

UNIVERSITE DE LILLE

FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année de soutenance : 2021

N°:

THESE POUR LE

DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement le 25 Mai 2021

Par Clémantine FOURNIER

Née le 7 Juillet 1995 à Lens – France

**CONFECTION NUMÉRIQUE DES BASES D'OCCLUSION ET
INTÉGRATION DE LA RELATION INTERMAXILLAIRE (RIM) DANS LE
FLUX NUMÉRIQUE CBCT DU PATIENT EN PROTHÈSE AMOVIBLE
COMPLÈTE (PAC)**

JURY

Président : Monsieur le Professeur Thomas COLARD

Assesseurs : Monsieur le Docteur Claude LEFEVRE

Monsieur le Docteur Thierry DELCAMBRE

Monsieur le Docteur Samy BENCHIKH

Président de l'Université	:	Pr. J-C. CAMART
Directeur Général des Services de l'Université	:	M-D. SAVINA
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 UNIVERSITES :

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

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

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 Doyen de la Faculté de Chirurgie Dentaire
C. CATTEAU	Responsable du Département de Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie Légale.
X. COUTEL	Biologie Orale
A. de BROUCKER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
M. DEHURTEVENT	Prothèses
T. DELCAMBRE	Prothèses
F. DESCAMP	Prothèses
M. DUBAR	Parodontologie
A. GAMBIEZ	Dentisterie Restauratrice Endodontie
F. GRAUX	Prothèses
P. HILDEBERT	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 Thomas COLARD

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier des CSERD

Section Réhabilitation Orale

Département Sciences Anatomiques

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur au Muséum National d'Histoire Naturelle en Anthropologie Biologique

Habilitation à Diriger des Recherches

Assesseur à la Recherche

Professeur Colard,

Vous me faites l'honneur de présider ce jury et je vous en suis très reconnaissante.

Veillez trouver dans ce travail l'assurance de mon profond respect et l'expression de ma plus sincère considération.

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 2

Coordonnateur Interrégional du Diplôme d'Etudes Spécialisées en Médecine Bucco-Dentaire

Docteur Lefevre,

Je vous remercie d'avoir accepté la direction de cette thèse et de m'avoir fait confiance.

Merci pour votre bonne humeur et le temps que vous m'avez accordé. Ce fut un réel plaisir de travailler à vos côtés durant toutes ces années d'études et encore aujourd'hui avec le D.U Clinique de Prothèse Amovible Complète. Vous avez su faire partager votre savoir-faire avec simplicité et un enthousiasme remarquable.

Soyez assuré de trouver à travers ce travail, ma reconnaissance et mon profond respect.

Monsieur le Docteur Thierry DELCAMBRE

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 2

Maîtrise de Sciences Biologiques et Médicales

Diplôme d'Université d'Implantologie

Certificat d'Etudes Supérieures de Prothèse Adjointe Partielle

Certificat d'Etudes Supérieures de Prothèse Adjointe Complète

Docteur Delcambre,

Je suis très reconnaissante que vous ayez accepté spontanément de siéger dans mon jury de thèse.

Durant ces années d'études, j'ai eu le privilège d'apprendre énormément à vos côtés en tant qu'étudiante mais encore aujourd'hui grâce au D.U Clinique de Prothèse Amovible Complète. J'ai pu apprécier votre rigueur, votre écoute et la qualité de vos enseignements. Je vous en remercie.

Veillez trouver dans cette thèse le témoignage de mes sentiments les plus respectueux.

Monsieur le Docteur Samy BENCHIKH

Assistant Hospitalo-Universitaire des CSERD

Section Réhabilitation Orale

Département Prothèses

Docteur en Chirurgie Dentaire

Diplôme Universitaire de Prothèse Amovible Complète – Université de Lille

Certificat d'Etudes Supérieures d'Odontologie Chirurgicale – Mention Médecine Buccale

– Université de Lille

Samy,

C'est avec grand plaisir que j'ai pu te compter parmi les membres de ce jury. Je suis ravie que tu aies accepté d'y participer.

Grâce à ce travail, j'ai pu apprécier ta disponibilité, ta rigueur et la grande aide que tu m'as apporté.

Je te souhaite un bel avenir dans ta vie personnelle et professionnelle.

Trouve dans ce travail l'expression de toute ma reconnaissance.

Je dédie cette thèse à ...

Confection numérique des bases d'occlusion et intégration de la relation intermaxillaire (RIM) dans le flux numérique CBCT du patient en prothèse amovible complète (PAC)

Abréviations	16
1. Introduction	18
2. Les bases d'occlusion conventionnelles en prothèse amovible complète ...	19
2.1. Traitement de l'empreinte secondaire	19
2.1.1. Principes généraux du traitement de l'empreinte secondaire.....	19
2.1.2. Obtention d'un modèle secondaire.....	20
2.2. Confection des bases d'occlusion	21
2.2.1. Buts	21
2.2.2. Préparation des modèles secondaires	22
2.2.3. Caractéristiques des bases d'occlusion	23
2.2.4. Matériaux.....	23
2.2.5. Critères de réalisation des bases d'occlusion	24
2.3. Rappels en images des étapes de réalisation d'une base d'occlusion en résine photo-polymérisable et stent's ®	27
3. La Relation Intermaxillaire en prothèse amovible complète conventionnelle	28
4. Numérisation des empreintes secondaires grâce au cone beam et logiciels de traitement des données	30
4.1. Le Cone Beam ou CBCT (Cone Beam Computed Tomography)	30
4.1.1. Généralités sur le CBCT.....	30
4.1.2. Fonctionnement du CBCT	30
4.1.3. Caractéristiques de l'image CBCT	31
4.1.3.1. La résolution spatiale.....	31
4.1.3.2. Le champ de vue ou FOV (Field Of View).....	32
4.1.3.3. Les artefacts	32
4.1.4. Avantages et limites du CBCT.....	32
4.1.5. Reconstruction du volume à partir des données	33
4.1.5.1. Reconstructions primaires.....	33
4.1.5.2. Reconstructions secondaires	33
4.1.5.3. Reconstructions tridimensionnelles (3D).....	33
4.2. Numérisation des empreintes secondaires grâce au CBCT	34
4.2.1. Rendu numérique des matériaux	34
4.2.2. Empreintes secondaires de référence.....	35
4.2.3. Méthode de numérisation des empreintes	36
4.2.3.1. Positionnement des empreintes dans le CBCT.....	36
4.2.3.2. Paramètres d'acquisition	37
4.2.3. Logiciels de traitement et de modélisation des données.....	38
4.3. Autres méthodes de numérisation des empreintes secondaires	39
4.3.1. L'empreinte optique	39
4.3.2. Le scanner de laboratoire.....	40
4.3.3. Comparaison des autres méthodes de numérisation	40
5. Impression 3D de la base d'occlusion numérique	43
5.1. Pourquoi un passage au numérique ?	44
5.2. Base d'occlusion = dispositif médical	45

5.3. Généralités sur l'impression 3D.....	45
5.3.1. Les techniques	45
5.3.2. Les matériaux	46
5.3.3. Les critères de choix de l'imprimante	46
5.4. Choix de l'imprimante 3D	47
5.4.1. Choix de la technologie d'impression 3D	47
5.4.1.1. Impression 3D par photo-polymérisation : Stéréolithographie (SLA)	47
5.4.1.2. Imprimante Form 2 de Formlabs®	49
5.4.2. Choix du matériau d'impression 3D	50
5.4.2.1. Les résines	50
5.4.2.2. Dental SG Resin de Formlabs®	50
5.4.3. Logiciel de préparation d'impression	51
6. Intégration de la relation intermaxillaire (RIM) au flux numérique CBCT : expérimentation à propos d'un cas clinique	52
6.1. Prise des empreintes secondaires et numérisation à l'aide du CBCT	52
6.2. Traitement numérique des empreintes secondaires	53
6.2.1. Importation du fichier STL	53
6.2.2. Détourage de l'empreinte secondaire	54
6.2.3. Conversion de l'empreinte secondaire en modèle secondaire positif	56
6.2.4. Création d'un socle pour l'empreinte secondaire	57
6.3. Confection numérique des bases d'occlusion	59
6.3.1. Orientation du modèle secondaire positif dans l'espace	59
6.3.2. Confection de la plaque base	60
6.3.3. Confection du bourrelet d'occlusion	61
6.4. Impression des bases d'occlusion	64
6.4.1. Conversion du fichier issu de MeshMixer en fichier STL	64
6.4.2. Paramétrage sur le logiciel PreForm	64
6.4.2.1. Importation des fichiers STL	64
6.4.2.2. Configuration de la tâche	64
6.4.2.3. Orientation des modèles	65
6.4.2.4. Création de supports d'impression	66
6.4.3. Modèles prêts à l'impression	67
6.4.4. Rendu final des bases d'occlusion imprimées	68
6.5. Enregistrement de la relation intermaxillaire (RIM) à partir des bases d'occlusion imprimées.....	69
6.5.1. Essayage des bases d'occlusion en bouche	69
6.5.2. Stabilisation des bases d'occlusion	69
6.5.3. Réglage du bourrelet d'occlusion maxillaire dans les différents plans	70
6.5.4. Détermination de la dimension verticale d'occlusion (DVO).....	71
6.5.4.1. Méthodes d'obtention de la dimension verticale d'occlusion (DVO).....	71
6.5.4.2. Réglage de la base d'occlusion mandibulaire	72
6.5.5. Enregistrement de la relation intermaxillaire (RIM)	72
6.5.5.1. Positionnement des marqueurs radio-opaques	72
6.5.5.2. Enregistrement de la relation intermaxillaire	73
6.6. Numérisation des bases d'occlusion grâce au CBCT et intégration de la relation intermaxillaire au flux numérique	74
6.6.1. Numérisation des bases d'occlusion en bouche grâce au CBCT	74
6.6.2. Numérisation des bases d'occlusion seules grâce au CBCT	75
6.6.3. Intégration de la relation intermaxillaire au flux numérique CBCT de la patiente	75
6.6.3.1. Technique du double scan	76
6.6.3.1.1. Méthode	76
6.6.3.1.2. Manipulation sur le logiciel Blue Sky Plan®	78
6.6.3.2. Technique du matching	81
6.6.3.2.1. Objectif du matching des volumes	81

