'a été montré que lors d'études in vitro, dans le cas de bridge de longue étendue.

#### 2.1.2.4 La propreté et le confort du patient

L'empreinte est réalisée immédiatement après la mise en place des implants et des piliers multi-unit, une fois les muqueuses refermées à l'aide de points de suture.

L'empreinte numérique permet :

- Une propreté du site opératoire car les matériaux d'empreinte traditionnelle pouvaient se retrouver piégés dans les fils ou autour des piliers MUA, ce qui était susceptible de compromettre la cicatrisation du site opératoire et de rendre difficile la désinsertion du PE.(28)
- Un confort pour le patient : en effet celui-ci il est encore sous anesthésie locale après une intervention souvent longue – dépassant fréquemment les deux à trois heures –et il lui est demandé de supporter des empreintes réalisées à l'aide de matériaux peu confortables, au goût désagréable. Il lui est également demandé de fermer la bouche sur une ou plusieurs maquettes d'occlusion, ce qui peut s'avérer contraignant et rendre l'enregistrement de la RMM fausse dans ce contexte post-opératoire.

Cette étape constitue néanmoins un moment clé, tant pour le patient que pour le praticien, car elle conditionne directement le travail du prothésiste dans la conception du bridge provisoire transvissé.

#### 2.1.2.5 Stockage et accessibilité des données :

L'un des avantages du numérique est le stockage et l'accessibilité des données. Le stockage dématérialisé sur le serveur permet de libérer de l'espace dans le cabinet, contrairement aux empreintes physiques qui prenaient beaucoup de place. En cas de problème avec le bridge provisoire, il est possible de renvoyer rapidement le fichier STL au prothésiste sans faire revenir le patient, ce qui simplifie le processus.

## **2.2 Facteurs affectant la prise d’empreinte numérique**

La qualité et la précision de l’empreinte numérique dépendent de plusieurs facteurs, répartis en deux catégories principales : les facteurs intrinsèques et les facteurs extrinsèques.

Les facteurs intrinsèques sont liés à la situation clinique spécifique et aux caractéristiques individuelles du patient. Ces éléments incluent la morphologie de l’arcade dentaire, la présence de fluides (salive, sang), qui peut interférer avec la capture précise des données.

Les facteurs extrinsèques, quant à eux, concernent les éléments externes au patient, notamment les caractéristiques techniques de la caméra intra-orale et les conditions environnementales au moment de la numérisation. Cela comprend la résolution de l’appareil, la qualité du logiciel de traitement des données, mais aussi les conditions de lumière, la stabilité de la caméra et la technique utilisée par le praticien durant l’enregistrement de l’empreinte numérique.

### **2.2.1 Facteurs intrinsèques**

#### **2.2.1.1 Ouverture buccale et volume lingual du patient**

L’ouverture buccale du patient constitue un facteur déterminant dans la réalisation de l’empreinte numérique. En effet, l’amplitude de l’ouverture buccale influence directement le choix entre une empreinte physique traditionnelle et une empreinte numérique. Cette dernière exige généralement une ouverture buccale plus large afin de permettre une manipulation adéquate de l’embout de la caméra intra-orale.

Des difficultés se présentent particulièrement lorsqu’une faible ouverture buccale et une langue volumineuse sont observées, ce qui est souvent le cas au niveau de l’arcade mandibulaire.(13)

#### **2.2.1.2 Nombre d’implants, distance inter-implants, profondeur et l’angulation de des implants**

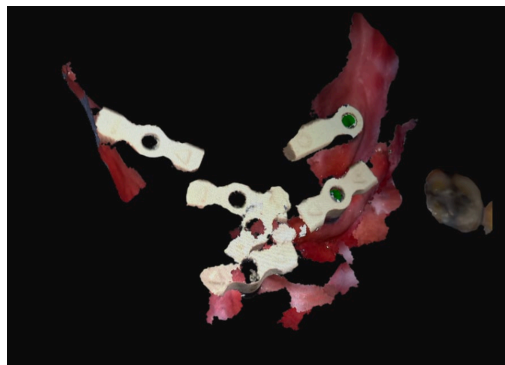
Les données issues de plusieurs études in-vitro suggèrent que l’exactitude de l’empreinte numérique est significativement influencée par le nombre d’implants ainsi que par la distance qui les sépare. Il a été démontré que la distance inter-implantaire idéale se situerait entre 16 et 22 mm pour optimiser la précision de la numérisation.(13,29,30) Au-delà de cette plage, l’exactitude tend à diminuer, en raison notamment des difficultés accrues à maintenir une fidélité constante sur de longues distances.



Par ailleurs, le nombre d'implants influe sur la qualité de l'empreinte numérique. En effet, plus le nombre d'implants à enregistrer est élevé, plus le risque de déformation numérique augmente. Cette dégradation de la précision s'explique par l'allongement de la surface à numériser (19,21), qui engendre une accumulation progressive d'erreurs, en particulier lors de l'assemblage des différentes surfaces 3D. Ce phénomène est d'autant plus marqué au niveau de la mandibule, car il y a moins de repères anatomiques.(31)

### 2.2.1.3 Absence de repères anatomiques

Les caméras intra-orales, associées à leurs logiciels intégrés, s'appuient sur des algorithmes d'ajustement pour assembler les images et produire une réplique fidèle de la situation clinique. L'absence de repères anatomiques crée un environnement homogène dans lequel le logiciel peine à se repérer, ce qui induit des erreurs d'assemblage. (13)(Fig 20) Cette difficulté est particulièrement marquée en présence de résorption osseuse importante.



*Figure 20 : Image perte de repère de la caméra intra-orale lors d'un scan intra-oral avec des DAN Apollo, courtoisie du cabinet Baly*

Au niveau du maxillaire, les résultats sont généralement plus satisfaisants, car les reliefs anatomiques, tels que ceux présents au niveau du palais (papilles palatines, papilles incisives, raphé médian) et des tubérosités maxillaires, offrent des repères fiables pour l'ajustement de l'empreinte. En revanche, au niveau de la mandibule, la précision de l'empreinte numérique est souvent moins optimale.

Cela est dû à plusieurs facteurs :

- La fine crête osseuse
- La forme plus arrondie de l'arcade
- Un vestibule souvent moins profond comparé à celui du maxillaire.

Ces éléments compliquent l'enregistrement précis des surfaces.(26)

De plus, le flux de travail digital implique de pouvoir superposer plusieurs empreintes à différents moments (pré op, post op), cela implique de rematcher ces empreintes en se basant sur des éléments fixes.

#### 2.2.1.4 Les conditions post opératoires

Un des principaux défis réside dans le fait que cette empreinte est réalisée après une intervention chirurgicale longue, souvent de plus de deux heures, à un moment où le patient, le praticien et l'assistante sont physiquement et mentalement éprouvés.

De plus, la présence de fluides buccaux, tels que la salive et le sang, altèrent la qualité de l'empreinte.(13) Bien que des points de suture maintiennent les berges, les tissus mous autour des scanbodies restent plus mobiles, réduisant ainsi la précision de la numérisation. (32)

### 2.2.2 Facteurs extrinsèques

#### 2.2.2.1 Techniques de numérisation

La stratégie de numérisation influence les résultats d'exactitude de l'empreinte.

Il existe actuellement trois grandes stratégies de numérisation intra-orale par balayage : sectoriel, balayage à mouvement rectiligne (Fig 21a), balayage en mouvement de « zigzag » (Fig 21b). Une étude a montré qu'entre ces 2 chemins de scannage, l'exactitude de l'empreinte n'avait pas une différence significative. (33)

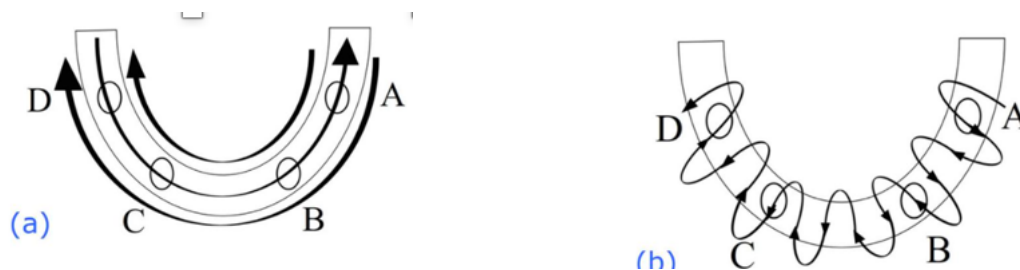


Figure 21 : Schéma montrant les chemins de scannage pour prendre une empreinte numérique exposé dans l'article de Alenezi et al. (33)

### 2.2.2.2 Facteurs environnementaux

#### 2.2.2.2.1 Conditions d'éclairage

Un des facteurs majeurs est la condition d'éclairage ambiant, celle-ci représente l'intensité physique du lux lumineux total sur une surface éclairée et est mesurée en lux. (34)

L'empreinte peut être optimisée en éteignant la lumière ambiante et le scialytique. Le contraste entre la lumière ambiante et l'éclairage de la caméra peut avoir une incidence. (13,30) Gaston Ochoa-Lopez et all. ont mené une étude in vitro en comparant 7 IOS différents (sur une mandibule avec 4 corps de scannage à des éclairages ambiants différents).

Ils ont prouvé :

- Que les meilleures valeurs médianes de justesse et de précision pour chaque groupe IOS ont été enregistrées dans différentes conditions d'éclairage,
- Que l'éclairage ambiant faisait varier le temps de numérisation intra-oral. (34)

Ils en ont conclu : « La variation des conditions d'éclairage ambiant a eu une influence significative sur la précision et le temps de numérisation, mais son effet était différent pour chaque IOS testé. Aucune condition d'éclairage ambiant optimale n'a été trouvée pour tous les IOS. »(34)

#### 2.2.2.2.2 Température ambiante

Une température comprise entre 20°C et 21°C est recommandée. (13,30)

#### 2.2.2.2.3 Humidité ambiante

Une humidité de l'air avoisinant les 45% est suggérée. (13,30)

### 2.2.3 Type de caméra intra-orale

On retrouve aujourd'hui sur le marché un nombre incalculable de caméra, on peut se demander : comment choisir la bonne pour pouvoir faire ce type de cas ?

Nous allons commencer par voir le fonctionnement d'une caméra intra-orale pour mieux comprendre cette partie.

