UNIVERSITÉ DE LILLE

FACULTÉ DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année de soutenance : 2020 N°:

THESE POUR LE

DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement le 8 septembre 2020

Par Samy BENCHIKH

Né le 21 novembre 1994 à Beuvry – France

TRAITEMENT NUMÉRIQUE D'UNE EMPREINTE EN PROTHÈSE AMOVIBLE COMPLÈTE PAR L'UTILISATION DU CONE BEAM

JURY

Président :	Monsieur le Professeur Pascal BEHIN
Assesseurs :	Monsieur le Docteur Claude LEFEVRE
	Monsieur le Docteur Thierry DELCAMBRE
	Monsieur le Docteur Philippe ROCHER

Président de l'Université	:	Pr. J-C. CAMART
Directeur Général des Services de l'Université	:	P-M. ROBERT
Doyen	:	E. BOCQUET
Vice-Doyen	:	A. de BROUCKER
Responsable des Services	:	S. NEDELEC
Responsable de la Scolarité	:	M. DROPSIT

PERSONNEL ENSEIGNANT DE L'U.F.R.

PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS

P. BEHIN	Prothèses
T. COLARD	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
E. DELCOURT-DEBRUYNE	Professeur Emérite Parodontologie
C. DELFOSSE	Responsable du Département d'**Odontologie Pédiatrique**
E. DEVEAUX	Dentisterie Restauratrice Endodontie

MAÎTRES DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS

K. AGOSSA	Parodontologie
T. BECAVIN	Dentisterie Restauratrice Endodontie
A. BLAIZOT	Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie Légale
P. BOITELLE	Prothèses
F. BOSCHIN	Responsable du Département de **Parodontologie**
E. BOCQUET	Responsable du Département d'**Orthopédie Dento-Faciale**
C. CATTEAU	Responsable du Département de **Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie Légale**
A. de BROUCKER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
M. DEHURTEVENT	Prothèses
T. DELCAMBRE	Prothèses
F. DESCAMP	Prothèses
A. GAMBIEZ	Dentisterie Restauratrice Endodontie
F. GRAUX	Prothèses
P. HILDELBERT	Responsable du Département de **Dentisterie Restauratrice Endodontie**
C. LEFEVRE	Prothèses
J.L. LEGER	Orthopédie Dento-Faciale
M. LINEZ	Dentisterie Restauratrice Endodontie
T. MARQUILLIER	Odontologie Pédiatrique
G. MAYER	Prothèses
L. NAWROCKI	Responsable du Département de **Chirurgie Orale** Chef du Service d'Odontologie A. Caumartin - CHRU Lille
C. OLEJNIK	Responsable du Département de **Biologie Orale**
P. ROCHER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
L. ROBBERECHT	Dentisterie Restauratrice Endodontie
M. SAVIGNAT	Responsable du Département des **Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux**
T. TRENTESAUX	Odontologie Pédiatrique
J. VANDOMME	Responsable du Département de **Prothèses**

Réglementation de présentation du mémoire de Thèse

Par délibération en date du 29 octobre 1998, le Conseil de la Faculté de Chirurgie Dentaire de l'Université de Lille a décidé que les opinions émises dans le contenu et les dédicaces des mémoires soutenus devant jury doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'ainsi aucune approbation, ni improbation ne leur est donnée.

Remerciements

Aux membres du jury…

Monsieur le Professeur Pascal BEHIN

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier des CSERD

Section Réhabilitation Orale

Département Prothèses

- Docteur en Chirurgie Dentaire
- Certificat d'Études Supérieures de Biomatériaux Dentaires (Paris V)
- Certificat d'Études Supérieures de Prothèse Fixée (Paris V)
- Docteur en Odontologie de l'Université Paris DESCARTES (Paris V)
- Habilitation à Diriger des Recherches (Université de Lille)

Responsable Unité Fonctionnelle de Prothèses

Professeur Behin,

Je vous suis très reconnaissant de l'honneur que vous me faites de présider le jury de cette thèse, et de vos conseils quant à sa finalisation.

J'ai pu profiter de votre riche savoir et de la qualité de votre enseignement, à la fois comme votre étudiant mais aussi comme votre assistant. Travailler à vos côtés en secteur privé durant plus d'un an et demi m'aura permis de parfaire mon apprentissage auprès d'un grand clinicien.

Votre perfectionnisme et votre sens du détail sont des valeurs que je m'applique à intégrer dans mon exercice professionnel, et je vous en remercie sincèrement.

Monsieur le Docteur Claude LEFEVRE

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier des CSERD

Section Réhabilitation Orale

Département Prothèses

- Docteur en Chirurgie Dentaire
- Docteur en Odontologie de l'Université de Lille

Responsable des Relations avec l'Ordre et avec les Partenaires Industriels

Docteur Lefèvre,

Je vous remercie pour votre enthousiasme et votre implication tout au long de ce travail.
Le D.U. Clinique de Prothèse Amovible Complète m'aura permis d'apprendre, toujours dans la bonne humeur, de votre grande expérience. Votre philosophie du « rester simple » dans sa pratique, couplée à votre sens clinique m'ont beaucoup apporté.
Voyez à travers cet ouvrage l'expression de toute ma gratitude, et soyez assuré de ma sincère reconnaissance.

Monsieur le Docteur Philippe ROCHER

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier des CSERD

Section Réhabilitation Orale

Département Sciences Anatomiques

- Docteur en Chirurgie Dentaire
- Docteur en Odontologie de l'Université de Lille
- Maîtrise des Sciences Biologiques et Médicales
- Diplôme d'Études Approfondies de Génie Biologique et Médical – Option Biomatériaux
- Diplôme Universitaire de Génie Biologique et Médical
- Certificat d'Études Supérieures de Biomatériaux

Docteur Rocher,

Merci d'avoir spontanément accepté de siéger au sein de ce jury.

Partager ces vacations de prothèse avec vous m'aura permis d'apprécier votre dynamisme ainsi que votre sens de l'organisation. Vos précieux conseils m'ont aidé à construire un solide bagage que je m'évertue à appliquer dans ma pratique au quotidien.

Apprendre à vos côtés aura été un plaisir, et je vous prie de recevoir toute ma sympathie et mon respect.

Monsieur le Docteur Thierry DELCAMBRE

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier des CSERD

Section Réhabilitation Orale

Département Prothèses

- Docteur en Chirurgie Dentaire
- Diplôme d'Université d'Implantologie
- Docteur en Odontologie de l'Université de Lille
- Maîtrise de Sciences Biologiques et Médicales
- Certificat d'Études Supérieures de Prothèse Adjointe Partielle
- Certificat d'Études Supérieures de Prothèse Adjointe Complète

Docteur Delcambre,

Ces quelques mots ne représentent qu'un infime fragment du respect et de l'admiration que j'éprouve à votre égard.

J'ai eu l'honneur et le privilège de recevoir vos enseignements durant mes études, mais aussi la chance de vous connaître en dehors de la faculté. C'est véritablement grandi que j'en ressors.

Votre méthodisme, votre rigueur, votre sens clinique, vos conseils toujours avisés et réfléchis du « praticien » ont guidé, guident et guideront de nombreuses années encore mon apprentissage et ma pratique de la chirurgie dentaire.

Vous êtes à mes yeux un mentor, et j'espère que vous trouverez à travers ce travail, concernant un sujet qui vous tenait à cœur, le reflet de l'excellence que vous aspirez à me transmettre ainsi qu'un témoignage de la très grande estime que j'ai pour vous.

Je dédie cette thèse…

À ma famille…

À mes amis…

Et également…

Au **Dr Alexandra SAULIER**, je vous suis extrêmement reconnaissant de la confiance que vous m'accordez, et de la chance que vous m'offrez d'exercer au sein de votre cabinet.

Aux enseignants qui m'auront transmis leurs connaissances durant mes études…

Table des matières

Introduction **15**

1 L'empreinte primaire en prothèse amovible complète **17**
1.1 Objectifs de l'empreinte primaire **17**
1.2 Surfaces d'appui primaires **17**
1.2.1 Éléments anatomiques au maxillaire 18
1.2.2 Éléments anatomiques à la mandibule 19
1.3 Matériaux et porte-empreintes **19**
1.3.1 Matériaux 20
1.3.2 Porte-empreintes 22
1.4 Techniques d'empreinte primaire à l'alginate **25**
1.4.1 Empreintes classique et double mélange 26
1.4.2 Empreinte rebasée 27
1.5 Traitement de l'empreinte primaire **28**
1.5.1 Critères de validation 28
1.5.2 Tracé des limites 29
1.5.3 Coulée et traitement des modèles 29
1.5.3.1 Coulée 29
1.5.3.2 Traitement des modèles 30
1.5.4 Porte-empreintes individuels 31
1.5.4.1 Qualités d'un porte-empreinte individuel 31
1.5.4.2 Limites périphériques et système de préhension 31
1.5.4.3 Matériaux 32

2 L'empreinte secondaire en prothèse amovible complète **33**
2.1 Objectifs de l'empreinte secondaire **33**
2.2 Essayage et adaptation du porte-empreinte individuel **33**
2.3 Marginage (1er temps) **34**
2.3.1 Matériaux 35
2.3.2 Enregistrement du joint périphérique 36
2.3.2.1 Maxillaire 36
2.3.2.2 Mandibulaire 36
2.4 Surfaçage (2ème temps) **37**
2.4.1 Matériaux 37
2.4.2 Enregistrement de la surface d'appui 39
2.4.2.1 Au maxillaire 39
2.4.2.2 À la mandibule 40
2.5 Traitement de l'empreinte secondaire **40**
2.5.1 Coffrage 40
2.5.1.1 Coffrage à la cire 41
2.5.1.2 Coffrage à l'alginate 41
2.5.2 Coulée 41
2.5.3 Bases d'occlusion 41
2.5.3.1 Matériaux 41
2.5.3.2 Caractéristiques 42

3 Numérisation de l'empreinte par l'utilisation du cone beam : matériel et méthodes **44**
3.1 Le cone beam (CBCT ou « Cone Beam Computed Tomography ») **44**
3.1.1 Principes et fonctionnement du CBCT 44
3.1.2 Indications 44
3.1.3 Qualité d'image et artéfacts 45

3.1.4 Transformation des données en images ... 46
3.1.4.1 Reconstructions primaires ... 46
3.1.4.2 Reconstructions secondaires ... 46
3.1.4.3 Reconstructions tridimensionnelles ... 46
3.2 Empreintes de référence ... 47
3.2.1 Empreintes primaires ... 47
3.2.2 Empreintes secondaires ... 48
3.3 Méthode de numérisation des empreintes ... 50
3.3.1 Cone beam utilisé ... 50
3.3.2 Stabilisation et centrage des empreintes ... 50
3.3.3 Mode et paramètres d'acquisition ... 51
3.4 Logiciels d'intérêt pour le traitement des données ... 52
3.5 Dans la littérature ... 54
3.5.1 « Accuracy and reproductibility of virtual edentulous casts created by laboratory impression scan protocols » ... 54
3.5.2 « Dimensional accuracy of digital dental models from cone-beam computed tomography scans of alginate impressions according to time elapsed after the impressions »… ... 55
3.5.3 « Integration of Digital Dental Casts in Cone-Beam Computed Tomography Scans » 56

4 Évaluation préliminaire des matériaux à empreinte au cone beam ... 57
4.1 Méthode d'évaluation ... 57
4.2 Résultats ... 58
4.3 Dans la littérature ... 60

5 Traitement numérique de l'empreinte : de l'acquisition CBCT aux modèles virtuels positifs ... 62
5.1 Exportation du fichier STL de l'empreinte ... 62
5.2 Détourage de l'empreinte ... 63
5.3 Conversion en modèle positif ... 65

6 Résultats et comparaison des traitements traditionnel et numérique de l'empreinte ... 67
6.1 Comparaison des modèles en plâtre et des modèles numériques par « matching » : utilisation de la distance de Hausdorff ... 67
6.2 Résultats pour les empreintes primaires ... 70
6.2.1 Alginate 2 temps / 2 viscosités avec porte-empreinte plastique ... 70
6.2.2 Alginate 2 temps / 2 viscosités avec porte-empreinte métallique ... 71
6.3 Résultats pour les empreintes secondaires ... 72
6.3.1 Marginage au Bisico Function® / Surfaçage au Permlastic® Light ... 72
6.3.2 Marginage à la Permadyne® Orange / Surfaçage à la Permadyne® Bleue ... 73
6.3.3 Marginage à la pâte de Kerr / Surfaçage à l'Impregum® ... 74
6.3.4 Marginage à la pâte de Kerr / Surfaçage à l'Impression Paste® SS WHITE ... 75
6.4 « Matching » des numérisations avec les modèles en plâtre ... 76
6.4.1 Empreintes primaires ... 76
6.4.1.1 Alginate 2 temps / 2 viscosités avec porte-empreinte plastique ... 76
6.4.1.2 Alginate 2 temps / 2 viscosités avec porte-empreinte métallique ... 77
6.4.2 Empreintes secondaires ... 78
6.4.2.1 Marginage au Bisico Function® / Surfaçage au Permlastic® Light ... 78
6.4.2.2 Marginage à la Permadyne® Orange / Surfaçage à la Permadyne® Bleue ... 79
6.4.2.3 Marginage à la pâte de Kerr / Surfaçage à l'Impregum® ... 80
6.4.2.4 Marginage à la pâte de Kerr / Surfaçage à l'Impression Paste® SS WHITE ... 81
6.5 Mesure de l'écart entre les empreintes numérisées et les modèles en plâtre à 6 points différents ... 82
6.6 Tableau récapitulatif ... 84
6.7 Empreintes incompatibles au CBCT : pourquoi ça ne fonctionne pas ? ... 85
6.8 Impression 3D d'un modèle secondaire issu du traitement numérique par l'utilisation du cone beam d'une empreinte aux polyéthers ... 87

7 Intérêts et inconvénients du traitement numérique de l'empreinte par l'utilisation du cone beam 89

8 Perspectives pour le cone beam et le numérique en prothèse amovible complète 90

Conclusion 92

Références bibliographiques 93

Table des illustrations 95

Table des tableaux 99

Introduction

Dès le XVIII^{ème} siècle, la réalisation des prothèses amovibles complètes s'articulait autour des empreintes. L'utilisation d'un matériau à empreinte associé à une gouttière pour le véhiculer était déjà une étape nécessaire au traitement de l'édenté total.

Trois siècles plus tard, les empreintes conservent leurs titres de noblesse. LEJOYEUX [1] explique qu'elles « constituent la première étape de la construction d'une prothèse ». Il ajoute que « l'empreinte finale doit réunir favorablement tous les éléments déterminant la rétention, la stabilité et la sustentation de la future prothèse. Elle doit préfigurer cette dernière, obéir aux mêmes conditions biologiques et mécaniques, afin de prévoir et d'assurer la triple mission qui lui incombe, mission fonctionnelle, mission esthétique et mission phonétique ».

La chirurgie dentaire bénéficie régulièrement des progrès technologiques. Des disciplines comme l'implantologie ou la prothèse fixée s'appuient maintenant très largement sur la CFAO (Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur), qui incarne une réalité clinique et une évolution technique majeure. Aujourd'hui, il est devenu possible de réaliser des restaurations prothétiques sans même que le patient n'ait un matériau à empreinte en bouche. Cependant, l'acquisition digitale en prothèse complète, bien que l'objet de nombreux travaux, ne représente pas à l'heure actuelle une alternative fiable à ces empreintes réalisées au fauteuil. Pour l'instant, les méthodes numériques ne permettent pas d'enregistrer le comportement viscoélastique et hémodynamique de la muqueuse des crêtes édentées, ni d'apprécier le jeu musculaire et les organes périphériques.

Ainsi, les empreintes primaires et secondaires classiques restent le gold standard pour le traitement du patient édenté total. Néanmoins, la quintessence des nombreux matériaux à empreinte n'est bien souvent pas exploitée en raison de méthodes de traitement fastidieuses, faisant intervenir les laboratoires de prothèses. De ce fait, il est malheureusement rare que les empreintes soient traitées immédiatement après leur enregistrement, et la précision dimensionnelle des modèles en résultant peut s'en trouver altérée.

Si les scanners d'empreintes deviennent incontournables pour les prothésistes dentaires, ils ne sont absolument pas démocratisés dans les cabinets, qui n'en tireraient qu'un intérêt limité. En revanche, ceux-ci s'équipent graduellement du cone beam (ou CBCT), qui s'installe au fil des années comme un examen radiographique tridimensionnel de grande qualité pour le chirurgien-dentiste, trouvant des indications de plus en plus importantes dans de nombreux domaines de la chirurgie dentaire.

Ce travail propose donc d'étudier le cone beam comme solution de numérisation des empreintes classiques de PAC. Il s'agit de répondre à la question suivante :

Le CBCT représente-t-il un outil fiable et une méthode reproductible pouvant permettre le traitement extemporané d'une empreinte primaire ou d'une empreinte secondaire en prothèse amovible complète ?

1 L'empreinte primaire en prothèse amovible complète

1.1 Objectifs de l'empreinte primaire

L'empreinte primaire (également appelée empreinte préliminaire) représente la première étape de la réalisation d'une prothèse amovible complète. Elle est trop souvent négligée par le chirurgien-dentiste, qui estime que ses défauts seront rectifiables à l'empreinte secondaire. LEJOYEUX [1] précise toutefois que « tous les échecs au stade de l'empreinte finale peuvent lui être imputés et tous les succès mis à son actif ». S'agissant d'une empreinte dite mucostatique, il est important de réaliser un enregistrement le plus précis possible des surfaces d'appuis primaires des arcades édentées.

Par conséquent, un ensemble d'impératifs est à respecter afin d'obtenir une empreinte primaire de qualité, notamment :

- Dans l'observation clinique des structures anatomiques et physiologiques au maxillaire et à la mandibule, ainsi que des organes périphériques
- Dans les critères de choix des matériaux à empreinte
- Dans les critères de choix des porte-empreintes
- Dans la technique d'empreinte utilisée
- Dans le traitement de l'empreinte

L'objectif de l'empreinte primaire est l'obtention d'un modèle primaire permettant la confection des porte-empreintes individuels. Pour LEJOYEUX [1], elle « permet de prévoir la profondeur des lignes de réflexion muqueuse, l'importance de la résorption à compenser, la position ainsi que la direction des insertions musculaires et ligamentaires à libérer. Elle réduit enfin au minimum le temps passé au cabinet à ajuster le porte-empreinte individuel ». Ceux-ci permettront d'effectuer l'empreinte secondaire (cette fois-ci dite anatomo-fonctionnelle), dont la qualité en sera directement corrélée.

1.2 Surfaces d'appui primaires

Afin de respecter les critères de stabilisation, de sustentation et de rétention, et préalablement à l'acquisition par le praticien de l'empreinte primaire, une observation clinique rigoureuse de l'arcade édentée est à mettre en œuvre afin d'objectiver précisément et exhaustivement les surfaces d'appui primaires à enregistrer.

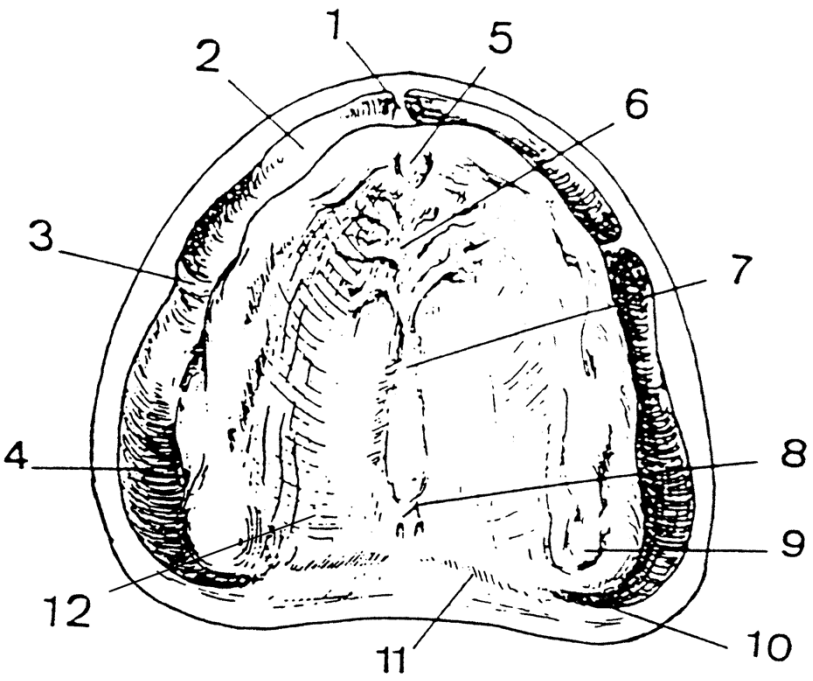
Celles-ci sont constituées de trois éléments :

- La partie statique
- La ligne de réflexion muqueuse
- Les organes périphériques

Il est donc nécessaire que le modèle primaire obtenu via l'empreinte préliminaire constitue une reproduction fidèle des structures anatomiques présentes en bouche, lesquelles doivent être connues et maîtrisées par le praticien.

1.2.1 Éléments anatomiques au maxillaire

Arcade maxillaire

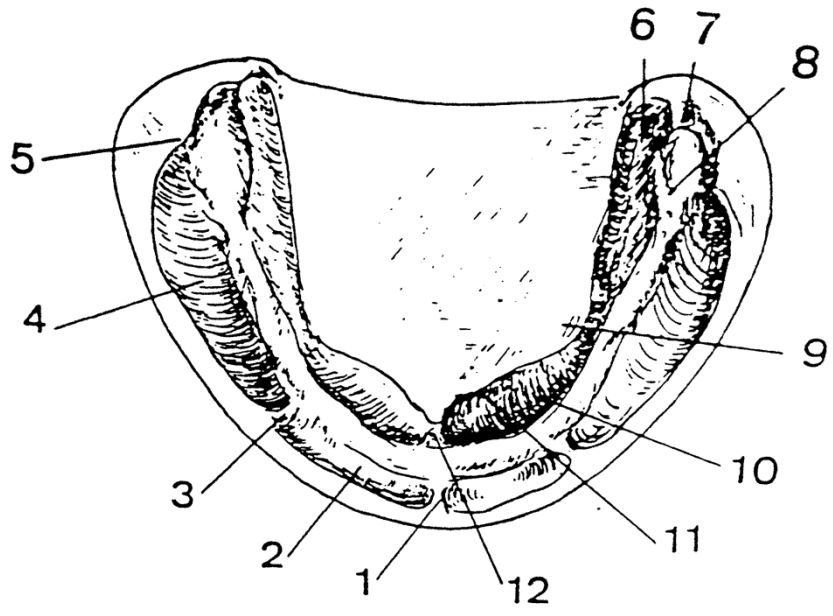


1. Frein médian de la lèvre supérieure
2. Ligne de réflexion muqueuse
3. Freins latéraux
4. Zone ampullaire d'EISENRING
5. Papille incisive
6. Papilles palatines
7. Raphé médian
8. Fossettes palatines
9. Tubérosités
10. Sillons ptéryo-maxillaires
11. Ligne de flexion du voile du palais
12. Zone de SCHRÖEDER

Figure n°1 : Éléments anatomiques identifiables au niveau de l'arcade maxillaire édentée selon LEJOYEUX [1]

1.2.2 Éléments anatomiques à la mandibule

Arcade mandibulaire



1. Frein médian de la lèvre inférieure
2. Ligne de réflexion muqueuse
3. Frein latéral de la lèvre inférieure
4. Poches de FISH
5. Insertion du masséter
6. Arc palatoglosse
7. Concavité limitant le trigone rétromolaire
8. Trigone rétromolaire
9. Limite postérieure de la loge sublinguale
10. Hamac sublingual
11. Frange sublingual
12. Frein de la langue

Figure n°2 : Éléments anatomiques identifiables au niveau de l'arcade mandibulaire édentée selon LEJOYEUX [1]

1.3 Matériaux et porte-empreintes

La réalisation de l'empreinte primaire nécessite 2 éléments interdépendants :

- Un **matériau à empreinte**
- Un **porte-empreinte**

En effet, pour enregistrer l'ensemble des surfaces d'appuis présentées auparavant, le porte-empreinte doit être noyé dans le matériau d'empreinte, faisant office d'un véritable « endosquelette ».

S'il existe une très large variété de porte-empreintes commercialisés pour les empreintes primaires de prothèse complète, on n'utilise communément que l'un des 3 matériaux suivants pour les réaliser :

- Le **plâtre**
- Les **alginates** (hydrocolloïdes irréversibles)
- La **pâte de Kerr** (composition thermoplastique)

1.3.1 Matériaux

Le matériau de choix pour la réalisation d'une empreinte primaire de prothèse amovible complète est le plâtre [2]. Cependant, cette technique est difficile et nécessite une certaine expérience du praticien.

À l'inverse, l'alginate n'est pas le matériau idéal, mais son utilisation s'avère aisée. La connaissance de ses défauts (compressif, stabilité dimensionnelle, déformation, etc.) permet une utilisation adéquate (respect des doses poudre/eau avec les doseurs et les gobelets du fabriquant) selon la méthode 2 temps / 2 viscosités.

Par ailleurs, il est à noter que l'utilisation du plâtre est incompatible avec les cas de prothèses complètes associées à des implants, par exemple en présence d'une barre [2].

	Plâtre	Hydrocolloïdes irréversibles	Composition thermoplastique
Propriétés	• Hémi-hydrade de sulfate de calcium issu du gypse • Forme une crème onctueuse de faible viscosité une fois réhydraté • Prise exothermique • Très rigide et cassant	• Acide alginique issu de l'agar-agar (extrait d'algues marines) • Produit élastique après gélification • Trois classes d'alginate : A, B et C • Utilisation de la classe A en prothèse complète : - Plus grande stabilité dimensionnelle - Plus grande précision de détail	• Matériau rigide non élastique • Plastification à une certaine température • Utilisation de la pâte de Kerr blanche ou verte
Avantages	• Précision • Fiabilité • Stabilité dimensionnelle • Indication en cas de crêtes flottantes	• Utilisation aisée et agréable • Temps de prise modulable (avantage en cas de réflexe nauséeux) • Élasticité (utilisable en cas de contre-dépouille)	• Réservée aux : - Palais plats - Reliefs osseux inexistants (résorptions extrêmes)
Inconvénients	• Rigueur dans le protocole opératoire • Absence d'élasticité • Inutilisable en cas d'hyposialie ou d'asialie • Incompatible en cas de contre-dépouille (barre, etc.)	• Résultats flatteurs : - Distensions du fond du vestibule - Déformations à la coulée • Matériau ± compressif • Non auto-portant	• Technique délicate • Nécessite une grande expérience • Risque d'enregistrement compressif inexploitable

Tableau n°1 : Les matériaux utilisés pour l'empreinte primaire en prothèse amovible complète [source personnelle]

1.3.2 Porte-empreintes

Afin de réaliser une empreinte primaire de bonne qualité en prothèse complète, le porte-empreinte, quel que soit le matériau utilisé, doit :

- Présenter une forme anatomique
- Être homothétique à l'arcade maxillaire ou mandibulaire
- Supporter le matériau d'empreinte tel un « endosquelette »
- Éviter les distensions des fonds du vestibule et des organes paraprothétiques à cause de ses bords ou de son système de préhension
- Être totalement rigide

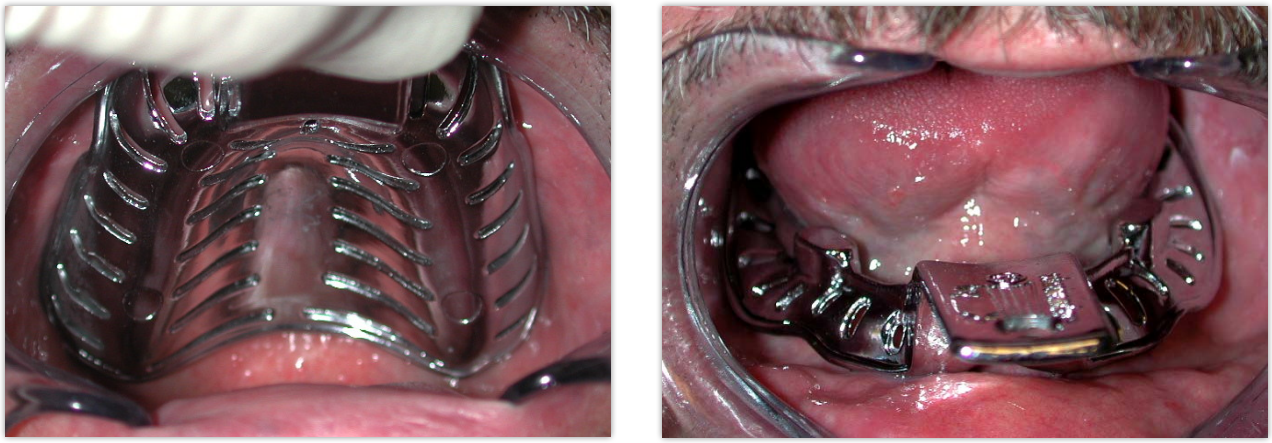


Figure n°3 : Porte-empreintes maxillaire (gauche) et mandibulaire (droite) parfaitement adaptés en vue d'une empreinte primaire de prothèse complète [photographie du Dr T. DELCAMBRE]

De ce fait, la sélection et l'adaptation du porte-empreinte est essentielle. Sa périphérie doit se situer en moyenne à 2 ou 3 millimètres de la ligne de réflexion muqueuse.

Une grande diversité de porte-empreintes est commercialisée. Si leur qualité et leur aisance d'utilisation est variable, des modèles sont spécifiquement indiqués selon le matériau d'empreinte employé :

	Indication
Plâtre	**Porte-empreinte métallique rigide (déformable pour adaptation)** • Série CERPAC • Série ASA Dental
Alginate	**Porte-empreinte métallique perforé** • Série SCHREINEMAKERS • Série STO-K COE® **Porte-empreinte plastique perforé ou non** • Série SUPERFORM • Série ACCU-DENT System 1
Pâte de Kerr	**Porte-empreinte métallique déformable**

Tableau n°2 : Choix du porte-empreinte en prothèse amovible complète selon le matériau à empreinte primaire [3]

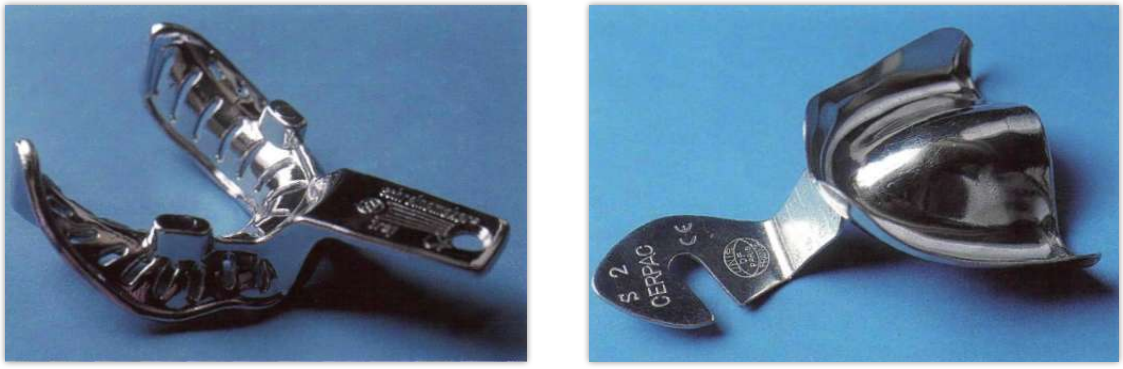


Figure n°4 : Exemple d'un porte-empreinte de la série SCHREINEMAKERS (gauche) et d'un porte-empreinte de la série CERPAC (droite) [3]

À l'heure actuelle, le matériau le plus utilisé étant l'alginate comme évoqué précédemment, les porte-empreintes métalliques perforés représentent la meilleure solution pour le praticien. Leurs équivalents plastiques s'avèrent également une alternative intéressante.