6.6.3.2.2. Méthode	81
6.6.3.2.3. Manipulation sur le logiciel Blue Sky Plan®	82
6.6.3.3. Comparaison entre les deux techniques de superposition 3D	84
Conclusion	87
Annexes	89
Références bibliographiques	92
Table des tableaux	96
Table des figures	97

Abréviations

ABS : Acrylonitrile Butadiène Styrène

ASA : Acrylonitrile Styrène Acrylate

ASTM : American Society for Testing and Materials

BBAM : Big Area Additive Manufacturing

BJ : Binder Jetting

CBCT : Cone Beam Computed Tomography

CAD/CAM : Computed Aided Design / Computed Aided Manufacturing

CAO : Conception Assistée par Ordinateur

CFF : Continuous Fiber Fabrication

CLIP : Continuous Liquid Interface Production

DED : Direct Energy Deposition

DICOM : Digital Imaging and Communications in Medicine

DLP : Digital Light Processing

DM : Dispositif Médical

DMLS : Direct Metal Laser Sintering

DPP : Daylight Polymer Printing

DVO : Dimension Verticale d'Occlusion

DVP : Dimension Verticale Phonétique

DVR : Dimension Verticale de Repos

EBM : Electron Beam Melting

EMF : Election Beam Freeform fabrication

FAO : Fabrication Assistée par Ordinateur

FDM : Fused Deposition Modeling

FFF Fused Filament Fabrication

FOV : Field Of View

HAS : Haute Autorité de Santé

ICM : InterCuspidation Maximale

LOM : Laminated Object Manufacturing

LSAM : Large Scale Additive Manufacturing

MIP : Maximum Intensity Projection

MJ : Material Jetting

PAC : Prothèse Amovible Complète

PC : PolyCarbonate

PET : PolyTéréphtalate d'Éthylène

PEI : Porte-Empreinte Individuel
PLA : Acide Polylactique
RIM : Relation InterMaxillaire
SDL : Selective Deposition Lamination
SHS : Selective Heat Sintering
SLA : StereoLithographie Apparatus
SLM : Selective Laster Melting
SLS : Selective Laser Sintering
SR : Surface Rendering
STL : STéréoLithographie
TPU : PolyUréthane Thermoplastique
UHR : Ultra-Haute Résolution
VR : Volume Rendering
2PP : Two-Photon Polymerization (ou TPP)
3DP : Three Dimensional Printing

1. Introduction

En 2021, la confection de prothèse amovible complète (PAC) comme traitement de l'édenté total peut paraître paradoxale. Bien qu'étant en constante diminution, les patients présentant un édentement total ne sont pas près de disparaître.

La chirurgie dentaire est un domaine bénéficiant assez régulièrement de progrès technologiques. En effet, certaines de ces disciplines voient leur pratique bouleversée par l'apparition de la CFAO (Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur) au sein des cabinets dentaires et des laboratoires de prothèses. A l'heure actuelle, il est devenu possible de concevoir des restaurations prothétiques fixées à partir d'une acquisition digitale, sans même utiliser de matériau à empreinte. En revanche, la réalisation d'une prothèse amovible complète par CFAO ne peut s'affranchir de certaines étapes conventionnelles décrites dans la littérature.

La prise d'empreintes constitue l'une des étapes essentielles à l'élaboration de la prothèse amovible complète car ces empreintes doivent enregistrer les surfaces d'appui et le jeu de la musculature périphérique. Comme le disait LEJOYEUX, « Les empreintes constituent la première étape de construction de la prothèse » [1]. Aujourd'hui, aucun système numérique ne permet de numériser précisément les limites fonctionnelles des arcades édentées directement en bouche dans le but de remplacer la prise d'empreintes. Les empreintes primaires et secondaires restent donc le « gold standard » en prothèse amovible complète.

En revanche, le cone beam (ou CBCT) s'est révélé être une méthode fiable et reproductible comme solution de numérisation des empreintes à condition que la méthode et les matériaux utilisés soient compatibles [2]. Grâce au travail effectué par Samy BENCHIKH, il a été démontré qu'à partir d'une numérisation d'empreinte au cone beam, il est possible de réaliser le traitement complet de l'empreinte, de son acquisition à l'obtention du modèle virtuel positif, sur des logiciels de modélisation.

Dans la continuité, ce travail propose d'étudier la possibilité de confectionner des bases d'occlusion numériques sur les modèles virtuels positifs obtenus à partir de la numérisation des empreintes secondaires au cone beam. De même, la simplification de l'étape de relation intermaxillaire est étudiée en intégrant les bases d'occlusion aux caractéristiques du patient dans le flux numérique CBCT.

Il s'agit donc de répondre à la question suivante :

A partir de la numérisation au cone beam des empreintes secondaires en prothèse amovible complète, est-il possible de confectionner des bases d'occlusion numériques, imprimables en 3D et réglables en bouche, et de les intégrer dans le flux numérique CBCT du patient ?

2. Les bases d'occlusion conventionnelles en prothèse amovible complète

La réalisation d'une prothèse amovible complète (PAC) est une discipline complexe dont les concepts et procédures doivent être simples et reproductibles afin de garantir des résultats prévisibles.

La confection classique d'une PAC repose sur 6 étapes cliniques et de laboratoires essentielles après l'examen pré-prothétique que sont :

- Empreintes primaires
- Empreintes secondaires
- Enregistrement de la relation intermaxillaire (RIM)
- Essayage des maquettes en cire
- Livraison des prothèses
- Doléances

L'empreinte primaire en PAC permet l'enregistrement des surfaces d'appui de la future prothèse de manière statique. Alors que l'empreinte secondaire, est quant à elle anatomo-fonctionnelle, et permet l'enregistrement du jeu musculaire de la zone périphérique. Pour POMPIGNOLI, « La qualité des empreintes est le gage essentiel du succès final » [3].

Suite à la réalisation des empreintes secondaires, celles-ci sont traitées dans le but d'obtenir des modèles secondaires. Des bases d'occlusion sont ensuite confectionnées sur ces modèles afin d'enregistrer la relation intermaxillaire.

2.1. Traitement de l'empreinte secondaire

2.1.1. Principes généraux du traitement de l'empreinte secondaire

Le traitement des empreintes secondaires se décompose en plusieurs grandes étapes détaillées succinctement (Tableau 1) :

- La désinfection de l'empreinte
- Le coffrage de l'empreinte
- La coulée de l'empreinte
- Le démoulage et régularisation du modèle secondaire

Désinfection
<ul style="list-style-type: none"> • L’empreinte est rincée à l’eau puis désinfectée selon un protocole adapté au type de matériau utilisé [4]. Le glutaraldéhyde à 2% peut être utilisé pour tout type d’empreinte secondaire.
Coffrage [4,5]
<ul style="list-style-type: none"> • Il va permettre de conserver et protéger toutes les informations qui ont été enregistrées lors de l’empreinte secondaire. • Le but est d’obtenir un modèle secondaire qui soit la parfaite reproduction des surfaces d’appui tout en conservant l’épaisseur, le volume et la forme des bords. • Il existe plusieurs techniques : coffrage à l’alginate, coffrage à la cire, ...
Coulée
<ul style="list-style-type: none"> • Il s’agit de l’étape ultime du traitement de l’empreinte secondaire. • Le plâtre doit englober la totalité de l’empreinte (intrados, bords et léger retour de l’extrados) afin que tous les éléments enregistrés se retrouvent sur le modèle secondaire. • Le plâtre utilisé doit répondre à certains critères que sont [1] : <ul style="list-style-type: none"> ✓ Temps de prise réduit ✓ Dureté convenable après la prise ✓ Consistance permettant la coulée des petits détails ✓ Absence de rétraction ou expansion de prise ✓ Possibilité de fracture pour le retrait des prothèses après polymérisation
Démoulage et régularisation du modèle secondaire
<ul style="list-style-type: none"> • Une fois la prise exothermique du plâtre terminée, l’empreinte peut être retirée de son coffrage. La désinsertion reste cependant délicate. • Le parallélisme du socle par rapport à la crête peut ensuite être réalisé grâce au taille-plâtre. De même que l’entablement peut être rectifié grâce à la fraise à plâtre.

Tableau 1. Principales étapes du traitement de l’empreinte secondaire (Source personnelle)

2.1.2. Obtention d’un modèle secondaire

Un modèle secondaire est donc obtenu reproduisant les informations enregistrées lors de l’empreinte secondaire (Figure 1). Ce modèle va permettre la confection des bases d’occlusion au laboratoire de prothèse.