La caméra intra-orale est équipée d'un capteur CMOS ou CCD et prend des centaines voire des milliers d'images par seconde. Ces images sont prises à différentes positions et angles pendant que le praticien déplace la caméra dans la bouche. Le logiciel identifie les formes et les textures, assemble les images entre elles par superposition et génère un modèle 3D ultra-précis.

La construction du maillage 3D reconstruit la géométrie de la bouche sous forme de maillage polygonal qu'on appelle nuage de points ou modèle STL.

Les différents IOS utilisent des méthodes d'acquisition et des algorithmes de reconstruction variés, ce qui peut impacter la précision de l'empreinte. (31) De plus, il faut être attentif à la qualité mathématique des fichiers, notamment la justesse et la précision, qui est primordiale. (19)

Il existe 2 grands types de technologies d'acquisition dans les IOS :

- La projection structurée : C'est une projection d'un motif de lumière (rayures, points) pour mesurer les volumes.
- La confocalité optique : C'est la mise au point à différentes profondeurs pour capter des surfaces nettes. (35)

Une calibration fréquente, en suivant les recommandations du fabricant, est essentielle pour maintenir la précision. Une caméra fréquemment déplacée nécessitera une calibration plus fréquente. (13,30)

Mangano et son équipe ont évalué et comparé la justesse de 12 scanners intra-oraux pour les empreintes d'arcade complète sur implants : ITERO ELEMENTS 5D®, PRIMESCAN®, OMNICAM®, CS 3700®, CS 3600®, TRIOS3®, i-500®, EMERALD S®, EMERALD®, VIRTUO VIVO®, DWIO®, et RUNEYES QUICKSCAN®. (Fig 22) Ces scanners ont été classés en trois groupes en fonction de leur justesse : (36)

- Le groupe avec la plus haute précision comprenait : ITERO ELEMENTS 5D®, PRIMESCAN®, CS 3700®, CS 3600®, TRIOS3® et i-500®.
- Un deuxième groupe présentait des résultats positifs mais potentiellement insuffisants pour les arcades complètes : EMERALD S®, EMERALD®, OMNICAM®, VIRTUO VIVO® et RUNEYES®.
- DWIO® a été identifié comme ayant une précision incompatible avec les empreintes d'arcade complète

Dans cette étude comparative faite sur un modèle représentant une mandibule avec de la fausse gencive, ils ont mis 6 implants, sur lesquels ils ont transvissé 6 scanbodies en PEEK. Un scan de référence a été fait avec le scanner du laboratoire. L'opérateur a effectué 10 scans pour chaque IOS, pour minimiser les effets potentiels de la fatigue. La séquence de capture des scans avec les différents IOS a été randomisée. Ils ont comparé les données en NURBS/NURBS et en maille/maille.

Voilà les résultats obtenus :

**Table 2** Descriptive statistics (error in  $\mu\text{m}$ , medians and quartiles, means and 95% CIs) for mesh/mesh and nurbs/nurbs evaluations

Scanner	Mesh/Mesh		Nurbs/Nurbs	
	Median (Q <sub>1</sub> –Q <sub>3</sub> )	Mean (95% CI)	Median (Q <sub>1</sub> –Q <sub>3</sub> )	Mean (95% CI)
CS 3600®	35.5 (31.5–46.0)	36.5 [29.8; 44.6]	23.5 (21.5–34.0)	24.4 [18.0; 33.1]
CS 3700®	29.5 (27.2–34.5)	30.4 [26.7; 34.5]	22.0 (19.8–24.8)	21.9 [19.3; 25.0]
DWIO®	90.5 (84.2–110.8)	98.4 [84.4; 114.8]	65.0 (51.0–82.2)	69.9 [55.0; 88.9]
EMERALD®	76.0 (67.5–81.0)	76.1 [68.1; 85.1]	54.5 (40.8–60.5)	51.9 [43.5; 61.8]
EMERALD S®	51.0 (46.5–54.8)	52.9 [46.8; 59.7]	37.0 (31.2–40.8)	36.8 [31.1; 43.6]
ITERO ELEMENTS 5D®	32.0 (30.2–33.8)	31.4 [29.2; 33.8]	15.0 (14.2–16.8)	16.1 [12.9; 20.1]
MEDIT I-500®	31.5 (29.0–33.8)	32.2 [28.4; 36.6]	20.5 (17.5–25.8)	20.8 [16.9; 25.5]
OMNICAM®	80.5 (72.2–90.8)	79.6 [66.9; 94.6]	56.0 (33.2–62.5)	47.0 [33.7; 65.7]
PRIMESCAN®	39.5 (35.5–41.8)	38.4 [35.8; 41.2]	19.0 (17.0–23.8)	19.3 [16.3; 22.9]
RUNEYES®	41.5 (33.5–56.0)	44.4 [34.9; 56.5]	32.5 (26.0–43.0)	33.9 [26.4; 43.6]
TRIOS 3®	36.0 (35.2–38.5)	36.4 [33.9; 39.1]	20.5 (19.0–23.0)	20.2 [18.1; 22.7]
VIRTUO VIVO®	38.0 (35.2–42.2)	43.8 [33.6; 57.1]	28.0 (26.2–33.2)	32.0 [24.4; 42.0]

*Figure 22 : Tableau provenant de l'étude de Mangano et al. (36)*

Les caméras qui semblent les plus performantes selon de nombreux articles sont : (31,36,37)

- Carestream CS3700 (triangulation active avec fonction de distribution de réflectance bidirectionnelle).
- 3Shape Trios3 et Trios4 (microscopie confocale à balayage optique ultrarapide).
- Cerec Primescan (numérisation par capteur à haute résolution et lumière à ondes courtes avec analyse de contraste optique haute fréquence pour balayage profond dynamique).

Toutes ces études ont été menées in vitro, ce qui représente un biais majeur. Il faut donc imaginer que la déformation lors de l'empreinte in vivo sera augmentée : par la présence de salive, de sang mais aussi par tous les facteurs intrinsèques et extrinsèques présentés plus haut.

De plus, il faut analyser ces résultats avec distance car les performances des scanners intra-oraux évoluent rapidement avec les mises à jour logicielles. C'est un marché qui est en constante évolution, ce qui rend les comparaisons difficiles.

Il faut aussi se méfier de l'intelligence artificielle dans ce type d'empreinte, car elle est programmée à reconnaître principalement des dents. Il faut vérifier qu'il est possible sur la caméra de mettre un mode « arcade édentée », ou « scanbodies ».

À ce jour, la littérature n'a toujours pas validé l'utilisation des scanners intra-oraux pour la prise d'empreinte d'implants pour une arcade complète.

## **2.2.4 Types de corps de numérisation**

Actuellement, il y a sur le marché des corps de numérisation appelé « scanbodies ». Ils sont présents dans toutes les marques implantaires et sont spécifiques de la marque et de l'implant utilisé ou du pilier multi-unit visser sur l'implant, il est essentiel de se fournir cet accastillage spécifique.

Ces scanbodies sont des dispositifs essentiels pour transférer la position exacte d'un implant dentaire dans un logiciel de CAO.

On retrouve différents types de scanbodies : soit en titane soit en PEEK.

Les meilleurs résultats seraient obtenus avec des scanbodies en titane seulement s'ils sont revêtus d'un opacifiant, cela empêche les réflexions lumineuses qui pourrait complexifier le scannage. De plus, ils sont rigides, durables. On retrouve les scanbodies en PEEK, qui ont l'avantage d'être non réfléchissants et faciles à scanner mais ce matériau pose trois problèmes majeurs : il se déforme dans le temps, n'est pas radio-opaque et ne se stérilise pas bien. (30)

Cependant peu importe le type de scanbodies utilisé, la caméra intra-orale rencontre des difficultés à différencier les corps de numérisation les uns des autres. (12) Ceci est accentué, en particulier, sur une longue arcade édentée sans caractérisations anatomiques.

Pour donner suite à ce problème, beaucoup d'entreprises ont pensé à créer des corps de numérisation plus conséquent présentant des motifs dessus pour que la caméra intra-orale ait un chemin de scannage précis et qu'elle puisse les individualiser.

Cependant, ces supports n'ont pas été concluants la caméra intra-orale confondant ces derniers sans améliorer significativement la qualité finale de l'empreinte. (38,39)

## **2.3 Les différents protocoles de prise d'empreinte numérique dans les cas de mise en charge immédiate**

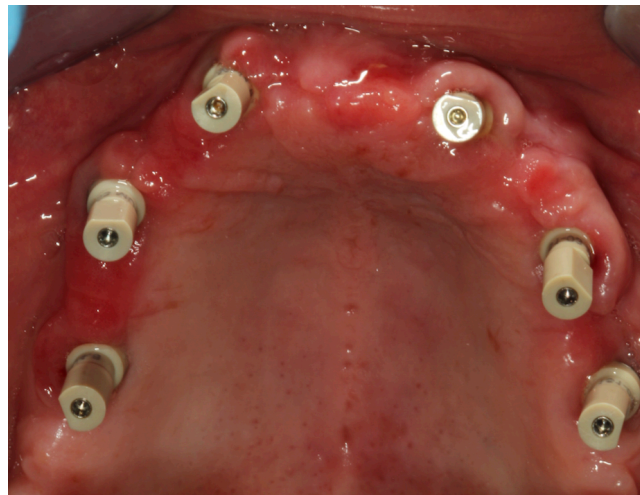
Il n'y a aucun protocole fourni et étudié à ce jour concernant la prise d'empreinte numérique dans les cas de "all on x". Certains praticiens élaborent leurs propres adaptations pour intégrer le numérique et tenter de gagner en précision, d'autres sont complètement contre le fait de l'utiliser dans ce type de réhabilitation prothétique. Le but de cette partie va être de faire une synthèse des différents protocoles dont on peut entendre parler. Ils ont tous un objectif commun : prendre une empreinte juste et précise, et, si cela est possible, tenter de conserver la RMM du patient. Avant toute chose, il

nous semble important de définir le “matching”. Ce terme désigne le processus d’alignement et de superposition de deux ensembles de données 3D afin de les faire correspondre dans un même espace de travail. Il est utilisé pour fusionner plusieurs sources d’informations.