La thèse de Hugo DUMONT [4] en 2016 présente en détail la **série STO-K COE®** de chez GC, qui s'impose comme la référence en matière de porte-empreintes pour la réalisation de l'empreinte primaire à l'alginate en prothèse complète. Elle comporte 23 porte-empreintes (respectivement 10 au maxillaire et 13 à la mandibule), et se distingue des autres modèles par l'existence, en plus de la variation de taille, de 3 formes différentes pour chacune des arcades.

La série STO-K COE® dispose d'une nomenclature permettant d'identifier chacun des 23 porte-empreintes :

	Nomenclature de la série STO-K COE®		
Arcade	• #U (« upper ») : haut (maxillaire) • #L (« lower ») : bas (mandibule)		
Taille	1 à 5 (la taille la plus petite étant 1 et la plus grande étant 5)		
Forme	**S (« square »)** - Arcade carrée - Repère □	**T (« triangular »)** - Arcade triangulaire - Repère △	**O (« oval »)** - Arcade ovalaire - Repère ○

<u>Tableau n°3</u> : Explication de la nomenclature de la série STO-K COE® de chez GC [4]

<u>Figure n°5</u> : Exemple de nomenclature d'un porte-empreinte de la série STO-K COE® (désignant ici la plus petite taille du modèle « square » de l'arcade maxillaire) [4]

Cette série offre ainsi au praticien une forme plus adaptée à l'anatomie de la surface édentée à enregistrer. Elle minimise le temps et la nécessité d'adaptation du porte-empreinte au patient, tout en maximisant la qualité de l'empreinte obtenue.

Cependant, il convient de souligner que même si la série STO-K COE® représente la meilleure gamme de porte-empreintes pour l'empreinte primaire de prothèse complète, un simple porte-empreinte thermoformable et rigide à température buccale pour édenté total peut s'avérer suffisant sous réserve que les modifications et l'ajustement soient faits en amont.

<u>Figure n°6</u> : Coffret de la série STO-K COE® de chez GC comportant 23 porte-empreintes [photographie du Dr T. DELCAMBRE]

1.4 Techniques d'empreinte primaire à l'alginate

L'empreinte primaire à l'alginate peut se faire selon 3 procédés :

- L'**empreinte classique** (1 temps / 1 viscosité)
- L'**empreinte double mélange** (1 temps / 2 viscosités)
- L'**empreinte rebasée** (2 temps / 2 viscosités)

1.4.1 Empreintes classique et double mélange

	Empreinte classique	Empreinte double mélange
Protocole	• Choix et adaptation du porte-empreinte • Application d'adhésif • Préparation de l'alginate • Insertion en bouche du porte-empreinte enduit d'alginate (en écartant la commissure labiale avec le miroir) d'abord sur la partie antérieure de la crête sans pression puis distalement en restant symétrique dans le sens antéro-postérieur • Maintien du porte-empreinte sans pression - Sur la voûte palatine au maxillaire - Sur les versants latéraux à la mandibule • Désinsertion du porte-empreinte après prise du matériau	• Choix du porte-empreinte Accu-Dent System 1 • Préparation de l'alginate l'Accu-Gel : - Basse viscosité : Syringe Accu-Gel (couleur orange) - Haute viscosité : Tray Accu-Gel (couleur blanche) • Injection de Syringe Accu-Gel : - Au niveau de la ligne de réflexion muqueuse - Au niveau des muqueuses dépressibles • Insertion en bouche du porte-empreinte enduit de Tray Accu-Gel • Désinsertion du porte-empreinte après prise du matériau
Avantages	• Rapidité • Facilité • Confort • Aménagement pour un 2ème temps possible	• Méthode spécifique • Précision • Fiabilité • Reproductible
Inconvénients	• Qualité inégale • Distension de la ligne de réflexion muqueuse • Souvent insuffisant	• Matériel et instrumentation spécifiques • Manipulation délicate • Manipulation à 4 mains souvent nécessaire • Coût

Tableau n°4 : Protocole, avantages et inconvénients des empreintes primaires à l'alginate classique et en double mélange [source personnelle]

1.4.2 Empreinte rebasée

	Empreinte rebasée
Protocole	**1er temps :** • Choix et adaptation du porte-empreinte • Application d'adhésif • Préparation de la première viscosité d'alginate (ratio 1/1 : 1 dose d'alginate / 1 dose d'eau) • Insertion en bouche du porte-empreinte enduit d'alginate • Désinsertion du porte-empreinte après prise du matériau **Aménagement de l'empreinte :** • Suppression des bords de l'empreinte 2 mm sous la ligne de réflexion muqueuse à l'aide d'un bistouri • Décharge des freins et des zones dépressibles • Séchage de l'empreinte • Application d'une couche de carbonate de sodium concentré à 0,7 % par brossage **2ème temps :** • Préparation de la deuxième viscosité d'alginate (ratio 2/3 : 2 doses d'alginate / 3 doses d'eau) • Insertion en bouche de l'empreinte garnie d'alginate fluide • Désinsertion du porte-empreinte après prise du matériau
Avantages	• Grande qualité d'empreinte • Reproductible • Manipulation aisée • Matériel identique à l'empreinte classique
Inconvénients	Altération possible des propriétés de l'alginate par modification du ratio alginate / eau

Tableau n°5 : Protocole, avantages et inconvénients de l'empreinte primaire à l'alginate rebasée (2 temps / 2 viscosités) [source personnelle]

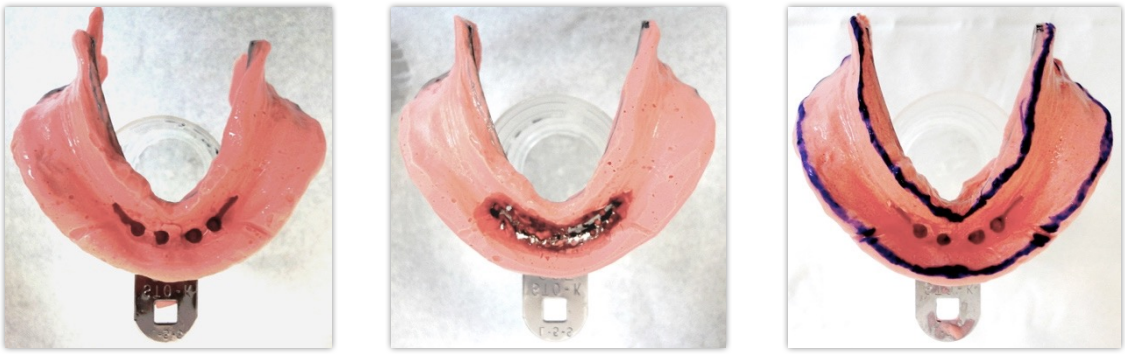


Figure n°7 : Empreinte primaire mandibulaire après désinsertion du 1er temps (gauche), après aménagement (milieu) et après désinsertion du 2ème temps (droite) [4]

La technique de choix en prothèse complète est celle de l'empreinte rebasée (2 temps / 2 viscosités). La thèse de Thomas DENNEULIN [5] en 2018 aura permis de mettre en lumière l'utilisation du **carbonate de sodium** dans l'adhésion des 2 couches d'alginate sans risque de déchirement, les résultats ayant montré tout l'intérêt de l'application par brossage sur le premier temps d'alginate d'une solution concentrée à 0,7 % de carbonate de sodium (c'est-à-dire 0,7 gramme pour 100 mL d'eau).

1.5 Traitement de l'empreinte primaire

1.5.1 Critères de validation

Après désinsertion de l'empreinte, le praticien devra vérifier :

- Le bon centrage du porte-empreinte
- L'absence de bulles, de manques ou de déchirures
- L'absence de sur-extensions, de sous-extensions ou de distensions du fond du vestibule
- L'absence de décollement entre l'alginate et le porte-empreinte

Outre ces éléments, HÜE et BERTERETCHE [3] proposent une grille résumant les critères de validation des empreintes primaires maxillaire et mandibulaire :

	Arcade maxillaire	Arcade mandibulaire
Éléments communs	• Précision de la surface d'appui • Sommet des crêtes • Insertions musculaires et freins • Zones de réflexion vestibulaires	• Précision de la surface d'appui • Sommet des crêtes • Insertions musculaires et freins • Zones de réflexion vestibulaires et linguales
Éléments spécifiques	• Tubérosités • Voûte palatine • Fossettes palatines • Raphé médian	• Trigones rétro-molaires • Lignes mylo-hyoïdiennes

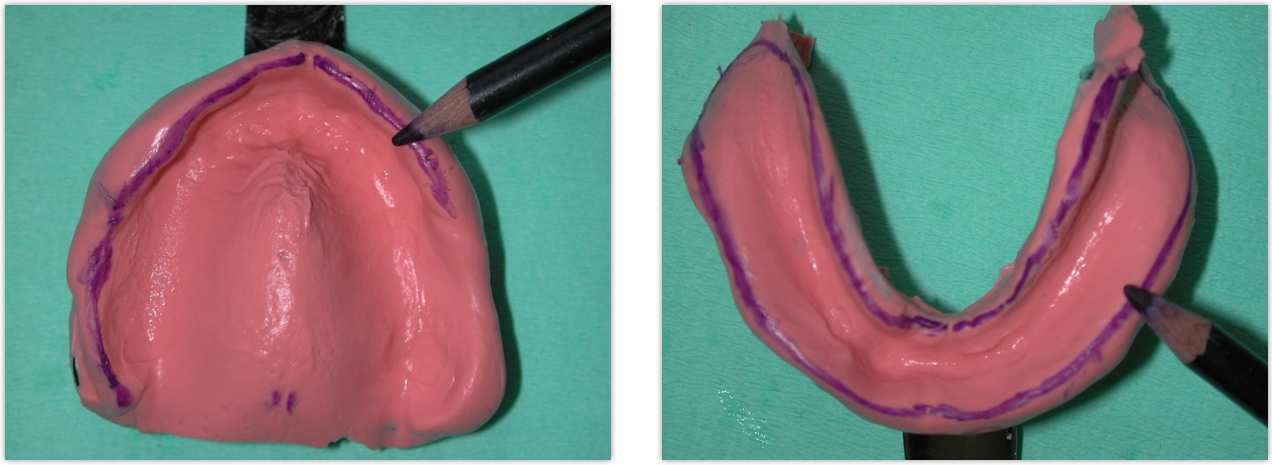
Tableau n°6 : Critères de validation des empreintes primaires de prothèse amovible complète selon HÜE et BERTERETCHE [3]

1.5.2 Tracé des limites

Lorsque l'empreinte primaire est validée, il convient d'y tracer [6] :

- Les limites de fond de vestibule
- Le joint postérieur au maxillaire
- Les volets linguaux à la mandibule
- Les zones à décharger

Pour ce faire, on utilise un crayon à l'aniline (également dit « crayon à encre »). Il permet de réaliser un trait bleu/violet quasiment indélébile, avec la particularité de marquer sur les surfaces humides [7]. Les tracés réalisés sur l'empreinte primaire à l'alginate seront ainsi transférés sur les modèles primaires.



<u>Figure n°8</u> : Tracé des limites de l'empreinte primaire à l'alginate au crayon à l'aniline [photographie du Dr T. DELCAMBRE]

1.5.3 Coulée et traitement des modèles

1.5.3.1 Coulée

Les empreintes à l'alginate doivent être traitées dans les délais les plus brefs, c'est-à-dire dans les 15 minutes, afin de ne pas altérer les propriétés du matériau [8].

On utilise ainsi un **plâtre de classe 3** (type DURODON®), spatulé à consistance crémeuse et coulé dans l'empreinte primaire sur un vibrateur. Le tout est ensuite apposé sur un tas de plâtre de même nature.

Pour l'empreinte mandibulaire, il faut veiller à bien ménager une épaisseur suffisante au niveau des trigones rétromolaires, tout en dégageant la zone de réflexion linguale, afin d'en apprécier la profondeur et l'anatomie lors de la réalisation du PEI à la mandibule.

Le démoulage se fait à l'issue de la prise complète du plâtre.

1.5.3.2 Traitement des modèles

Les tracés préalablement effectués au crayon à l'aniline figurent sur le modèle primaire avant sa régularisation. Ils vont ainsi guider son aménagement : en effet, le modèle est passé au taille-plâtre jusqu'à la ligne de réflexion muqueuse, permettant au praticien un accès visuel direct au fond du vestibule déterminé cliniquement.

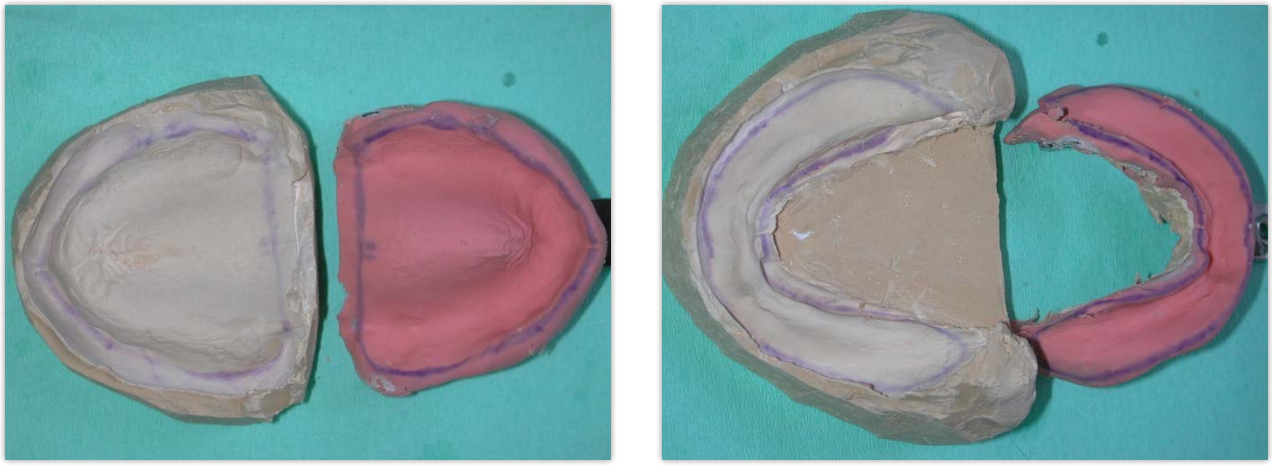


Figure n°9 : Limites tracées au crayon à l'aniline transférées sur le modèle primaire en plâtre [photographie du Dr T. DELCAMBRE]

Afin de faciliter le travail, il convient également de régulariser au taille-plâtre les bases du modèle :

- Parallèlement au plan de Cooperman (qui passe par les insertions des ligaments ptérygo-maxillaires et la papille rétro-incisive) pour le modèle maxillaire
- Parallèlement à la ligne faitière de crête dans le plan sagittal pour le modèle mandibulaire

L'empreinte primaire ainsi obtenue doit permettre la réalisation d'un **porte-empreinte individuel**.

<u>Figure n°10</u> : Régularisation des modèles primaires au taille-plâtre [photographie du Dr T. DELCAMBRE]

1.5.4 Porte-empreintes individuels

Selon LEJOYEUX [1], « le porte-empreinte individuel est gabarit de la future prothèse réalisée sur le modèle issu d'une empreinte préliminaire, il est destiné à servir de véhicule aux matériaux qui seront utilisés pour la construction d'une empreinte secondaire ».

1.5.4.1 Qualités d'un porte-empreinte individuel

En prothèse amovible complète, le PEI sera (sauf situation clinique particulière) ajusté et non-perforé. Il doit :

- Avoir une insertion et une désinsertion aisées
- Permettre un centrage sans hésitation
- Disposer de bords arrondis
- Permettre un support suffisant aux matériaux à empreinte secondaire
- Permettre une répartition égale des matériaux à empreinte secondaire

1.5.4.2 Limites périphériques et système de préhension

Au maxillaire comme à la mandibule, il est muni d'un bourrelet de préhension indispensable, positionné sur la crête. Ce système doit préfigurer la position du rempart alvéolo-dentaire (et donc celle des futures dents prothétiques), afin de replacer les organes périphériques (la langue, les lèvres et les joues) dans une position d'équilibre.

Figure n°11 : Comparaison entre le bourrelet de préhension sur un modèle primaire et le montage des dents prothétiques sur le modèle secondaire [photographie du Dr T. DELCAMBRE]

Le porte-empreinte individuel respectera un espacement variable selon certaines zones et structures anatomiques présentes sur les modèles primaires, à savoir :

Au maxillaire	À la mandibule
• À 1-2 mm du fond du vestibule • À 2 mm des brides et des freins • À 3-4 mm en arrière des fossettes palatines (ou 2 mm derrière une ligne droite joignant les ligaments ptérygo-maxillaires)	• À 1,5 mm du fond du vestibule • À 1 mm en zone antérieure linguale • À 2 mm au-dessus de la ligne oblique interne • À 2 mm des freins

Tableau n°7 : Espacement du PEI en fonction des repères anatomiques du modèle primaire [3]

1.5.4.3 Matériaux

Les PEI en prothèse complète étaient auparavant réalisés en true base, et le bourrelet de préhension en Stent's® blanc ou rouge. Cependant, il s'agit d'un matériau d'utilisation délicate et ayant le gros inconvénient de se déformer à la chaleur, le rendant incompatible avec la réalisation d'un marginage à la pâte de Kerr durant l'empreinte secondaire. C'est pourquoi, à l'heure actuelle, la true base a laissé place aux résines, plus particulièrement à la résine photopolymérisable qui se démarque entre-autres par sa facilité de manipulation et de mise en forme [9].

2 L'empreinte secondaire en prothèse amovible complète

2.1 Objectifs de l'empreinte secondaire

D'après LEJOYEUX [1], « l'empreinte secondaire préfigure la prothèse terminée. Elle obéit aux mêmes impératifs ». Elle est dite anatomo-fonctionnelle, et parfois désignée comme « analytique ». POMPIGNOLI [9] ajoute qu'il s'agit « d'une étape clé, c'est la dernière possibilité pour enregistrer ce qui se passe au niveau du jeu de la musculature, au niveau muqueux, et de tous les reliefs avec précision ».

Elle doit ainsi respecter des impératifs :

- Mécaniques (stabilisation, sustentation et rétention)
- Biologiques
- Fonctionnels, esthétiques et phonétiques

Les empreintes secondaires au maxillaire et à la mandibule viseront ainsi à recueillir de manière précise les reliefs morphologiques et les éléments physiologiques de la surface d'appui et de la muqueuse. Il s'agit également de garantir une liberté de jeu de la musculature et des organes paraprothétiques vis-à-vis du joint périphérique et de l'espace sublingual.

Pour ce faire, la réalisation de l'empreinte secondaire de prothèse complète s'articulera autour de 3 étapes [9] :

- L'**adaptation du PEI** (sur le modèle primaire et sur le patient)
- Le **marginage**
- Le **surfaçage**

De manière analogue à l'empreinte primaire, le porte-empreinte individuel endossera ici le rôle d'un « endosquelette » et sera noyé dans les matériaux utilisés pour le marginage et le surfaçage.

2.2 Essayage et adaptation du porte-empreinte individuel

HÜE et BERTERETCHE [3] évoquent 4 temps pour l'essayage et l'adaptation du porte-empreinte :

- Le contrôle de la stabilité du PEI
- La recherche de l'esthétique et du couloir prothétique
- L'orientation du plan d'occlusion
- Le réglage des limites périphériques du PEI (notamment des surextensions)

	Maxillaire	Mandibule
Contrôle de la stabilité	Pression digitale appliquée au niveau molaire et/ou au niveau de la voûte palatine	Pression digitale appliquée au niveau des premières prémolaires
Recherche de l'esthétique et du couloir prothétique	• Ajustage esthétique selon les dimensions standards du PEI (cf. partie 2.5.3.2) • Bourrelet de préhension qui dépasse de 1 mm la lèvre chez la femme, l'affleure chez l'homme	• Ajustage esthétique selon les dimensions standards du PEI (cf. partie 2.5.3.2) • Soutien passif de la lèvre inférieure au niveau du secteur incisivo-canin
Orientation du plan d'occlusion	Bourrelet de préhension parallèle : • À la ligne bi-pupillaire dans le plan frontal • Au plan de Camper dans le plan sagittal	Surface occlusale du bourrelet passant par le ⅓ supérieur du trigone rétromolaire
Réglage des limites périphériques	Vérification de l'espacement de ± 1 à 2 mm du PEI avec : • La joint vestibulaire (segments tubérositaire, latéraux, incisif) • Les brides et les freins	Vérification de l'espacement de ± 1 à 2 mm du PEI avec : • Le bord vestibulaire (segments incisif, modiolus, latéraux et trigone) • Le bord lingual (segments sublingual, submandibulaire et rétro-mylohyoïdiens)

Tableau n°8 : Étapes d'essayage des PEI au maxillaire et à la mandibule [3]

2.3 Marginage (1er temps)

Après avoir essayé, adapté et validé le porte-empreinte individuel à l'arcade édentée maxillaire ou mandibulaire, le marginage représente le premier temps de réalisation d'une empreinte secondaire de prothèse complète. Il s'agit de l'enregistrement de la ligne de réflexion muqueuse, permettant la création d'un joint périphérique.

Ce marginage permettra, entre autre, d'objectiver la présence de surextension(s) ou de sous-extension(s), et vise à obtenir des bords périphériques les plus hauts et larges possibles, respectueux de la liberté du jeu de la musculature et des organes périphériques.

2.3.1 Matériaux

Matériaux		Avantages	Inconvénients
Pâtes thermoplastiques	**Pâte de Kerr**	• Phase plastique lors de l'enregistrement : refroidissement rapide en bouche, dur à température buccale • Permet les modifications par addition/soustraction • Correction de grosses sous-extensions du PEI • Coût	• Nombreuses manipulations (enregistrement secteur par secteur) • Inutilisable sur les contre-dépouilles
Matériaux à réaction de prise	**Silicones (Bisico Function®, Xantopren, STA-SEAL)**	• Rapidité • Enregistrement « en globalité » possible • Évite les erreurs dues à des mises en place répétées • Élasticité : utilisation possible avec les contre-dépouilles	• Temps de prise plus long • Hydrophilie (Polyéthers contre-indiqués en cas d'hyposialie) • Coût
	Polyéthers (Permadyne® Orange)		
Résines	**Hydrocast, Fitt de Kerr…**	Compatibilité avec les tissus lésés	Durée de manipulation

Tableau n°9 : Matériaux utilisés pour le marginage lors d'une empreinte secondaire de prothèse amovible complète [3]

2.3.2 Enregistrement du joint périphérique

2.3.2.1 Maxillaire

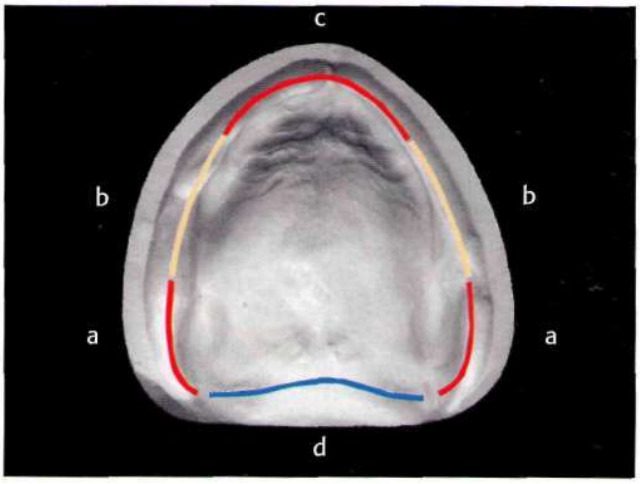
Segments	Mouvements	Contrôle
Secteurs latéraux	• Mobilisation de la zone de réflexion • Mouvements d'enroulements de la joue	• Traction digitale controlatérale • Surface lisse, mate, arrondie • Traction digitale diagono-transversale
Secteurs tubérositaires	• Ouverture maximale • Mouvements de latéralités extrêmes • Traction sur la commissure	Concavité externe lisse mate
Secteur incisif	• Protraction • Rétraction • Abaissement de la lèvre • Traction horizontale du frein	• Pas d'épaisseur créant des reliefs au niveau de la lèvre • Surface mate

Tableau n°10 : Enregistrement du joint périphérique au maxillaire selon HÜE et BERTERETCHE [3]

2.3.2.2 Mandibulaire

Segments		Mouvements	Contrôle
Côté lingual	**Segment sublingual**	• Tirer la langue en avant, à droite et à gauche • Déglutir	• Effet de succion lorsque le porte-empreinte est soulevé • Bords lisses mats et arrondis
	Segment latéral lingual		
	Segment de l'arc palatoglosse		
Côté vestibulaire	**Segments trigones**	Bouche ouverte – Fermeture contrariée	
	Segments latéraux vestibulaires	Ouverture ample – Mobilisation de la joue	
	Segment incisif	Protraction rétraction de la lèvre – Élévation traction horizontale de la lèvre	

Tableau n°11 : Enregistrement du joint périphérique à la mandibule selon HÜE et BERTERETCHE [3]



Arcade maxillaire

a. Segments tubérositaires
b. Segments latéraux
c. Segment incisif
d. Segment vélo-palatin

Figure n°12 : Joint vestibulaire à l'arcade maxillaire d'après HÜE et BERTERETCHE [3]

Arcade mandibulaire

a. Segment incisif
b. Segments modiolus
c. Segments latériaux molaires
d. Segments trigone
e. Segment sublingual
f. Segments sous-mandibulaires
g. Segments rétro-mylohyoïdiens

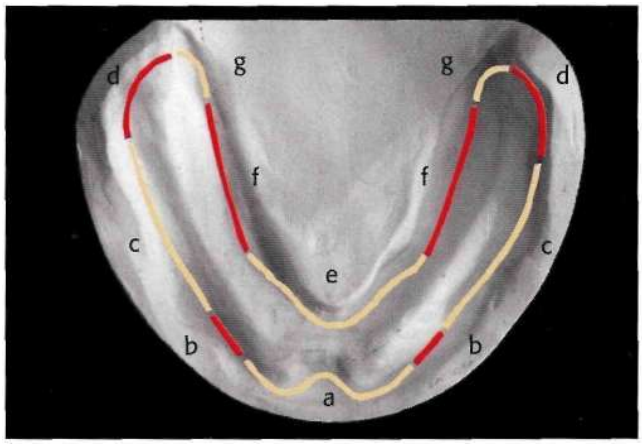


Figure n°13 : Joint vestibulaire et bord lingual à l'arcade mandibulaire d'après HÜE et BERTERETCHE [3]

2.4 Surfaçage (2ème temps)

Le surfaçage représente le deuxième temps de l'empreinte secondaire en prothèse complète, et consiste en l'enregistrement anatomo-fonctionnel des caractéristiques de la surface d'appui.

2.4.1 Matériaux

Il existe, comme pour le marginage, un certain nombre de matériaux utilisables pour la réalisation du surfaçage. Chacun présente des comportements, des propriétés et des caractéristiques rhéologiques très spécifiques, dont le praticien doit être conscient afin d'utiliser le plus adapté à la situation clinique.

On utilisera ainsi principalement :

- L'**oxyde de zinc-eugénol** (Impression Paste® SS WHITE)
- Les **polyéthers** (Permadyne® Bleue, Impregum®)
- Les **polysulfures** (Permlastic® Light)

Chacun d'eux se caractérise par [8] :

- Son **temps de travail**, qui correspond au temps entre le début du mélange jusqu'au moment où l'on ne peut plus le manipuler
- Son **temps de prise**, qui correspond au temps séparant le début du mélange jusqu'à la prise finale (lequel inclus donc le temps de travail)

	Temps de travail	Temps de prise
Permlastic® Light	2 min 42 s	9 min 15 s
Permadyne® Bleue	3 min 00 s	5 min 45 s
Impregum®	3 min 00 s	6 min 00 s
Impression Paste® SS WHITE	4 min 50 s	6 min 25 s

Tableau n°12 : Temps de travail et de prise en fonction du matériau de surfaçage d'après HÜE et BERTERETCHE [3]

Les polyéthers ont en revanche un comportement différent des autres matériaux. Ils passent de la phase plastique à la phase élastique en un instant très court. Ce changement brutal d'état, appelé « snap-set », doit être pris en compte dans la réalisation du surfaçage [3].

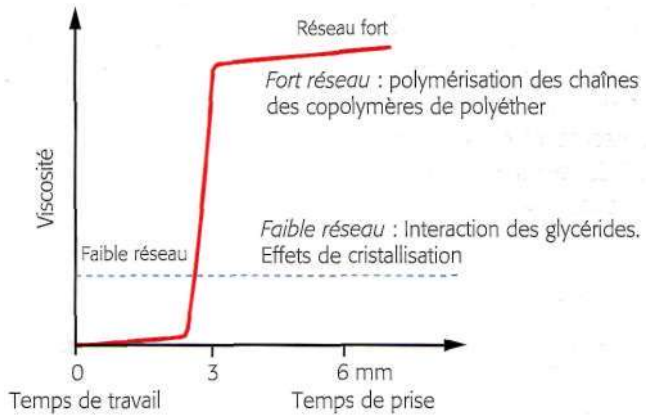


Figure n°14 : « Snap-set » observé lors de la réticulation des polyéthers d'après HÜE et BERTERETCHE [3]

Cependant, le choix des matériaux doit se faire en phase avec l'examen clinique du patient, et particulièrement du flux salivaire [7] :

- Sialorrhée normale : oxyde de zinc-eugénol ou polyéthers
- Hyposialie, asialie partielle/totale ou salive pauvre en mucines : polysulfures ou silicones

2.4.2 Enregistrement de la surface d'appui

Les empreintes anatomo-fonctionnelles se réalisent sous pression digitale. Le porte-empreinte individuel est garni, sans excès, du matériau choisi, et l'insertion se fait délicatement afin de faciliter l'écoulement du matériau [1].

<u>Figure n°15</u> : Exemple d'une empreinte secondaire maxillaire de prothèse amovible complète surfacée au Permlastic© Light [photographie du Dr T. DELCAMBRE]

2.4.2.1 Au maxillaire

Lorsque le PEI est en place, le praticien applique une légère pression symétrique au niveau des premières molaires. L'index est positionné au milieu du palais, et afin de modeler parfaitement la zone de réflexion, le patient réalise des mouvements :

- D'ouverture
- De fermeture
- De latéralité
- De mobilisation des lèvres et des joues

2.4.2.2 À la mandibule

Le PEI placé sur l'arcade mandibulaire, les bords de l'empreinte côté vestibulaire comme lingual sont modelés selon les mêmes mouvements que ceux précédemment développés. Une pression digitale est assurée de manière symétrique au niveau du bourrelet de préhension de chaque côté de l'arcade. Au maxillaire comme à la mandibule, la désinsertion du PEI se fait après prise complète du matériau, et l'empreinte validée.