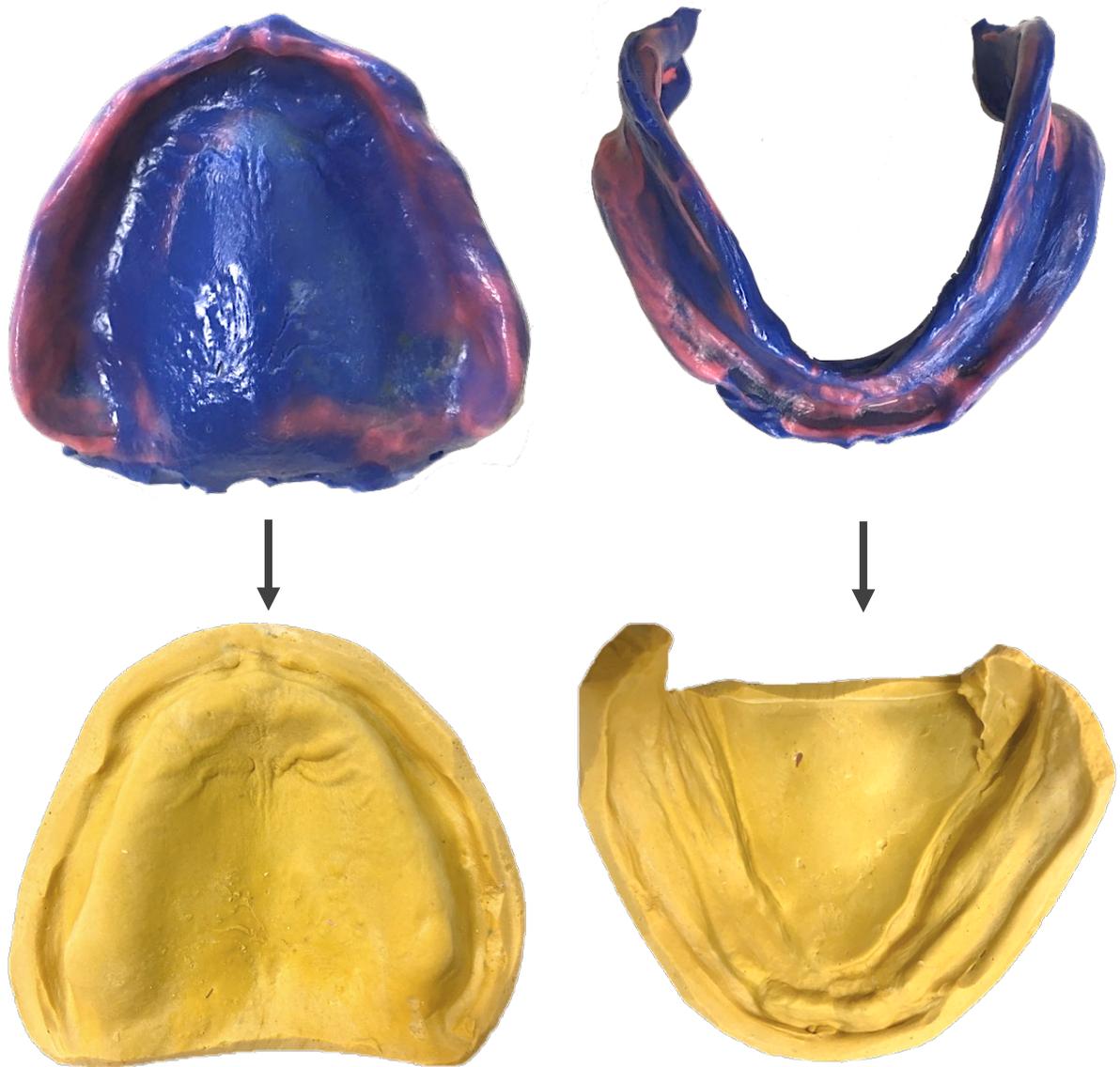


Figure 1. Modèles secondaires obtenus après traitement conventionnel des empreintes secondaires (Photographie personnelle)

2.2. Confection des bases d'occlusion

2.2.1. Buts

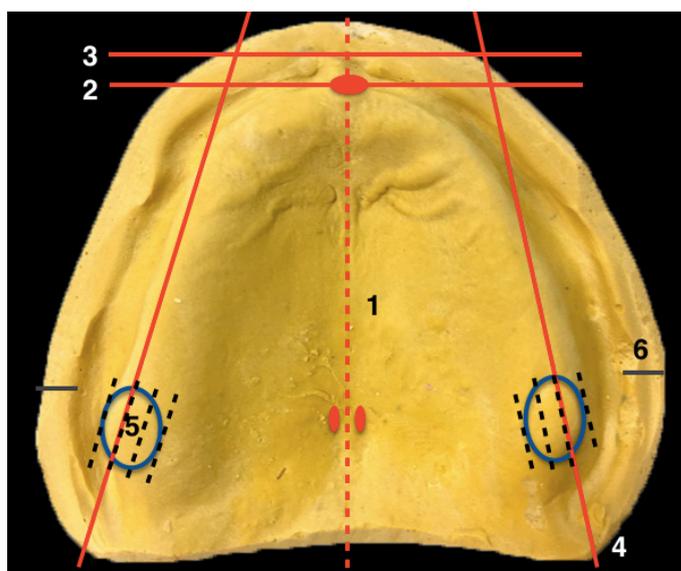
Chez le patient denté, ce sont les surfaces occlusales dentaires qui vont permettre l'enregistrement de la relation intermaxillaire (RIM) et de l'intercuspitation maximale (ICM).

Mais chez le patient édenté, il n'y a plus aucun repère. Il est donc nécessaire de matérialiser un plan grâce à la base d'occlusion. Cette base reproduisant le rempart alvéolo-dentaire va permettre d'enregistrer la relation intermaxillaire et de la transférer sur articulateur dans le but de confectionner les maquettes prothétiques en cire [6].

2.2.2. Préparation des modèles secondaires

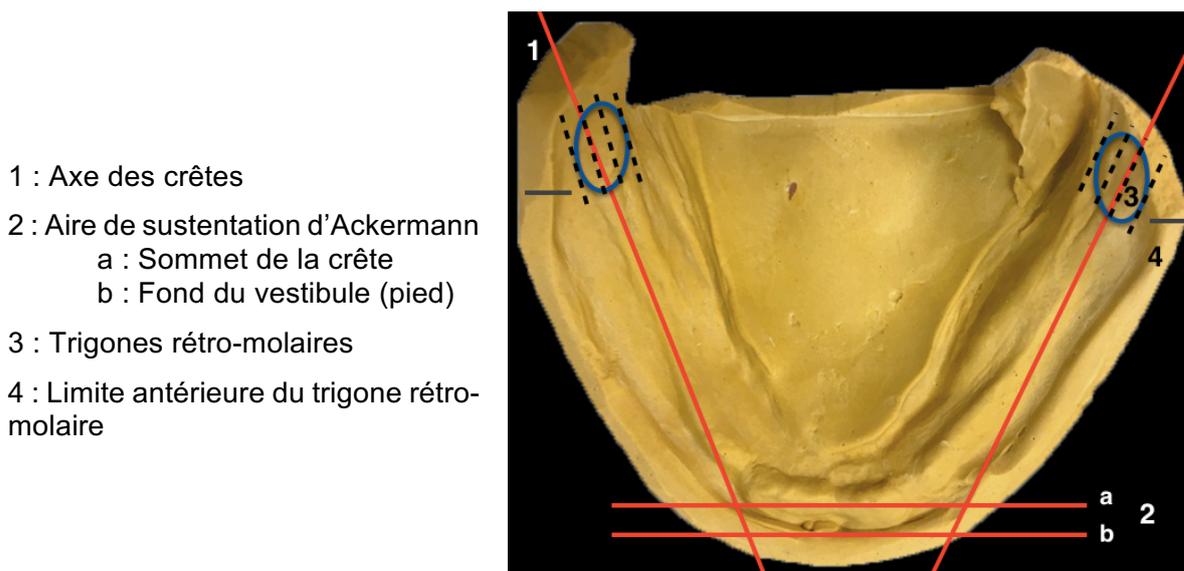
Avant de confectionner les bases d'occlusion, il est nécessaire de tracer les axes longitudinaux des crêtes édentées ainsi que d'autres repères et de les reporter sur le socle des modèles secondaires (Figure 2,3) [5].

Ces axes seront utiles afin que les bourrelets d'occlusion suivent la forme des arcades et respectent certains critères essentiels.



- 1 : Axe médian passant par la papille rétro-incisive et par un point à égale distance des fossettes palatines
- 2 : Axe perpendiculaire à l'axe médian passant par la papille incisive
- 3 : Axe perpendiculaire à l'axe médian passant 6 à 8 mm en avant de la papille
- 4 : Axe des crêtes
- 5 : Tubérosités maxillaires
- 6 : Limite antérieure de la tubérosité

Figure 2. Repères tracés sur le modèle maxillaire avant la confection des bases d'occlusion d'après HUE et BERTERETCHE (Photographie personnelle) [4]



- 1 : Axe des crêtes
- 2 : Aire de sustentation d'Ackermann
 - a : Sommet de la crête
 - b : Fond du vestibule (pied)
- 3 : Trigones rétro-molaires
- 4 : Limite antérieure du trigone rétro-molaire

Figure 3. Repères tracés sur le modèle mandibulaire avant la confection des bases d'occlusion d'après HUE et BERTERETCHE (Photographie personnelle) [4]

2.2.3. Caractéristiques des bases d'occlusion

Les bases d'occlusion sont constituées d'une plaque base et de bourrelets d'occlusion.

La plaque base recouvre la totalité de la surface d'appui ostéo-muqueuse aux mêmes limites que la future prothèse. Alors que les bourrelets d'occlusion préfigurent l'arcade dentaire dans sa position, sa forme et son volume. Ces bases sont impérativement réalisées sur les modèles secondaires. La réussite de l'empreinte secondaire est donc primordiale.

La base d'occlusion doit respecter certaines propriétés pour répondre aux normes de précision et d'adaptation à la physiologie du patient, à savoir [3,6,7] :

- Rigidité
- Stabilité
- Indéformable à température buccale et sous pression occlusale
- Adaptation aisée du bourrelet d'occlusion
- Volume proche de la future prothèse (Respect de l'espace de Donders)
- Bords arrondis, non iatrogènes pour la muqueuse buccale
- Teinte agréable pour ne pas choquer le patient

Il convient donc de proscrire les matériaux mous et les bases d'occlusion en cire car trop déformables et sensibles à température buccale.

NB : L'espace de Donders est l'espace situé entre le dos de la langue et la voûte palatine, ouvert en postérieur sur le pharynx, et limité latéralement et antérieurement par les faces palatines des dents maxillaires [8].

2.2.4. Matériaux

Les matériaux utilisés sont systématiquement rigides afin qu'ils n'entraînent pas de déformation de la base d'occlusion (Tableau 2) [9].