### 2.3.1 Scannage des muqueuses avec les scanbodies

Le principe de ce protocole est de prendre l’empreinte pré-opératoire, d’effacer l’emplacement actuel des implants puis de réaliser le scan des scanbodies vissé sur les implants afin de transmettre la position et l’axe de ceux-ci. (Fig 23)

Lorsqu’on a peu de repères anatomiques, certains auteurs penchent pour utiliser des marqueurs fiduciaux (des dispositifs d’aide à la numérisation ou des vis d’ostéosynthèse dans l’os) pour avoir des repères stables avant et après la chirurgie.



*Figure 23 : photo intra-orale de scanbodies PEEK marque Straumann en place au maxillaire, courtoisie du cabinet Implantys*

Voici le protocole :

1 : Scan préopératoire intraoral du patient : <ul style="list-style-type: none"><li>- Maxillaire</li><li>- Mandibulaire</li><li>- Occlusion</li></ul>
2 : Chirurgie du type all on 4, all on 6. <ul style="list-style-type: none"><li>- Anesthésie</li><li>- Extractions des dents résiduelles</li><li>- Curetage</li><li>- +/- résection osseuse</li><li>- Mise en place des implants et des MUA</li></ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sutures</li> <li>- Rinçage et séchage des muqueuses.</li> </ul>
<p>3 : Empreinte :</p> <p>Sur la caméra :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dupliquer l’empreinte en bio-copie « maxillaire/ mandibulaire »</li> <li>- Nettoyer l’empreinte pré opératoire au niveau des endroits où se trouvent les scanbodies, garder les repères fixes</li> <li>- Passer en mode « scanbodies » sur la caméra intra-orale</li> </ul> <p>En bouche :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mettre en place les scanbodies</li> </ul> <p>Sur la caméra :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Scanner les muqueuses lorsque la caméra se repère et puisse prendre l’arcade complète</li> <li>- Envoyer au prothésiste dentaire</li> </ul>

La principale difficulté de ce protocole réside dans la capacité de la caméra à se repérer correctement après l’extraction des dents. Il faut donc que le patient ait des repères anatomiques stables, on les retrouve particulièrement au maxillaire (trigones, relief du palais). A la mandibule, ce protocole est clairement impossible. La caméra a tendance à se perdre et à confondre les scanbodies entre eux, car ils n’ont pas de signes distinctifs.

Certains praticiens font cette empreinte seule et demandent au prothésiste de faire un matching du STL préopératoire et postopératoire, en se basant de facto sur des éléments muqueux instables par essence qui plus est au cours d’une chirurgie, la précision d’une telle approche est forcément limitée.

#### 2.3.1.1 Faire un matching entre l’empreinte post-opératoire et les fichiers DICOM : initial et scanbodies positionnés sur les implants.

Certains praticiens procèdent différemment, ils font une empreinte post-opératoire avec la caméra intra-orale avec seulement des scanbodies sur les implants. Ensuite afin de pouvoir rematcher l’empreinte pré-opératoire avec l’empreinte post opératoire et retrouver l’occlusion, ils vont transmettre au prothésiste le fichier DICOM avec les scanbodies en place et le fichier DICOM initial.

Voici le protocole qu’ils utilisent :

<p>1 : Scanner pré opératoire de la bouche du patient : (fichiers STL)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Arcade édentée où on va retrouver les implants ou arcade denté</li> <li>- Si arcade édentée, faire un scan de l’appareil amovible</li> </ul>
--



<ul style="list-style-type: none"> <li>- Arcade antagoniste</li> <li>- Occlusion</li> </ul>
<p>2 : Double CBCT (fichier DICOM)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- CBCT du patient avec l'appareil amovible avec point de repère dans l'appareil amovible</li> <li>- CBCT de l'appareil amovible seul</li> </ul> <p>Matching du fichier DICOM avec le fichier STL pour avoir la position de l'appareil amovible ou des dents restantes avec l'os maxillaire ou mandibulaire</p>
<p>3 : Chirurgie du type all on 4, all on 6.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anesthésie</li> <li>- Extractions des dents résiduelles</li> <li>- Curetage</li> <li>- +/- résection osseuse</li> <li>- Mise en place des implants et des MUA</li> <li>- Sutures</li> <li>- Rinçage et séchage des muqueuses.</li> </ul>
<p>4 : Empreinte :</p> <p>En bouche :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mettre en place les scanbodies</li> </ul> <p>Sur la caméra :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Scanner les muqueuses avec les scanbodies (fichier STL)</li> </ul> <p>En parallèle :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Faire un CBCT du patient avec les scanbodies en bouche (fichier DICOM)</li> </ul> <p>Envoyer au prothésiste dentaire</p>
<p>5 : au niveau du prothésiste dentaire</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Matching du STL post opératoire avec scanbodies en bouche ou les dents résiduelles et du fichier DICOM post opératoire</li> <li>- Matching du Fichier DICOM pré-opératoire avec appareil en bouche avec le fichier DICOM post opératoire avec les scanbodies en bouche</li> <li>- Extrapolation de la position des scanbodies en faisant matcher le STL de l'arcade pré opératoire avec le STL post opératoire</li> </ul>

Cette méthode est loin d'être précise et satisfaisante. Aucune étude n'a été menée en termes de précision sur ce sujet.

En revanche la précision du matching est estimé à (40) :

Type de fichier	Précision lors du matching
DICOM/DICOM	0,3 à 0,5 mm
STL/STL	Perte en moyenne de 100 microns de précision
STL à DICOM	Risques d'erreurs linéaires d'environ 0,45 +/- 0,46 mm et des risques angulaires de <0,3°

Figure 15 : Tableau montrant la précision des matching de différents fichiers entre eux.

### 2.3.2 Laisser des dents lors du scannage des arcades avec les scanbodies

Le principe identique au protocole utilisant des scanbodies sur une crête édentée. Certains auteurs conseillent de conserver quelques dents pour s'en servir de marqueurs fiduciaux pour l'empreinte post-opératoire. Il est donc possible de scanner plus facilement l'arcade, la caméra se repère mieux et l'empreinte est plus précise qu'avec seulement les scanbodies.

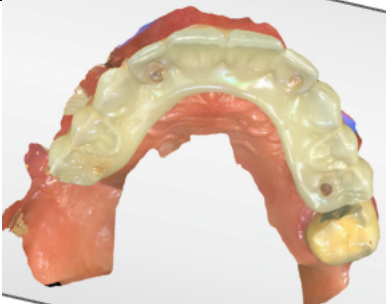
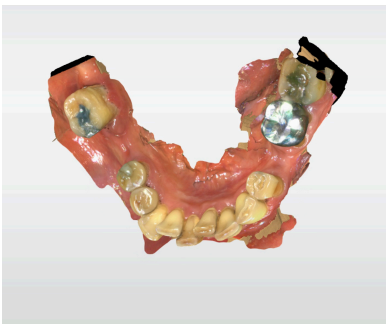
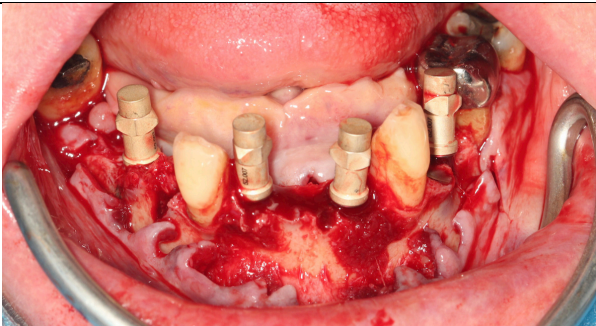
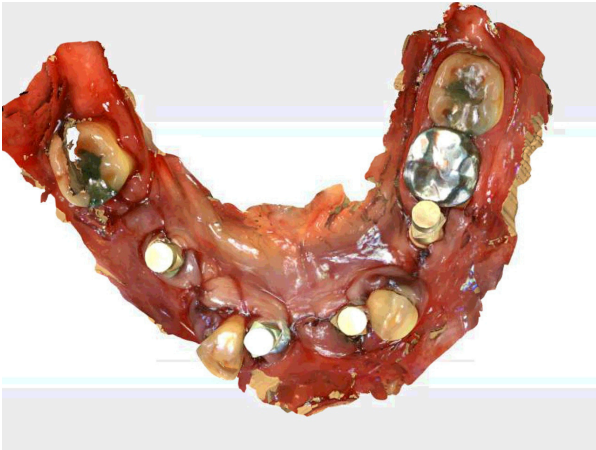
Cependant, pour certains praticiens, cette technique, bien que permettant de répondre à la problématique du repérage de la caméra, semble montrer des inconvénients.

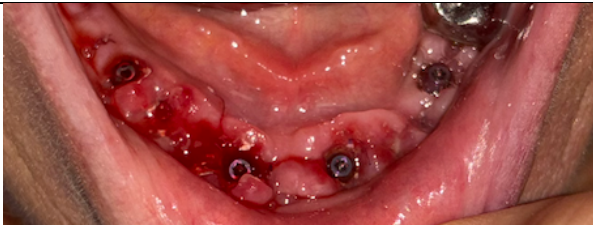
En effet, l'assainissement de l'arcade serait moins efficace puisqu'il resterait des foyers infectieux potentiels en bouche lors de la pose implantaire avec les dents laissées en place. Ce point de vue est à nuancer car de toute façon les dents vont être extraites en fin d'intervention et un curetage alvéolaire va être réalisé.

Le réel inconvénient de ce protocole réside dans le fait que le patient doit subir une nouvelle phase chirurgicale après la prise d'empreinte, dans un contexte opératoire déjà long.

Malgré ces désagréments, cette technique permet une empreinte plus exacte et donc un bridge provisoire mieux adapté qui permet un risque amoindri de perte d'ostéo-intégration.