<u>Figure n°16</u> : Exemple d'une empreinte secondaire mandibulaire de prothèse amovible complète aux polyéthers (Permadyne® Orange et Bleue) ; noter la précision au niveau des volets linguaux [photographie du Dr T. DELCAMBRE]

2.5 Traitement de l'empreinte secondaire

Le traitement de l'empreinte secondaire s'articule autour de 2 étapes :

- 1ère étape : le **coffrage**
- 2ème étape : la **coulée**

2.5.1 Coffrage

Le coffrage assure la conservation de l'épaisseur, du volume et de la forme des bords de l'empreinte secondaire. Il existe 2 méthodes pour le réaliser [9] :

- Le **coffrage à la cire**
- Le **coffrage à l'alginate**

2.5.1.1 Coffrage à la cire

On applique une bande de cire sur toute la périphérie de l'empreinte, à au moins 3 mm de ses limites périphériques, et en distal du prolongement du voile du palais. Pour l'empreinte mandibulaire, l'espace lingual est préservé par une feuille de cire. Ensuite, on colle une bande de cire tout autour de cette bande de cire afin de « boxer » l'empreinte.

2.5.1.2 Coffrage à l'alginate

On immerge l'empreinte secondaire dans une « boîte » garnie d'alginate. Une fois le matériau gélifié, les limites de l'empreinte sont dégagées, et le « boxing » est de nouveau effectué.

2.5.2 Coulée

Le plâtre doit être, idéalement, spatulé sous vide afin d'éviter les micro-porosités. Lors de la cristallisation du plâtre, l'ensemble du coffrage doit être impérativement orienté vers le bas afin de permettre une remontée de l'eau en excès à la surface, et de garantir une densité maximale du plâtre au niveau de l'ensemble de la surface d'appui [3].

2.5.3 Bases d'occlusion

C'est sur les modèles obtenus à l'issue du traitement des empreintes secondaires que seront réalisées les bases d'occlusion. Elles permettent de transférer la relation intermaxillaire du patient édenté total sur articulateur, afin de procéder au montage des dents prothétiques sur ces mêmes modèles secondaires.

2.5.3.1 Matériaux

Les matériaux utilisés doivent être rigides à température buccale, c'est-à-dire le plus souvent :

- Une **plaque base en résine photopolymérisable**
- Un **bourrelet en Stent's®**

2.5.3.2 Caractéristiques

La plaque base aura une épaisseur de 1,5 à 2 mm. Celle-ci recouvrira l'ensemble des structures ostéo-muqueuses enregistrées à l'empreinte secondaire, et aura les mêmes limites que les prothèses amovibles complètes définitives.

Les dimensions des bourrelets de Stent's® seront les mêmes que ceux de préhension des PEI (avec 3 à 4 mm d'épaisseur en antérieur, 6 à 8 mm en postérieur) [10]. Ces bases d'occlusion « types », réalisées au laboratoire, seront ajustées cliniquement au patient par le praticien.

Base d'occlusion maxillaire

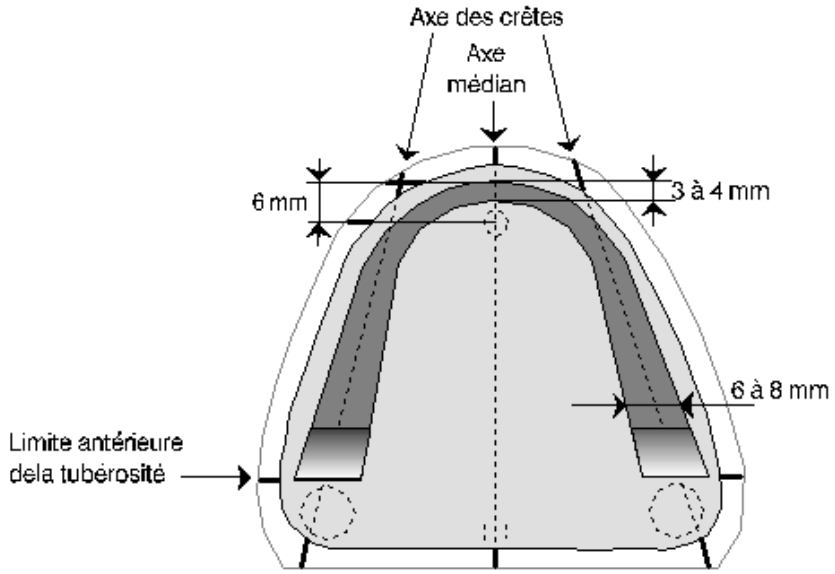


Figure n°17 : Schéma des dimensions, de l'orientation et des limites du bourrelet d'occlusion maxillaire dans le plan axial [10]

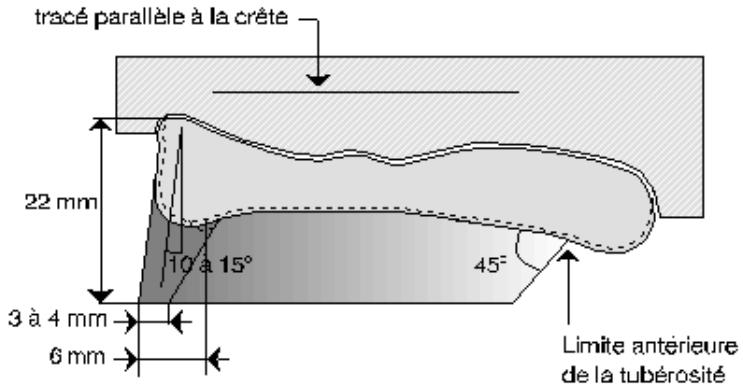


Figure n°18 : Schéma des dimensions, de l'orientation et des limites du bourrelet d'occlusion maxillaire dans le plan sagittal [10]

Base d'occlusion mandibulaire

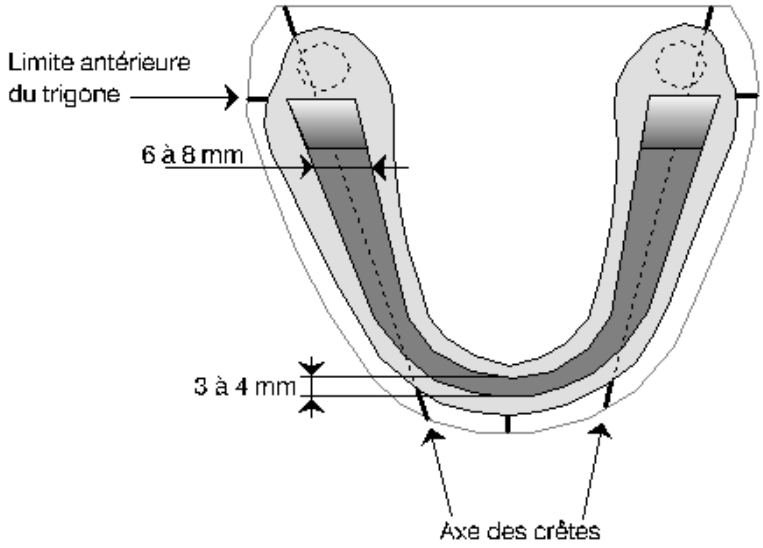


Figure n°19 : Schéma des dimensions, de l'orientation et des limites du bourrelet d'occlusion mandibulaire dans le plan axial [10]

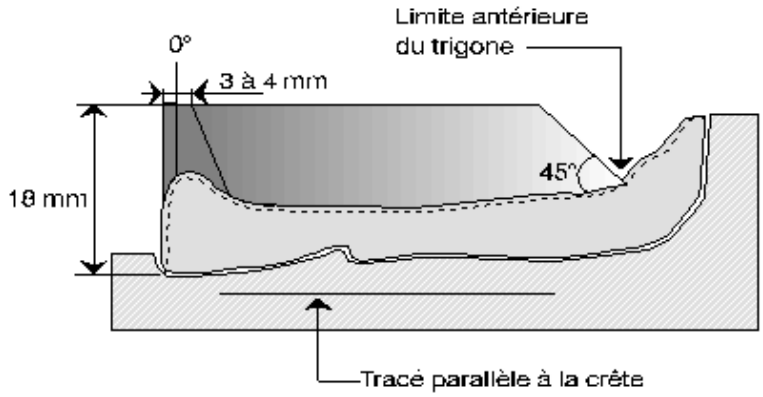


Figure n°20 : Schéma des dimensions, de l'orientation et des limites du bourrelet d'occlusion mandibulaire dans le plan sagittal [10]

Base d'occlusion maxillaire	Base d'occlusion mandibulaire
• 22 mm entre le fond du vestibule et la surface occlusale du bourrelet en regard de l'incisive latérale • Bourrelet incliné de 15 à 20° en antérieur • Bourrelet s'arrêtant en avant de la tubérosité avec un biseau à 45° (positionné au niveau de la future 7)	• 18 mm entre le fond du vestibule et la surface occlusale du bourrelet • Plan d'occlusion passant en postérieur par le ⅓ supérieur du trigone • Rien à l'aplomb du fond du vestibule en antérieur (aire d'Ackermann)

Tableau n°13 : Critères de réalisation des bourrelets d'occlusion maxillaire et mandibulaire [10]

3 Numérisation de l'empreinte par l'utilisation du cone beam : matériel et méthodes

3.1 Le cone beam (CBCT ou « Cone Beam Computed Tomography »)

3.1.1 Principes et fonctionnement du CBCT

Le **cone beam**, également désigné par le sigle **CBCT** pour « Cone Beam Computed Tomography », est une technique de tomodensitométrie permettant la réalisation d'une radiographie numérique [11].

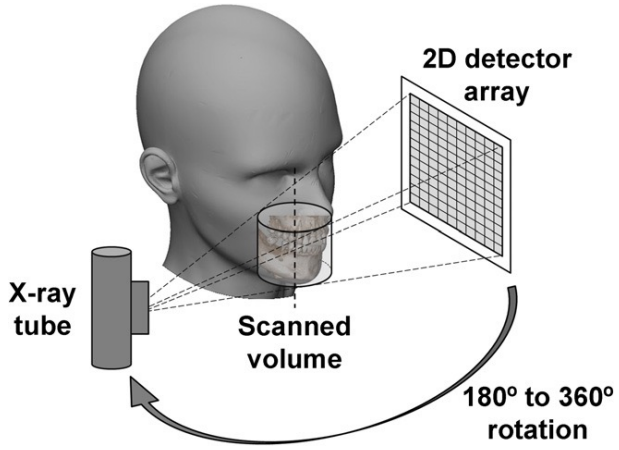


Figure n°21 : Fonctionnement du tube à rayons X lors d'une acquisition au CBCT [12]

Il est basé sur un **faisceau de rayons X** de forme conique, atténué lorsqu'il traverse l'objet exploré avant son analyse par un système de détection. Le tube générateur de rayons X et ce système de détection vont effectuer un balayage rotatif (de 180° à 360° selon le modèle de cone beam), en réalisant des centaines de prises de vues et de clichés dans les différents plans de l'espace [13]. Ces données sont transmises à un ordinateur, qui créera une reconstitution volumique de l'objet.

Cette reconstitution volumique utilise les voxels : ils représentent un pixel en 3D. Au cone beam, le voxel étant « isométrique » (ou « isotrope »), chacun de ses côtés est égal, lui donnant la forme d'un cube [14]. Le volume obtenu par l'acquisition au cone beam est ainsi reconstruit sur l'ordinateur en coupes axiales 2D, produites à partir de l'acquisition tridimensionnelle.

3.1.2 Indications

À l'heure actuelle, le CBCT s'installe progressivement comme une méthode de référence en chirurgie dentaire lorsqu'une imagerie tridimensionnelle est requise.

Le cone beam est ainsi indiqué dans de nombreuses situations [13, 15, 16] :

- **Implantologie**
- **Extraction de dents de sagesses avec obstacles anatomiques**
- **Traumatismes alvéolodentaires ou maxillaires**
- **Pathologies orthodontiques et malformatives** (inclusions, agénésies, fentes, dent surnuméraire, etc.)
- **Pathologies endodontiques** (lésions d'origine endodontique, anatomie canalaire, fêlures, etc.)
- **Pathologies parodontales**
- **Pathologies tumorales et kystiques intra-osseuses**
- **Pathologies sinusiennes** (sinusites d'origine dentaire ou implantaire)
- **Pathologies des ATM** (articulations temporo-mandibulaires)

Son champ d'application s'étend graduellement, et des travaux démontrent un intérêt dans des domaines plus larges comme l'ORL (otorhinolaryngologie), voire même récemment en chirurgie orthopédique (avec notamment l'imagerie de la cheville ou du pied).

3.1.3 Qualité d'image et artéfacts

Le **champ de vue** (« Field of View » ou FOV) correspond à l'étude envisagée. Il peut s'agir :

- D'un petit champ
- D'un champ moyen
- D'un grand champ

Au cone beam, il est fréquent de retrouver des artéfacts, responsables d'images biaisées pouvant gêner l'interprétation [12]. On va distinguer :

- Les **artéfacts métalliques** (généralement dus aux couronnes, aux tenons et inlay-cores, et aux implants)
- Les **artéfacts cinétiques** (généralement dus aux mouvements du patient)

Dans le cadre d'une numérisation d'empreinte, les artéfacts cinétiques n'entreront pas en compte dans la qualité de l'image.

3.1.4 Transformation des données en images

L'acquisition du volume se fait sur une durée variable selon les CBCT et les programmes (généralement de 9 à 30 secondes), et correspond à l'enregistrement des données brutes (« raw data »). Ces données brutes constituent le premier temps dans la génération de l'image : elles sont converties en volume exploitable par une reconstruction d'image [17].

3.1.4.1 Reconstructions primaires

Pour les reconstructions primaires du volume, on va distinguer :

- Les **reconstructions bi-dimensionnelles** (dites « directes »), qui sont des coupes axiales, frontales et sagittales obtenues à partir des acquisitions brutes
- Les **reconstructions DICOM** (« Digital Imaging and Communication in Medicine »), qui sont des reconstructions dans le plan axial permettant des reconstructions secondaires de 2 types : les reconstructions multiplanaires et les reconstructions « dentascanner »

Les données DICOM peuvent être transférées par internet ou sur CD, et permettront par exemple une exploitation des données radiologiques sur des logiciels de simulation implantaire (comme SIMPLANT® ou NobelGuide) [17].

3.1.4.2 Reconstructions secondaires

Les reconstructions secondaires sont obtenues à partir des reconstructions DICOM axiales, et permettent l'obtention d'images UHR (Ultra-Haute Résolution). Généralement plus bruitées, ces images devront faire l'objet d'un filtrage du bruit afin d'être exploitées.

3.1.4.3 Reconstructions tridimensionnelles

Les reconstructions 3D sont de plus en plus exploitées, en chirurgie pré et per-opératoire ainsi qu'en implantologie [15, 17].

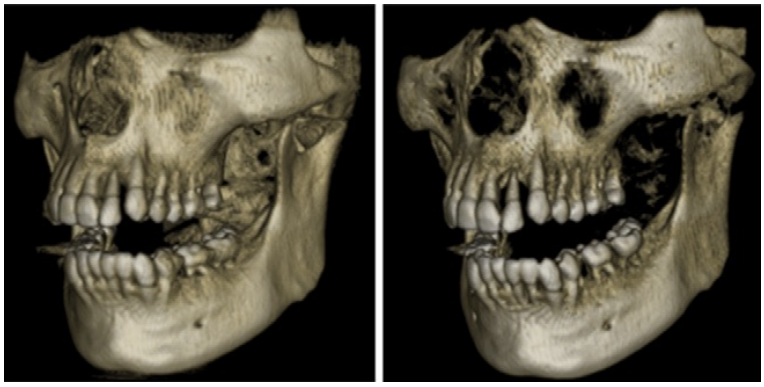


Figure n°22 : Exemple d'un « Surface Rendering » des étages moyen et inférieur de la face [12]

On va ainsi distinguer [12] :

- L'**imagerie 3D en rendu de volume** (« Volume Rendering » ou VR) permettant d'isoler des structures de densité donnée par seuillage (on distinguera ainsi l'os, les dents, les structures molles, etc.)
- L'**imagerie 3D de surface** (« Surface Rendering » ou SR) ne montrant que les reliefs de surface (comme les tissus cutanés ou l'os), sans permettre d'analyser les éléments internes

C'est ce « Surface Rendering » qui va nous intéresser dans le traitement numérique de l'empreinte au cone beam : comme présenté par la suite, l'intérêt est de reconstituer l'intégralité de la surface de l'empreinte de prothèse complète numérisée afin de l'exploiter informatiquement.

3.2 Empreintes de référence

Dans le cadre de ce travail, toutes les empreintes de référence (l'arcade maxillaire est choisie arbitrairement) sont réalisées sur un modèle pédagogique utilisé en travaux pratiques de prothèse amovible complète du Dr T. DELCAMBRE en 4ème année à la faculté de chirurgie dentaire de Lille.

3.2.1 Empreintes primaires

Les empreintes primaires de références seront :

- Une empreinte à l'alginate 2 temps / 2 viscosités avec porte-empreinte plastique
- Une empreinte à l'alginate 2 temps / 2 viscosités avec porte-empreinte métallique (série SCHREINEMAKERS)

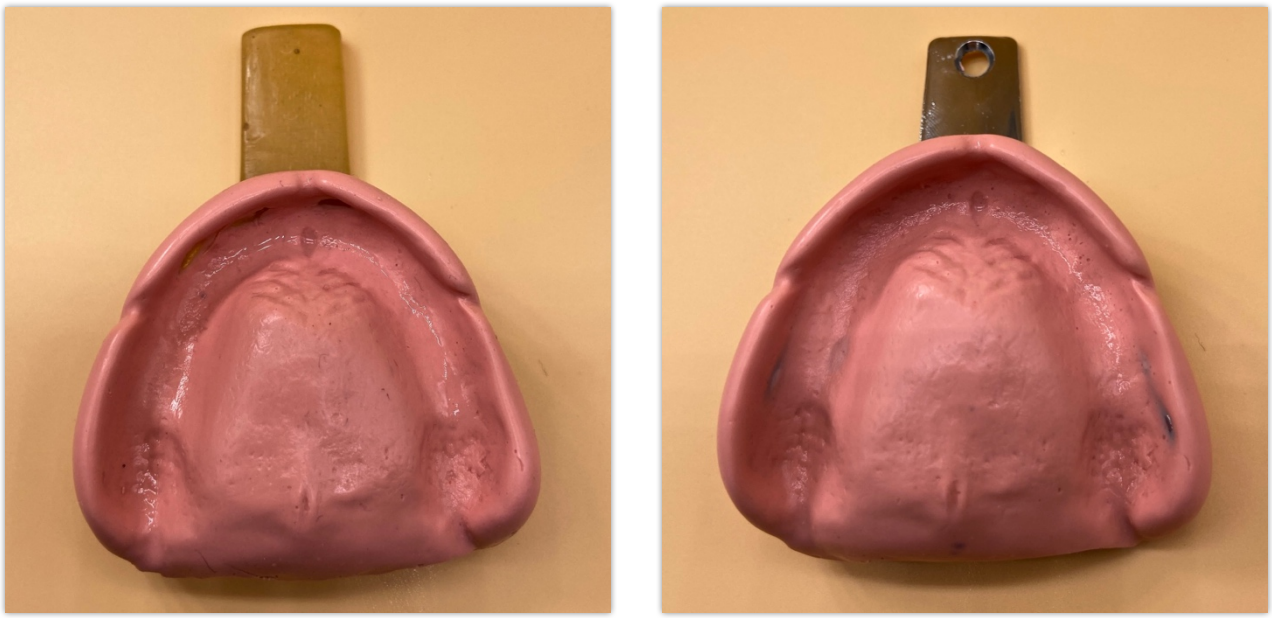


Figure n°23 : Empreintes primaires à l'alginate 2 temps / 2 viscosités avec porte-empreinte plastique (gauche), et porte-empreinte métallique de la série SCHREINEMAKERS (droite) [photographie personnelle]

Celles-ci sont traitées selon les méthodes classiques de laboratoire immédiatement après leur numérisation au cone beam et transportées entre temps dans un sachet fermé hermétiquement. Comme détaillé dans la première partie, le but est de conserver toutes les propriétés de l'alginate et de s'assurer de la qualité du modèle primaire en plâtre, utilisé comme référence.

Par ailleurs, sur chaque socle est identifiée l'empreinte primaire.

3.2.2 Empreintes secondaires

Quatre porte-empreintes individuels de l'arcade maxillaire, réalisés selon les critères détaillés dans la partie 1.5.4, sont effectués sur le modèle primaire en plâtre. Les empreintes secondaires de références seront :

- Une empreinte avec marginage au Bisico Function® et surfaçage au Permlastic® Light
- Une empreinte avec marginage à la Permadyne® Orange (Heavy) et surfaçage à la Permadyne® Bleue (Light)
- Une empreinte avec marginage à la pâte de Kerr et surfaçage à l'Impregum®
- Une empreinte avec marginage à la pâte de Kerr et surfaçage à l'Impression Paste® SS WHITE

Figure n°24 : Empreinte secondaire avec marginage au Bisico Function® et surfaçage au Permlastic® Light [photographie personnelle]

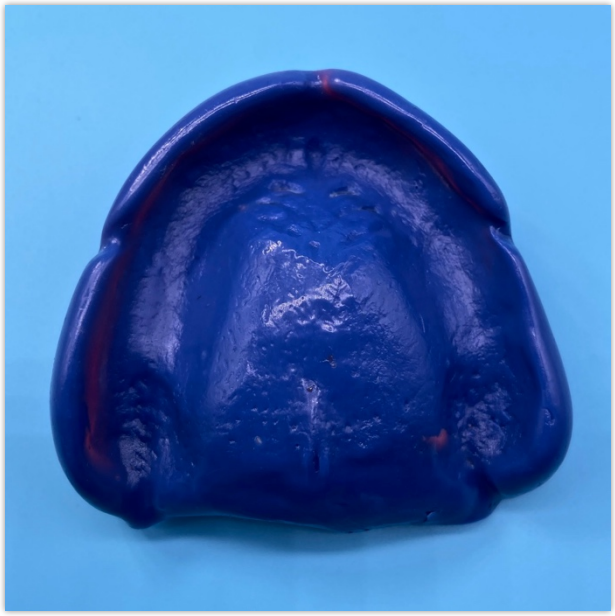


Figure n°25 : Empreinte secondaire avec marginage à la Permadyne® Orange (Heavy) et surfaçage à la Permadyne® Bleue (Light) [photographie personnelle]

Figure n°26 : Empreinte secondaire avec marginage à la pâte de Kerr et surfaçage à l'Impregum® [photographie personnelle]

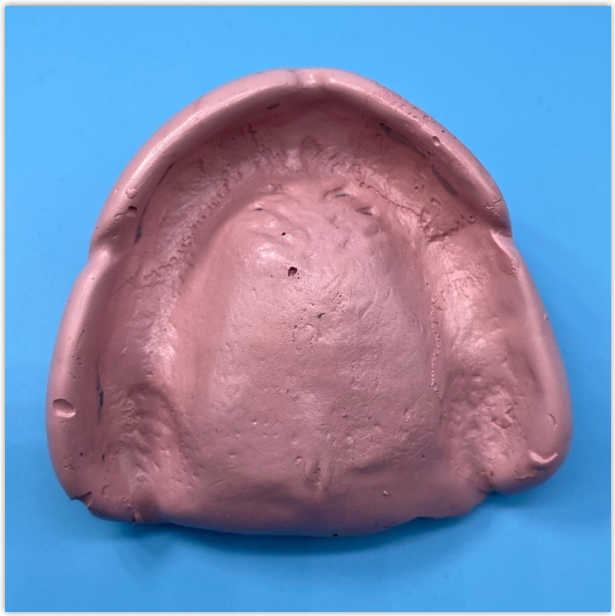


Figure n°27 : Empreinte secondaire avec marginage à la pâte de Kerr et surfaçage à l'Impression Paste® SS WHITE [photographie personnelle]

À l'issue de leur numérisation au cone beam, chacune d'elle sera traitée de manière conventionnelle afin d'élaborer un modèle secondaire en plâtre. Comme pour les empreintes primaires, chacune d'elle sera bien identifiée sur son socle afin de ne pas les confondre.

6 empreintes (2 empreintes primaires / 4 empreintes secondaires) au total seront donc numérisées au cone beam, puis traitées et analysées.

3.3 Méthode de numérisation des empreintes

3.3.1 Cone beam utilisé

Le cone beam utilisé pour ce travail est le **PaX-i3D Green** de chez **VATECH**.

3.3.2 Stabilisation et centrage des empreintes

La totalité de l'empreinte doit figurer dans le champ d'acquisition du cone beam. Afin de disposer de la même manière les 6 empreintes numérisées, VATECH propose un plateau pour positionner des éléments de type prothèse complète ou modèle en plâtre. Il sera ici utilisé et aménagé à l'aide d'un plot de cire collante permettant de surélever légèrement les empreintes qui y seront disposées.

Figure n°28 : Vue de ¾ de la disposition d'une empreinte sur le plateau VATECH [photographie personnelle]

Figure n°29 : Vue supérieure de la disposition d'une empreinte sur le plateau VATECH [photographie personnelle]

Il serait intéressant, par la suite, d'élaborer un plateau spécifique permettant de disposer tout type d'empreinte (primaire comme secondaire) de prothèse complète au CBCT, de manière à faciliter la stabilisation et le centrage.

3.3.3 Mode et paramètres d'acquisition

Le mode d'acquisition sélectionné est « Tomodensitométrie ou CT ». Les paramètres utilisés sur le logiciel EzDent-i pour la numérisation de l'empreinte sont les suivants :

Paramètres d'acquisition	
FOV (Diameter × Height)	16 × 9
Vertical Option	Occlusion
Horizontal Option	Center
Image Option	High Resolution
Voxel Size	Standard (0.20)

Tableau n°14 : Paramètres d'acquisition pour scanner les empreintes au CBCT [source personnelle]

Comme évoqué précédemment, lors d'une acquisition au cone beam, le champ de vue doit être le plus adapté possible à l'indication clinique et permettre au praticien de respecter les grands principes de radioprotection, à savoir la justification, l'optimisation et la limitation. Cependant, la numérisation de l'empreinte n'impliquant pas directement le patient, les paramètres de champ et de résolution sont ici maximisés afin d'acquérir une image à la fois la plus large et la plus précise possible en vue de l'exploitation digitale des données.

3.4 Logiciels d'intérêt pour le traitement des données

Un certain nombre de logiciels est nécessaire au traitement après numérisation et exportation. Si le programme d'utilisation des données est propre au CBCT et permet l'exportation du fichier STL nécessaire aux travaux à effectuer sur l'empreinte, les autres étapes sont en revanches réalisables à l'aide de logiciels gratuits.

Logiciel		Type	Utilisation / Intérêt
EZ-3Di	Ez3D-i™	Licence	• Reconstruction volumique de l'acquisition CBCT et visualisation de l'empreinte numérisée • Exportation de l'empreinte sous forme d'un fichier STL
MeshMixer		Freeware	• « Détourage » du fichier STL de l'empreinte • Conversion de l'empreinte primaire ou secondaire détourée en modèle positif • Correction des défauts de surface de l'empreinte • Élaboration d'un porte-empreinte individuel • Réalisation d'un modèle secondaire
Blender			Conversion de l'empreinte primaire ou secondaire détourée en modèle positif
MeshLab			Comparaison des modèles issus du traitement numérique et du traitement physique par « matching » des surfaces via calcul de la distance de Hausdorff

Tableau n°15 : Logiciels pour le traitement numérique d'une empreinte en PAC [source personnelle]

Ces solutions s'avèrent moins puissantes que certains outils professionnels (notamment les logiciels Geomagic cités ci-dessous, qui sont la référence dans le domaine), et pour certaines étapes plus fastidieuses. Cependant, le résultat final est équivalent.

Logiciel		Type	Utilisation / Intérêt
Geomagic Design X		Licence	Détourage et conversion de l'empreinte primaire ou secondaire en modèle positif
Geomagic Control X			Comparaison des modèles issus du traitement numérique et du traitement physique par « matching » des surfaces via calcul de la distance de Hausdorff

Tableau n°16 : Solutions alternatives (logiciels professionnels) pour le traitement numérique d'une empreinte en PAC [source personnelle]

3.5 Dans la littérature

À l'heure actuelle, il n'existe que très peu voire pas du tout de littérature se rapportant à la numérisation des empreintes de prothèse amovible complète au cone beam. En revanche, trois articles, synthétisés ci-dessous, méritent une attention toute particulière car ils apportent des informations et des résultats intéressants dans le cadre de ce travail.

3.5.1 « Accuracy and reproductibility of virtual edentulous casts created by laboratory impression scan protocols »

Titre : « Accuracy and reproductibility of virtual edentulous casts created by laboratory impression scan protocols » [18]	
Auteurs	PENG L, CHEN L, HARRIS B, BHANDARI B, MORTON D, LIN WS
Objectifs	Étude visant à évaluer et comparer la précision et la reproductibilité d'un modèle édenté numérique créé au cone beam avec un scanner de laboratoire.
Méthodologie	Un modèle physique est numérisé en guise de référence. 10 empreintes de celui-ci sont faites aux polyvinyl siloxanes puis respectivement scannées au CBCT et au scanner de laboratoire. Ensuite, les empreintes sont imprégnées d'un spray antireflet et de nouveau scannées. Tous les modèles virtuels et le modèle de référence sont ensuite importés dans un logiciel de « matching » des surfaces afin de déterminer leur convergence en moyenne quadratique. De plus, 95 valeurs de la différence de distance sont calculées dans 5 régions différentes du modèle (au rebord alvéolaire, à 6 mm du rebord alvéolaire, au sommet de la crête édentée, au palais, et au joint vélo-palatin).
Résultats	Le cone beam crée un modèle virtuel édenté plus précis et reproductible que le scanner de laboratoire.

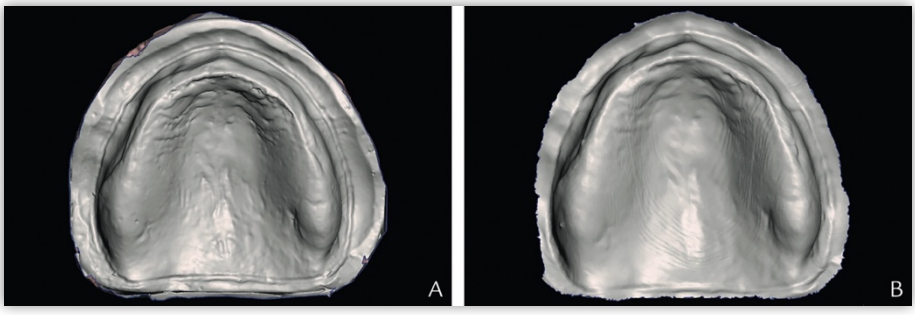


Figure n°30 : Modèles numériques respectivement issus d'un scanner à empreinte (A) et d'un cone beam (B) [18]

3.5.2 « Dimensional accuracy of digital dental models from cone-beam computed tomography scans of alginate impressions according to time elapsed after the impressions »

Titre : « Dimensional accuracy of digital dental models from cone-beam computed tomography scans of alginate impressions according to time elapsed after the impressions » [19]	
Auteurs	LEE SM, HOU Y, CHO JH, HWANG HS
Objectifs	Analyser la stabilité et la précision dimensionnelle d'un modèle virtuel obtenu par numérisation de l'empreinte à l'alginate au cone beam (et ce en fonction du temps écoulé après la réalisation de l'empreinte).
Méthodologie	20 empreintes primaires sont réalisées sur 20 adultes dentés différents, avec l'utilisation de 2 alginates distincts : l'Alginoplast® et le CAVEX®. Elles sont scannées immédiatement au CBCT après leur désinsertion, puis à intervalles réguliers (à 12, 24, 36, 48, 60 et 72 heures). Après conversion en positif des modèles, ceux-ci sont mesurés et les données analysées afin de déterminer la variation dimensionnelle en fonction du temps écoulé.