Plaque base	Bourrelets d'occlusion
<ul style="list-style-type: none">• Résine auto-polymérisable (Formatray®)• Résine photo-polymérisable (SR-Ivolen®)• Gomme laque + fil de renfort (TrueBase®)	<ul style="list-style-type: none">• Matériaux thermoplastiques (Stent's®)• Cire dure (Erkodent®)• Résine

Tableau 2. Principaux matériaux utilisés pour la confection des bases d'occlusion (Source =

La combinaison la plus souvent recommandée est une plaque en résine photo-polymérisable surmontée de bourrelets d'occlusion en stent's®.

2.2.5. Critères de réalisation des bases d'occlusion

Les bases d'occlusion présentent des critères de confection différents en fonction du maxillaire ou de la mandibule qui sont répertoriés dans le tableau ci-dessous (Tableau 3) [6,9,10] :

Plaque base	
<ul style="list-style-type: none"> • 1.5 à 2 mm d'épaisseur avec rétentions pour le maintien du bourrelet 	
Bourrelets d'occlusion	
Critères communs	
<ul style="list-style-type: none"> • 3 à 4 mm de largeur en antérieur • 6 à 8 mm de largeur en postérieur • Position de part et d'autre de la crête • Parallèle à la crête 	
Bourrelet maxillaire	Bourrelet mandibulaire
<ul style="list-style-type: none"> • Inclinaison de 10 à 15° en antérieur • 5 à 6 mm en avant de la papille retro-incisive • Étendu jusqu'au pied de la tubérosité avec un pan incliné de 45° • Bord libre à 22 mm du fond du vestibule au niveau de l'incisive latérale 	<ul style="list-style-type: none"> • Ne dépasse pas l'aire d'Ackermann en antérieur (fond du vestibule) avec une inclinaison de 0° • Étendu jusqu'au pied du trigone avec un pan incliné à 45° • Bord libre à 18 mm du fond du vestibule au niveau de l'incisive latérale • Plan d'occlusion passant par les 1/3 supérieurs des trigones

Tableau 3. Principaux critères de réalisation des bases d'occlusion (Source personnelle)

Un préreglage des bourrelets d'occlusion est effectué au laboratoire selon un axe et une orientation qui suit la crête édentée tout en respectant les critères énoncés (Figure 4, 5, 6, 7).

Le degré de résorption de l'os alvéolaire influence le positionnement du bourrelet d'occlusion. Il convient donc de se souvenir que la résorption de l'os alvéolaire est centripète au maxillaire et centrifuge à la mandibule.

Les bases d'occlusion ainsi confectionnées serviront à l'enregistrement de la relation intermaxillaire (RIM). Elles seront ajustées progressivement selon les caractéristiques du patient et transférées sur articulateur dans le but d'entreprendre la confection des futures prothèses.

Base d'occlusion maxillaire

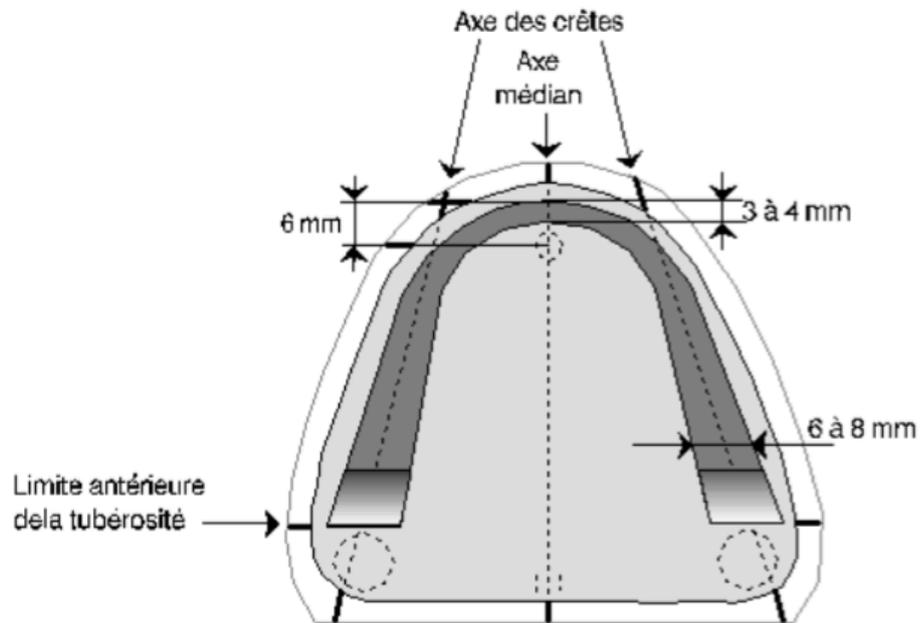


Figure 4. Schéma des critères de confection du bourrelet d'occlusion maxillaire dans le plan axial [11]

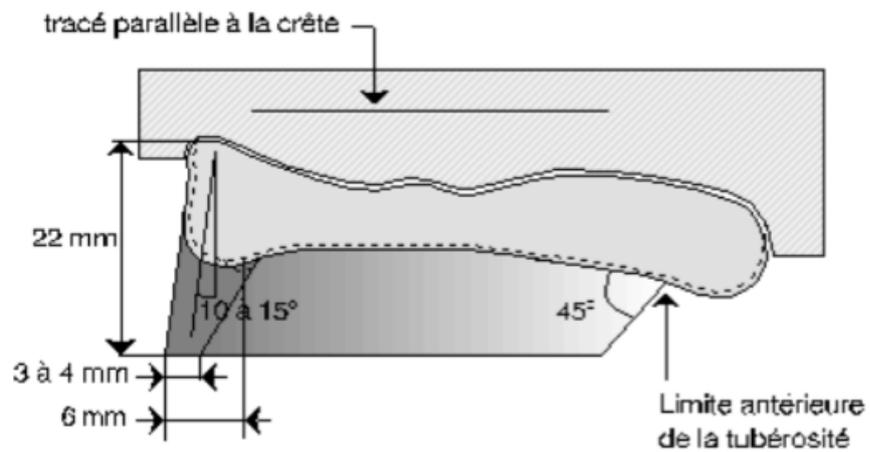


Figure 5. Schéma des critères de confection du bourrelet d'occlusion maxillaire dans le plan sagittal [11]

Base d'occlusion mandibulaire

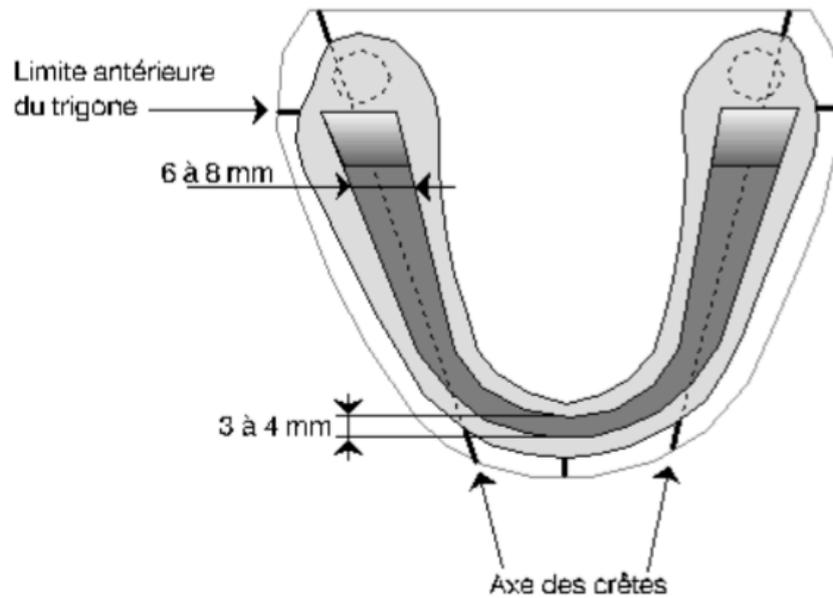


Figure 6. Schéma des critères de confection du bourrelet d'occlusion mandibulaire dans le plan axial [11]

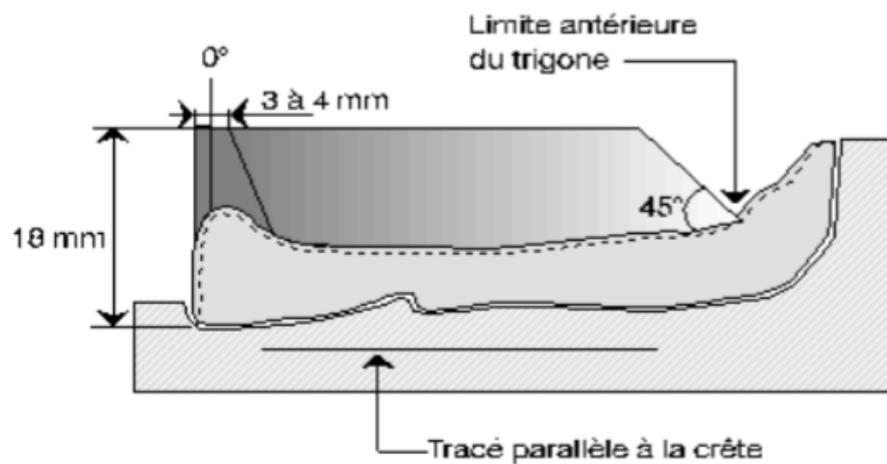
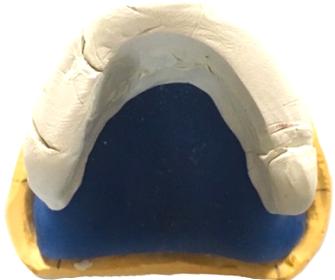


Figure 7. Schéma des critères de confection du bourrelet d'occlusion mandibulaire dans le plan sagittal [11]

2.3. Rappels en images des étapes de réalisation d'une base d'occlusion en résine photo-polymérisable et stent's®

Matériels nécessaires	
<ul style="list-style-type: none"> • Crayon à papier • Plaque de résine photo-polymérisable, stent's® • Spatule zâhle, spatule à cire, bistouri,... • Plaque de verre, pied à coulisse 	<ul style="list-style-type: none"> • Source de chaleur type alcool torch, bouilloire, ... • Bol à plâtre • Pièce à main, fraise à résine • Tunnel à photo-polymériser
Etapes de réalisation	
	
<p><u>Etape 1</u> : Une fois les modèles secondaires préparés, appliquer la résine photo-polymérisable en gardant toute son épaisseur et en la découpant aux limites</p>	<p><u>Etape 2</u> : Mise en place de rétention sur la plaque base</p>
	
<p><u>Etape 3</u> : Polymérisation de la plaque base 10 mn sur l'extrados et 10 mn sur l'intrados</p>	<p><u>Etape 4</u> : Modelage du stent's® dans de l'eau chaude</p>
	
<p><u>Etape 5</u> : Positionnement du stent's® sur la crête édentée et fixation à la plaque base</p>	<p><u>Etape 6</u> : Retouches du stent's® selon les critères énoncés et polissage</p>

3. La Relation Intermaxillaire en prothèse amovible complète conventionnelle

L'enregistrement de la relation intermaxillaire (RIM) en prothèse amovible complète (PAC) est une étape longue et fastidieuse pour le praticien et le patient, qui nécessite de respecter les protocoles et la chronologie établis. Il s'agit d'une étape primordiale car l'architecture prothétique dépendra de la relation entre les arcades antagonistes.