Présentation du protocole d'empreinte avec la caméra intra-orale : PRIMESCAN	<i>Figure 24 : Photos d'un cas traité avec ce protocole d'empreinte, courtoisie du cabinet Implantys, 11 /2024</i>
1 : Scanner pré opératoire de la bouche du patient : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Maxillaire (Fig 24a)</li> <li>- Mandibulaire (Fig 24b)</li> </ul>	

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Occlusion</li> </ul>	 <p>Fig a</p>  <p>Fig b</p>
<p>2 : Chirurgie du type all on 4, all on 6.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anesthésie</li> <li>- Extractions des dents qui vont nous gêner pour mettre les implants</li> <li>- Curetage</li> <li>- +/- résection osseuse</li> <li>- Mise en place des implants et des MUA</li> <li>- Sutures</li> <li>- Rinçage et séchage des muqueuses.</li> </ul>	 <p>Fig c</p>
<p>3 : Empreinte :</p> <p>Sur la caméra :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dupliquer l’empreinte en bio-copie « maxillaire/ mandibulaire »</li> <li>- Nettoyer l’empreinte pré opératoire au niveau de l’arcade, garder les repères fixes</li> <li>- Passer en mode « scanbodies » sur la caméra intra-orale</li> </ul> <p>En bouche :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mettre en place les scanbodies (Fig 24c)</li> </ul>	 <p>Fig d</p>

<p>Sur la caméra :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Scanner les muqueuses lorsque la caméra montre la bio-copie c'est que c'est bon. (Fig 24d)</li> <li>- Envoyer au prothésiste dentaire</li> </ul>	
<p>4 : Chirurgie</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anesthésie si besoin</li> <li>- Extractions des dents résiduelles</li> <li>- Curetage</li> <li>- Suture (Fig 24e)</li> </ul>	 <p>Fig e</p>

Nous avons voulu tester la précision de ce protocole au cabinet, afin d'évaluer le degré d'imprécision de ce protocole. Pour cela, nous avons envoyé au laboratoire Buisson, une empreinte analogique (polyéther, impregum) et une empreinte faite avec la caméra intra-orale.

Voici les résultats :

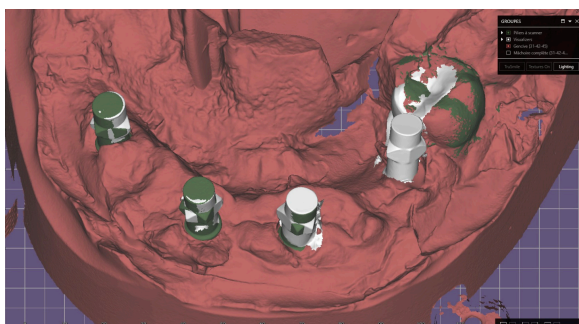


Fig a

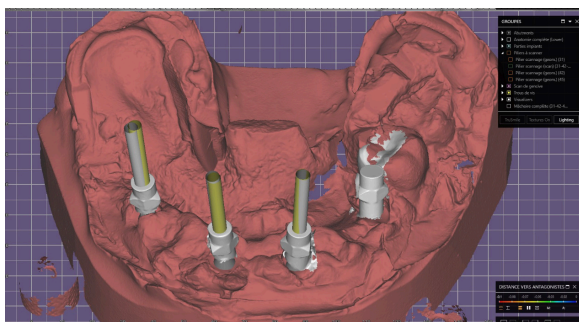


Fig b

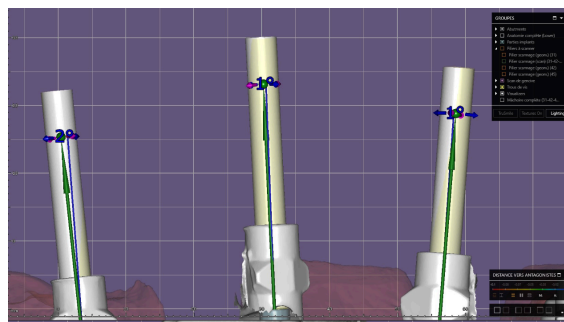


Fig c

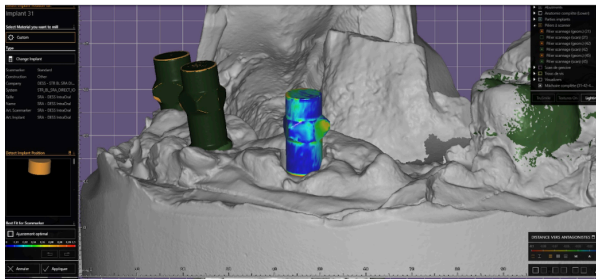


Fig d

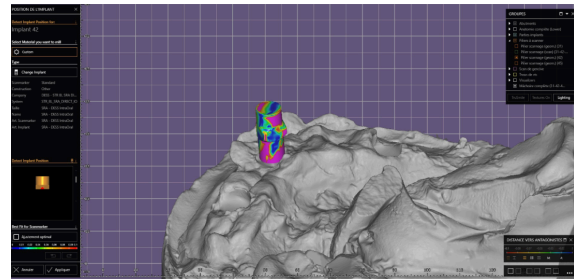


Fig e

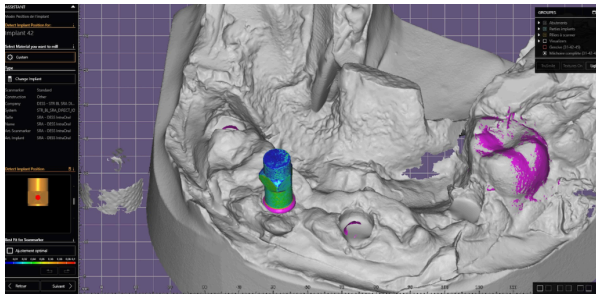


Fig f

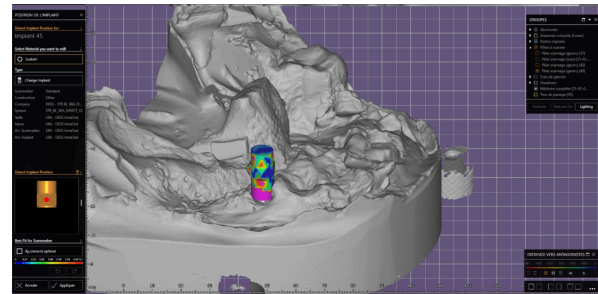


Fig g

*Figure 25 : Résultats de la comparaison mesh/mesh d'une empreinte analogique faite à l'impregum (en vert) et d'une empreinte numérique (en gris), faite par le laboratoire Buisson, 11/2024*

La comparaison mesh/mesh a montré :

- Un écart angulaire de 1° sur les 2 premiers implants et de 2° sur le dernier implant entre ces deux empreintes (>0,4° qui est l'écart angulaire toléré). (Fig 25b, fig25c)
- Un écart de position allant jusqu'à plus de 100microns sur le dernier implant notamment. (Fig 25a,fig 25d, fig 25e, fig 25f, fig 25g)

Cette analyse amène la réflexion, nous avons certes réussi à faire l'empreinte, effectivement la caméra intra-orale a réussi à ne faire qu'une seule empreinte. Malgré cela, elle ne peut pas être considérée comme juste et précise.

Il faudrait bien-entendu mener une étude sur ce protocole avec davantage de patients dans les mêmes conditions pour en tirer des conclusions plus fiables.

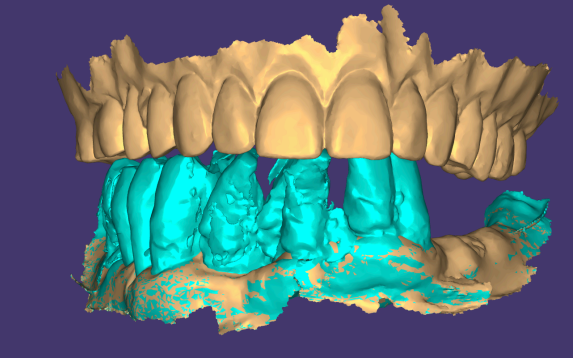

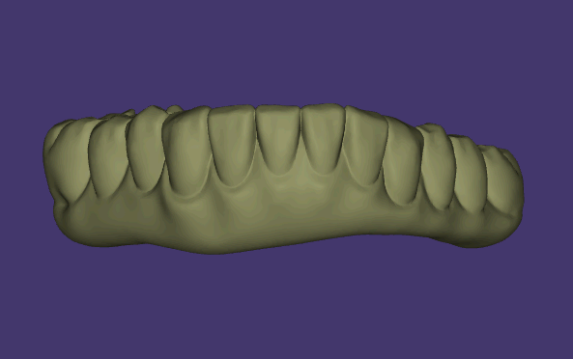
Pour finir, il est certain que le prothésiste fera une approximation de la muqueuse au moment de la conception du bridge, surtout au niveau des dents qu'on a gardées.

En résumé, ce protocole d'empreinte post opératoire peut nous aider mais il est loin d'être satisfaisant. De plus, il ne peut être utilisé lors d'une arcade déjà édentée.


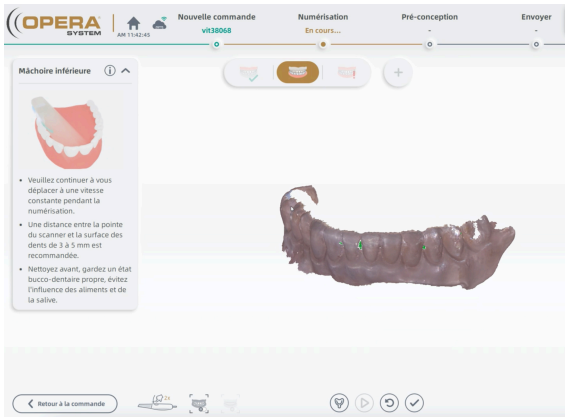
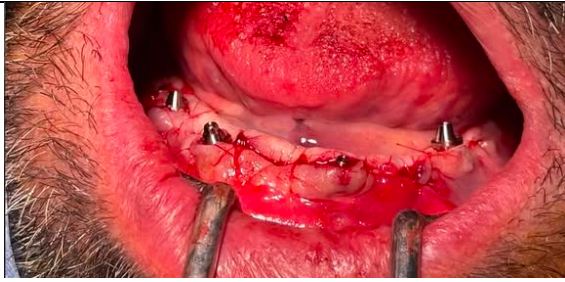
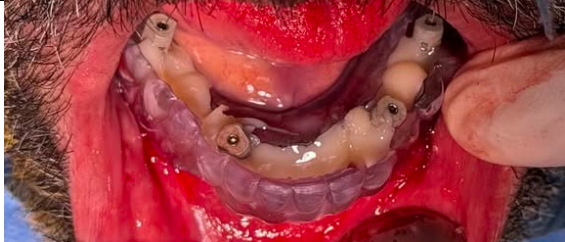
### 2.3.3 Protocole RISE (Reproductible, Simple, Immédiat & Économique)


Ce protocole a été décrit par le Dr Bui et Dr Carrotte au cours de leur conférence « all on X » organisée par la société Anthogyr à Lyon.