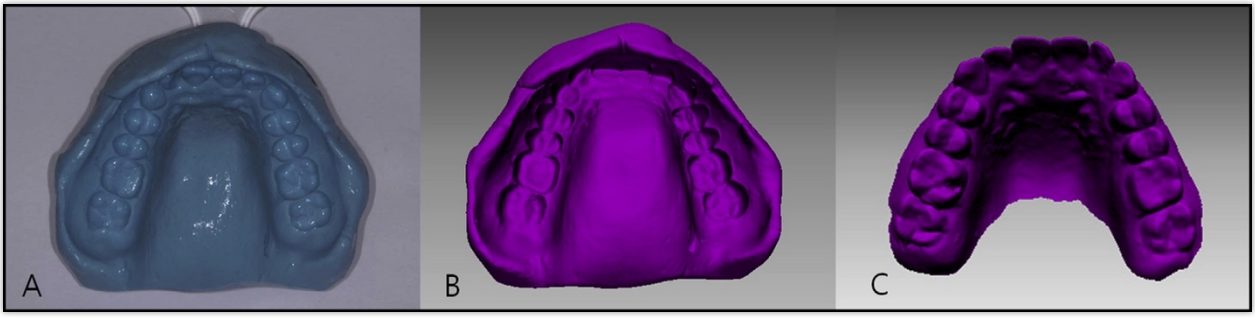
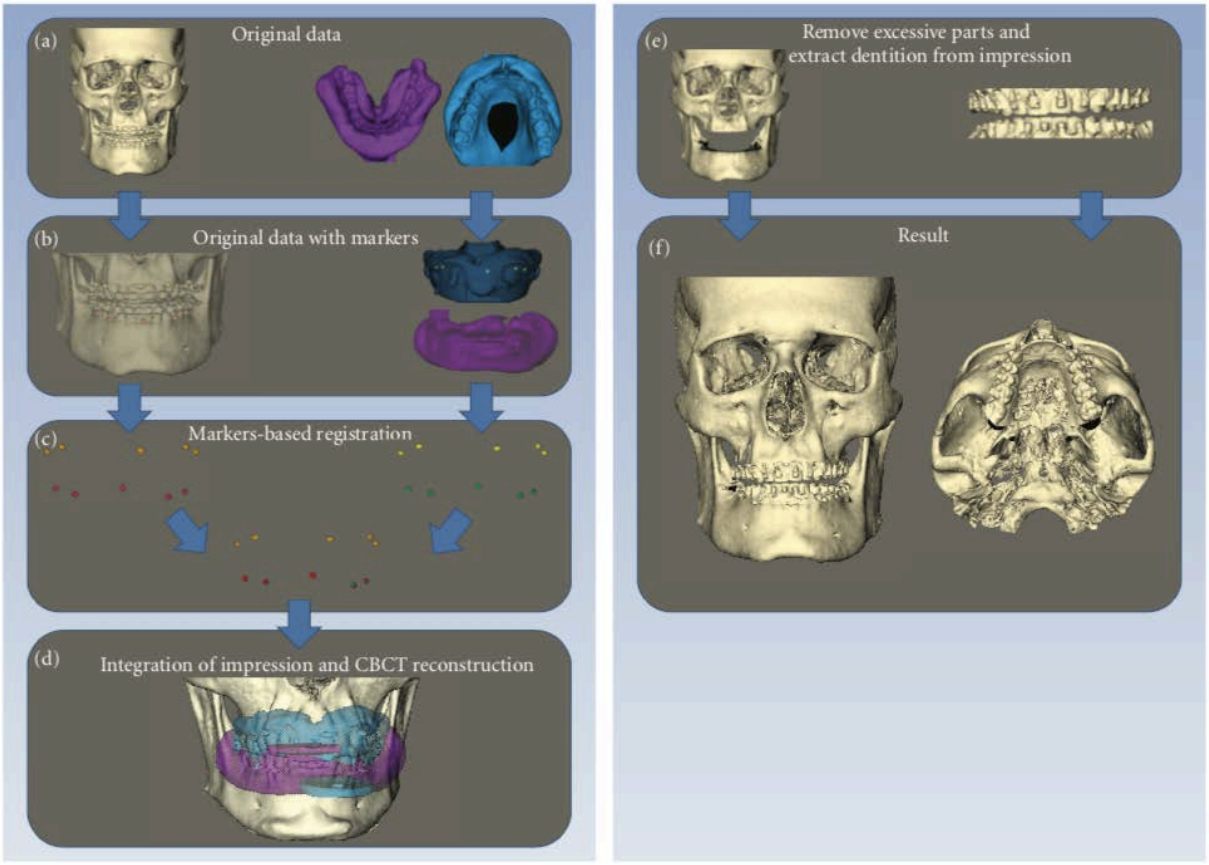


Figure n°31 : Traitement d'une empreinte à l'alginate au CBCT, selon la chronologie suivante : Empreinte physique (A) → Numérisation de l'empreinte (B) → Conversion en modèle positif (C) [19]

Résultats	Des modèles numériques peuvent être obtenus à l'aide du CBCT par scanner d'empreintes à l'alginate, sans étape de laboratoire nécessaire. Ces dernières doivent l'être le plus rapidement possible (idéalement dans l'immédiat). La stabilité et la précision sont altérées plus l'intervalle après désinsertion est long, et cela donne alors des modèles erronés.

3.5.3 « Integration of Digital Dental Casts in Cone-Beam Computed Tomography Scans »

Titre : « Integration of Digital Dental Casts in Cone-Beam Computed Tomography Scans » [20]	
Auteurs	RANGEL F, MAAL T, BERGÉ S, KUIJPERS-JAGTMAN AM
Objectifs	Intégration de modèles virtuels dans des scanners CBCT.
Méthodologie	Pour un patient ayant une chirurgie orthognatique, des marqueurs en titane sont positionnées sur la gencive au niveau de la table osseuse vestibulaire. Ensuite, un scanner CBCT et des empreintes primaires sont réalisées. Les marqueurs en titane sont ensuite repositionnés dans les empreintes, lesquelles sont alors scannées. Un matching des données exportées est alors réalisé, et les modèles virtuels sont transférés sur le CBCT du patient.



Résultats	Le processus dans sa totalité dure environ 15 minutes. La distance entre les marqueurs en titane de la reconstruction 3D et le modèle virtuel issu de l'empreinte : la différence moyenne est d'environ 0,1 mm. La méthode proposée s'avère très prometteuse dans l'intégration des modèles virtuels positifs dans les scanners CBCT.

4 Évaluation préliminaire des matériaux à empreinte au cone beam

Il devient de plus en plus fréquent, notamment en implantologie [21] et en orthodontie [22, 23] comme évoqué précédemment (cf. partie 3.4), de scanner via le cone beam des modèles en plâtre issus de la coulée d'une empreinte. En revanche, la littérature ne présente que peu voire pas de données sur le rendu digital des matériaux utilisés en prothèse complète, notamment pour les empreintes secondaires (l'alginate et le plâtre ayant eux déjà fait l'objet de publications, leur scanner au CBCT offrant une grande précision).

Ainsi, il convient préalablement au traitement numérique des empreintes, d'établir une première estimation de l'état de surface des matériaux, et de l'évaluer sans outil mathématique.

4.1 Méthode d'évaluation

Comme support de matériau, nous utilisons ici une plaque de résine photopolymérisable (la même que pour les porte-empreintes individuels) découpée en petits carrés. Chaque matériau à empreinte testé y sera ainsi disposé (s'étalant plus ou moins en fonction de la viscosité), puis numérisé au CBCT selon les mêmes paramètres d'acquisition que ceux cités dans la partie 3.3.3.

On testera ainsi respectivement :

- **L'alginate**
- **Le Permlastic® Light**
- **Le Bisico Function®**
- **La Permadyne® Orange (Heavy)**
- **La Permadyne® Bleue (Light)**
- **L'Impregum®**
- **L'Impression Paste® SS WHITE**
- **La pâte de Kerr**

Cette liste de matériaux est bien évidemment non-exhaustive tant il existe de méthodes d'empreintes en prothèse complète. En revanche, elle passe en revue ceux qui sont le plus classiquement utilisés.

4.2 Résultats

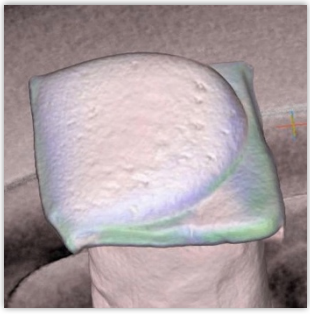
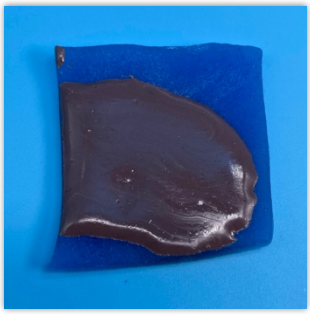
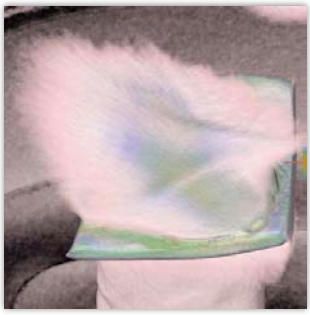
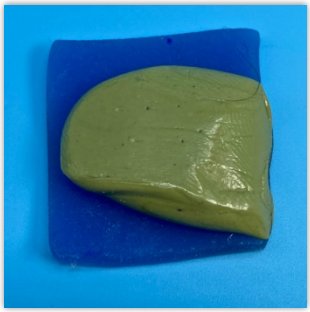
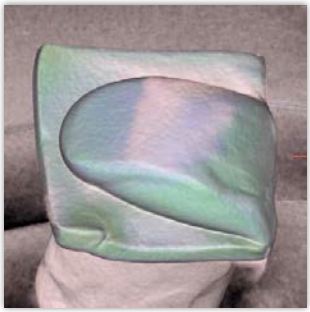
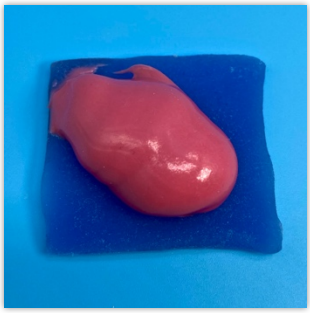
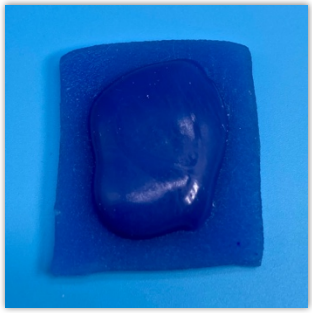
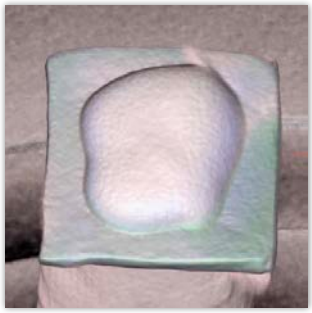
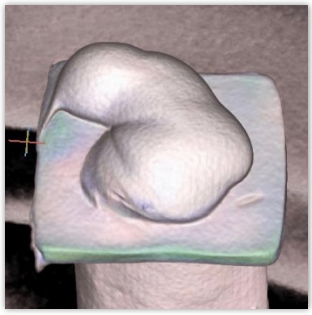
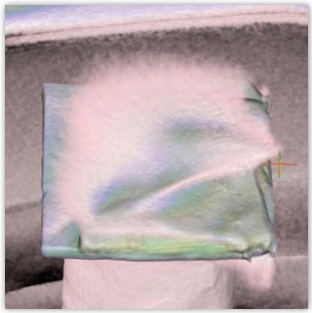
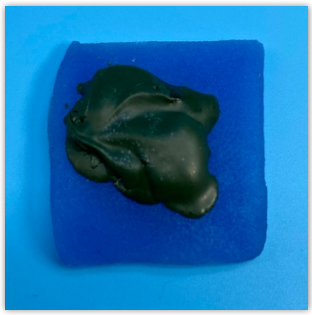
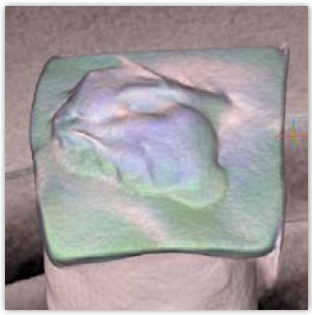
Matériau	Visuel physique	Visuel numérique	Qualité
Alginate			**Excellente**
Permlastic® Light			**Mauvaise**
Bisico Function®			**Excellente**
Permadyne® Orange (Heavy)			**Excellente**

Tableau n°17 : Rendu numérique au cone beam des matériaux utilisés pour les empreintes de prothèse amovible complète [source personnelle]

Matériau	Visuel physique	Visuel numérique	Qualité
Permadyne® Bleue (Light)			**Excellente**
Impregum®			**Excellente**
Impression Paste® SS WHITE			**Mauvaise**
Pâte de Kerr			**Excellente**

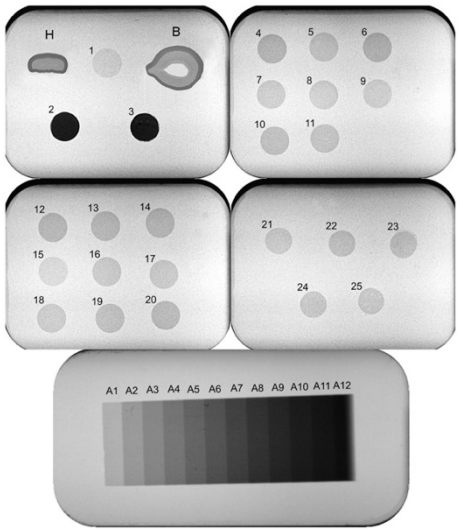
<u>Tableau n°18</u> : Rendu numérique au cone beam des matériaux utilisés pour les empreintes de prothèse amovible complète [source personnelle]

Tous les matériaux donnent une grande précision après numérisation au CBCT (notamment dans le rendu tridimensionnel), à l'exception du Permlastic® Light et de l'Impression Paste® SS WHITE qui semblent créer des artéfacts.

4.3 Dans la littérature

Dans la littérature, le comportement radiographique des matériaux d'empreinte au cone beam ne fait pas l'objet de publications. En revanche, une étude a été réalisée en 2009 pour étudier la radiodensité de 25 matériaux différents. Pour la prothèse amovible complète, les 3 classes de matériaux qui retiennent notre attention sont :

- Les **polysulfures** (Permlastic® Light et Permlastic® Regular)
- Les **polyéthers** (Impregum® Penta Soft)
- Les **alginates** (Jeltrate, Hydrogum et Ezact Krom)

<table>
<tr><th colspan="2"><u>Titre :</u> « Radiodensity evaluation of dental impression materials in comparison to tooth structures » [24]</th></tr>
<tr><td>Auteurs</td><td>FONSECA RB, BRANCO CA, HAITER-NETO F, GONÇALVES L, SOARES CJ, CARLO HL, SINHORETI MAC, CORRER-SOBRINHO L</td></tr>
<tr><td>Objectifs</td><td>Déterminer la radiodensité de différents matériaux d'empreinte, et établir une comparaison avec celle de l'émail et de la dentine.</td></tr>
<tr><td>Méthodologie</td><td>25 matériaux d'empreintes, de 5 familles différentes, sont étudiés :
Silicone par addition et par condensation
Polyéthers
Polysulfures
Alginates
Cinq échantillons d'1 mm d'épaisseur de chaque matériau sont réalisés. Ils sont évalués 3 fois chacun, après exposition aux rayons X. Des plaques d'aluminium font office de référence et servent de comparatif aux résultats.
 

<u>Figure n°32</u> : Échantillons des matériaux testés [24]</td></tr>
</table>

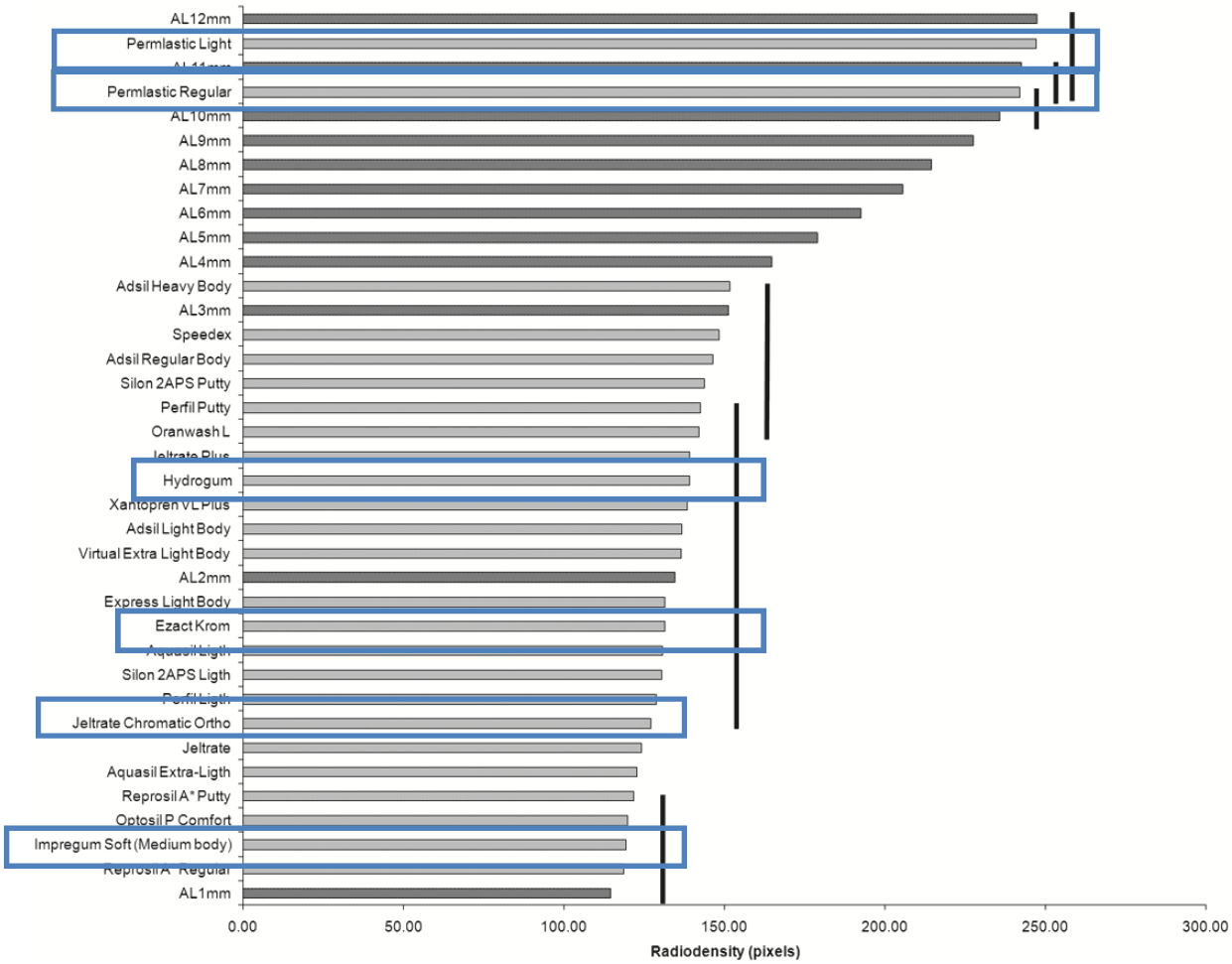
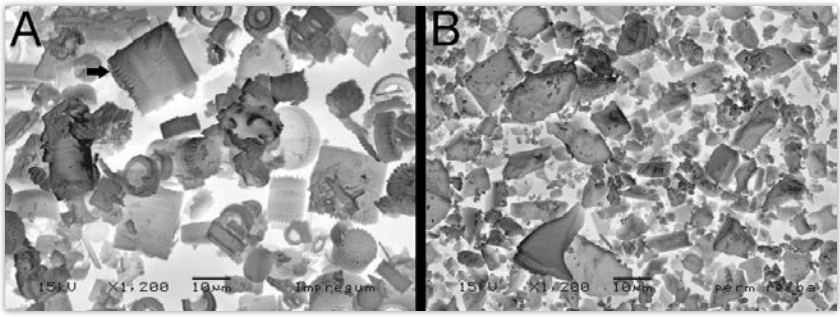


Figure n°33 : Comparaison de la radiodensité de matériaux d'empreinte avec des feuilles d'aluminium d'épaisseur variable [24]

Résultats	Chaque famille de matériau présente une radiodensité très variable. • Celle des polysulfures est similaire à l'émail humain • Celle des silicones par addition putty est similaire à la dentine humaine  **Figure n°34 : Observation au microscope électronique à balayage de l'Impregum® Penta Soft (A) et du Permlastic® Regular (B) [24]**

Aux vues des résultats de cette étude et de la partie 4.2, les polysulfures risquent de poser problème dans le traitement d'une empreinte secondaire de prothèse amovible complète après numérisation au cone beam.

5 Traitement numérique de l'empreinte : de l'acquisition CBCT aux modèles virtuels positifs

Comme évoqué dans la partie 3.4, il existe des logiciels très puissants (notamment Geomagic Design X) permettant d'exploiter l'empreinte après scanner au CBCT. Cependant, ils nécessitent l'acquisition d'une licence. Des logiciels libres et des Freeware proposent également des outils offrant la même finalité, malgré un nombre d'étapes et de manipulations supérieur et moins aisé.

Ainsi, ce chapitre détaille une méthode développée dans le cadre de ce travail en utilisant le logiciel **MeshMixer** afin de réaliser le traitement complet de l'empreinte, de son acquisition au cone beam jusqu'aux modèles virtuels positifs.

5.1 Exportation du fichier STL de l'empreinte

Toutes les données acquises par le cone beam vont être, dans un premier temps, exportées sous la forme d'un **fichier STL** (pour **ST**éréo**L**ithographie), qui décrit un objet par sa surface externe. C'est celui-ci qui va servir de base de travail pour la réalisation des modèles positifs.

Pour ce faire, dans le logiciel **EZ-3Di**, il s'agit d'aller dans « *Menu Principal* », et de sélectionner « *Exporter le modèle de surface* ». La fenêtre qui apparaît ainsi laisse le choix de plusieurs paramètres, qu'il convient de sélectionner de la manière suivante :

Paramètres d'exportation du fichier STL	
Format de fichier	Binaire Note : le mode « ASCII » risque, au vu du nombre de triangles inclus dans le scan, de rendre le fichier beaucoup trop volumineux
Lissage	Moyen
Taille du fichier	100 %
Exporter les données	Tomodensitométrie ou CT

Tableau n°19 : Paramètres d'exportation du fichier STL de l'empreinte numérisée au CBCT [source personnelle]

Enfin, le dernier point à régler concernant cette étape concerne la « Valeur ISO ». Le curseur présenté en bas permet d'inclure un plus ou moins grand nombre de points dans le fichier STL exporté. Pour toutes les empreintes scannées, il était nécessaire de le déplacer vers la gauche pour en inclure le juste nombre et ainsi obtenir la meilleure restitution possible de la numérisation.

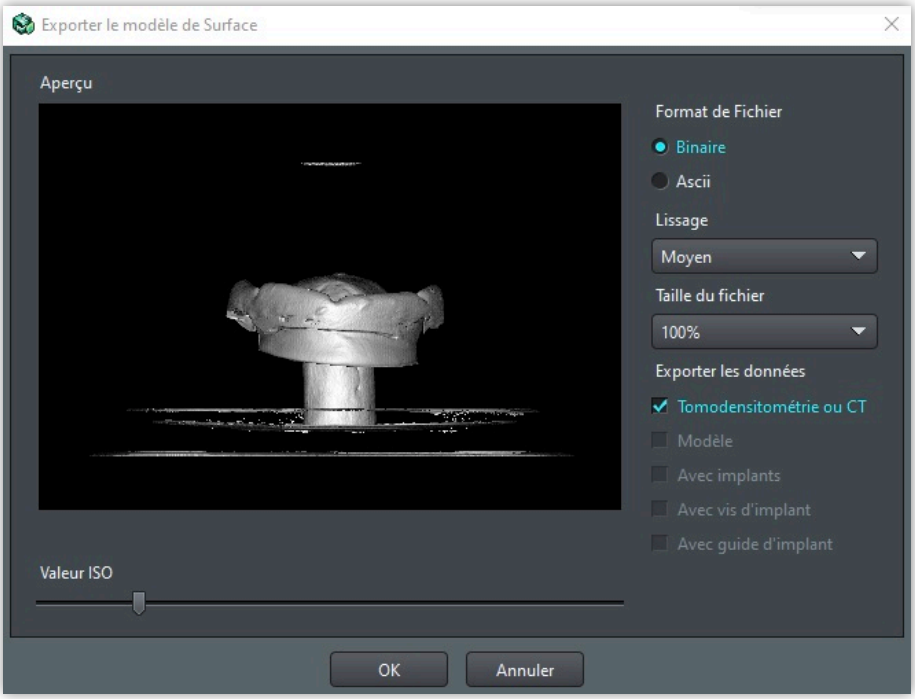


Figure n°35 : Menu d'exportation du modèle de surface (logiciel EZ-3Di) [illustration personnelle]

5.2 Détourage de l'empreinte

Nous allons ici utiliser **MeshMixer** afin de réaliser un « détourage » de l'empreinte exportée dans la partie précédente via EZ-3Di.

Lorsque l'on ouvre le logiciel, on va d'abord sélectionner « *Import* ». L'ensemble des éléments tridimensionnels exportés, ce qui inclus aussi des données inintéressantes voire gênantes au traitement de l'empreinte.

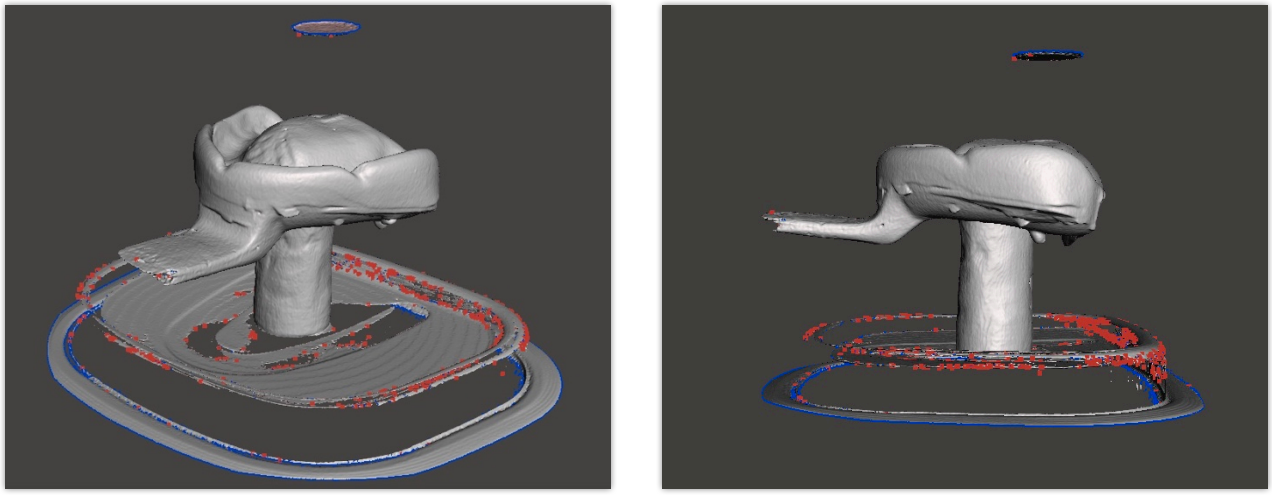


Figure n°36 : Modèle « brut » d'une empreinte après importation dans le logiciel MeshMixer (vue de ¾ à gauche et vue latérale à droite) [illustration personnelle]

On va ainsi cliquer sur l'outil « *Select* » dans le menu de gauche.

En utilisant le « *Lasso* », il s'agit dans un premier temps d'isoler les gros excès de l'empreinte, notamment le support VATECH. Une fois ceci fait, on sélectionne « *Edit* » puis « *Discard* » (qui correspond à la touche « X ») afin d'éliminer ces excédents.

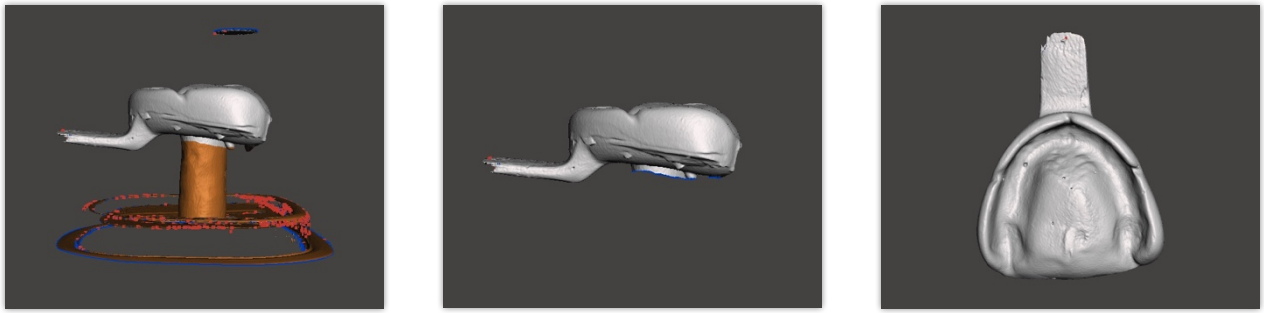


Figure n°37 : Détourage de l'empreinte grâce à l'outil « Lasso » de MeshMixer [illustration personnelle]

Par ailleurs, il est intéressant d'utiliser la molette de manipulation dans l'espace du fichier STL, situé en haut à droite de l'écran, afin de l'orienter rigoureusement dans l'espace. Là où pour cette première étape une vue latérale (« *Left* » ou « *Right* ») du fichier aide grandement à son détourage, pour la suivante on utilisera la vue du dessus (« *Top* »).

Ainsi, on va finir ce détourage en sélectionnant l'ensemble de la surface d'appui avec cette fois-ci l'outil « *Brush* », dont on peut affiner l'épaisseur afin de prendre en compte tous les détails enregistrés durant l'empreinte primaire ou secondaire.

Une fois que ceci est fait, la toute dernière étape consiste à utiliser « *Edit* » puis « *Separate* » (qui correspond à la touche « Y »). Une fenêtre « *Object Browser* » apparaît ainsi, et il ne reste plus qu'à enregistrer le fichier STL obtenu.