Comme dit précédemment, chez l'édenté total, il n'y a plus aucun repère anatomique [10]. L'absence de référence oblige donc le praticien à reproduire un plan qui sera transféré grâce à la base d'occlusion. Comme le disait LEJOYEUX, « La conception et la réalisation d'une prothèse complète ne peuvent s'effectuer dans la cavité buccale » [12]. Les bases d'occlusion sont donc réglées en bouche puis transférées sur articulateur afin de reproduire la position spatiale de la mandibule par rapport au maxillaire. Le montage ainsi obtenu sur articulateur doit restituer une situation relative à celle présente en bouche afin d'entreprendre la confection des maquettes prothétiques en cire.

La relation intermaxillaire va préfigurer la future occlusion prothétique du patient édenté total et donc rétablir ses différentes fonctions : mastication, déglutition, phonation et esthétique. La composante statique de l'occlusion dépendra de 3 paramètres que sont la dimension verticale, la relation centrée et le plan d'occlusion.

Selon POMPIGNOLI, « Un rapport intermaxillaire bien enregistré est le garant de la pérennité des prothèses » [13]. Il s'agit d'une séance exigeante sur le plan clinique pouvant entraîner de nombreux échecs prothétiques si elle est mal réalisée.

L'enregistrement de la relation intermaxillaire comprend 3 étapes successives (Figure 8) :

- Transfert du modèle maxillaire sur articulateur
- Détermination de la dimension verticale d'occlusion (DVO)
- Enregistrement de la relation intermaxillaire et transfert du modèle mandibulaire sur articulateur

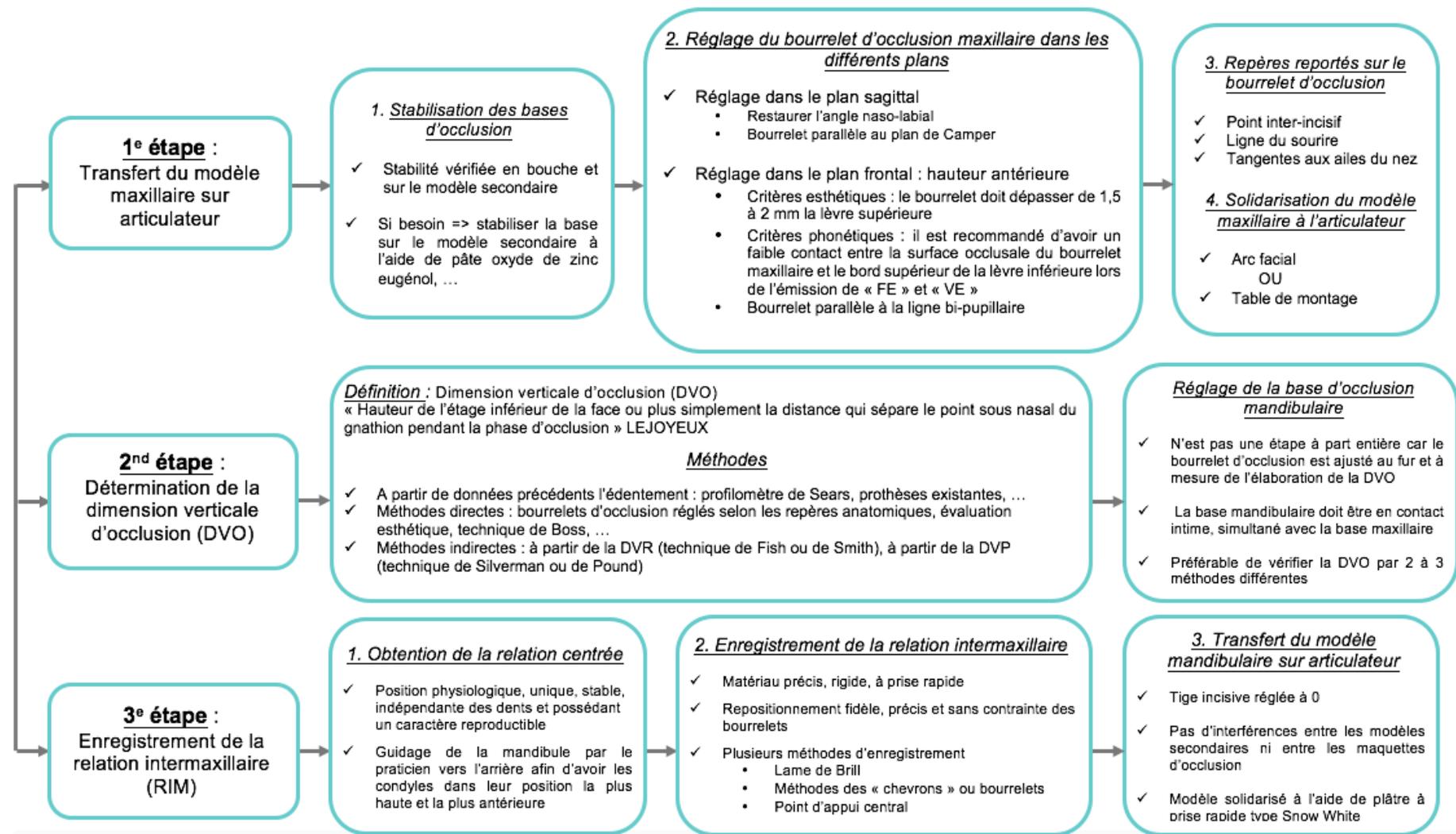


Figure 8. Schéma récapitulatif des 3 grandes étapes de l'enregistrement de la relation intermaxillaire (Illustration personnelle)

4. Numérisation des empreintes secondaires grâce au cone beam et logiciels de traitement des données

Ces dernières années, les nouvelles technologies numériques se sont fortement développées. La prothèse amovible complète, bien qu'étant une discipline traditionnelle, se voit progressivement bousculée par leur apparition dont le but est de gérer au mieux nos stratégies et projets thérapeutiques.

A l'heure actuelle, le cone beam est un dispositif radiologique qui se démocratise dans les cabinets libéraux en raison de sa faible irradiation et de la production de données très précises. Il est en train de devenir un outil supplémentaire dans la pratique quotidienne.

Il existe très peu de données sur la numérisation des empreintes de prothèse amovible complète (PAC) au cone beam. En revanche, le peu de littérature existant montre que le cone beam produit des modèles édentés virtuels plus précis et reproductibles que le scanner de laboratoire [14]. La création de ces modèles numériques se fait immédiatement après la prise des empreintes et ne nécessite pas d'étape de laboratoire [15].

4.1. Le Cone Beam ou CBCT (Cone Beam Computed Tomography)

4.1.1. Généralités sur le CBCT

Le CBCT (Cone Beam Computed Tomography) est une technique d'imagerie médicale tridimensionnelle récente aussi appelé « tomographie volumique à faisceau conique » [16].

Il est apparu dans la fin des années 90, mais est aujourd'hui largement développé et trouve son indication dans de nombreuses disciplines de la dentisterie : cariology, endodontie, parodontologie, orthodontie, implantologie, chirurgie orale, traumatologie, atteinte des articulations temporo-mandibulaires, ... [16,17].

4.1.2. Fonctionnement du CBCT

Une source de rayons X de forme conique est dirigée, à travers le milieu de la zone d'intérêt, puis analysée après atténuation par un détecteur de rayon X du côté opposé (Figure 9) [18].

La source et le détecteur effectuent un balayage ou une rotation de manière simultanée de 180 à 360°. Pendant cette rotation, des centaines d'images numériques 2D sont acquises puis traitées sur ordinateur grâce à des algorithmes de reconstruction afin d'obtenir une reconstruction volumique tridimensionnelle.