Le but de ce protocole est d'allier le numérique pour sa rapidité et l'analogique pour sa précision. Cette empreinte encapsule d'un coup la position des implants, la position du projet prothétique et la RMM.

<u>Présentation du protocole d'empreinte</u>	<u>Figure 26 : Photos d'un cas traité avec le protocole d'empreinte RISE, courtoisie du cabinet Baly, 04/2025</u>
<p>1 : Scanner pré opératoire de la bouche du patient 10 jours avant la chirurgie : (fig 26a)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Maxillaire</li> <li>• Mandibulaire</li> <li>• Occlusion</li> </ul> <p>Envoie au prothésiste qui fait le wax up (fig 26b,fig 26c) et fait pour le cabinet une maquette d'occlusion évidée au niveau des scanbodies</p> <p>Le jour de la chirurgie :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Réception de la maquette d'occlusion qui est une réplique du wax up digital fait en amont sur le clone digital. (Fig 26d)</li> <li>• Prise empreinte extraorale de la partie vestibulaire de la maquette d'occlusion (Fig 26e)</li> </ul>	 <p>Fig a</p>  <p>Fig b</p>  <p>Fig c</p>



	 <p>Fig d</p>  <p>Fig e</p>
<p>2 : Chirurgie du type all on 4, all on 6.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anesthésie</li> <li>- Curetage/ assainissement</li> <li>- Résection osseuse</li> <li>- Mise en place des implants et des MUA</li> <li>- Sutures</li> <li>- Rinçage et séchage des muqueuses. (Fig 26f )</li> </ul>	 <p>Fig f</p>
<p>3 : empreinte post opératoire</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Duplication du fichier STL d'il y a 10 jours en effaçant l'occlusion et l'arcade à scanner</li> <li>• Mise en place des scanbodies sur les MUA</li> </ul>	 <p>Fig g</p>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Liaison de la maquette d'occlusion avec les scanbodies à l'aide du composite Structur (pour que les scanbodies restent avec la maquette d'occlusion) (fig 26g)</li> <li>• Pendant ce temps prise de la RMM avec l'empreinte optique dans la bouche du patient</li> <li>• Dévissage de l'ensemble : maquette d'occlusion solidarisée aux scanbodies (fig 26h)</li> <li>• Scan de la maquette d'occlusion en entier avec les scanbodies en dehors de la bouche</li> </ul>	 <p>Fig h</p>
--	---

L'avantage de ce protocole est la vérification, avec la maquette d'occlusion, de la RMM et des critères esthétiques. On peut encore faire des modifications auprès du prothésiste avant la conception du bridge provisoire. De plus, le matching pour le prothésiste est beaucoup plus simple car le Wax up et la maquette d'occlusion ont tous les points en commun.

L'inconvénient de ce protocole est l'absence d'empreinte des muqueuses. Néanmoins, dans ce type de chirurgie, ce n'est pas essentiel, car la gencive va se remodeler en fonction du bridge provisoire (notamment si on fait un bridge provisoire de type FP3). Cependant, si le bridge est trop compressif à un endroit, ou s'il ne l'est pas assez, on pourrait avoir des défauts d'hygiène bucco-dentaire, qui pourrait mettre en péril nos implants.

De plus, l'utilisation de ce protocole implique la conception d'une maquette d'occlusion par le prothésiste et une manipulation d'un matériau dans la bouche du patient. Ce protocole représente une alternative qui semble fiable et juste mais elle n'est pas 100% numérique.

## 2.4 Limites de l'empreinte numérique dans le cas d'empreinte post-chirurgical du type « all on x »

La limite principale est le fait que la plupart des études sont réalisées in vitro, ce qui peut ne pas refléter les conditions cliniques réelles.



Cependant, les performances des scanners intra-oraux évoluent rapidement avec les mises à jour des logiciels, ce qui rend les comparaisons difficiles.

Les stratégies de numérisation peuvent influencer les résultats et doivent être standardisées. Des études in vivo doivent être réalisées afin de s'assurer de la précision de nos prothèses et de ne pas mettre en péril nos patients et le pronostic des implants.

#### **2.4.1 Complexité technique**

Effectivement, l'empreinte numérique n'est pas si simple à réaliser, elle est dite "opérateur-dépendant". Il faut bien suivre les recommandations des chemins et de la vitesse de scannage, afin d'éviter que la caméra perde ses repères. Cette technique d'empreinte demande une vraie courbe d'apprentissage pour le praticien.(41) À cela, s'ajoute le contexte post-chirurgical avec la présence de sang.

#### **2.4.2 Problèmes de visibilité et d'accès**

L'accessibilité de certaines zones est un facteur inhérent au patient, qui influence la technique numérique lors de la prise d'empreintes optiques pour les restaurations complètes implanto-portées. (13,42). La taille et l'orientation des embouts facilitent la numérisation. Ce sont des critères importants à prendre en compte dans le choix d'une caméra intra-orale. Il convient toutefois de noter l'émergence sur le marché de modèles dotés d'embouts de plus en plus fins et interchangeables, permettant une adaptation optimale aux différentes situations cliniques. (31,34)

#### **2.4.3 Coût initial élevé**

Le coût initial d'une caméra intra-orale haut de gamme, capable de réaliser des empreintes précises sur des crêtes édentées, d'assurer une lecture fiable des scanbodies, de présenter une compatibilité étendue avec les logiciels d'implantologie, et de garantir une précision élevée sur des arcades complètes, se situe généralement dans une fourchette comprise entre 20 000 € et 40 000 €.

#### **2.4.4 Dépendance à la technologie**

L'empreinte numérique est dépendante de la technologie, ce qui signifie qu'une panne de la caméra intra-orale ou du logiciel peut entraîner un retard important dans le traitement. De plus, la compatibilité avec les différents systèmes de laboratoire n'est pas toujours garantie.

D'autres aspects doivent également être pris en considération :

- Le réseau : la transmission des fichiers numériques nécessite une infrastructure de réseau fiable et performante.
- Conservation des données : bien que les données soient stockées de manière numérique, elles peuvent être sujettes à des défaillances informatiques ou à des problèmes de sauvegarde des fichiers.

#### **2.4.5 Durée de prise d'empreinte**

Bien que la prise de l'empreinte soit généralement plus rapide dans les cas de couronnes unitaires sur implant, des erreurs liées à un balayage incomplet ou à une mauvaise acquisition de certaines zones peuvent entraîner la nécessité de reprendre l'empreinte, prolongeant ainsi le temps global de la procédure.(34)

Il apparaît clairement qu'à l'heure actuelle, le temps nécessaire à la réalisation d'une empreinte n'est pas systématiquement réduit par l'utilisation d'une caméra intra-orale ; il peut même, dans certains cas, être allongé.

### **3 L'apport de la photogrammétrie dans les empreintes de bridge implanto-porté de grande étendue**

---

Plusieurs éléments indiquent que, à l'heure actuelle, l'empreinte optique intra-orale ne permet pas encore d'obtenir des résultats suffisamment reproductibles et fiables dans le cadre de réhabilitations implantaire étendues. La photogrammétrie constitue l'une des solutions permettant d'atteindre la précision nécessaire à la conception et à la fabrication de prothèses fixes implanto-portées conformes au cahier des charges.(39) En se concentrant exclusivement sur la capture de la position tridimensionnelle des implants, elle s'avère complémentaire à l'empreinte optique, qui restitue quant à elle les structures anatomiques environnantes notamment des tissus mous.

#### **3.1 Définitions**

Le terme « photogrammétrie » provient du grec photos (lumière), gramma (écriture), et metron (mesure), soit « mesure par l'image ».

La photogrammétrie trouve ses origines au 19<sup>ème</sup> siècle, dans les domaines de la topographie et de la cartographie. Elle repose sur un principe simple mais puissant : mesurer des distances et reconstruire des objets en 3D à partir de photographies prises sous différents angles.

Initialement, cette technologie était utilisée pour réaliser des cartes topographiques à partir de clichés aériens. La photogrammétrie a évolué vers une méthode numérique et automatisée par des logiciels capables de détecter des points communs entre images et calculer leur position dans l'espace par triangulation.

Elle permet d'obtenir une reconstruction extrêmement précise de la position des implants.

#### **3.2 Les dispositifs de photogrammétrie disponibles actuellement en dentisterie :**

##### **3.2.1 Système de photogrammétrie extra-orale**

###### **3.2.1.1 PIC system - PIC dental**

Le système PIC Dental représente le premier dispositif de photogrammétrie introduit sur le marché dentaire et demeure, à ce jour, le leader de ce secteur. Sa précision annoncée pour la capture de la

position relative des implants est inférieure à 5 microns, ce qui en fait une référence en matière d'exactitude.

Le système se compose :

- D'une caméra stéréo, équipée de deux objectifs permettant la capture simultanée d'une scène sous deux angles légèrement différents
- De scanbodies spécifiques, appelés PIC Transferts, fabriqués en matériau non métallique. Cette caractéristique peut toutefois poser des limites pour la vérification radiographique du bon positionnement des transferts. (43)

Ce système est compatible avec Exocad, 3shape, dental wings, Sirona, blenderfordental...

Ils ont aussi sorti une photogrammétrie accessible sur le téléphone par une application mobile.

#### 3.2.1.2 iCam4D – Imetric

Ce système suisse est composé de :

- Icam4D qui est une multi-caméra avec 4 optiques
- IcamBodies sont très compacts et facile à manipuler
- Support de calibration
- ICamRefs (similaires aux piliers de cicatrisation, permet de prendre la gencive en même temps)

L'ICam combine les principes de la photogrammétrie et de la numérisation par lumière structurée afin de générer des modèles tridimensionnels précis.

Le protocole d'utilisation consiste d'abord en une calibration de l'appareil, suivie de la pose des IcamBodies sur les implants. Plusieurs images sont ensuite capturées sous différents angles. Le logiciel dédié traite ces images pour reconstituer avec exactitude la position spatiale des implants.

Ce système est compatible avec Exocad ou 3Shape.

#### 3.2.1.3 Tupel 3D Photogrammetry System (grammee de BlueSkyBio)

Ce système est composé :

- D'une caméra avec 2 capteurs de 2 megapixels avec obturateur global
- D'un support de calibration
- De dotposts (scanbodies spécifiques)
- D'un écran LCD intégré, utilisation sans ordinateur
- D'une alimentation par batterie (donc sans fil)

Il faut tout d'abord calibrer l'appareil, placer les Dotposts pour capturer plusieurs images des piliers sous différents angles. Le logiciel va ensuite traiter les images pour créer une représentation numérique 3D des positions des implants.