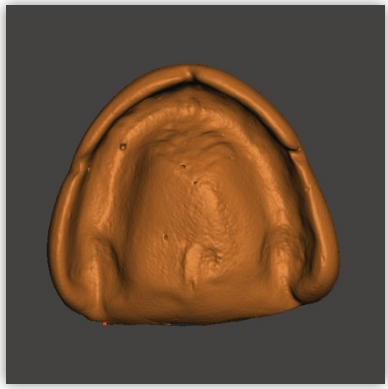


Figure n°38 : Sélection de la surface d'appui [illustration personnelle]

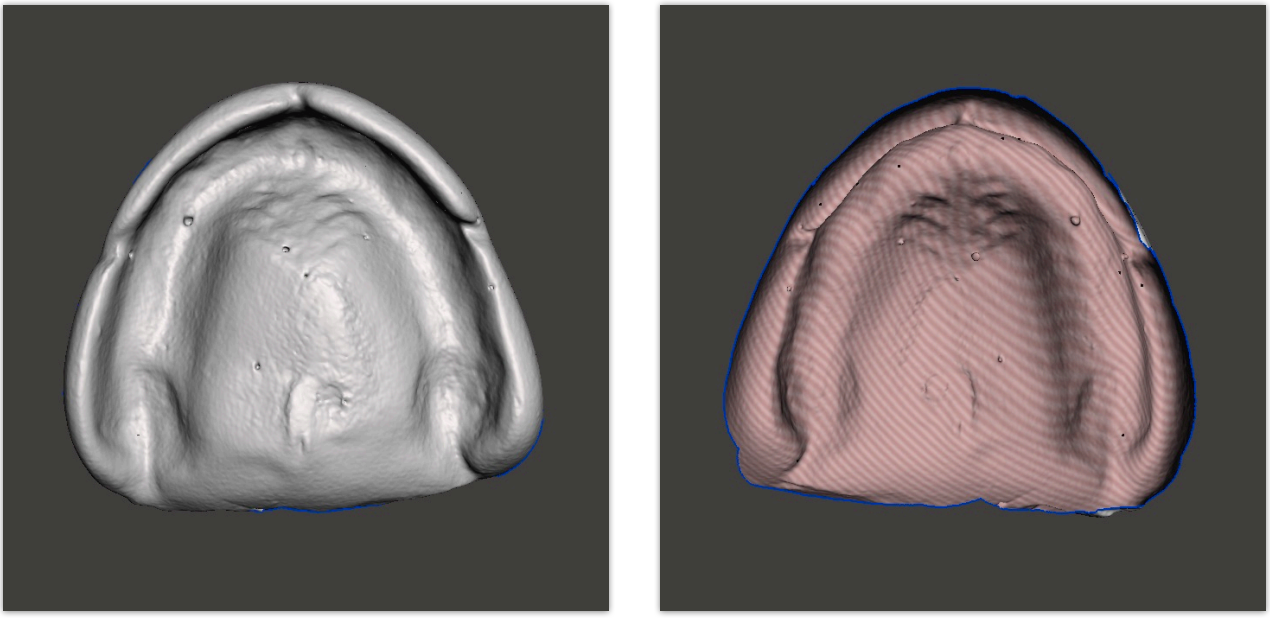
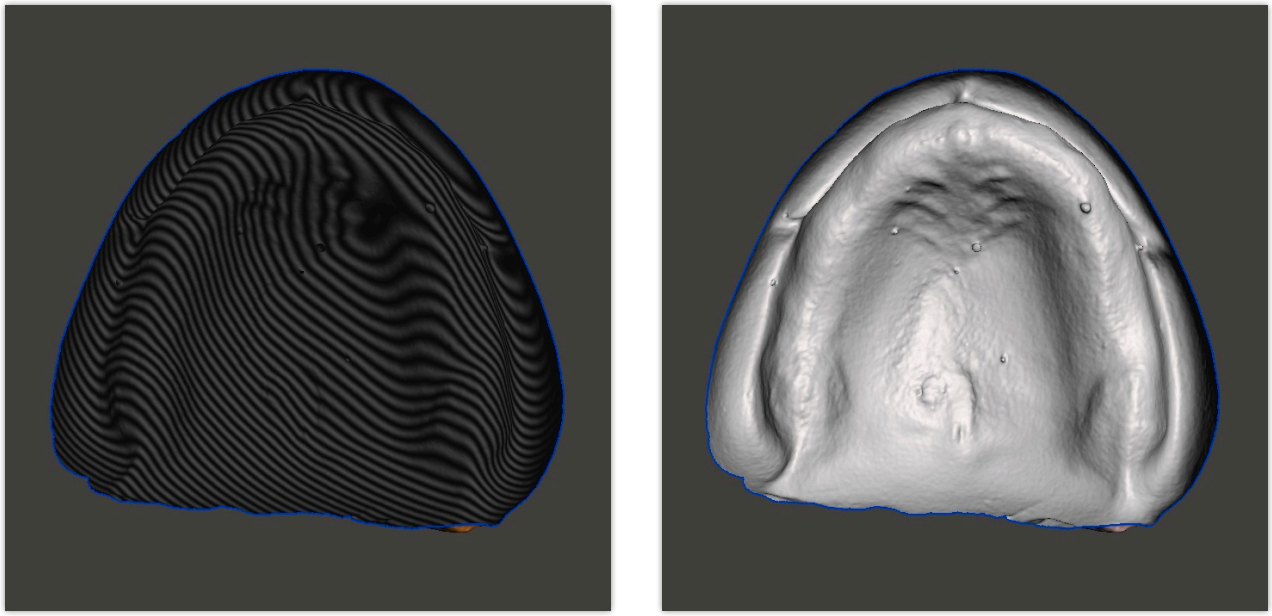


Figure n°39 : Rendu final de l'empreinte après détourage dans le logiciel MeshMixer [illustration personnelle]

Cependant, ce détourage est insuffisant car il n'offre que la surface de l'empreinte et non pas son positif. En effet, si l'on y regarde de plus près, le positif de l'empreinte est une surface vide. Il s'agit dorénavant de « solidifier » la surface d'appui.

5.3 Conversion en modèle positif

Dans un premier temps, on va sélectionner l'ensemble de l'empreinte en faisant Cmd + A. Une fois sélectionnée, la surface d'appui apparaît rayée, et dans le menu « *Edit* » il ne reste qu'à cliquer sur « *Flip Normals* », afin de convertir l'empreinte en positif.



<u>Figure n°40</u> : Rendu final de l'empreinte après conversion de l'empreinte détourée en surface positive dans le logiciel MeshMixer [illustration personnelle]

Pour cette dernière étape, une autre méthode avait été initialement développée à l'aide du logiciel **Blender**. Bien qu'équivalente en terme de finalité, elle s'avérait bien plus chronophage et source d'erreurs à différentes étapes de la manipulation du fichier STL, et nécessitait l'utilisation de 2 logiciels distincts là où toutes les étapes sont ici faites sur MeshMixer. Le protocole est facile, et sa durée d'exécution rapide en comparaison d'un traitement d'empreinte conventionnel.

On obtient ainsi un modèle positif ayant conservé l'ensemble des données de l'empreinte primaire ou secondaire numérisée au cone beam.

6 Résultats et comparaison des traitements traditionnel et numérique de l'empreinte

6.1 Comparaison des modèles en plâtre et des modèles numériques par « matching » : utilisation de la distance de Hausdorff

Lorsque les 2 empreintes primaires et les 4 empreintes secondaires de référence sont réalisées :

- Chacune d'elle est numérisée au CBCT selon le procédé expliqué dans la partie 3.3 et exploitée numériquement comme détaillé dans la partie 5
- Chacune d'elle est traitée selon les méthodes classiques de laboratoire expliquées dans les parties 1.5 et 2.5

Ainsi, pour chaque empreinte, 2 modèles sont obtenus :

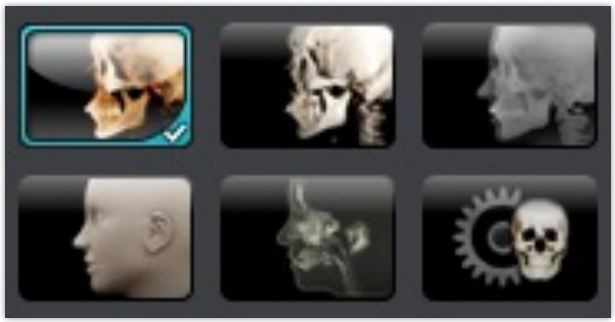
- Le premier est le modèle primaire ou secondaire en plâtre
- Le second est le modèle positif issu de la numérisation au cone beam

Les modèles en plâtre font office de référence. Ainsi, l'objectif sera d'étudier la fiabilité et la qualité du modèle numérique issu du CBCT en comparant par « matching » l'ensemble des surfaces d'appui des deux modèles.

Un outil mathématique permet d'effectuer cette comparaison : il s'agit de la **distance de Hausdorff**, qui mesure l'éloignement de deux sous-ensembles d'un espace métrique [25]. On l'utilise régulièrement en analyse d'image, et le logiciel MeshLab intègre un algorithme permettant son calcul. Le « matching » des surfaces des modèles en plâtre et des modèles numériques donnera une cartographie des distances (appelée « Quality Mapper ») sous la forme d'une échelle de couleurs entre les deux méthodes, permettant ainsi une visualisation aisée et explicite des résultats de la comparaison.

Dans le logiciel EZ-3Di, l'onglet « Coloration VR » dans la barre de gauche permettra d'ajuster, pour certaines empreintes, la lisibilité de l'empreinte. Il existe 6 modes :

Teeth	**Bone**	**MIP**
Soft Tissue	**Soft Tissue 2**	**VR Coloring**



<u>Figure n°41</u> : Modes d'affichage de l'acquisition sur le logiciel EZ-3Di [illustration personnelle]

Le mode d'affichage utilisé pour visualiser les empreintes sera « Soft Tissue ». Cependant, et comme expliqué par la suite, le mode « Bone » produit un meilleur rendu pour certains cas (notamment concernant les empreintes secondaires surfacées au Permlastic® Light et à l'Impression Paste® SS WHITE).

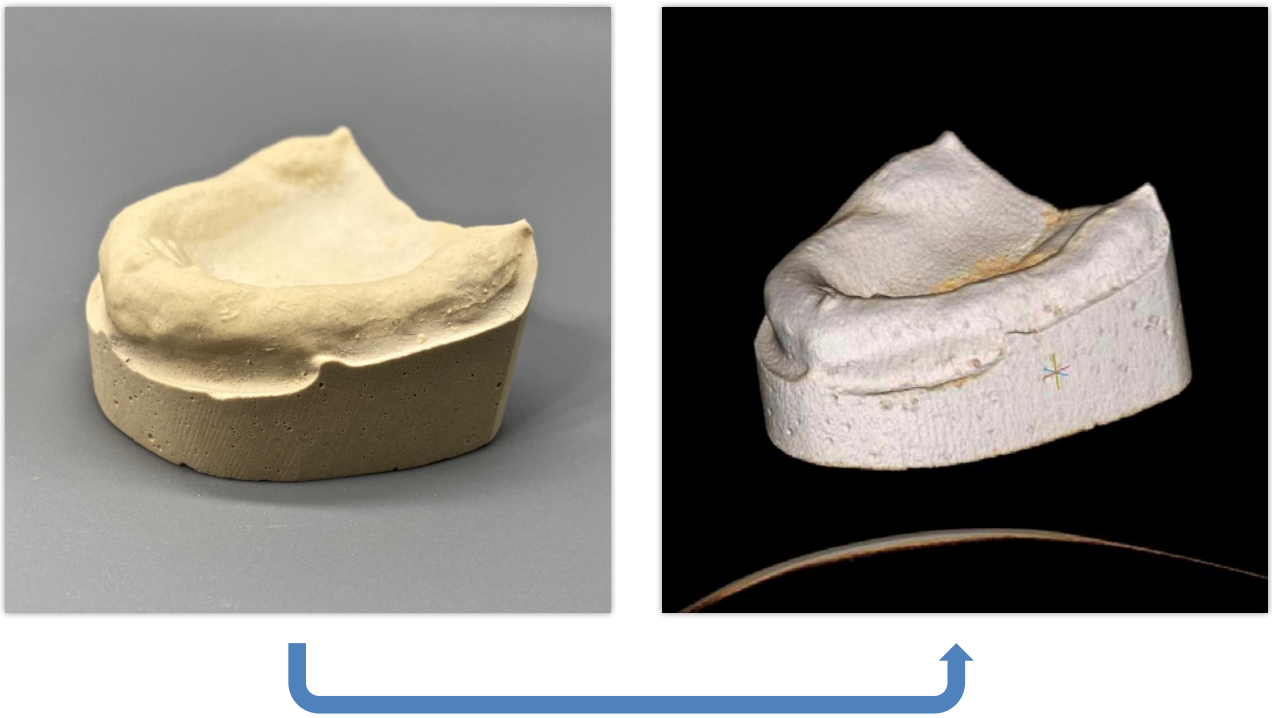


Figure n°42 : Exemple d'un modèle primaire scanné au cone beam en vue du « matching » avec son empreinte préalablement numérisée [photographie et illustration personnelles]

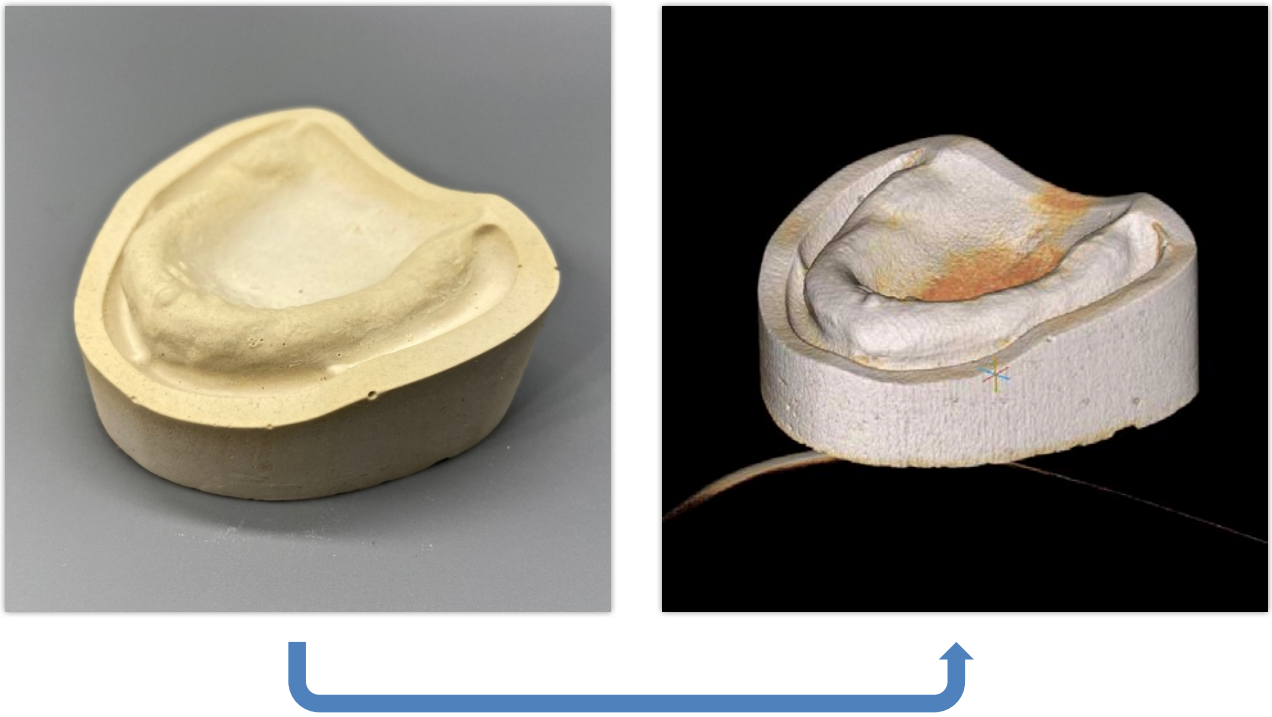


Figure n°43 : Exemple d'un modèle secondaire scanné au cone beam en vue du « matching » avec son empreinte préalablement numérisée [photographie et illustration personnelles]

6.2 *Résultats pour les empreintes primaires*

6.2.1 Alginate 2 temps / 2 viscosités avec porte-empreinte plastique

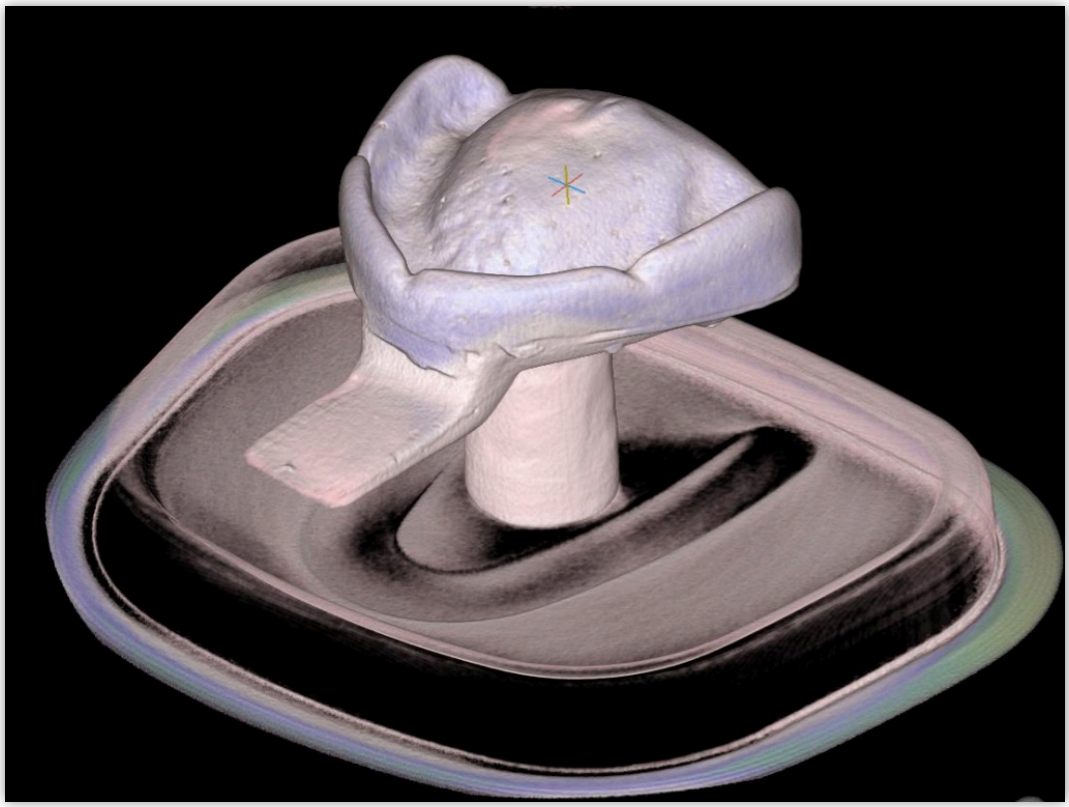


Figure n°44 : Reconstitution 3D de l'empreinte primaire à l'alginate 2 temps / 2 viscosités avec porte-empreinte plastique [illustration personnelle]

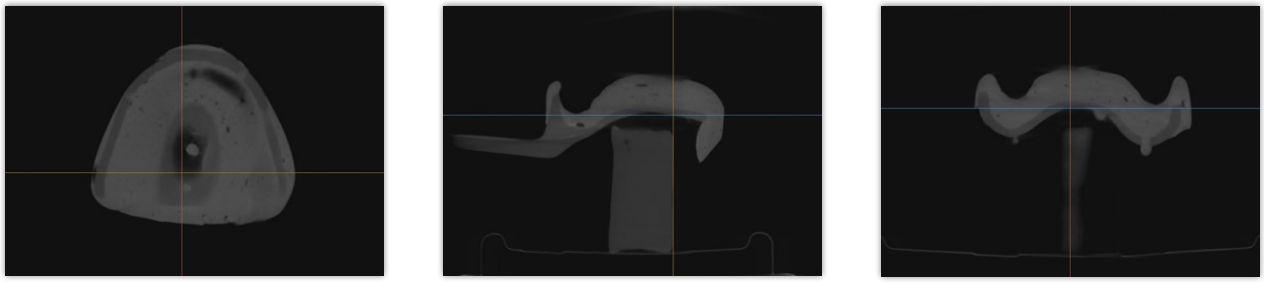


Figure n°45 : Coupes au CBCT de l'empreinte primaire dans les plans transversal (gauche), sagittal (milieu) et frontal (droite) [illustration personnelle]

Résultat

L'empreinte primaire à l'alginate 2 temps / 2 viscosités **avec porte-empreinte plastique** offre un rendu impeccable. Comme on peut le constater par la suite sur le comparatif des surfaces du modèle numérique et du modèle physique, la précision est remarquable et le matching s'avère quasiment intégral.

6.2.2 Alginate 2 temps / 2 viscosités avec porte-empreinte métallique

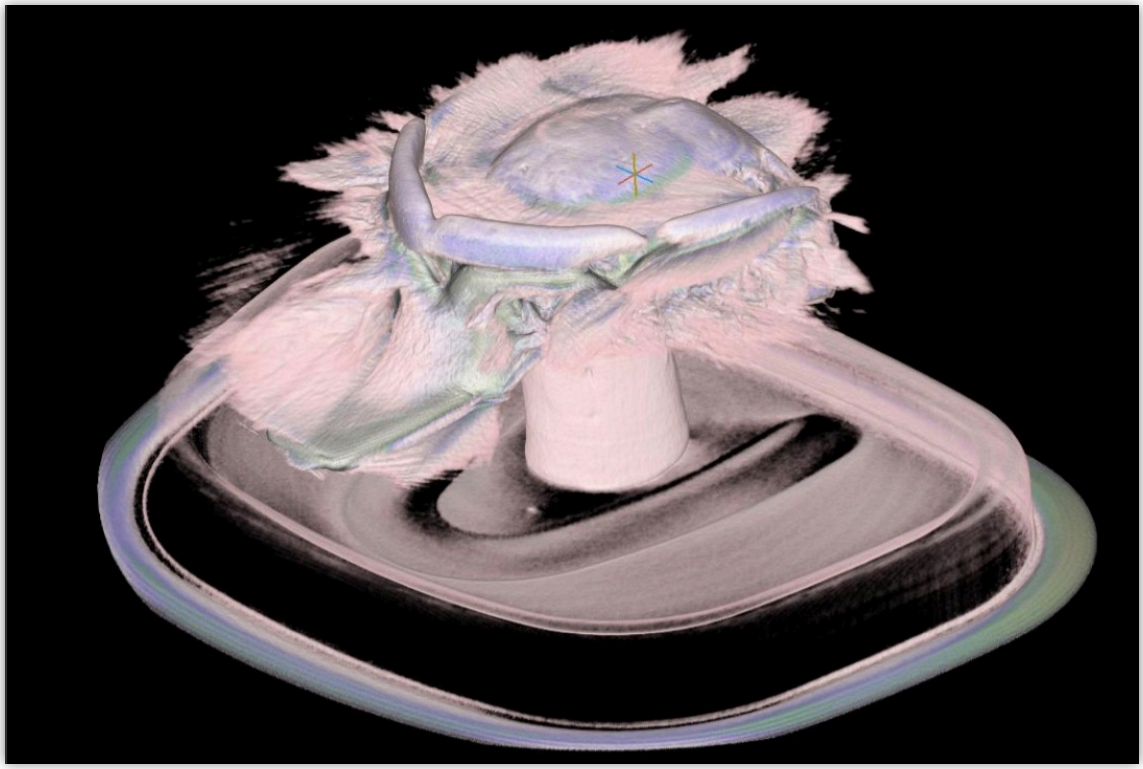


Figure n°46 : Reconstitution 3D de l'empreinte primaire à l'alginate 2 temps / 2 viscosités avec porte-empreinte métallique [illustration personnelle]

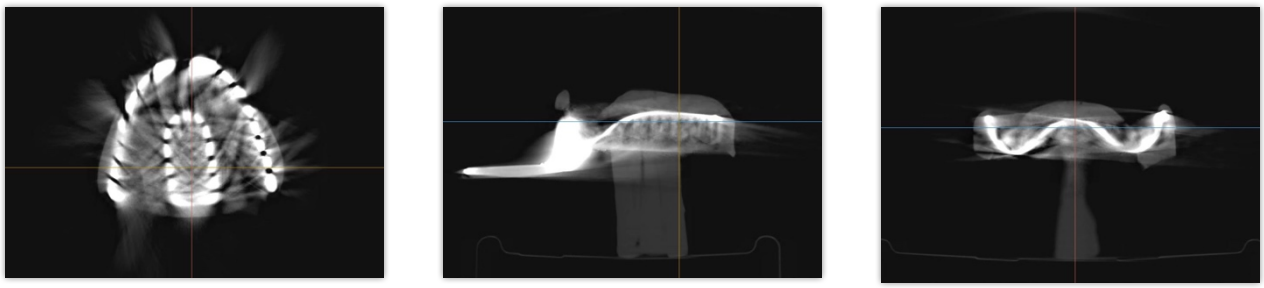


Figure n°47 : Coupes au CBCT de l'empreinte primaire dans les plans transversal (gauche), sagittal (milieu) et frontal (droite) [illustration personnelle]

Résultat

L'empreinte primaire à l'alginate 2 temps / 2 viscosités **avec porte-empreinte métallique** propose un rendu visuel très anarchique, surtout en comparaison de l'empreinte précédente. Cela se confirme ensuite, sans surprise, lors du matching avec le modèle en plâtre, qui montre un modèle numérique totalement inexploitable.

6.3 Résultats pour les empreintes secondaires

6.3.1 Marginage au Bisico Function® / Surfaçage au Permlastic® Light

Figure n°48 : Reconstitution 3D de l'empreinte secondaire avec marginage au Bisico Function® et surfaçage au Permlastic® Light [illustration personnelle]

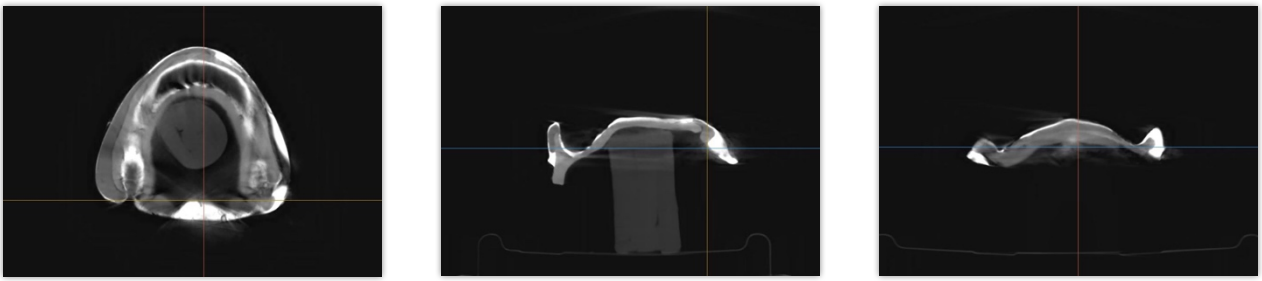


Figure n°49 : Coupes au CBCT de l'empreinte secondaire dans les plans transversal (gauche), sagittal (milieu) et frontal (droite) [illustration personnelle]

Résultat

L'empreinte secondaire avec marginage au Bisico Function® et surfaçage au Permlastic® Light montre un résultat mitigé. Le rendu surfacique s'avère meilleur avec le mode « Bone », mais des imprécisions de surface altèrent la qualité globale de l'empreinte.

6.3.2 Marginage à la Permadyne® Orange / Surfaçage à la Permadyne® Bleue

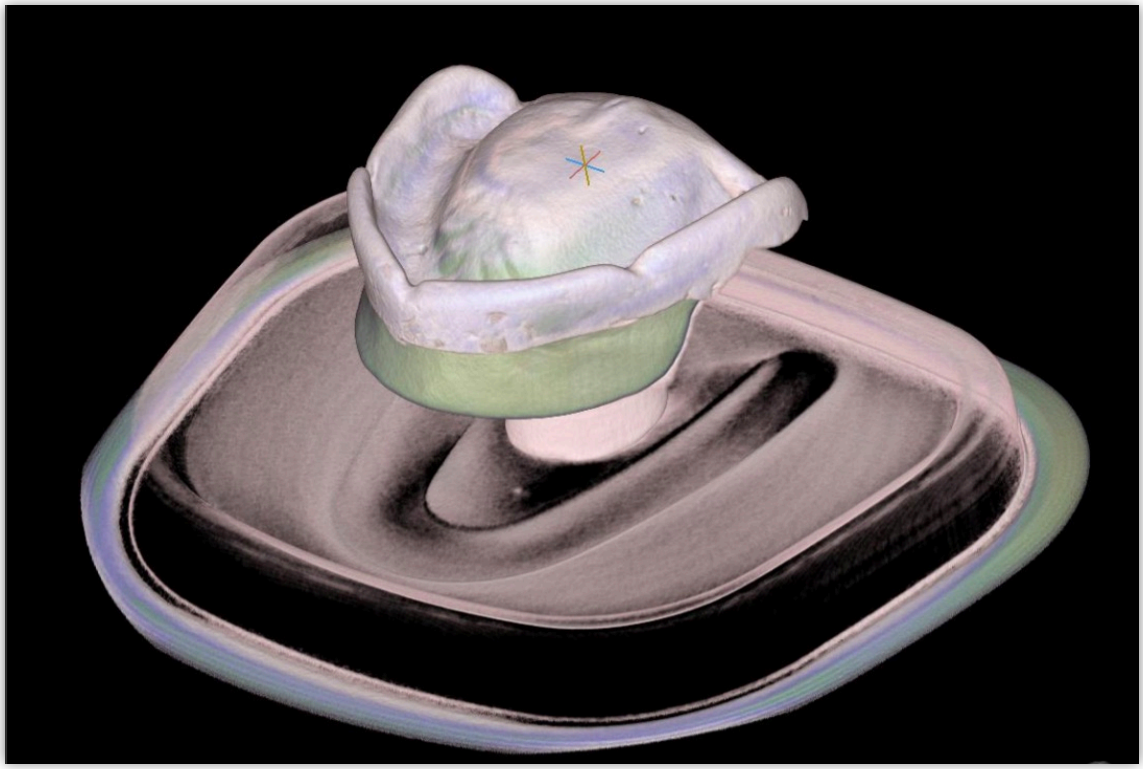


Figure n°50 : Reconstitution 3D de l'empreinte secondaire avec marginage à la Permadyne® Orange et surfaçage à la Permadyne® Bleue [illustration personnelle]

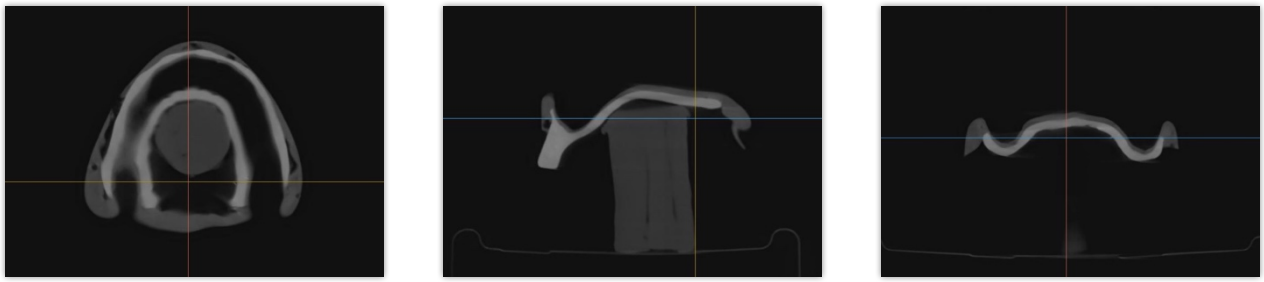


Figure n°51 : Coupes au CBCT de l'empreinte secondaire dans les plans transversal (gauche), sagittal (milieu) et frontal (droite) [illustration personnelle]

Résultat

L'empreinte secondaire avec marginage à la Permadyne® Orange et surfaçage à la Permadyne® Bleue offre un excellent rendu. La distance de Hausdorff calculée démontre une grande fidélité du modèle issu de la numérisation CBCT par rapport au modèle de référence, et un matching presque total entre les deux solutions.