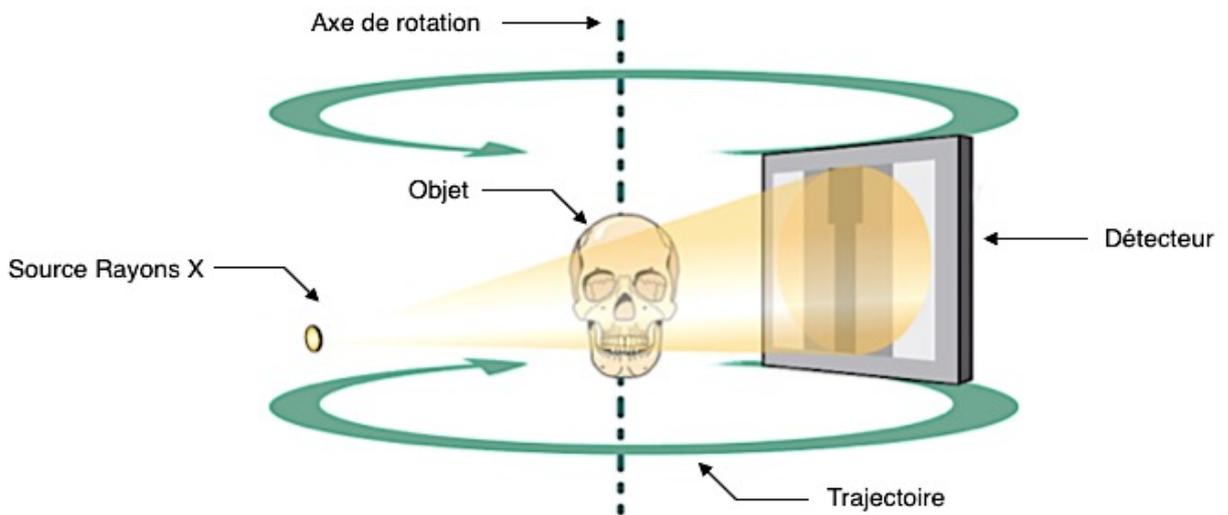


Figure 9. Principe de fonctionnement d'une acquisition par CBCT [19]

Avec le CBCT, le volume numérisé est donc obtenu par reconstruction informatique à partir des données numériques 2D.

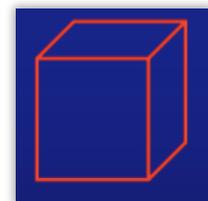
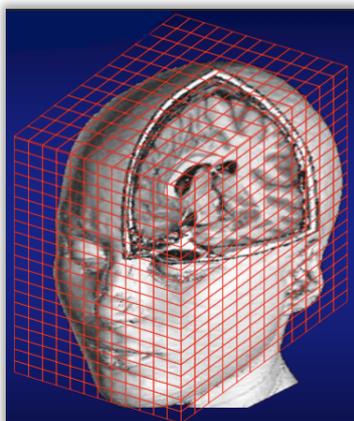
4.1.3. Caractéristiques de l'image CBCT

L'image médicale est définie par plusieurs caractéristiques que sont la résolution spatiale, le champ de vue, les artéfacts mais aussi le contraste, le bruit et la dosimétrie.

4.1.3.1. La résolution spatiale

La résolution spatiale est considérée comme la capacité d'un système à distinguer deux structures proches l'une de l'autre. Il s'agit de la distance minimale séparant deux points.

Lors de l'acquisition CBCT, l'ensemble des données volumétriques forme un bloc tridimensionnel de petites unités appelées « voxels ». Ils s'apparentent à des pixels 2D. Les voxels sont cubiques et isotropes c'est-à-dire qu'ils mesurent la même taille quelle que soit la face considérée (Figure 10) [20, 21]. Cette isotropie confère une résolution spatiale de grande qualité au CBCT dans les trois dimensions, quelle que soit l'orientation des coupes dans le volume.



VOXEL = VOlume **X EL**ément

Figure 10. Schéma explicatif d'un voxel [22]

La résolution spatiale de l'image est déterminée par la taille de ces voxels mais dépend également de la taille du champ de vue. Plus le volume d'acquisition est réduit, plus les voxels sont de petite taille ce qui permet d'obtenir une plus haute résolution.

4.1.3.2. Le champ de vue ou FOV (Field Of View)

La plupart des CBCT existant possèdent plusieurs tailles de champ d'exploration. Ce champ sera choisi par le praticien en fonction des structures qu'il veut explorer :

- Appareils à grand champ (< 8 cm)
- Appareils à champ moyen (8-10 cm)
- Appareils à petit champ (> 15 cm)

Plus le champ de vue est grand, plus le temps de reconstruction est long et la dose de rayonnement importante. Il convient donc de choisir la taille du champ la plus adaptée à la région d'intérêt.

4.1.3.3. Les artéfacts

Les artéfacts sont responsables d'une déformation de l'image qui peut nuire à l'interprétation. Ils peuvent être :

- Métalliques : dus à un phénomène de durcissement du faisceau de rayons X
- Cinétiques : dus à des mouvements du patient lors de l'acquisition.

Cependant, ils restent tout de même limités en comparaison à d'autres techniques d'imagerie (scanner, IRM) [23]. Les artéfacts cinétiques n'entrent pas en compte dans la numérisation des empreintes.

4.1.4. Avantages et limites du CBCT

Le CBCT comme la plupart des techniques d'imagerie possède des avantages et des limites qu'il est nécessaire de prendre en compte (Tableau 4).

Avantages	Limites
<ul style="list-style-type: none"> • Résolution spatiale haute et identique quelle que soit l'orientation des coupes • Taille du champ de vue variable • Sensibilité aux artéfacts métalliques réduite • Irradiation limitée par rapport au scanner • Réalisation rapide 	<ul style="list-style-type: none"> • Résolution en densité médiocre avec une mauvaise analyse des tissus mous • Bruit élevé • Sensibilité aux artéfacts cinétiques dépendante de la coopération du patient

Tableau 4. Avantages et limites de l'acquisition d'un cone beam (Source personnelle)

4.1.5. Reconstruction du volume à partir des données

Lors de l'acquisition d'un CBCT, de nombreuses données sont produites, stockées puis transformées afin d'obtenir une reconstruction d'image permettant l'exploitation du volume. Le temps d'acquisition d'un CBCT est variable selon l'appareil et le programme choisis.

4.1.5.1. Reconstructions primaires

A partir des données brutes acquises lors de la prise d'un cone beam, on distingue 2 types de reconstructions primaires du volume [24] :

- Reconstructions bidimensionnelles « directes » : elles sont obtenues à partir des acquisitions brutes qui reconstruisent des coupes 2D axiales, frontales et sagittales.
- Reconstructions DICOM (= Digital Imaging and Communications in Medicine) : il s'agit d'un format d'image universel permettant la gestion informatique des données issues de l'imagerie médicale. Les données d'images DICOM ne peuvent être ouvertes par un logiciel d'imagerie standard mais nécessitent une visionneuse DICOM compatible. Ces reconstructions se font dans le plan axial et permettent ensuite l'obtention de reconstructions secondaires.

4.1.5.2. Reconstructions secondaires

La reconstruction primaire DICOM a permis l'acquisition d'un volume 3D dans le plan axial. Mais par la suite, les reconstructions secondaires produites à partir de ces données primaires, permettent d'avoir plus d'informations grâce à l'obtention d'images en UHR (Ultra-Haute Résolution).

4.1.5.3. Reconstructions tridimensionnelles (3D)

Ce type de reconstruction est fréquemment exploité lors de chirurgie implantaire ou pour l'étude céphalométrique à visée orthodontique.

On distingue (Figure 11) [18,25] :

- L'imagerie 3D en Rendu de Surface (SR ou Surface Rendering) : il s'agit d'une méthode permettant la visualisation des surfaces cutanées et osseuses sans pour autant permettre l'analyse des structures internes.
- L'imagerie 3D en Rendu de Volume (VR ou Volume Rendering) : elle permet la visualisation de données 3D par affichage sélectif de niveau de gris des voxels (os, dents, tissus mous, ...). Il est possible par exemple d'isoler la denture du reste de l'acquisition.

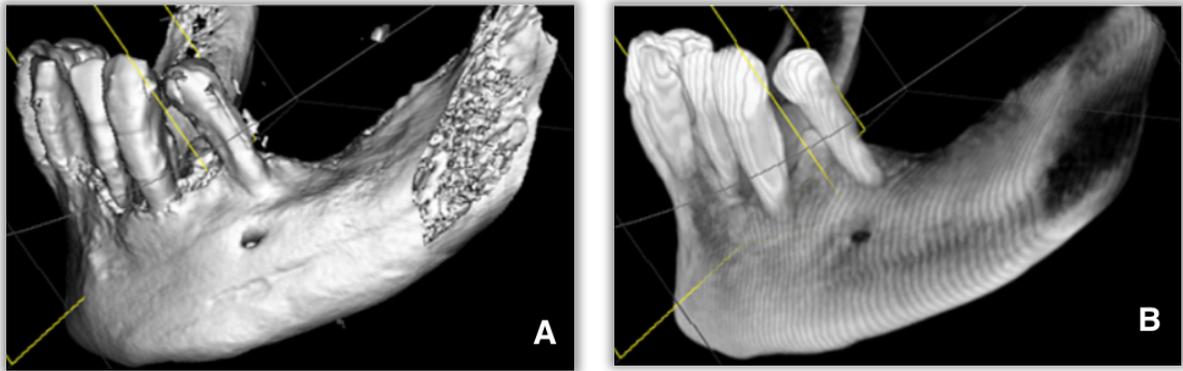


Figure 11. Exemple d'un "Surface Rendering" (A) et d'un "Volume Rendering" (B) d'une mandibule [26]

L'imagerie 3D en « Rendu de Surface » va permettre de reproduire l'intégralité de la surface enregistrée par l'empreinte ainsi que son exploitation numérique par des logiciels informatiques.

L'imagerie 3D en « Rendu de Volume » va permettre, quant à elle, de visualiser sélectivement différents niveaux de gris notamment lors de matching réalisé à l'aide de marqueurs radio-opaques.

4.2. Numérisation des empreintes secondaires grâce au CBCT

En prothèse amovible complète, l'empreinte secondaire doit être anatomo-fonctionnelle et tenir compte de la mobilité des muqueuses. Actuellement, aucun système optique ne permet de numériser précisément les limites fonctionnelles des arcades édentées directement en bouche dans le but de remplacer la prise d'empreintes secondaires. L'étape de numérisation de l'empreinte secondaire est donc obligatoire afin de créer un modèle secondaire numérique.