On obtient un fichier STL avec la position précise des implants.

Ce système est compatible avec exocad ou 3Shape.

#### 3.2.1.4 Micronmapper de ClaroNav Dental

Plusieurs caméras sont synchronisées pour capturer simultanément des images de scanbodies qui sont fixés sur les implants. Il ne nécessite pas de préchauffage ou de calibrage avant utilisation.

Le gros avantage du micronmapper est le double usage des scanbodies, simplifiant le processus de numérisation.

Ce système se compose :

- D'une camera micromapper
- De scanbodies
- De modèle MUA
- D'une batterie

Navident EVO peut être combiné avec ce système.

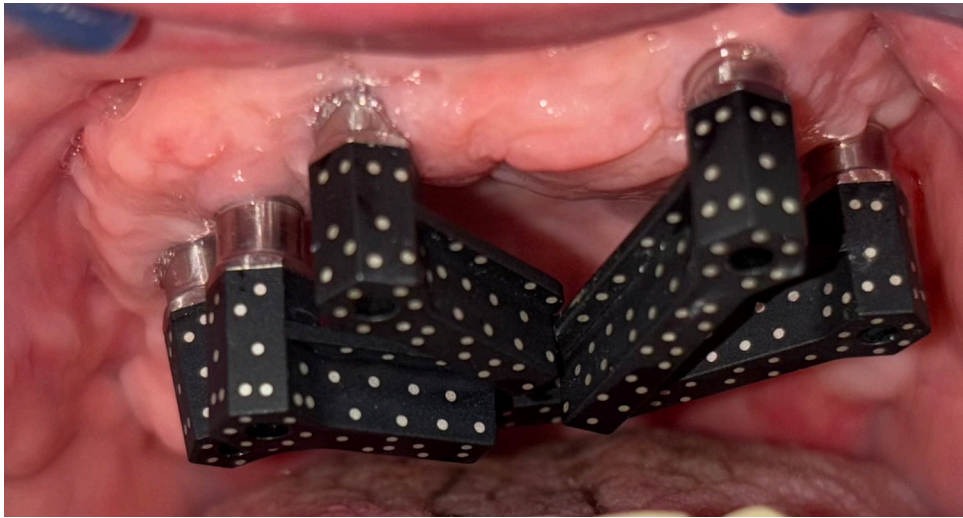
### 3.2.2 Système de photogrammétrie intra-orale

Ce système utilise, un fichier IPG (Intra-oral Photogrammetry), qui n'est pas un terme universel mais un terme interne utilisé pour désigner un fichier généré après l'acquisition photogrammétrique. Cela sert à positionner virtuellement les implants dans les logiciels CAO, il est directement fusionné avec un fichier STL pour intégrer les tissus mous et les dents.

#### 3.2.2.1 Aoralscan Elite de Shining 3D

L'Aoralscan Elite de Shining 3D constitue le premier scanner intra-oral intégrant directement la technologie IPG au sein d'un seul et même dispositif. Ce système innovant permet une utilisation quotidienne en tant que scanner intra-oral conventionnel, tout en offrant la possibilité de réaliser des empreintes implantaires de grande étendue, immédiatement en post-chirurgical ou après une phase de temporisation de 3 mois, une fois les muqueuses cicatrisées.

Le protocole de repose sur l'utilisation d'un embout de caméra avec 2 lentilles et de scanbodies codés, spécifiquement conçus pour ce système, et doivent être torqués à 10 N.cm afin d'assurer une lecture stable et fiable. (Fig 27)



*Figure 27 : Photo intra-orale avec drapeaux codés transvissés sur les implants pour une empreinte avec la photogrammétrie intra-orale de la marque Shining 3D.*

Contrairement à la photogrammétrie classique avec des caméras externes, les images sont capturées sous angles directement dans la bouche du patient, grâce au balayage de la caméra.

L'Aoralscan Elite intègre un algorithme spécifique qui isole les marqueurs des scanbodies dans le flux vidéo pour en extraire la géométrie 3D avec précision.

Les images sont analysées en temps réel via un algorithme IPG.

L'algorithme calcule la position et l'orientation des implants à partir de l'alignement des marqueurs sur les différentes vues, un processus de triangulation photogrammétrique. Ensuite, le système fusionne le fichier de positions d'implants issu du mode photogrammétrie avec un scan complet des tissus mous et dents.

On a pu tester cette caméra intra-orale à plusieurs reprises et on remarque :

- Réduction des erreurs de superposition lors de la numérisation d'arcades complètes même édentées
- Simplification du flux de travail numérique, en combinant les fonctions d'une caméra intra-orale classique (capture des tissus mous) et en marquant la position des implants en une seule étape.

- L'ergonomie qu'offre cette caméra est assez exceptionnelle : elle est légère, compacte, elle comporte plusieurs embouts de caméra (hormis pour la photogrammétrie, où il n'y a qu'un seul embout de caméra adapté).

Ce système fonctionne avec les logiciels tels que Exocad et 3Shape.

### **3.3 Intérêt et indication de la photogrammétrie**

#### **3.3.1 Indication**

L'utilisation de la photogrammétrie en dentaire est pertinente pour les prothèses complètes fixes sur implants de grande étendue. (12)

Elle est utilisée en complément de l'empreinte optique pour obtenir toutes les informations nécessaires à la conception et à la fabrication de prothèses fixes. Elle permet une adaptation passive optimale, tout en offrant des avantages en termes de temps et de confort par rapport aux méthodes conventionnelles. (43–45)

#### **3.3.2 Précision et justesse**

La photogrammétrie appliquée à la dentisterie est une technologie relativement récente, ce qui explique le nombre encore limité de publications scientifiques disponibles à ce jour. La majorité des données actuelles proviennent d'études in vitro, réalisées dans des conditions standardisées.

Dans l'une de ces études, les auteurs ont évalué la précision comparative de la photogrammétrie extra-orale et intra-orale à partir d'un modèle en plâtre simulant une arcade édentée, intégrant six implants et une fausse gencive.

Chaque système a été utilisé pour réaliser 30 acquisitions du même modèle, permettant une analyse statistique de l'exactitude des mesures obtenues. (Fig 28),(46)

**Tableau 2.** Statistiques descriptives des écarts globaux de mesure linéaire et angulaire calculés parmi les groupes testés

Groupe	Moyenne $\pm$ ET Linéaire Écarts ( $\mu\text{m}$ )	Moyenne $\pm$ écart type angulaire Écarts (degrés)
PIC	17 $\pm$ 4	0,34 $\pm$ 0,01
Icam4D	18 $\pm$ 6	0,29 $\pm$ 0,05
Grammee	28 $\pm$ 9	0,17 $\pm$ 1,0
OxoFit	30 $\pm$ 14	0,31 $\pm$ 0,02
Élite	27 $\pm$ 5	0,27 $\pm$ 0,02

SD, écart type.

*Figure 28 : Tableau présenté dans l'article de Revilla-León M et son équipe (46)*

Ces données soulignent que la photogrammétrie permet d'atteindre des niveaux de précision nettement supérieurs à ceux obtenus avec l'empreinte optique intra-orale seule. Pour rappel, les études in vitro menées sur les scanners intra-oraux rapportent des écarts moyens de l'ordre de 50 à 100  $\mu\text{m}$ , tandis que la photogrammétrie permet de réduire ces écarts à des valeurs comprises entre 15 et 30  $\mu\text{m}$ .

Dans une étude clinique menée par Maria Estibalez-Recasens et al., la précision du système PIC Dental, basé sur la stéréophotogrammétrie, a été évaluée dans le cadre de réhabilitations complètes sur six implants. L'étude, portant sur 10 patients, comprenait cinq enregistrements par patient à l'aide du système. Les résultats ont montré une précision moyenne de  $14,71 \pm 12,2 \mu\text{m}$  pour les distances linéaires, et de  $0,072 \pm 0,064$  degrés pour les écarts angulaires (32), confirmant ainsi la fiabilité clinique de cette technologie pour les restaurations implanto-portées de grande étendue.(47)

### 3.3.3 Résultats fiables

L'un des principaux avantages de la photogrammétrie extra-orale réside dans sa fiabilité indépendante des conditions cliniques variables. Contrairement à l'empreinte optique intra-orale, elle n'est pas influencée par des facteurs tels que l'expérience de l'opérateur, le protocole de numérisation utilisé, la présence de salive, les zones édentées étendues sans repères anatomiques fixes, les tissus mous mobiles, ou encore l'augmentation des distances inter-implantaires.(43,47)



### **3.4 Présentation d'un cas clinique en utilisant la photogrammétrie intra-orale dans le cas d'une empreinte maxillaire et mandibulaire pour des bridges complets sur implant**

Ce cas clinique vise à évaluer la justesse et la précision de l'IPG dans le cadre d'une réhabilitation implantaire complète sur arcades édentées maxillaire et mandibulaire. Bien que la prise d'empreinte ne soit pas réalisée en situation immédiate post-chirurgicale, l'exigence de précision demeure cruciale. En effet, la conception d'un bridge implanto-porté définitif nécessite une empreinte dont l'exactitude est cliniquement acceptable, soit comprise entre 30 et 50 microns, afin de garantir un ajustement passif de l'armature prothétique.

#### **Présentation du cas :**

Mme X se présente au cabinet pour la phase prothétique finale. Trois mois auparavant, une réhabilitation complète a été initiée : les dents non conservables ont été extraites, et plusieurs options thérapeutiques lui ont été proposées. Après concertation, la patiente a opté pour une solution implantaire fixe.

Maxillaire : plan de traitement de type All-on-6

Mandibule : plan de traitement de type All-on-4

À trois mois post-opératoire, les muqueuses sont cicatrisées et les implants ostéo-intégrés. Les conditions cliniques sont réunies pour la réalisation des bridges définitifs.