6.3.3 Marginage à la pâte de Kerr / Surfaçage à l'Impregum®

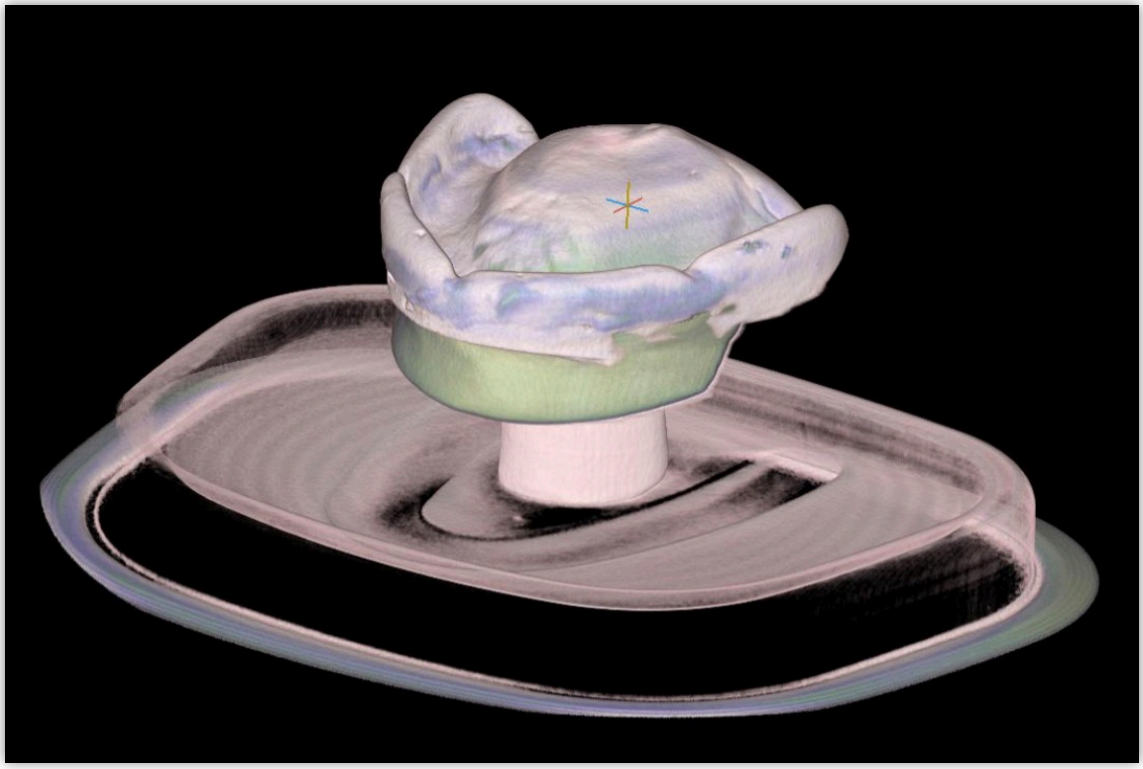


Figure n°52 : Reconstitution 3D de l'empreinte secondaire avec marginage à la pâte de Kerr et surfaçage à l'Impregum® [illustration personnelle]

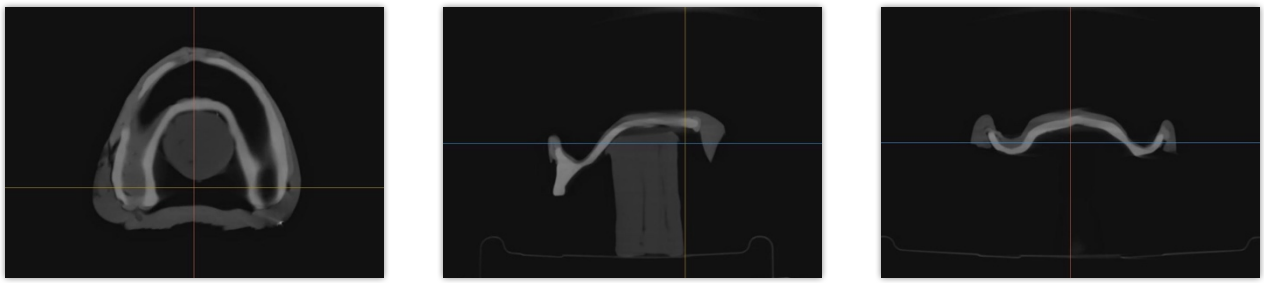


Figure n°53 : Coupes au CBCT de l'empreinte secondaire dans les plans transversal (gauche), sagittal (milieu) et frontal (droite) [illustration personnelle]

Résultat

L'empreinte secondaire avec marginage à la pâte de Kerr et surfaçage à l'Impregum® offre un excellent rendu. Le résultat final est identique à celui obtenu avec l'empreinte avec Permadyne® Orange et Bleue.

6.3.4 Marginage à la pâte de Kerr / Surfaçage à l'Impression Paste® SS WHITE

Figure n°54 : Reconstitution 3D de l'empreinte secondaire avec marginage à la pâte de Kerr et surfaçage à l'Impression Paste® SS WHITE [illustration personnelle]

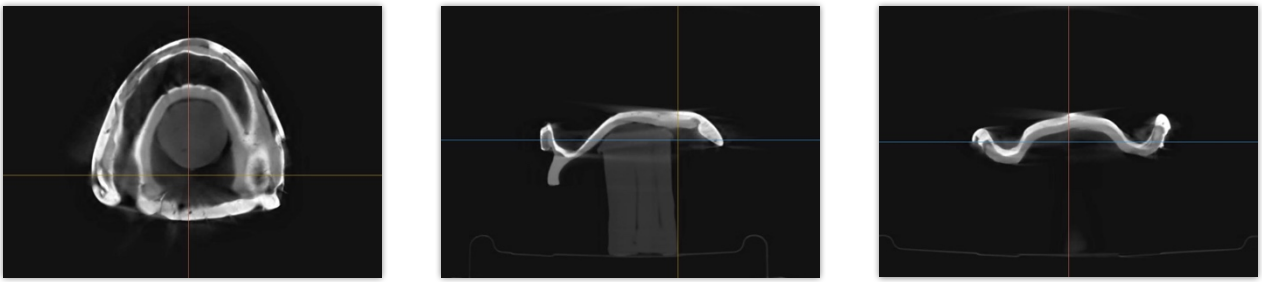


Figure n°55 : Coupes au CBCT de l'empreinte secondaire dans les plans transversal (gauche), sagittal (milieu) et frontal (droite) [illustration personnelle]

Résultat

L'empreinte secondaire avec marginage à la pâte de Kerr et surfaçage à l'Impression Paste® SS WHITE donne un rendu similaire à l'empreinte surfacée au Permlastic Light. Bien qu'exploitable dans le mode « Bone », certaines zones sont imprécises et n'offrent pas le résultat voulu (c'est-à-dire celui des empreintes secondaires aux polyéthers).

6.4 « Matching » des numérisations avec les modèles en plâtre

6.4.1 Empreintes primaires

6.4.1.1 Alginate 2 temps / 2 viscosités avec porte-empreinte plastique

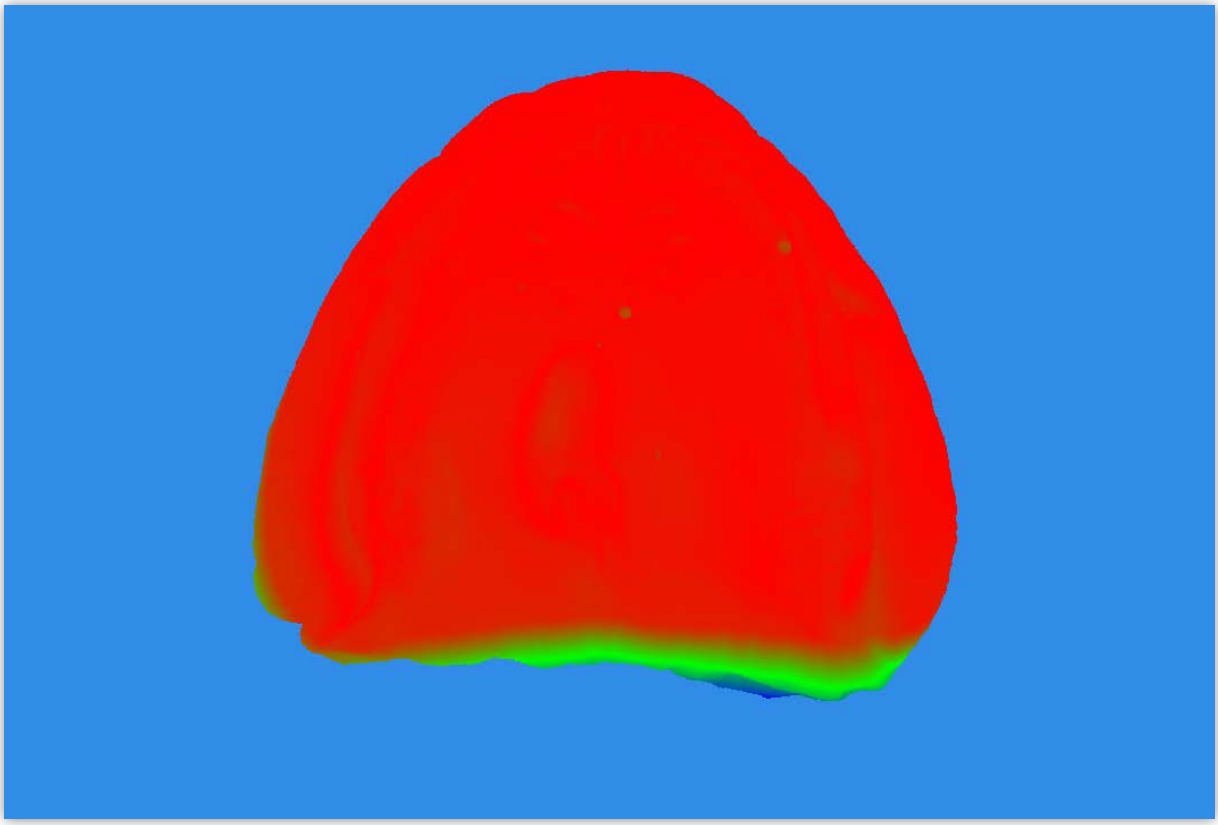


Figure n°56 : Matching entre le modèle numérique et le modèle en plâtre de l'empreinte primaire à l'alginate 2 temps / 2 viscosités avec porte-empreinte plastique [illustration personnelle]

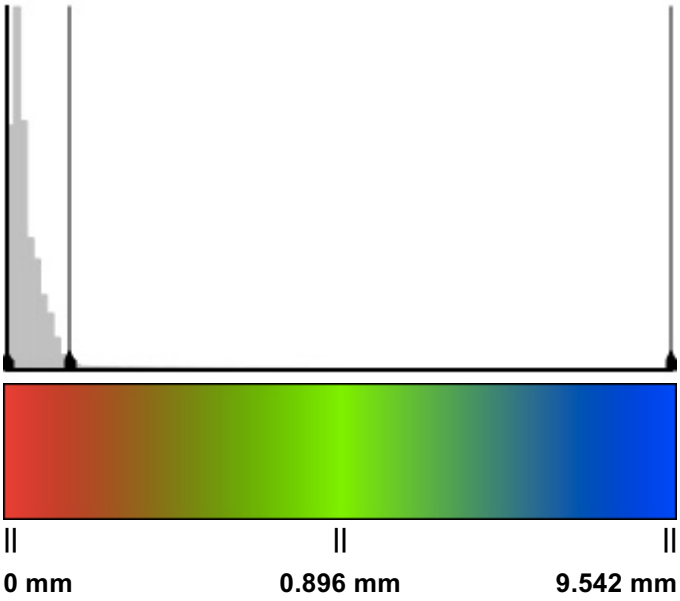


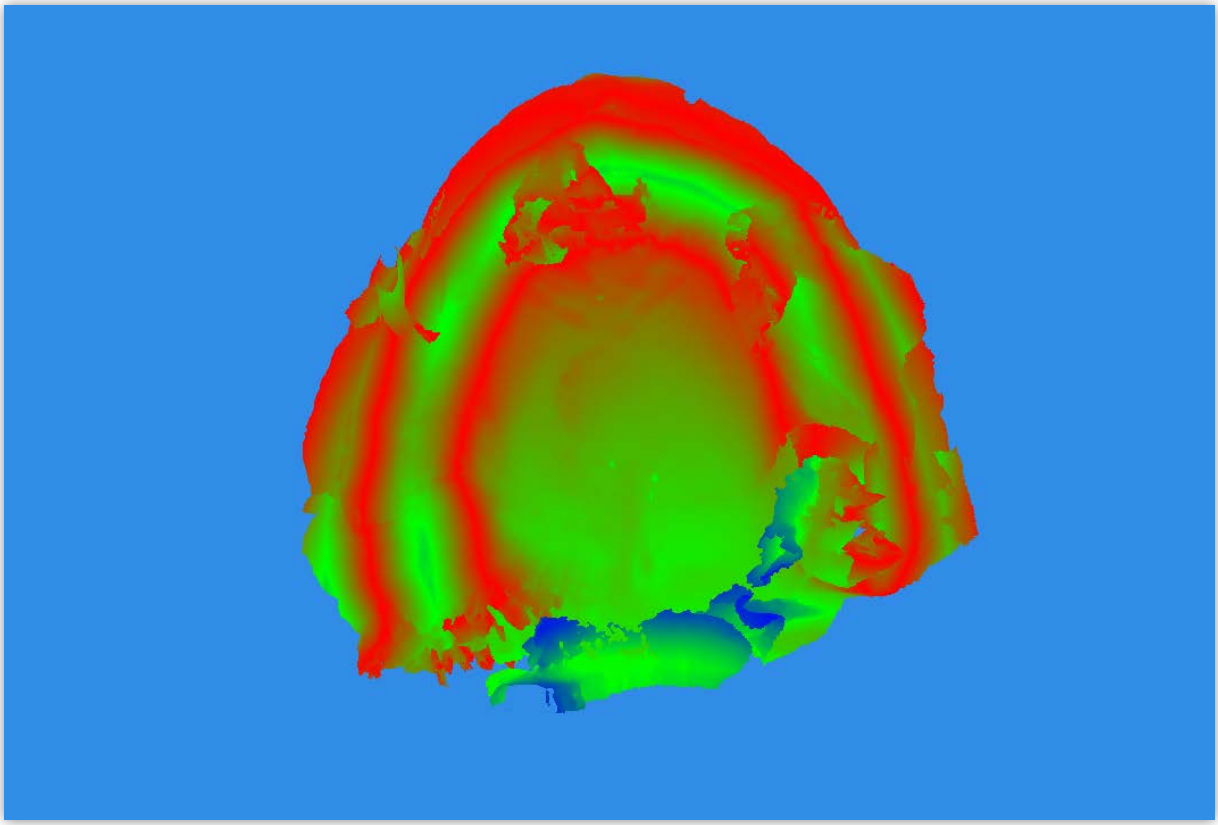
Figure n°57 : Distribution de la distance entre la surface des 2 modèles [illustration personnelle]

Analyse

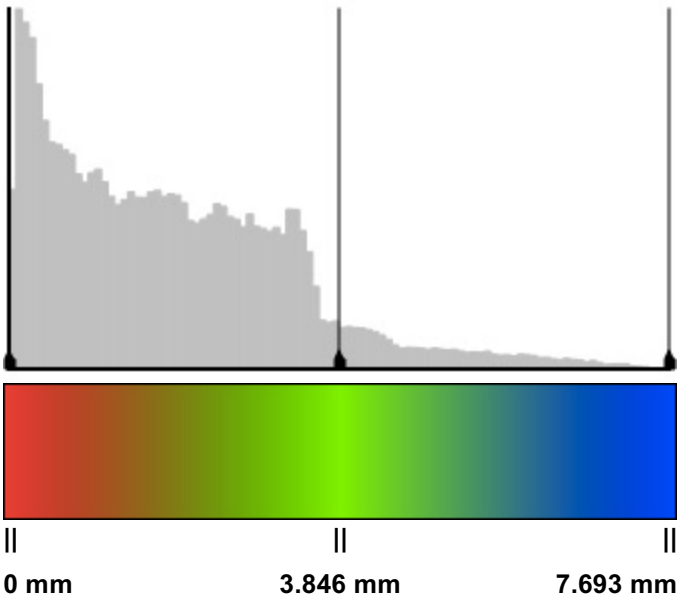
Comme le montrent les chiffres, l'écart entre les 2 modèles est quasiment nul et le matching presque intégral.

L'empreinte primaire à l'alginate avec porte-empreinte plastique est parfaite pour un traitement au cone beam.

6.4.1.2 Alginate 2 temps / 2 viscosités avec porte-empreinte métallique



<u>Figure n°58</u> : Matching entre le modèle numérique et le modèle en plâtre de l'empreinte primaire à l'alginate 2 temps / 2 viscosités avec porte-empreinte métallique de la série SCHREINEMAKERS [illustration personnelle]



<u>Figure n°59</u> : Distribution de la distance entre la surface des 2 modèles [illustration personnelle]

Analyse

Les résultats de la partie 6.3 laissaient envisager les valeurs obtenues ici. Un grand nombre de points se situent à environ 4 mm du modèle en plâtre.

Le porte-empreinte métallique empêche le traitement convenable de l'empreinte au cone beam.

6.4.2 Empreintes secondaires

6.4.2.1 Marginage au Bisico Function® / Surfaçage au Permlastic® Light

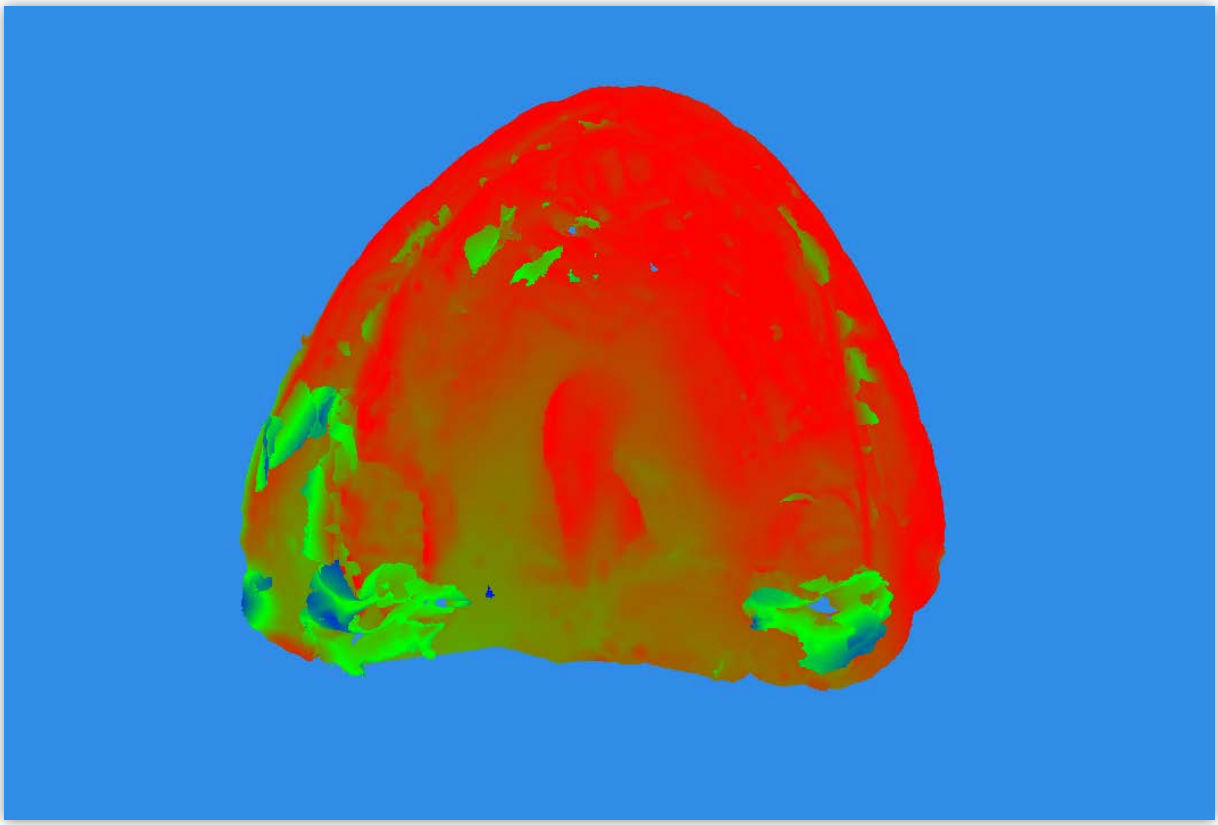


Figure n°60 : Matching entre le modèle numérique et le modèle en plâtre de l'empreinte secondaire avec marginage au Bisico Function® et surfaçage au Permlastic® Light [illustration personnelle]

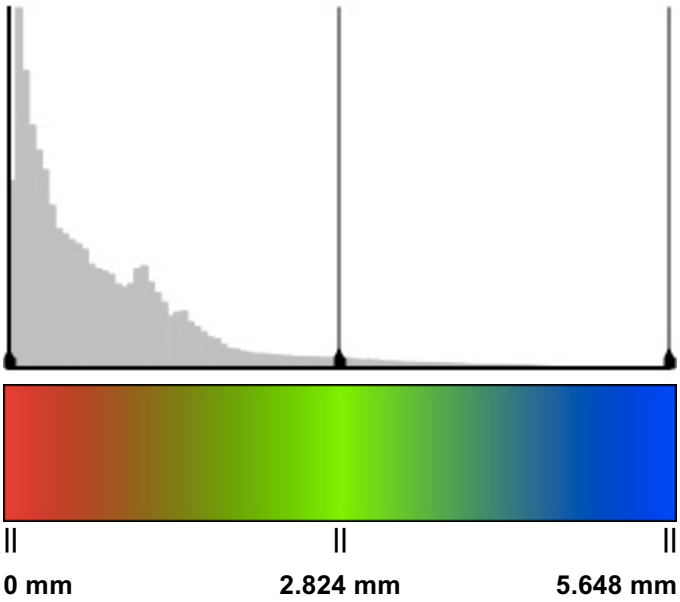


Figure n°61 : Distribution de la distance entre la surface des 2 modèles [illustration personnelle]

Analyse

Trop d'imprécisions vont gê l'exploitation d'une empreinte secondaire surfacée au Permlastic® Light.

Certaines zones ne matchent pas à presque 3 mm, surtout en postérieur et au niveau des ligaments ptérygo-maxillaires.

6.4.2.2 Marginage à la Permadyne® Orange / Surfaçage à la Permadyne® Bleue

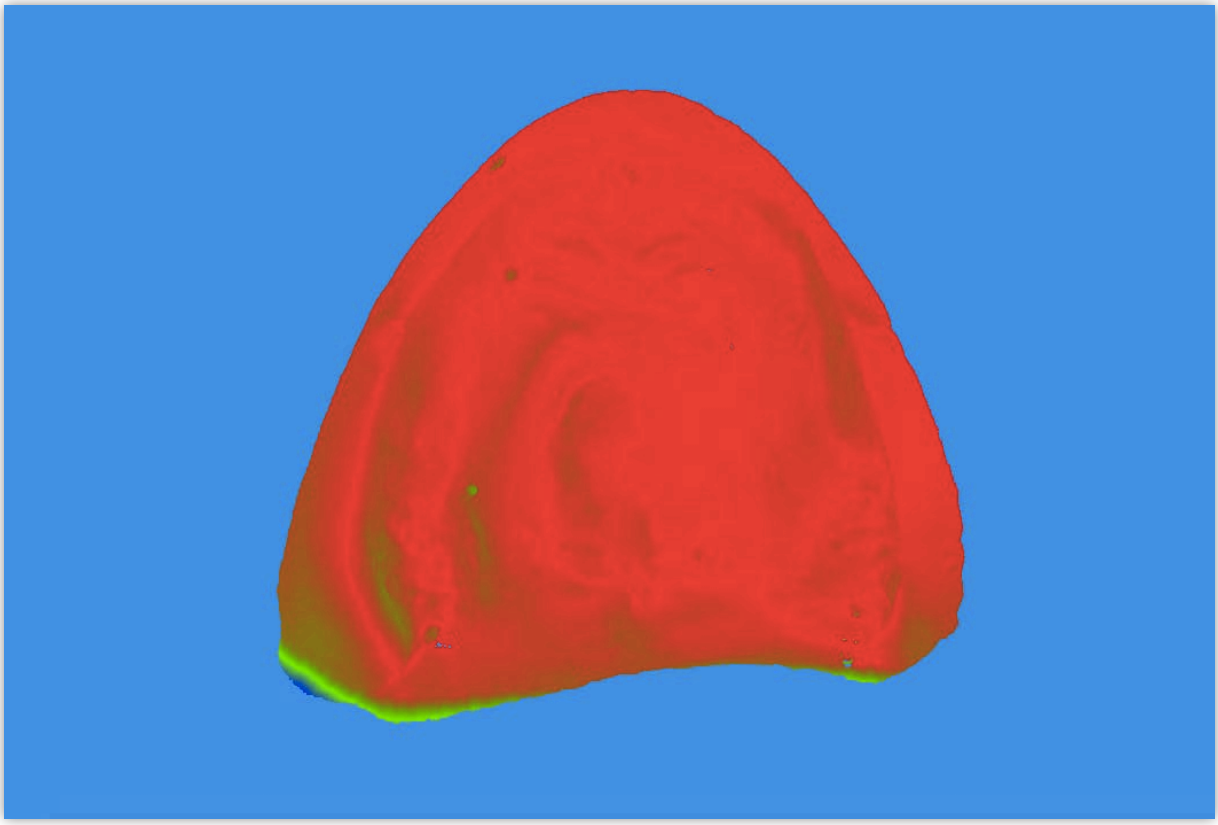


Figure n°62 : Matching entre le modèle numérique et le modèle en plâtre de l'empreinte secondaire avec marginage à la Permadyne® Orange et surfaçage à la Permadyne® Bleue [illustration personnelle]

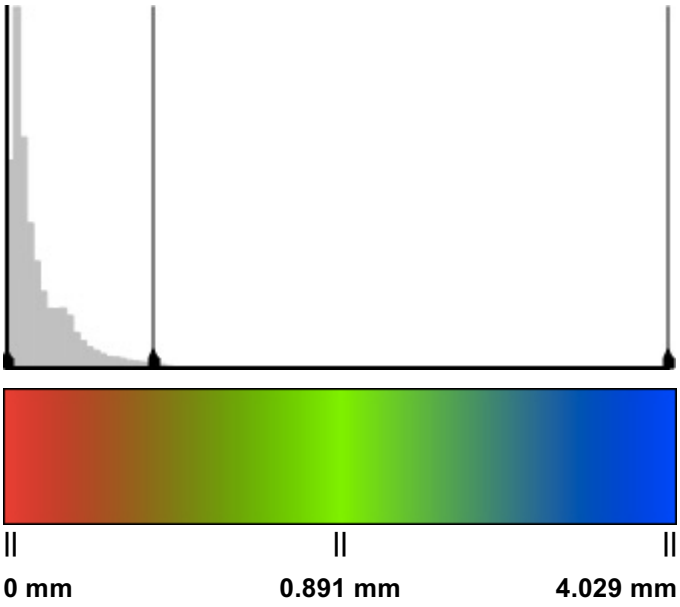


Figure n°63 : Distribution de la distance entre la surface des 2 modèles [illustration personnelle]

Analyse

Le matching s'avère ici excellent. Comme pour le cas d'une primaire à l'alginate avec porte-empreinte plastique, la totalité de cette empreinte secondaire aux polyéthers traitée au cone beam converge avec son modèle en plâtre.

6.4.2.3 Marginage à la pâte de Kerr / Surfaçage à l'Impregum®

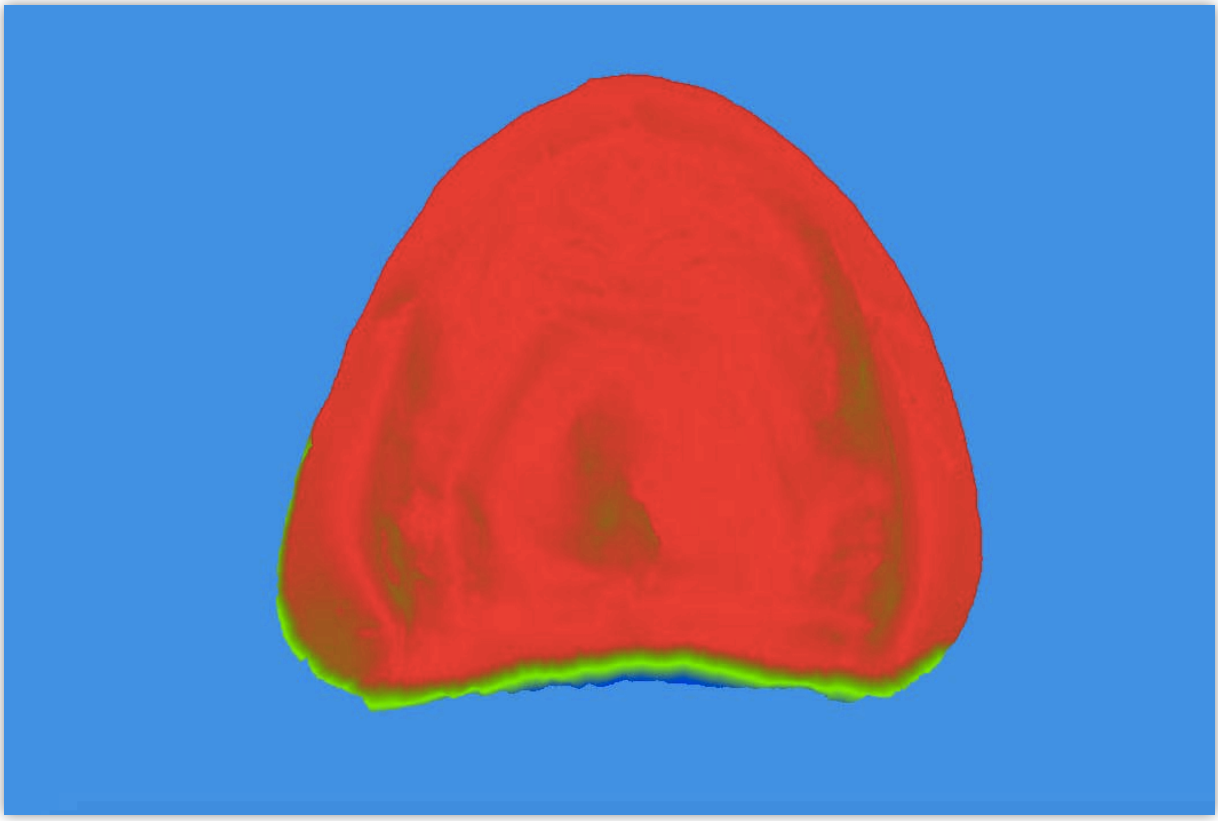


Figure n°64 : Matching entre le modèle numérique et le modèle en plâtre de l'empreinte secondaire avec marginage à la pâte de Kerr et surfaçage à l'Impregum® [illustration personnelle]

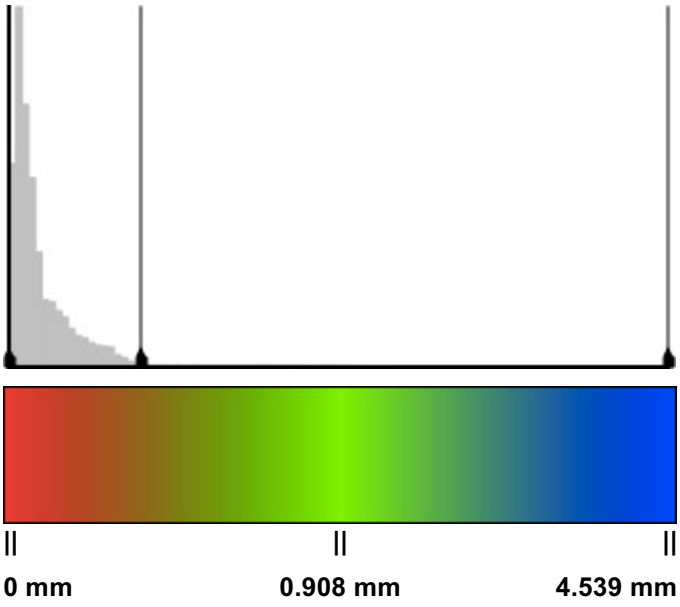


Figure n°65 : Distribution de la distance entre la surface des 2 modèles [illustration personnelle]

Analyse

Le résultat est identique à l'empreinte aux Permadyne®. Le matching avec le modèle en plâtre est retrouvé sur l'ensemble de cette empreinte surfacée à l'Impregum®.