4.2.1. Rendu numérique des matériaux

Le CBCT (Cone Beam Computed Tomography) est un dispositif radiologique pouvant être utilisé pour la numérisation des empreintes secondaires. Il s'agit d'une mesure fiable, reproductible et bien plus précise que les scanners de laboratoire [14]. Elle comporte cependant des inconvénients.

En effet, l'empreinte secondaire pouvant être réalisée avec différents matériaux, donne un rendu numérique différent lors de sa numérisation par CBCT.

D'après la thèse de Samy BENCHIKH [2], une partie des matériaux les plus couramment utilisés pour les empreintes secondaires a été testée dans le but de déterminer leur précision après numérisation par CBCT. Certains semblent cependant créer des artéfacts et ne sont donc pas utilisables (Tableau 5).

Matériau pour empreinte secondaire	Qualité du rendu numérique au CBCT
Permlastic ®	Mauvaise
Bisico Function ®	Excellente
Permadyne ®	Excellente
Impregum ®	Excellente
Impression Paste ®	Mauvaise
Pâte de Kerr	Excellente

Tableau 5. Synthèse de la qualité du rendu numérique au CBCT des matériaux utilisés pour les empreintes secondaires d'après Samy BENCHIKH (Illustration personnelle) [2]

4.2.2. Empreintes secondaires de référence

Dans le cadre de ce travail, les empreintes secondaires de référence ont été réalisées sur une patiente édentée totale, au sein du Centre Abel Caumartin attaché au CHRU de Lille (Annexe 1).

Ces empreintes secondaires ont été réalisées grâce à des portes-empreintes individuels (PEI) confectionnés sur les modèles primaires (Figure 12,13). Les matériaux utilisés sont les polyéthers avec :

- Marginage : Permadyne® Orange (Heavy)
- Surfaçage : Permadyne® Bleue (Light)

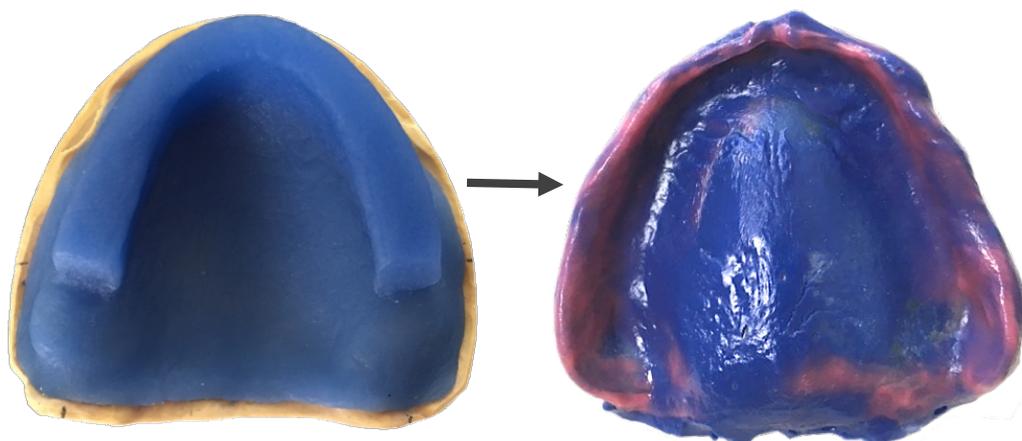


Figure 12. Porte-empreinte individuel et empreinte secondaire maxillaire avec marginage à la Permadyne® Orange (Heavy) et surfaçage à la Permadyne® bleue (Light) (Photographie personnelle)

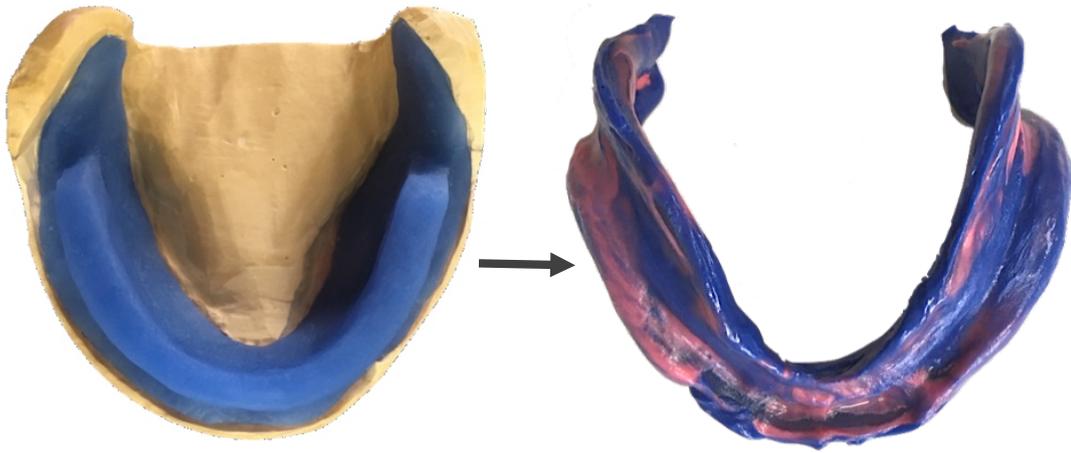


Figure 13. Porte-empreinte individuel et empreinte secondaire mandibulaire avec marginage à la Permadyne® Orange (Heavy) et surfaçage à la Permadyne® bleue (Light) (Photographie personnelle)

Une fois ces empreintes secondaires numérisées au cone beam, elles sont traitées de manière conventionnelle dans le but d'élaborer un modèle secondaire en plâtre.

4.2.3. Méthode de numérisation des empreintes

Le cone beam utilisé est le PaX-i3D Green de chez VATECH.

4.2.3.1. Positionnement des empreintes dans le CBCT

Un plateau pour le positionnement des empreintes ou modèles en plâtre est fourni par la société VATECH avec le cone beam. Les empreintes secondaires sont positionnées sur ce plateau et légèrement surélevées par des plots de cire collante (Figure 14).

Il est nécessaire d'inclure la totalité de l'empreinte dans le champ d'acquisition.



Figure 14. Vue de 3/4 du positionnement des empreintes secondaires sur le plateau fourni par VATECH (Photographie personnelle)

4.2.3.2. Paramètres d'acquisition

Le logiciel EzDent-i™ est utilisé pour lancer la numérisation des empreintes par le cone beam en sélectionnant le mode « Tomodensitométrie ou CT ». Les paramètres d'acquisition sont (Figure 15, tableau 6) :

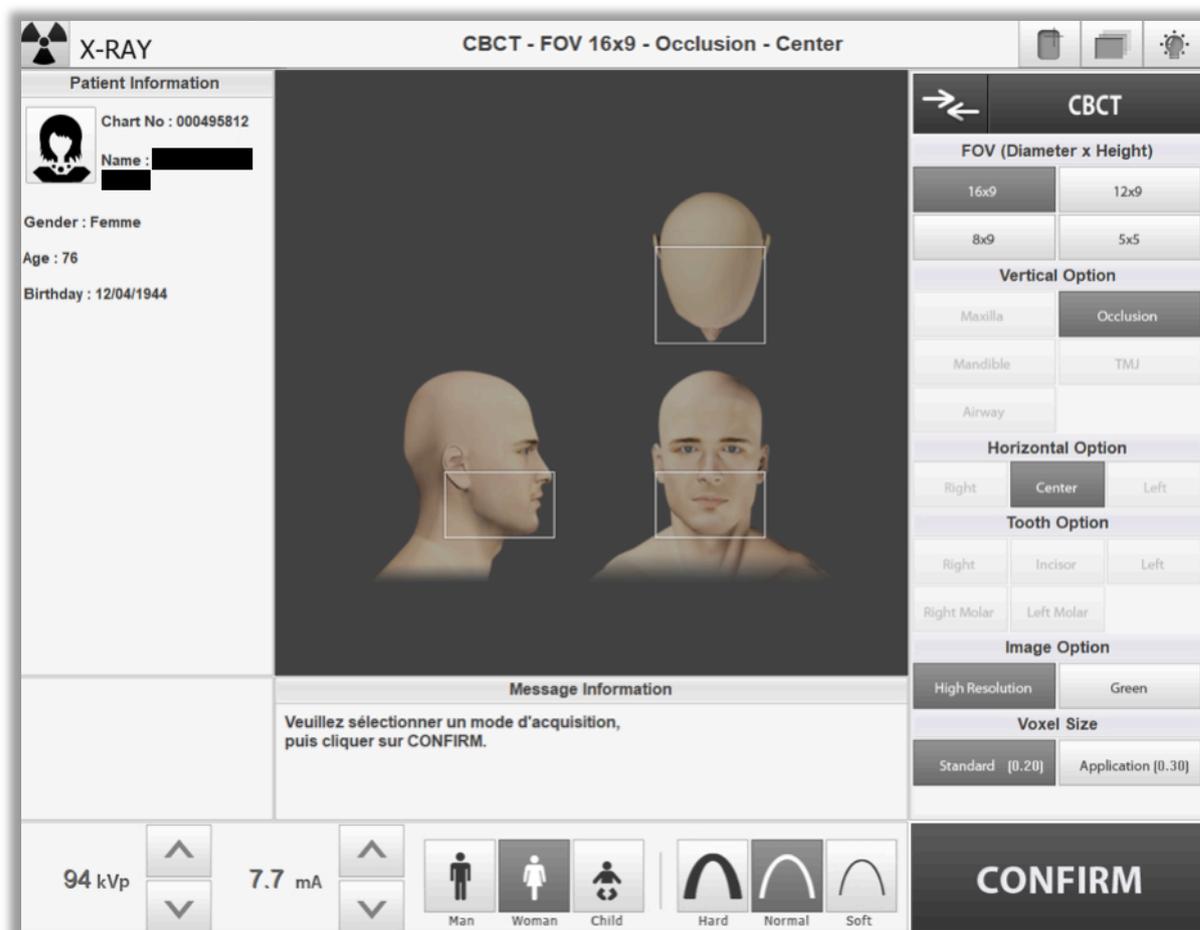


Figure 15. Choix des paramètres d'acquisition du CBCT dans le logiciel EzDent-i™ (Illustration personnelle)

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

Tableau 6. Paramètres d'acquisition pour la numérisation des empreintes au CBCT (Source personnelle)

Avant tout cone beam, il convient de choisir le champ de vue le plus adapté au cas clinique. Pour la numérisation des empreintes n'impliquant pas directement le patient, le plus grand champ de vue est choisi ainsi que la résolution maximale dans le but d'obtenir des images très précises.