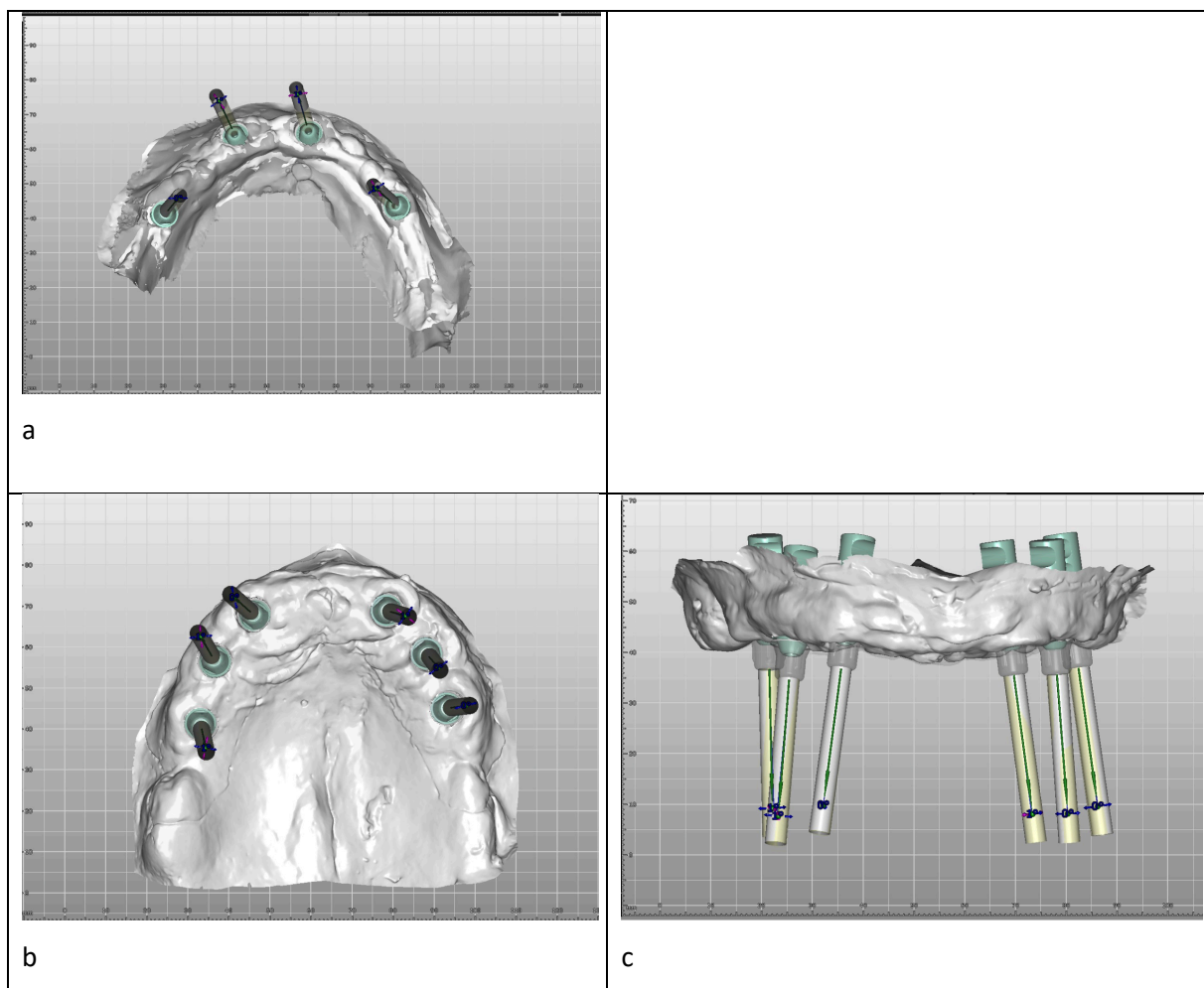
#### **Protocole d'empreinte comparatif :**

Afin d'analyser la précision de la photogrammétrie intra-orale, une empreinte numérique est réalisée avec la caméra intra-orale Aoralscan Elite (Shining 3D). La RMM des bridges provisoires a réussi à être conservée.

En parallèle, une empreinte conventionnelle au plâtre est effectuée pour les deux arcades.

Ces deux jeux d'empreintes (numériques et conventionnelles au plâtre) sont ensuite transmis au laboratoire en vue d'une analyse comparative des écarts dimensionnels entre les fichiers issus des deux méthodes.

Une comparaison mesh/mesh a été réalisée par le laboratoire Buisson :



*Figure 29 : Résultats de la comparaison mesh/mesh d'une empreinte analogique faite au plâtre et d'une empreinte numérique, faite par le laboratoire Buisson, 04/2025.*

Au niveau au maxillaire

- Une déviation angulaire de 1° a été remarquée (Fig 29c)
- Très peu d'écart de position (le prothésiste n'a pas pu quantifier) (Fig 29a, Fig 29b)

Il faudrait mener davantage d'études en comparant des empreintes prises à la photogrammétrie intra-orale et des empreintes au plâtre pour en tirer des conclusions fiables.

## 4 Conclusion

---

Au travers de cette thèse, nous avons analysé et comparé les différentes méthodes d'empreintes dans les cas de mise en charge immédiate sur des chirurgies de type All-on-6, All-on-4.

L'objectif final est d'avoir une empreinte juste et fidèle afin de concevoir le bridge provisoire transvissé sur les implants.

Nous avons vu que l'empreinte conventionnelle alliait précision et justesse. De plus, cette méthode a l'avantage d'avoir un large recul clinique avec de nombreuses études in-vitro et in-vivo réalisées.

Cependant, cette méthode possède plusieurs inconvénients :

- Elle est peu appréciée et redoutée des patients car elle est inconfortable.
- Elle est exigeante techniquement pour le praticien
- Elle nécessite la manipulation de plusieurs matériaux
- Elle nécessite une logistique entre le prothésiste et le dentiste qui rallonge le temps de production de la prothèse provisoire.

Pour répondre à ces nombreux inconvénients et avec l'essor du numérique dans notre profession, de nombreux praticiens souhaitent utiliser une approche plus digitale. Nous avons vu que l'empreinte numérique offrait un certain confort pour le patient et le praticien. Cette méthode permet une réduction du délai de production du bridge. Néanmoins, elle n'a pas l'exactitude qu'à l'empreinte conventionnelle et cela peut poser des problèmes. Cela peut aller de la simple retouche du bridge provisoire lorsqu'on le met le soir de la chirurgie, à une fracture du bridge provisoire, qui nécessite une réintervention du chirurgien-dentiste durant la période critique de l'ostéo-intégration.

Le seul moyen aujourd'hui d'obtenir une empreinte fiable, en gardant une relation inter-maxillaire correcte, en utilisant un flux digital, est l'utilisation de la photogrammétrie en complément de l'empreinte numérique.

Pour finir, comme abordé précédemment, lors de l'empreinte pour le bridge provisoire, on peut se permettre une certaine souplesse au niveau de l'exactitude de l'empreinte, notamment car les implants ne sont pas encore ostéo-intégrés. Mais il semble impensable et dangereux pour nos patients de se permettre de régresser en termes de précision et de passivité de nos prothèses avec l'arrivée du numérique.

## 5 Bibliographie

---

1. Perrin J, Boixel E, Plard H, Lance G, Cardona J, Savoure D, et al. Empreinte pour prothèse complète transvissée. Les cahiers de prothèse n°167. Septembre 2014.
2. Emami E, De Souza RF, Kabawat M, Feine JS. The Impact of Edentulism on Oral and General Health. Int J Dent. 2013;2013:1-7.
3. Maló P, Rangert B, Nobre M. "All-on-Four" Immediate-Function Concept with Brånemark System® Implants for Completely Edentulous Mandibles: A Retrospective Clinical Study. Clin Implant Dent Relat Res. mars 2003;5(s1):2-9.
4. Lee H, So JS, Hochstedler JL, Ercoli C. The accuracy of implant impressions: A systematic review. 2008.
5. Daas M, Badedji M, Fouquet V, Dada K, Postaire M. Les empreintes plures en implantologie : actualités et perspectives. L'information dentaire n°33. 30 septembre 2020.
6. Nobel Biocare. Schéma d'un bridge complet sur implant, vissé sur des piliers multi-unit à la mandibule [Internet]. Disponible sur: <https://www.nobelbiocare.com/fr-ca/le-concept-de-traitement-all-on-4>
7. Siadat H, Saeidi Z, Alikhasi M, Zeighami S. Comparative evaluation of the effect of impression materials and trays on the accuracy of angulated implants impressions. J Clin Exp Dent. 2018;0-0.
8. Lethuillier J, Felenc S. Les empreintes en prothèse implanto-portée du physique au numérique. Réalités cliniques 2020. Vol.31, n°2: pp. 162-173.
9. Wee AG. Comparison of impression materials for direct multi-implant impressions. J Prosthet Dent. mars 2000;83(3):323-31.
10. O'BRIEN W. Dental materials and their selection. 1997.
11. Gless D. Les empreintes en prothèse fixée: connaître les propriétés du matériau pour éviter les pièges liés à son utilisation.
12. Baranes M, Boujenah O, Lipowicz J. Apports de la photogrammétrie en prothèse complète fixe sur implants. Biomateriaux cliniques. Vol.8/N°2/octobre 2023.
13. Flottes Y, Rignon-Bret C, Wulfman C. Les empreintes numériques pour les restaurations complètes implanto-portées : le point début 2024. MISE AU POINT. 2024;24.
14. Etienne O, Magniez P. L'empreinte mixte en un temps : optimiser son résultat en implantologie. 2013;13.
15. Daas M, Dada K, Postaire M. L'empreinte mixte plâtre-polyéthers avec montage directeur polymérisé. Empreintes, quoi de neuf ? Alternatives n°33-p.3 à 14.2007.
16. Matériau d'empreinte polyéther 3MTM ImpregumTM.