6.4.2.4 Marginage à la pâte de Kerr / Surfaçage à l'Impression Paste® SS WHITE

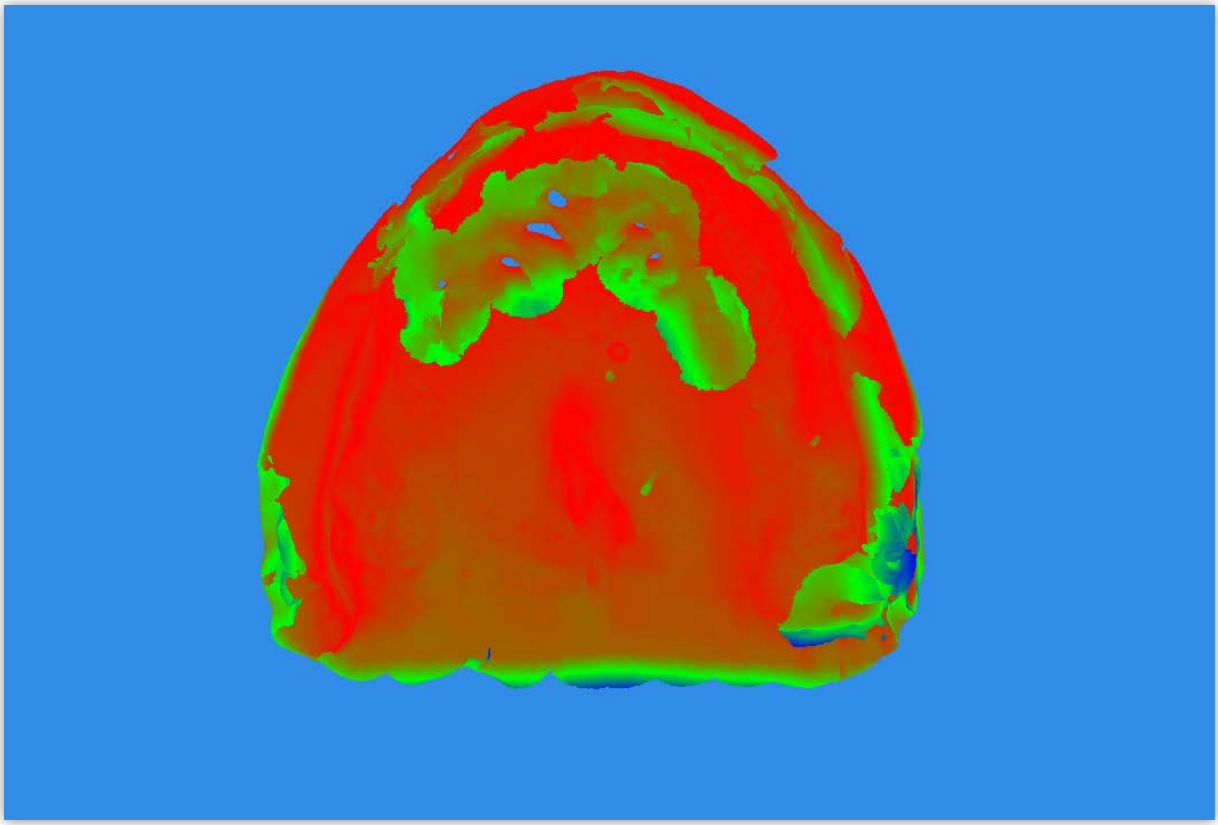


Figure n°66 : Matching entre le modèle numérique et le modèle en plâtre de l'empreinte secondaire avec marginage à la pâte de Kerr et surfaçage à l'Impression Paste® SS WHITE [illustration personnelle]

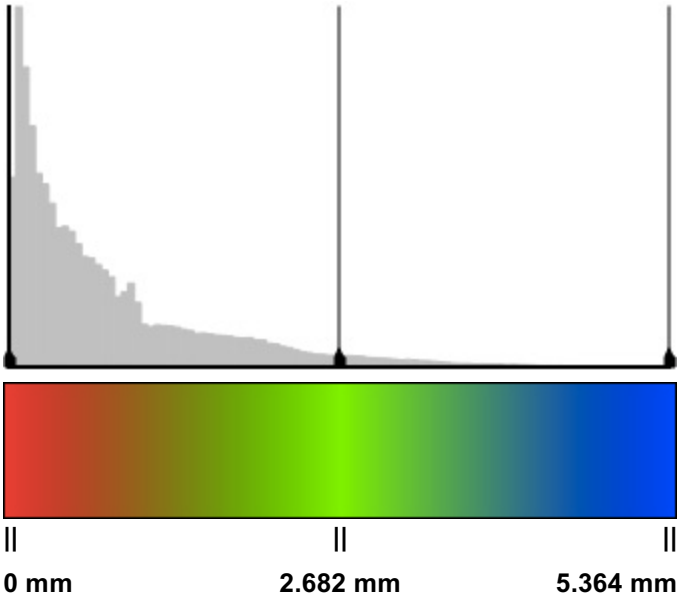


Figure n°67 : Distribution de la distance entre la surface des 2 modèles [illustration personnelle]

Analyse

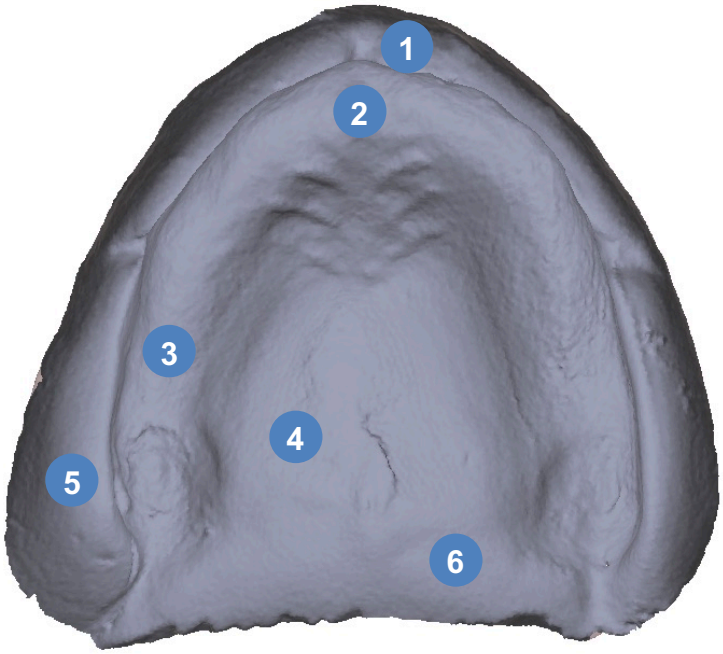
Le cas de l'empreinte surfacée à l'Impression Paste® SS WHITE est le même que pour le Permlastic® Light.

Certaines zones ne matchent pas jusqu'à environ 2,5 mm (notamment au niveau de la crête en antérieur et des zones ampullaires d'Eisenring).

6.5 *Mesure de l'écart entre les empreintes numérisées et les modèles en plâtre à 6 points différents*

Après avoir réalisé le « matching » entre chacune des 6 empreintes et leur modèle en plâtre, et toujours avec l'utilisation du logiciel **MeshLab**, il est décidé de mesurer l'écart séparant la surface des 2 modèles à 6 points différents :

Localisation des 6 points de mesure



1. Fond du vestibule
2. Papille bunoïde
3. Crête édentée
4. Palais
5. Zone ampullaire d'EISENRING
6. Joint vélo-palatin

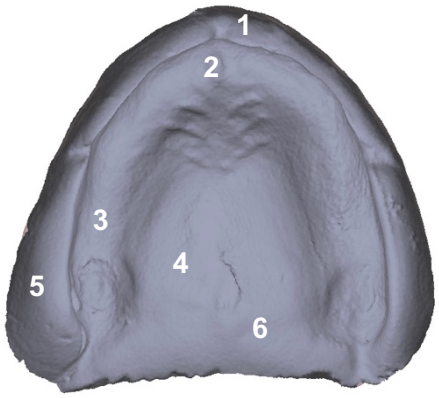
Figure n°68 : Localisation des 6 points de mesure d'écart entre les modèles numériques et les modèles en plâtre [illustration personnelle]

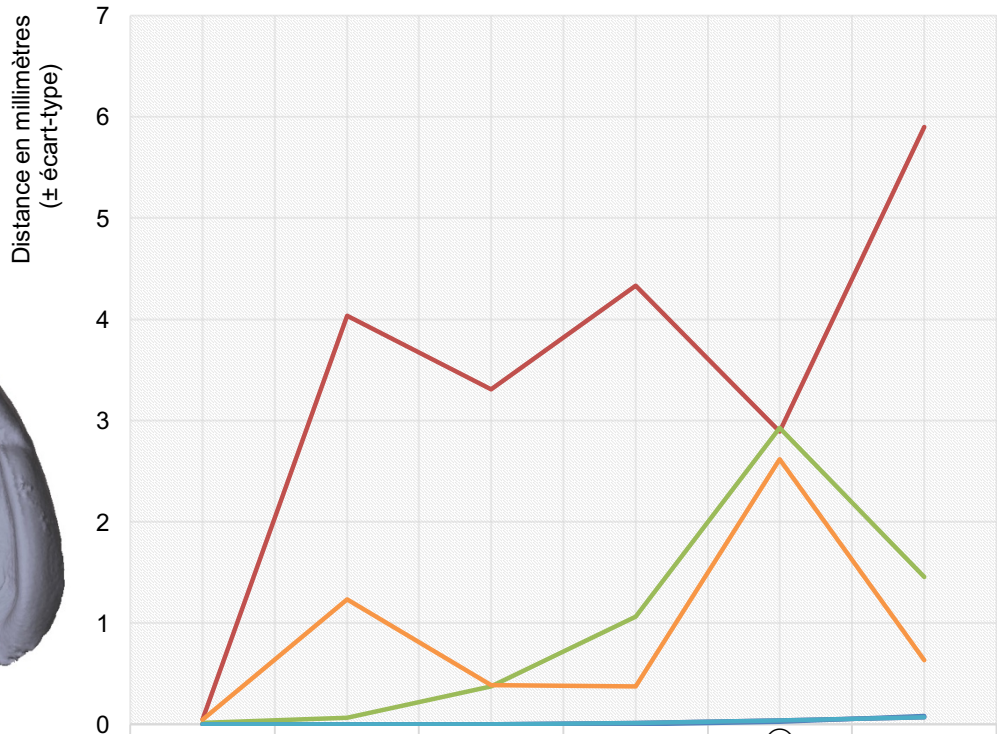
Les valeurs mesurées sont répertoriées dans un tableau, et un graphique est réalisé avec la zone de l'empreinte mesurée sur l'axe des abscisses en fonction de la distance mesurée en millimètres (± écart-type) sur l'axe des ordonnées.

À chacune des 6 empreintes est attribuée une couleur, et on soulignera notamment les courbes quasiment confondues (et donc difficilement discernables) de 3 empreintes en raison d'un matching des surfaces s'avérant quasiment parfait :

- Empreinte primaire à l'alginate (2 temps / 2 viscosités) avec porte-empreinte plastique
- Empreinte secondaire avec marginage à la Permadyne® Orange et surfaçage à la Permadyne® Bleue
- Empreinte secondaire avec marginage à la pâte de Kerr et surfaçage à l'Impregum®

Écart entre l'empreinte numérisée au cone beam et le modèle en plâtre





	① Fond du vestibule	② Papille bunoïde	③ Crête édentée	④ Palais	⑤ Zone ampullaire d'Eisenring	⑥ Joint vélo-palatin
Empreinte primaire à l'alginate (2 temps / 2 viscosités) avec porte-empreinte plastique	0	0	0	0	0,029	0,087
Empreinte à l'alginate (2 temps / 2 viscosités) avec porte-empreinte métallique	0,047	4,033	3,31	4,334	2,891	5,898
Empreinte secondaire avec marginage au Bisico Function® et surfaçage au Permlastic® Light	0,017	0,068	0,377	1,061	2,927	1,455
Empreinte secondaire avec marginage à la Permadyne® Orange et surfaçage à la Permadyne® Bleue	0	0	0	0,012	0,037	0,074
Empreinte secondaire avec marginage à la pâte de Kerr et surfaçage à l'Impregum®	0	0	0	0,014	0,041	0,069
Empreinte secondaire avec marginage à la pâte de Kerr et surfaçage à l'Impression Paste® SS WHITE	0,049	1,235	0,39	0,374	2,617	0,634

<u>Figure n°69</u> : Graphique des mesures de l'écart entre les empreintes numérisées et les modèles en plâtre à 6 points différents [source personnelle]

6.6 Tableau récapitulatif

<table>
<tr><th></th><th>Porte-empreinte</th><th>Matériaux</th><th>Compatibilité CBCT</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Empreinte primaire</td><td>Porte-empreinte plastique</td><td rowspan="2">Alginate</td><td>Excellente</td></tr>
<tr><td>Porte-empreinte métallique (STO-K COE®, Schreinemakers)</td><td>Inexploitable</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Empreinte secondaire</td><td rowspan="4">Porte-empreinte individuel</td><td>Bisico Function® (M)
+
Permlastic® Light (S)</td><td>Mauvaise</td></tr>
<tr><td>Permadyne® Orange (M)
+
Permadyne® Bleue (S)</td><td>Excellente</td></tr>
<tr><td>Pâte de Kerr (M)
+
Impregum® (S)</td><td>Excellente</td></tr>
<tr><td>Pâte de Kerr (M)
+
Impression Paste® SS WHITE (S)</td><td>Mauvaise</td></tr>
</table>

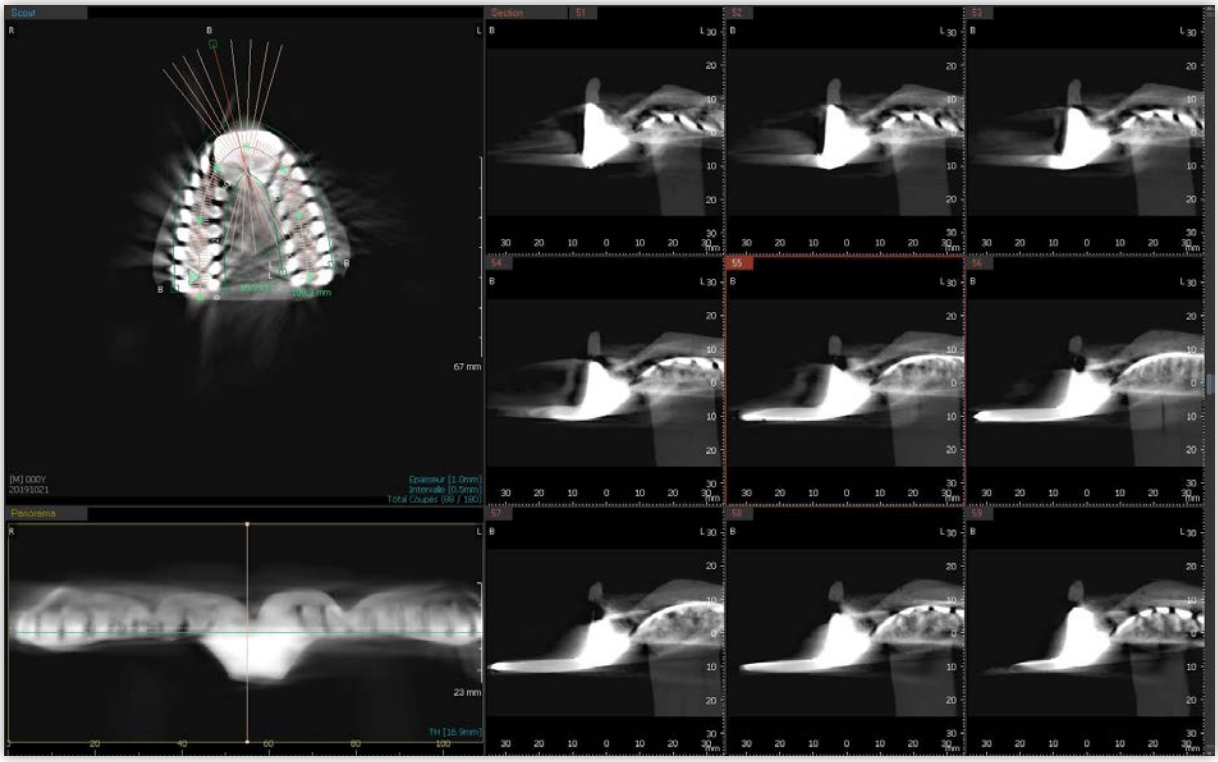
Légende :

- (M) = Marginage
- (S) = Surfaçage

Tableau n°20 : Récapitulatif de la compatibilité CBCT des empreintes primaires et secondaires de prothèse amovible complète selon le type de porte-empreinte et les matériaux utilisés [source personnelle]

6.7 Empreintes incompatibles au CBCT : pourquoi ça ne fonctionne pas ?

Les résultats obtenus pour les numérisations des 2 empreintes primaires et des 4 empreintes secondaires sont variables. En cause, les artéfacts causés par les métaux, respectivement pour le porte-empreinte et pour les matériaux d'empreinte. Le logiciel EZ-3Di offre la possibilité d'explorer les fichiers DICOM, et d'expliciter les problèmes de rendu surfacique de certaines empreintes.



<u>Figure n°70</u> : Outil d'exploration des coupes du logiciel EZ-3Di utilisé sur l'empreinte primaire à l'alginate avec porte-empreinte de la série SCHREINEMAKERS [illustration personnelle]

Pour l'empreinte primaire à l'alginate avec un porte-empreinte métallique de la série SCHREINEMAKERS, c'est comme on pouvait l'envisager ce dernier qui s'avère problématique. Il s'agit d'un inconvénient non-négligeable de la méthode de numérisation par le cone beam. Comme détaillé dans la première partie, même si les porte-empreintes plastiques ou thermoformables sont tout à fait suffisants à condition d'une adaptation préalable, les porte-empreintes en métal avec en chef de file la série STO-K COE® (GC) offrent un grand confort d'utilisation.

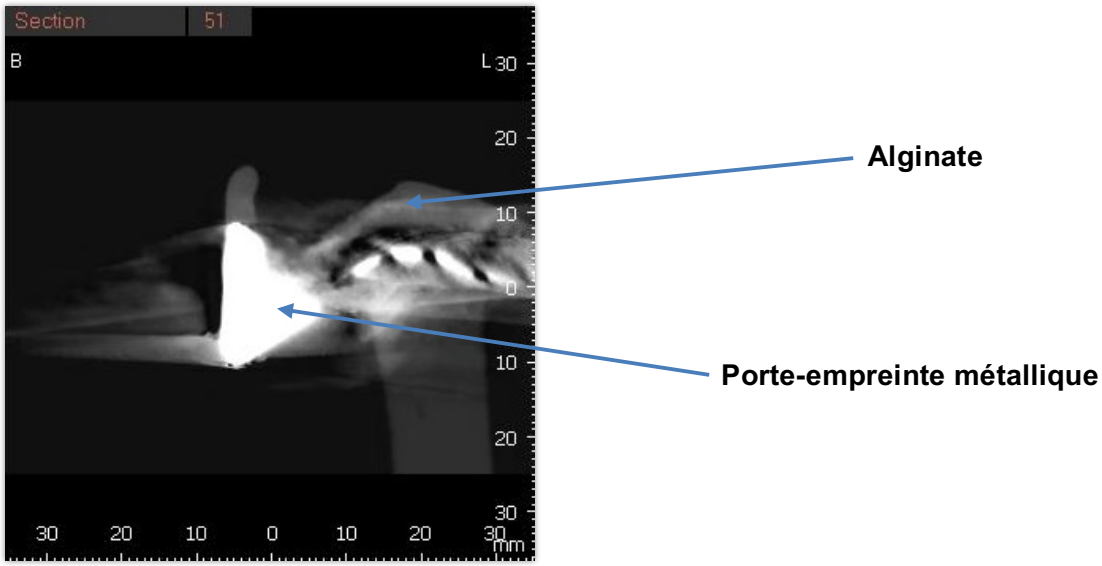


Figure n°71 : Coupe sagittale au CBCT de l'empreinte primaire montrant la disposition de l'alginate sur le porte-empreinte métallique [illustration personnelle]

Les artéfacts rendent ici l'empreinte totalement inexploitable : le porte-empreinte métallique étant noyé dans la masse de l'alginate (d'où le concept d'un porte-empreinte à rôle « d'endosquelette »), il ne peut échapper aux rayons X qui s'y confronteront lors de l'exposition.

Concernant les empreintes secondaires, respectivement au Permlastic® Light et à l'Impression Paste® SS WHITE, ces matériaux altèrent ici le modèle surfacique proposé par le cone beam (comme on pouvait le supposer au vu des résultats détaillés dans la partie 4).

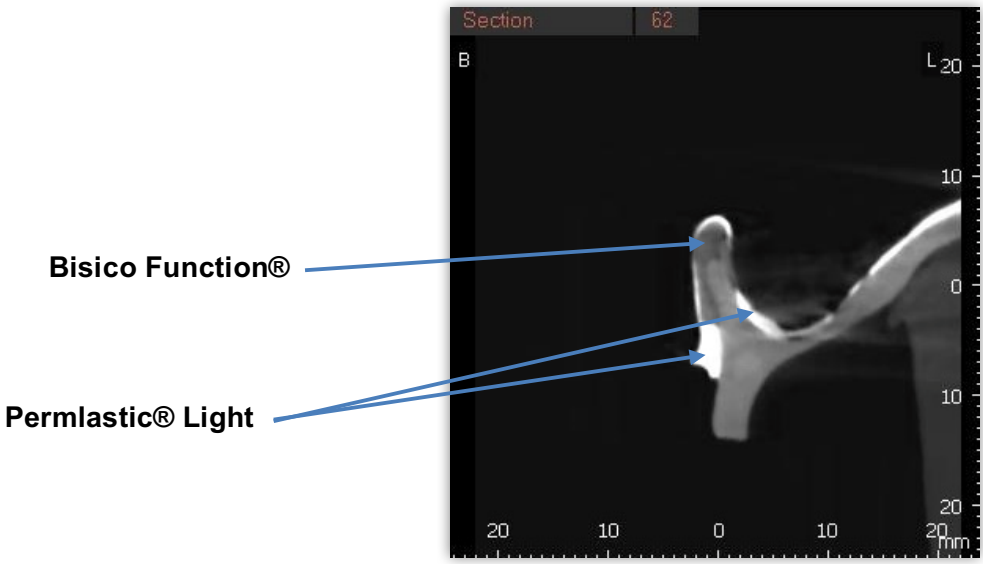
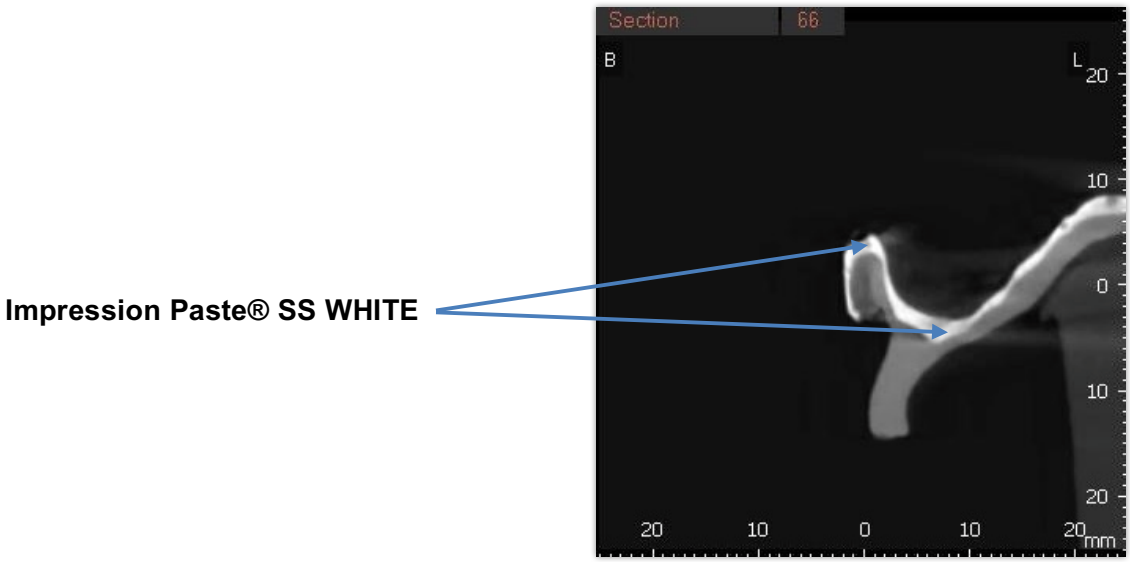


Figure n°72 : Coupe sagittale au CBCT de l'empreinte secondaire montrant la répartition du Bisico Function® et du Permlastic® Light, à l'origine des artéfacts sur la numérisation [illustration personnelle]

On observe sur les fichiers DICOM que ceux-ci, disposés de manière globalement uniforme sur le PEI, créent des artéfacts qui biaiseront le rendu de manière certes plus modérée que le porte-empreinte métallique, mais n'offriront pas la précision escomptée (notamment obtenue lors de l'utilisation des polyéthers).



<u>Figure n°73</u> : Coupe sagittale au CBCT de l'empreinte secondaire montrant la pâte oxyde de zinc-eugénol à l'origine des artéfacts de surface [illustration personnelle]

Ces empreintes secondaires s'avèrent ainsi exploitables, mais présentent des imprécisions ne remplissant pas le cahier des charges du modèle secondaire en prothèse amovible complète.

6.8 Impression 3D d'un modèle secondaire issu du traitement numérique par l'utilisation du cone beam d'une empreinte aux polyéthers

Pour vérifier et matérialiser les valeurs et données présentées, il est décidé d'effectuer une impression 3D de l'empreinte secondaire réalisée aux Permadyne® Orange et Bleue. Un « boxing » et un socle sont ainsi créés comme ils l'auraient été pour un modèle secondaire en plâtre (toujours par utilisation du logiciel MeshMixer). L'impression est ensuite faite à la faculté de chirurgie dentaire de Lille, grâce à la **Form 2** de chez **Formlabs**. Le matériau utilisé est une résine acrylique de type Dental Model, et la résolution sélectionnée de 100 µm. Une fois l'impression terminée, le modèle est nettoyé dans de l'alcool isopropylique (qui est solvant de la résine acrylique), suivi d'une post-polymérisation.

Figure n°74 : Modèle issu de l'impression 3D après traitement numérique d'une empreinte secondaire aux polyéthers scannée au cone beam [photographie personnelle]

Figure n°75 : Corrélation entre le modèle secondaire imprimé en 3D issu du traitement numérique et le modèle secondaire en plâtre [photographie personnelle]

Dans la lignée de cette thèse, il est envisageable de réaliser un protocole de recherche afin de valider cette méthode en la testant cliniquement sur un échantillon d'empreintes de prothèse complète plus large et varié, s'appuyant sur les différents critères de numérisation établis à travers ce travail.

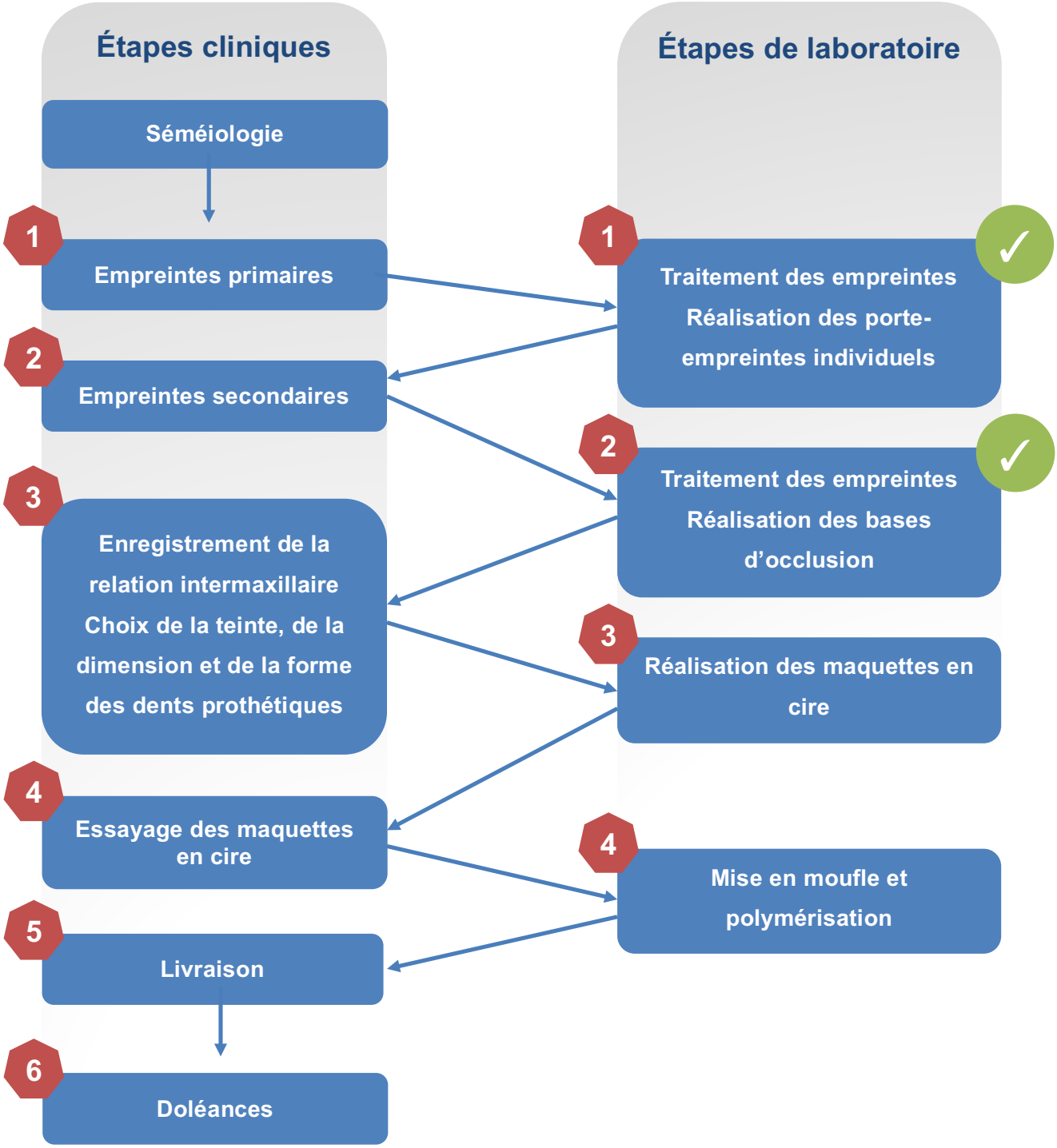
7 Intérêts et inconvénients du traitement numérique de l'empreinte par l'utilisation du cone beam

Intérêts	Inconvénients
• Traitement extemporané de l'empreinte possible directement après désinsertion, n'entraînant aucune perte d'information sur l'empreinte primaire ou secondaire • Durée totale de traitement de l'empreinte (primaire et secondaire) largement minorée par rapport aux méthodes classiques • Pas d'utilisation de matériaux de laboratoire pour la coulée, le boxing, etc. • Stockage et disponibilité des données dans le logiciel du cone beam • Possibilité d'impression d'un modèle primaire ou secondaire (et de réimpression éventuelle si nécessaire) • Possibilité de confection des porte-empreintes individuels informatiquement à partir du scanner de l'empreinte primaire • Utilisation de la CFAO pour la réalisation d'autres étapes de prothèse amovible complète (comme le montage des dents prothétiques)	• Porte-empreintes métalliques (STO-K COE® et SCHREINEMAKERS) inutilisables • Limites tracées au crayon à l'aniline sur les empreintes primaires non-transférées sur le modèle numérique • Numérisation incompatible pour certains matériaux d'empreinte (notamment les Polysulfures) • Logiciels additionnels nécessaires pour le traitement des empreintes (apprentissage et entraînement à la manipulation requis) • Limites de la méthode pas encore établies (anatomie maxillaire ou mandibulaire complexe, prothèse amovible complète supra-implantaire, etc.)