17. B B, Despesse S, Lethuillier J,, Margerit J. L’empreinte en implantologie. In 2011. (Les cahiers de prothèse). Disponible sur: <https://www.editionsmdp.fr/revues/les-cahiers-de-prothese/article/n-153/l-empreinte-en-implantologie.html>
18. Aline Trem, Gustavo Holtz Galvão, Allan Fernando Giovanini, Eduardo Christiano Caregnatto De Moraes, Carla Castiglia Gonzaga, Enio Marcos Da Silva. Comparative evaluation of the accuracy of pick up transfer impressions performed with two different types of trays. RSBO. 30 juin 2014;10(2):128-34.
19. Öngül D, Gökçen-Röhlig B, Şermet B, Keskin H. A comparative analysis of the accuracy of different direct impression techniques for multiple implants. Aust Dent J. juin 2012;57(2):184-9.
20. Prithviraj Dr, Pujari MI, Garg P, Shruthi Dp. Accuracy of the implant impression obtained from different impression materials and techniques: review. J Clin Exp Dent. 2011;e106-11.
21. Levy david. PRISE D’EMPREINTE AVEC LE SYSTÈME DE TRANSFERT CIEL FERMÉ SAFE CLIC™ [Internet]. 2020. Disponible sur: <https://safe-implant.fr/blogs/cas-cliniques/cas-n-008-prise-dempreinte-avec-le-systeme-de-transfert-ciel-ferme-safe-clic™>
22. Saisubramanian S, Bediat S, Ghadage M, Joshi M, Nichlani G, Narayankar S. Comparative Evaluation of the Accuracy of Open Tray, Closed Tray and Snap- on Implant Impression Techniques An In-vitro Study. NeuroQuantology 2022; 20(7):783-792. DOI Number: 10.14704/nq.2022.20.7.NQ33099.
23. Andriessen FS, Rijkens DR, Van Der Meer WJ, Wismeijer DW. Applicability and accuracy of an intraoral scanner for scanning multiple implants in edentulous mandibles: A pilot study. J Prosthet Dent. mars 2014;111(3):186-94.
24. Flügge T, Van Der Meer WJ, Gonzalez BG, Vach K, Wismeijer D, Wang P. The accuracy of different dental impression techniques for implant-supported dental prostheses : A systematic review and meta-analysis. Clin Oral Implants Res. oct 2018;29(S16):374-92.
25. Kim Y, Oh TJ, Misch CE, Wang HL. Occlusal considerations in implant therapy: clinical guidelines with biomechanical rationale. Clin. Oral Impl. Res. 16, 2005; 26–35. doi: 10.1111/j.1600-0501.2004.01067.x.
26. Wulfman C, Naveau A, Rignon-bret C. Digital scanning for complete-arch implant-supported restorations : A systematic review. J Prosthet Dent. août 2020;124(issue 2):161-7.
27. Yi-Jie Zhang, Jun-Yu Shi, Shu-Jiao Qian, Shi-Chong Qiao, Hong-Chang Lai. Accuracy of full-arch digital implant impressions taken using intraoral scanners and related variables: A systematic review. Int J Oral Implant Berl. 12 mai 2021;14(2):157-79.
28. Cappare P, Sannino G, Minoli M, Montemezzi P, Ferrini F. Conventional versus Digital Impressions for Full Arch Screw-Retained Maxillary Rehabilitations : A Randomized Clinical Trial. Int J Environ Res Public Health. 7 mars 2019;16(5):829.
29. Pereira AC, Segundo HM, Júnior LA, Germano A, Carreiro AFP. Accuracy between intraoral and extraoral scanning: Three-dimensional deviation and effect of distance between implants from two scanning methods. J Indian Prosthodont Soc. 2022;22(3):279.
30. Azevedo L, Marques T, Karasan D, Fehmer V, Sailer I, Correia A, et al. Influence of Implant ScanBody Material and Intraoral Scanners on the Accuracy of Complete-Arch Digital Implant Impressions. Int J Prosthodont. sept 2024;37(5):575-582a.

31. Mangano FG, Hauschild U, Veronesi G, Imburgia M, Mangano C, Admakin O. Trueness and precision of 5 intraoral scanners in the impressions of single and multiple implants : a comparative in vitro study. BMC Oral Health. déc 2019;19(1):101.
32. Roig E, Garza LC, Álvarez-Maldonado N, Maia P, Costa S, Roig M, et al. In vitro comparison of the accuracy of four intraoral scanners and three conventional impression methods for two neighboring implants. Huettig F, éditeur. PLOS ONE. 27 févr 2020;15(2):e0228266.
33. Alenezi A, Yehya M, Alkhodary M. Effect of full arch two scanning techniques on the accuracy of overdenture conventional and CAD/CAM Co-Cr bars. Saudi Dent J. nov 2022;34(7):553-64.
34. Ochoa-López G, Cascos R, Antonaya-Martín JL, Revilla-León M, Gómez-Polo M. Influence of ambient light conditions on the accuracy and scanning time of seven intraoral scanners in complete-arch implant scans. J Dent. juin 2022;121:104138.
35. Coustans C. Etudes sur la précision des cameras intra orales analyse de la litterature. thèse d'exercice, Université Claude Bernard Lyon 1, 2020
36. Mangano FG, Admakin O, Bonacina M, Lerner H, Rutkunas V, Mangano C. Trueness of 12 intraoral scanners in the full-arch implant impression : a comparative in vitro study. BMC Oral Health. déc 2020;20(1):263.
37. Fathi A, Rismanchian M, Yazdekhashti A, Salamati M. comparaison de 5 camera intra oral, Accuracy of tooth-implant impressions : Comparison of five different techniques. Clin Exp Dent Res. juin 2023;9(3):526-34.
38. Azevedo L, Marques T, Karasan D, Fehmer V, Sailer I, Correia A, et al. Effect of splinting scan bodies on the trueness of complete arch digital implant scans with 5 different intraoral scanners. J Prosthet Dent. juill 2024;132(1):204-10.
39. Cheng J, Zhang H, Liu H, Li J, Wang H, Tao X. Accuracy of edentulous full-arch implant impression: An in vitro comparison between conventional impression, intraoral scan with and without splinting, and photogrammetry. Clin Oral Implants Res. mai 2024;35(5):560-72.
40. Baan F, Bruggink R, Nijsink J, Maal TJJ, Ongkosuwito EM. Fusion of intra-oral scans in cone-beam computed tomography scans. Clin Oral Investig. janv 2021;25(1):77-85.
41. Lecot L, Wulfman C, Dupagne L, Rignon-Bret C. Empreinte primaire numérique en Prothèse Amovible Complète : déjà une réalité ? A0 NEWS#057 Scientifique. 2023.
42. Revilla-León M, Lanis A, Yilmaz B, Kois JC, Gallucci GO. Intraoral digital implant scans: Parameters to improve accuracy. J Prosthodont. déc 2023;32(S2):150-64.
43. Murphy T, Ahmed W, Barrak F. Comparative analysis of full arch implant impressions using photogrammetry vs conventional approaches. Open journal of clinical&medical case reports Volume 11. 2025.
44. Penarrocha-Oltra D, Agustin-Panadero R, Bagan L, Gimenez B, Penarrocha M. Impression of multiple implants using photogrammetry : Description of technique and case presentation. Med Oral Patol Oral Cirugia Bucal. 2014;e366-71.

45. Faria JC, Sampaio-Fernandes MA, Oliveira SJ, Malheiro R, Sampaio-Fernandes JC, Figueiral MH. Precision of Photogrammetry and Intraoral Scanning in Full-Arch Implant Rehabilitation: An In Vitro Comparative Study. *Appl Sci*. 29 janv 2025;15(3):1388.
46. Revilla-León M, Gómez-Polo M, Drone M, Barmak AB, Kois JC, Alonso Pérez-Barquero J. Accuracy of complete arch implant scans recorded by using intraoral and extraoral photogrammetry systems. *J Prosthet Dent*. févr 2025;S0022391325000848.
47. Estibalez-Recasens M, Serrano-Granger C, Santamaría-Laorden A, Andreu-Vázquez C, Orejas-Pérez J. Precision of stereophotogrammetry in complete arch implant recordings : A clinical study. *J Prosthet Dent*. janv 2025;S0022391325000058.

L'empreinte lors d'une mise en charge immédiate dans le cas d'une réhabilitation complète pour un bridge implanto-porté provisoire : de l'empreinte conventionnelle à l'empreinte numérique.

### Résumé :

La mise en charge immédiate dans le cadre d'une réhabilitation complète, permet la pose d'un bridge transvissé le jour de la chirurgie, améliorant ainsi la qualité de vie du patient. Cette thèse se concentre sur une étape clé de ce protocole : la prise d'empreinte post-opératoire, essentielle à la précision, à la réalisation de la prothèse provisoire.

Ce travail est structuré en trois grandes parties :

#### 1. L'empreinte conventionnelle :

- Considérée comme l'empreinte de référence, elle est réalisée à l'aide de divers matériaux (plâtre, polyéthers)
- Deux techniques sont décrites : indirecte (ciel fermé) et directe (ciel ouvert)
- Prise de la relation intermaxillaire précise avec des maquettes d'occlusion
- Avantages : fiabilité clinique et un bon recul clinique
- Limites : Inconfort, logistique entre le prothésiste et le praticien complexe, temps de conception de la prothèse et de la prise d'empreinte allongés, risque de déformation

#### 2. L'empreinte numérique :

- Utilisation de caméras intra-orales et de scanbodies pour modéliser la position des implants
- Absence d'un protocole universel, cette thèse recense de nombreux protocoles qui sont utilisés par les praticiens
- Avantages : confort du patient, relation avec prothésiste simplifiée, visualisation en temps réel de l'empreinte que l'on fournit au prothésiste, conservation de la relation intermaxillaire initiale dans certains protocoles
- Limites : Précision est très variable selon les cas et les scanners intra-oraux utilisés, manque de repères anatomiques sur une arcade édentée donc la caméra se perd de nombreuses fois lors du scannage.

#### 3. L'apport de la photogrammétrie :

- Technique innovante de captation 3D par imagerie multi-angulaire des scanbodies "codés"
- Très grande précision sur les longues arcades édentées
- Elle ne remplace pas l'empreinte numérique mais est complémentaire de celle-ci, notamment dans les cas de "all on X"
- Comparaison de la photogrammétrie extra-orale et intra-orale,
- Illustration d'un cas comparant l'empreinte conventionnelle avec un système de photogrammétrie intra-orale.

**Mots clés :** Mise en charge immédiate, réhabilitation complète, bridge implanto-porté, prothèse provisoire, empreinte post-opératoire, empreinte conventionnelle, empreinte numérique, caméra intra-orale, scanbodies, photogrammétrie, relation intermaxillaire, chirurgie "all on x", passivité prothétique.

#### Jury :

Président  
Assesseurs

Monsieur le Professeur Cyril VILLAT  
Monsieur le Docteur Romain BUI  
Monsieur le Professeur Christophe JEANNIN  
Madame le Docteur Sophie VEYRE  
Monsieur le Docteur Harmik MINASSIAN

#### Adresse de l'auteur :

Léa MERCIER  
2 rue François de Genas, à GENAS, 69740