Tableau n°21 : Intérêts et inconvénients du traitement numérique d'une empreinte de prothèse amovible complète au cone beam [source personnelle]

8 Perspectives pour le cone beam et le numérique en prothèse amovible complète

Le traitement des empreintes primaires et secondaires de prothèse complète ne constitue qu'une étape de laboratoire dans la chronologie de leur réalisation, qui pour rappel est la suivante [1] :



<u>Figure n°76</u> : Étapes cliniques et de laboratoire nécessaires à la réalisation d'une prothèse amovible complète [schéma personnel]

✓ Comme détaillé dans la partie 6, la numérisation des empreintes au cone beam en permet le traitement à condition que l'empreinte, selon la méthode et les matériaux, s'y prête.

La thèse de Claire PERUS [26] en 2017 présente la réalisation d'un porte-empreinte individuel chez un patient édenté total à partir d'une empreinte numérique (exportée sous forme d'un fichier STL), de sa modélisation à son impression 3D. **Ainsi, la confection d'un PEI à partir d'une empreinte primaire scannée au cone beam est donc parfaitement envisageable et s'inscrirait dans la continuité directe de ce travail**.

Une étude clinique réalisée en Chine [27] a notamment montré en 2017 que la fabrication de porte-empreintes individuels numériques pour édenté total imprimés en 3D se traduisait, en comparant à la méthode classique, par une épaisseur plus homogène de celui-ci, ainsi qu'une meilleure répartition des matériaux à empreinte utilisés. De même, la réalisation des bases d'occlusion pourrait se faire, toujours en respectant les valeurs standards exposées dans la partie 2.5.3, par impression après leur confection à partir des modèles secondaires virtuels.

Il serait également intéressant d'explorer l'intérêt du cone beam dans l'enregistrement de la relation intermaxillaire [28]. **La réalisation d'un CBCT chez un patient édenté total pourrait permettre, par analyse céphalométrique, de retrouver le plan d'occlusion ainsi que le couloir prothétique selon des repères anatomiques osseux** [29]. Une thèse de recherche traitant de la détermination plan d'occlusion par l'utilisation du cone beam a été publiée en 2016 à l'Université de Caroline du Nord à Chapel Hill [30].

Il deviendrait ainsi envisageable de réaliser numériquement le montage des dents prothétiques à partir de ces données, en s'appuyant sur des logiciels comme Ceramill Mind ou Exocad.

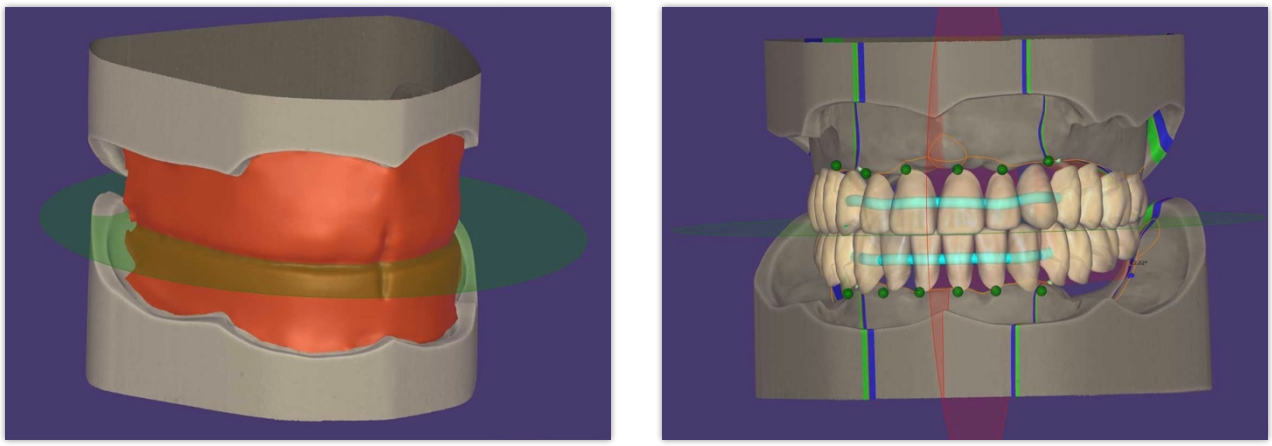


Figure n°77 : Localisation du plan d'occlusion (gauche) et montage des dents prothétiques (droite) d'une prothèse complète bimaxillaire sur le logiciel Exocad [31]

Conclusion

L'apport du numérique et l'évolution constante des techniques de CFAO permettent une amélioration de l'ergonomie et de la qualité du travail des chirurgiens-dentistes. Toujours à l'ordre du jour, en raison du vieillissement de la population, la prothèse amovible complète répond à une chronologie bien précise où chaque étape découle et dépend de la qualité d'exécution de la précédente. Les empreintes en constituent les premiers maillons, et leur traitement s'avère relativement chronophage et surtout source d'erreurs.

Ainsi, ce travail proposait de répondre à l'interrogation suivante : « Le cone beam représente-t-il un outil fiable et une méthode reproductible pouvant permettre le traitement extemporané d'une empreinte primaire ou d'une empreinte secondaire en prothèse amovible complète ? ».

Les résultats présentés permettent d'affirmer que la numérisation des empreintes au CBCT est possible et offre une remarquable précision une fois leur traitement effectué, sous réserve que la méthode et les matériaux utilisés pour l'empreinte soient compatibles. Même si cette technique offre des intérêts et des inconvénients, il serait intéressant de l'approfondir et de l'appliquer cliniquement sur des patients afin d'explorer plus amplement la puissance et les limites du cone beam en tant que véritable « scanner d'empreinte ».

Par ailleurs, cette thèse permet d'envisager une standardisation de cette solution de traitement des empreintes primaires et secondaires de prothèse amovible complète, et de confectionner respectivement les porte-empreintes individuels ainsi que les bases d'occlusion sans même que du plâtre, de la résine, de la cire ou du Stent's® ne soient utilisés. De même, l'étape de la relation intermaxillaire pourrait être simplifiée : la réalisation d'un cone beam rendrait ainsi possible l'intégration directe des bases d'occlusion au profil et aux caractéristiques du patient, et avec l'aide d'une analyse céphalométrique, permettrait de retrouver le plan d'occlusion ainsi que le couloir prothétique selon des repères anatomiques osseux.

Ainsi, et au regard des avancées perpétuelles du numérique en chirurgie dentaire, il deviendrait même envisageable qu'un jour, plus aucun matériau ne soit nécessaire au traitement de l'édenté total avant l'impression ou l'usinage de ses prothèses.

Références bibliographiques

1. Lejoyeux J. Prothèse complète. Paris: Maloine; 1979. 577 p.

2. Rignon-Bret C, Rignon-Bret J-M. Prothèse amovible complète, prothèse immédiate, prothèses supraradiculaire et implantaire. Paris: Éditions CdP; 2002. 230 p.

3. Hüe O, Berteretche M-V. Prothèse complète: réalité clinique, solutions thérapeutiques. Paris: Quintessence International; 2004. 292 p.

4. Dumont H. L'empreinte primaire aux hydrocolloïdes irréversibles en prothèse amovible complète en 2 temps / 2 viscosités avec utilisation de l'Algi-Bond et des porte- empreintes de série STO-K COE (GC) [Thèse d'exercice]. [Lille]: Université de Lille; 2016.

5. Denneulin T. L'adhésion de deux couches d'alginate par le carbonate de sodium [Thèse d'exercice]. [Lille]: Université de Lille; 2018.

6. Jaudoin P, Millet C, Mifsud S. Empreintes en prothèse complète. EMC - Médecine buccale. 2008;3(1):1-19.

7. Delcambre T. Traitement de l'édentement total chez la personne dépendante : intervention à domicile ou en institution. Paris: Éditions CdP; 2015. 86 p.

8. Chauvel B, Turpin Y-L. Les matériaux à empreinte. Société Francophone des Biomatériaux Dentaires. 2009;1-31.

9. Pompignoli M, Raux D, Doukhan J-Y. Prothèse complète : clinique et laboratoire. Paris: Éditions CDP; 2017. 353 p.

10. Delcambre T, Picart B, Lefevre C, Mayer G, Koffi N. Édentements sub-totaux : un concept logique d'empreintes primaire et secondaire. Stratégie Prothétique. 2003;3(2):93-102.

11. Rocher P. Tomographie volumique à faisceau conique ou cone beam computed tomography : justification, optimisation & lecture. Paris: Association Dentaire Française; 2015. 63 p.

12. Pauwels R, Araki K, Siewerdsen JH, Thongvigitmanee SS. Technical aspects of dental CBCT: state of the art. Dentomaxillofacial Radiology. 2015;44(1):1-20.

13. Khambete N, Kumar R. Cone Beam Computed Tomography: A Third Eye for Dental Practitioners. International Journal of Stomatological Research. 2015;4(1):1-7.

14. Arai Y, Tammisalo E, Iwai K, Hashimoto K, Shinoda K. Development of a compact computed tomographic apparatus for dental use. Dentomaxillofacial Radiology. 1999;28(4):245-8.

15. Kau CH, Richmond S. Three-Dimensional Imaging for Orthodontics and Maxillofacial Surgery. Oxford: Wiley-Blackwell; 2010. 320 p.

16. Haute Autorité de Santé. Tomographie volumique à faisceau conique de la face (cone beam computerized tomography) [Internet]. 2009 [consulté le 20 janvier 2020]. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2009-12/rapport_cone_beam_version_finale_2009-12-28_17-27-28_610.pdf

17. Scarfe WC, Farman AG. What is Cone-Beam CT and How Does it Work? The Dental Clinics of North America. 2008;52(4):707-30.

18. Peng L, Chen L, Harris BT, Bhandari B, Morton D, Lin W-S. Accuracy and reproducibility of virtual edentulous casts created by laboratory impression scan protocols. The Journal of Prosthetic Dentistry. 2018;120(3):389-95.

19. Lee S-M, Hou Y, Cho J-H, Hwang H-S. Dimensional accuracy of digital dental models from cone-beam computed tomography scans of alginate impressions according to time elapsed after the impressions. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 2016;149(2):287-94.

20. Rangel FA, Maal TJJ, Bergé SJ, Kuijpers-Jagtman AM. Integration of Digital Dental Casts in Cone-Beam Computed Tomography Scans. ISRN Dentistry. 2012;1-6.

21. Kwon K, Kim M-S, Shin B-S. Making Dentition Model from Negative Dental Impression in Implant Treatment. International Journal of Morphology. 2016;34(4):1404-10.

22. Park T-J, Lee S-H, Lee K-S. A method for mandibular dental arch superimposition using 3D cone beam CT and orthodontic 3D digital model. The Korean Journal of Orthodontics. 2012;42(4):169-81.

23. Jiang T, Lee S-M, Hou Y, Chang X, Hwang H-S. Evaluation of digital dental models obtained from dental cone-beam computed tomography scan of alginate impressions. The Korean Journal of Orthodontics. 2016;46(3):129-36.

24. Fonseca RB, Branco CA, Haiter-Neto F, Gonçalves L de S, Soares CJ, Carlo HL, et al. Radiodensity evaluation of dental impression materials in comparison to tooth structures. Journal of Applied Oral Science. 2010;18(5):467-76.

25. Akca D. Co-registration of Surfaces by 3D Least Squares Matching. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. 2010;76(3):307-18.

26. Perus C. Réalisation de PEI chez un patient édenté total en utilisant des logiciels open source : à propos d'un cas [Thèse d'exercice]. [Lille]: Université de Lille; 2017.

27. Sun Y, Chen H, Li H, Deng K, Zhao T, Wang Y, et al. Clinical evaluation of final impressions from three-dimensional printed custom trays. Scientific Reports. 2017;7(1):1-8.

28. Yuan F-S, Sun Y-C, Wang Y, Lü P-J. Accuracy evaluation of a new three-dimensional reproduction method of edentulous dental casts, and wax occlusion rims with jaw relation. International Journal of Oral Science. 2013;5(3):155-61.

29. Hindocha AD, Vartak VN, Bhandas AJ, Dudani MT. A cephalometric study to determine the plane of occlusion in completely edentulous patients. Indian Journal of Dental Research. 2013;24(6):669-73.

30. Tum KA. Determination of Occlusal Plane Using Bony Anatomical Landmarks Through the Analysis of Cone Beam Computed Tomography [Thèse de doctorat]. [Chapel Hill]: University of North Carolina; 2016.

31. Exocad. Full Denture Module [Internet]. 2019 [consulté le 25 février 2020]. Disponible sur: https://exocad.com/our-products/exocad-dentalcad/full-denture-module

Table des illustrations

Figure n°1 : Éléments anatomiques identifiables au niveau de l'arcade maxillaire édentée selon LEJOYEUX [1] 18

Figure n°2 : Éléments anatomiques identifiables au niveau de l'arcade mandibulaire édentée selon LEJOYEUX [1] 19

Figure n°3 : Porte-empreintes maxillaire (gauche) et mandibulaire (droite) parfaitement adaptés en vue d'une empreinte primaire de prothèse complète [photographie du Dr T. DELCAMBRE] 22

Figure n°4 : Exemple d'un porte-empreinte de la série SCHREINEMAKERS (gauche) et d'un porte-empreinte de la série CERPAC (droite) [3] 23

Figure n°5 : Exemple de nomenclature d'un porte-empreinte de la série STO-K COE® (désignant ici la plus petite taille du modèle « square » de l'arcade maxillaire) [4] 24

Figure n°6 : Coffret de la série STO-K COE® de chez GC comportant 23 porte-empreintes [photographie du Dr T. DELCAMBRE] 25

Figure n°7 : Empreinte primaire mandibulaire après désinsertion du 1er temps (gauche), après aménagement (milieu) et après désinsertion du 2ème temps (droite) [4] 27

Figure n°8 : Tracé des limites de l'empreinte primaire à l'alginate au crayon à l'aniline [photographie du Dr T. DELCAMBRE] 29

Figure n°9 : Limites tracées au crayon à l'aniline transférées sur le modèle primaire en plâtre [photographie du Dr T. DELCAMBRE] 30

Figure n°10 : Régularisation des modèles primaires au taille-plâtre [photographie du Dr T. DELCAMBRE] 31

Figure n°11 : Comparaison entre le bourrelet de préhension sur un modèle primaire et le montage des dents prothétiques sur le modèle secondaire [photographie du Dr T. DELCAMBRE] 32

Figure n°12 : Joint vestibulaire à l'arcade maxillaire d'après HÜE et BERTERETCHE [3] 37

Figure n°13 : Joint vestibulaire et bord lingual à l'arcade mandibulaire d'après HÜE et BERTERETCHE [3] 37

Figure n°14 : « Snap-set » observé lors de la réticulation des polyéthers d'après HÜE et BERTERETCHE [3] 38

Figure n°15 : Exemple d'une empreinte secondaire maxillaire de prothèse amovible complète surfacée au Permlastic© Light [photographie du Dr T. DELCAMBRE] 39

Figure n°16 : Exemple d'une empreinte secondaire mandibulaire de prothèse amovible complète aux polyéthers (Permadyne® Orange et Bleue) ; noter la précision au niveau des volets linguaux [photographie du Dr T. DELCAMBRE] 40

Figure n°17 : Schéma des dimensions, de l'orientation et des limites du bourrelet d'occlusion maxillaire dans le plan axial [10] 42

Figure n°18 : Schéma des dimensions, de l'orientation et des limites du bourrelet d'occlusion maxillaire dans le plan sagittal [10] 42

Figure n°19 : Schéma des dimensions, de l'orientation et des limites du bourrelet d'occlusion mandibulaire dans le plan axial [10] 43

Figure n°20 : Schéma des dimensions, de l'orientation et des limites du bourrelet d'occlusion mandibulaire dans le plan sagittal [10] 43

Figure n°21 : Fonctionnement du tube à rayons X lors d'une acquisition au CBCT [12] 44

Figure n°22 : Exemple d'un « Surface Rendering » des étages moyen et inférieur de la face [12].....47

Figure n°23 : Empreintes primaires à l'alginate 2 temps / 2 viscosités avec porte-empreinte plastique (gauche), et porte-empreinte métallique de la série SCHREINEMAKERS (droite) [photographie personnelle].....48

Figure n°24 : Empreinte secondaire avec marginage au Bisico Function® et surfaçage au Permlastic® Light [photographie personnelle].....49

Figure n°25 : Empreinte secondaire avec marginage à la Permadyne® Orange (Heavy) et surfaçage à la Permadyne® Bleue (Light) [photographie personnelle].....49

Figure n°26 : Empreinte secondaire avec marginage à la pâte de Kerr et surfaçage à l'Impregum® [photographie personnelle].....49

Figure n°27 : Empreinte secondaire avec marginage à la pâte de Kerr et surfaçage à l'Impression Paste® SS WHITE [photographie personnelle].....49

Figure n°28 : Vue de ¾ de la disposition d'une empreinte sur le plateau VATECH [photographie personnelle].....50

Figure n°29 : Vue supérieure de la disposition d'une empreinte sur le plateau VATECH [photographie personnelle].....51

Figure n°30 : Modèles numériques respectivement issus d'un scanner à empreinte (A) et d'un cone beam (B) [18].....54

Figure n°31 : Traitement d'une empreinte à l'alginate au CBCT, selon la chronologie suivante : Empreinte physique (A) → Numérisation de l'empreinte (B) → Conversion en modèle positif (C) [19].....55

Figure n°32 : Échantillons des matériaux testés [24].....60

Figure n°33 : Comparaison de la radiodensité de matériaux d'empreinte avec des feuilles d'aluminium d'épaisseur variable [24].....61

Figure n°34 : Observation au microscope électronique à balayage de l'Impregum® Penta Soft (A) et du Permlastic® Regular (B) [24].....61

Figure n°35 : Menu d'exportation du modèle de surface (logiciel EZ-3Di) [illustration personnelle].....63

Figure n°36 : Modèle « brut » d'une empreinte après importation dans le logiciel MeshMixer (vue de ¾ à gauche et vue latérale à droite) [illustration personnelle].....64

Figure n°37 : Détourage de l'empreinte grâce à l'outil « Lasso » de MeshMixer [illustration personnelle].....64

Figure n°38 : Sélection de la surface d'appui [illustration personnelle].....65

Figure n°39 : Rendu final de l'empreinte après détourage dans le logiciel MeshMixer [illustration personnelle].....65

Figure n°40 : Rendu final de l'empreinte après conversion de l'empreinte détourée en surface positive dans le logiciel MeshMixer [illustration personnelle].....66

Figure n°41 : Modes d'affichage de l'acquisition sur le logiciel EZ-3Di [illustration personnelle].....68

Figure n°42 : Exemple d'un modèle primaire scanné au cone beam en vue du « matching » avec son empreinte préalablement numérisée [photographie et illustration personnelles].....69

Figure n°43 : Exemple d'un modèle secondaire scanné au cone beam en vue du « matching » avec son empreinte préalablement numérisée [photographie et illustration personnelles] 69

Figure n°44 : Reconstitution 3D de l'empreinte primaire à l'alginate 2 temps / 2 viscosités avec porte-empreinte plastique [illustration personnelle] 70

Figure n°45 : Coupes au CBCT de l'empreinte primaire dans les plans transversal (gauche), sagittal (milieu) et frontal (droite) [illustration personnelle] 70

Figure n°46 : Reconstitution 3D de l'empreinte primaire à l'alginate 2 temps / 2 viscosités avec porte-empreinte métallique [illustration personnelle] 71

Figure n°47 : Coupes au CBCT de l'empreinte primaire dans les plans transversal (gauche), sagittal (milieu) et frontal (droite) [illustration personnelle] 71

Figure n°48 : Reconstitution 3D de l'empreinte secondaire avec marginage au Bisico Function® et surfaçage au Permlastic® Light [illustration personnelle] 72

Figure n°49 : Coupes au CBCT de l'empreinte secondaire dans les plans transversal (gauche), sagittal (milieu) et frontal (droite) [illustration personnelle] 72

Figure n°50 : Reconstitution 3D de l'empreinte secondaire avec marginage à la Permadyne® Orange et surfaçage à la Permadyne® Bleue [illustration personnelle] 73

Figure n°51 : Coupes au CBCT de l'empreinte secondaire dans les plans transversal (gauche), sagittal (milieu) et frontal (droite) [illustration personnelle] 73

Figure n°52 : Reconstitution 3D de l'empreinte secondaire avec marginage à la pâte de Kerr et surfaçage à l'Impregum® [illustration personnelle] 74

Figure n°53 : Coupes au CBCT de l'empreinte secondaire dans les plans transversal (gauche), sagittal (milieu) et frontal (droite) [illustration personnelle] 74

Figure n°54 : Reconstitution 3D de l'empreinte secondaire avec marginage à la pâte de Kerr et surfaçage à l'Impression Paste® SS WHITE [illustration personnelle] 75

Figure n°55 : Coupes au CBCT de l'empreinte secondaire dans les plans transversal (gauche), sagittal (milieu) et frontal (droite) [illustration personnelle] 75

Figure n°56 : Matching entre le modèle numérique et le modèle en plâtre de l'empreinte primaire à l'alginate 2 temps / 2 viscosités avec porte-empreinte plastique [illustration personnelle] 76

Figure n°57 : Distribution de la distance entre la surface des 2 modèles [illustration personnelle] 76

Figure n°58 : Matching entre le modèle numérique et le modèle en plâtre de l'empreinte primaire à l'alginate 2 temps / 2 viscosités avec porte-empreinte métallique de la série SCHREINEMAKERS [illustration personnelle] 77

Figure n°59 : Distribution de la distance entre la surface des 2 modèles [illustration personnelle] 77

Figure n°60 : Matching entre le modèle numérique et le modèle en plâtre de l'empreinte secondaire avec marginage au Bisico Function® et surfaçage au Permlastic® Light [illustration personnelle] 78

Figure n°61 : Distribution de la distance entre la surface des 2 modèles [illustration personnelle] 78

Figure n°62 : Matching entre le modèle numérique et le modèle en plâtre de l'empreinte secondaire avec marginage à la Permadyne® Orange et surfaçage à la Permadyne® Bleue [illustration personnelle] 79

Figure n°63 : Distribution de la distance entre la surface des 2 modèles [illustration personnelle] 79

Figure n°64 : Matching entre le modèle numérique et le modèle en plâtre de l'empreinte secondaire avec marginage à la pâte de Kerr et surfaçage à l'Impregum® [illustration personnelle] 80

Figure n°65 : Distribution de la distance entre la surface des 2 modèles [illustration personnelle] 80

Figure n°66 : Matching entre le modèle numérique et le modèle en plâtre de l'empreinte secondaire avec marginage à la pâte de Kerr et surfaçage à l'Impression Paste® SS WHITE [illustration personnelle] 81

Figure n°67 : Distribution de la distance entre la surface des 2 modèles [illustration personnelle] 81

Figure n°68 : Localisation des 6 points de mesure d'écart entre les modèles numériques et les modèles en plâtre [illustration personnelle] 82

Figure n°69 : Graphique des mesures de l'écart entre les empreintes numérisées et les modèles en plâtre à 6 points différents [source personnelle] 83

Figure n°70 : Outil d'exploration des coupes du logiciel EZ-3Di utilisé sur l'empreinte primaire à l'alginate avec porte-empreinte de la série SCHREINEMAKERS [illustration personnelle] 85

Figure n°71 : Coupe sagittale au CBCT de l'empreinte primaire montrant la disposition de l'alginate sur le porte-empreinte métallique [illustration personnelle] 86

Figure n°72 : Coupe sagittale au CBCT de l'empreinte secondaire montrant la répartition du Bisico Function® et du Permlastic® Light, à l'origine des artéfacts sur la numérisation [illustration personnelle] 86

Figure n°73 : Coupe sagittale au CBCT de l'empreinte secondaire montrant la pâte oxyde de zinc-eugénol à l'origine des artéfacts de surface [illustration personnelle] 87

Figure n°74 : Modèle issu de l'impression 3D après traitement numérique d'une empreinte secondaire aux polyéthers scannée au cone beam [photographie personnelle] 88

Figure n°75 : Corrélation entre le modèle secondaire imprimé en 3D issu du traitement numérique et le modèle secondaire en plâtre [photographie personnelle] 88

Figure n°76 : Étapes cliniques et de laboratoire nécessaires à la réalisation d'une prothèse amovible complète [schéma personnel] 90

Figure n°77 : Localisation du plan d'occlusion (gauche) et montage des dents prothétiques (droite) d'une prothèse complète bimaxillaire sur le logiciel Exocad [31] 91

Table des tableaux

Tableau n°1 : Les matériaux utilisés pour l'empreinte primaire en prothèse amovible complète [source personnelle]....21

Tableau n°2 : Choix du porte-empreinte en prothèse amovible complète selon le matériau à empreinte primaire [3]....23

Tableau n°3 : Explication de la nomenclature de la série STO-K COE® de chez GC [4] 24

Tableau n°4 : Protocole, avantages et inconvénients des empreintes primaires à l'alginate classique et en double mélange [source personnelle]....26

Tableau n°5 : Protocole, avantages et inconvénients de l'empreinte primaire à l'alginate rebasée (2 temps / 2 viscosités) [source personnelle] 27

Tableau n°6 : Critères de validation des empreintes primaires de prothèse amovible complète selon HÜE et BERTERETCHE [3]....28

Tableau n°7 : Espacement du PEI en fonction des repères anatomiques du modèle primaire [3]....32

Tableau n°8 : Étapes d'essayage des PEI au maxillaire et à la mandibule [3]....34

Tableau n°9 : Matériaux utilisés pour le marginage lors d'une empreinte secondaire de prothèse amovible complète [3]....35

Tableau n°10 : Enregistrement du joint périphérique au maxillaire selon HÜE et BERTERETCHE [3] 36

Tableau n°11 : Enregistrement du joint périphérique à la mandibule selon HÜE et BERTERETCHE [3] 36

Tableau n°12 : Temps de travail et de prise en fonction du matériau de surfaçage d'après HÜE et BERTERETCHE [3] 38

Tableau n°13 : Critères de réalisation des bourrelets d'occlusion maxillaire et mandibulaire [10]....43

Tableau n°14 : Paramètres d'acquisition pour scanner les empreintes au CBCT [source personnelle] 51

Tableau n°15 : Logiciels pour le traitement numérique d'une empreinte en PAC [source personnelle] 52

Tableau n°16 : Solutions alternatives (logiciels professionnels) pour le traitement numérique d'une empreinte en PAC [source personnelle] 53

Tableau n°17 : Rendu numérique au cone beam des matériaux utilisés pour les empreintes de prothèse amovible complète [source personnelle] 58

Tableau n°18 : Rendu numérique au cone beam des matériaux utilisés pour les empreintes de prothèse amovible complète [source personnelle] 59

Tableau n°19 : Paramètres d'exportation du fichier STL de l'empreinte numérisée au CBCT [source personnelle] 62

Tableau n°20 : Récapitulatif de la compatibilité CBCT des empreintes primaires et secondaires de prothèse amovible complète selon le type de porte-empreinte et les matériaux utilisés [source personnelle] 84

Tableau n°21 : Intérêts et inconvénients du traitement numérique d'une empreinte de prothèse amovible complète au cone beam [source personnelle] 89

Thèse d'exercice : Chir. Dent. : Lille : Année 2020 – N°:

Traitement numérique d'une empreinte en prothèse amovible complète par l'utilisation du cone beam / **BENCHIKH Samy**. – 100 p. : 77 ill. ; 31 réf.

Domaine : Prothèses

Mots clés Rameau : Prothèses dentaires complètes ; Empreintes dentaires ; Empreintes dentaires – Matériaux ; Tomographie volumique à faisceau conique

Mots clés FMeSH : Prothèse dentaire complète ; Matériaux empreinte dentaire ; Tomodensitométrie à faisceau conique

Mots clés libres : Empreinte primaire ; Empreinte secondaire ; Cone beam

Résumé de la thèse :

Ce travail propose d'étudier la question suivante : le cone beam représente-t-il un outil fiable et une méthode reproductible pouvant permettre le traitement extemporané d'une empreinte primaire ou d'une empreinte secondaire en prothèse amovible complète ?

En effet, la prothèse amovible complète est toujours à l'ordre du jour en raison du vieillissement de la population. Elle s'articule autour d'étapes cliniques et de laboratoire bien précises, où les empreintes (primaires puis secondaires) constituent les premiers maillons. Cependant, la quintessence des nombreux matériaux à empreinte n'est bien souvent pas exploitée en raison de méthodes de traitement chronophages et surtout différées après la désinsertion : une potentielle altération des modèles en résulte donc.

Les résultats présentés permettent d'affirmer que la numérisation des empreintes au cone beam est possible et offre une remarquable précision une fois leur traitement effectué, sous réserve que la technique et les matériaux utilisés soient compatibles. Ils ouvrent également la perspective d'une standardisation de cette méthode de traitement des empreintes primaires et secondaires de prothèse amovible complète.

JURY :

Président : **Monsieur le Professeur P. BEHIN**
Assesseurs : **Monsieur le Docteur C. LEFEVRE**
Monsieur le Docteur T. DELCAMBRE
Monsieur le Docteur P. ROCHER