4.2.3. Logiciels de traitement et de modélisation des données

Les données obtenues après numérisation des empreintes secondaires permettent l'élaboration d'une empreinte numérique grâce au traitement par le logiciel du CBCT. Il est ensuite nécessaire d'utiliser le logiciel Ez3D-i™ pour traiter les données et les exporter sous forme STL (STéréoLithographie) dans le but de servir de base de travail. Ce format est lisible par de nombreux logiciels et permet de coder la géométrie de surface d'un objet 3D [27,28].

Des logiciels très puissants sont disponibles pour l'exploitation de l'empreinte numérisée mais ils nécessitent l'acquisition d'une licence. En revanche, il existe un large éventail de logiciels gratuits de modélisation 3D qui peuvent être open source (Tableau 7).

MeshMixer est un logiciel développé par Autodesk®, qui va permettre la confection numérique d'objets pour l'impression 3D. Ce logiciel intuitif et facile d'utilisation, inclut de nombreuses fonctionnalités qui permettent la création d'un fichier en vue d'un prototypage rapide lors de son transfert vers une imprimante 3D [29].

Dans le cadre de ce travail, le logiciel MeshMixer est utilisé pour le traitement de l'empreinte secondaire dans le but d'obtenir un modèle secondaire virtuel mais également pour la confection numérique des bases d'occlusion.

Malgré quelques limites, ce logiciel aboutit à la même finalité que les autres c'est-à-dire la création d'objets 3D personnalisés prêts à être imprimés.

Blue Sky Plan® est un logiciel développé par Blue Sky Bio, qui est initialement destiné à la planification implantaire. Ce logiciel gratuit présente l'avantage d'offrir les mêmes fonctionnalités que les logiciels nécessitant une licence. En effet, les fichiers informatiques DICOM issus de l'imagerie médicale CBCT peuvent être analysés et les structures anatomiques étudiées. De plus, les fichiers STL provenant des arcades du patient peuvent y être intégrés.

Pour ce travail, le logiciel Blue Sky Plan® est utilisé pour la superposition de fichiers 3D à l'aide de marqueurs radio-opaques mais aussi pour le matching entre données radiologiques (DICOM) et données cliniques (STL).

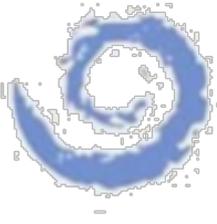
Logiciel	Licence	Utilisation	
	Licence	<ul style="list-style-type: none"> Reconstruction du volume à partir de l'acquisition Visualisation de l'empreinte secondaire numérisée Exportation de la numérisation en fichier STL 	
	Freeware	<ul style="list-style-type: none"> Conversion de l'empreinte secondaire détournée en modèle positif Création d'un modèle secondaire Confection d'une base d'occlusion 	
		Avantages	Limites
		<ul style="list-style-type: none"> Gratuit Design disponible dans les archives Interface simple Intuitif Modification du modèle 3D possible Possibilité d'impression 3D 	<ul style="list-style-type: none"> Logiciel moins puissant que ceux nécessitant une licence Nombre d'étapes augmenté Manipulation moins aisée
	Freeware	<ul style="list-style-type: none"> Logiciel de lecture des examens tomographiques (CT) à partir des images DICOM Evaluation de l'anatomie du maxillaire et de la mandibule Superposition de fichiers 3D Matching de données radiologiques (DICOM) et données cliniques (STL) 	

Tableau 7. Synthèse des logiciels utilisés pour le traitement numérique des empreintes, la confection numérique des bases d'occlusion et la superposition de fichiers 3D en prothèse amovible complète (Source personnelle) [29,30]

4.3. Autres méthodes de numérisation des empreintes secondaires

4.3.1. L'empreinte optique

L'empreinte optique aussi appelée « empreinte numérique » est un dispositif développé dans les années 80 permettant d'obtenir des images tridimensionnelles des arcades dentaires. A partir de cette empreinte, un logiciel spécifique élabore un modèle numérique aidant à la confection des prothèses [31].

Le principe de la numérisation repose sur l'exposition d'une surface à un rayonnement lumineux qui sera déformé par cette surface. Cette perturbation permet la mesure de la forme de la surface. L'empreinte optique est donc considérée comme la mesure d'une déformation.

Les empreintes secondaires acquises de manière conventionnelle peuvent être scannées à l'aide de la caméra optique comme la TRIOS® de 3Shape (Figure 16).

La société 3Shape propose une stratégie de scannage propre à leur système pour les arcades édentées. En revanche, comme évoqué précédemment, la mobilité des muqueuses ne permet pas la numérisation directement en bouche.



*Figure 16. Modèle TRIOS®
Cart de 3Shape [32]*

4.3.2. Le scanner de laboratoire



*Figure 17. Scanner 3D
Serie 7 Dental Wings
[33]*

Grâce aux améliorations de ces dernières années, les scanners de laboratoire montrent une grande précision de numérisation des modèles et empreintes dentaires. Ils fonctionnent sur le même principe que l'empreinte optique et permettent également l'élaboration d'un modèle numérique grâce à un logiciel spécifique.

Ils sont dotés d'un support permettant la fixation d'un modèle ou d'une empreinte pour sa numérisation comme avec le scanner 3D série 7 de Dental Wings (Figure 17).

4.3.3. Comparaison des autres méthodes de numérisation

Les empreintes secondaires de référence ont également été scannées grâce à la caméra optique TRIOS® 3Shape et au scanner 3D série 7 Dental Wings dans le but de comparer les méthodes de numérisation (Tableau 8, Figure 18,19).

Numérisation grâce à la caméra optique TRIOS® de 3Shape	Numérisation grâce au scanner 3D série 7 Dental Wings
Méthode de numérisation	
<div data-bbox="288 394 780 842" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="244 887 823 987" data-label="Caption"> <p><i>Figure 18. Rendu numérique d'une empreinte secondaire après numérisation par caméra optique (Illustration personnelle)</i></p> </div> <div data-bbox="244 1025 823 1126" data-label="Text"> <p>La caméra optique balaye toute la surface de l'empreinte selon une stratégie de scannage :</p> </div> <div data-bbox="244 1149 823 1464" data-label="List-Group"> <ul style="list-style-type: none"> • 1. Positionner la caméra sur une tubérosité côté externe et rejoindre le côté interne de cette même tubérosité • 2. Continuer le scannage du bord de l'empreinte par des mouvements externes/internes jusqu'à la tubérosité opposée • 3. Scanner l'ensemble du palais </div>	<div data-bbox="900 394 1382 842" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="871 887 1417 987" data-label="Caption"> <p><i>Figure 19. Rendu numérique d'une empreinte secondaire après numérisation par scanner 3D (Illustration personnelle)</i></p> </div> <div data-bbox="855 1025 1434 1155" data-label="Text"> <p>L'empreinte est fixée sur le support pour permettre sa numérisation. Le rayon laser balaye l'ensemble de la surface qui lui est visible.</p> </div>
Difficultés rencontrées	
<p>La tête de la caméra ne permet pas l'accès au niveau des zones de contre-dépouilles antérieures. Le logiciel 3Shape comble automatiquement ces zones non scannées ce qui est source d'imprécision.</p> <p>De plus, il s'agit d'une méthode praticien dépendante.</p>	<p>Le rayon laser n'a pas accès aux zones de contre-dépouilles antérieures laissant ces espaces non numérisés.</p>

Résultats

La numérisation des empreintes au CBCT est fiable, précise et reproductible [2,14]. En revanche, dans ce travail, la numérisation grâce à la caméra optique et au scanner 3D de laboratoire a montré quelques imprécisions et limites au niveau des zones de contre-dépouilles antérieures qu'il faudrait explorer.

Tableau 8. Comparatif des méthodes de numérisation d'une empreinte secondaire par caméra optique et scanner 3D de laboratoire en prothèse amovible complète (Source personnelle)

Il serait intéressant de comparer cliniquement un échantillon d'empreintes secondaires de prothèse amovible complète (PAC) numérisé grâce à ces trois méthodes (caméra optique, CBCT et scanner 3D de laboratoire) dans le but de démontrer la technique la plus fiable.

5. Impression 3D de la base d'occlusion numérique

L'avancée technologique permet une accessibilité croissante à l'impression tridimensionnelle. Elle trouve sa place dans l'environnement industriel, automobile mais aussi biomédical.

La dentisterie a longtemps utilisé des systèmes CAD/CAM reposant sur la fabrication soustractive appelée « fraisage » ou « usinage à commande numérique ». Elle consiste à enlever de la matière pour former un objet grâce à des outils de coupe [34]. Mais, les techniques de fabrication additive, plus connues sous le nom « impression 3D » sont en train d'exploser depuis plusieurs années dans ce domaine afin de pallier les inconvénients de la technique soustractive (Tableau 9) [35–38].

L'impression 3D est une technique de fabrication additive définie par l'American Society for Testing and Materials (ASTM) comme « un processus d'assemblage de matériaux dans le but de fabriquer des objets, à partir de données de modèles 3D, généralement couche par couche par opposition aux techniques soustractives » [37].

	Avantages	Inconvénients
Fabrication Additive = Impression 3D	<ul style="list-style-type: none"> • Coût accessible et diminué • Design mieux optimisé • Production d'une grande variété d'objets • Perte de matière faible • Equipement compétitif : prix, vitesse de production, ... • Haute précision et amélioration des propriétés de la pièce • Production à la demande 	<ul style="list-style-type: none"> • Peu de variétés de matériaux • Propriétés des matériaux parfois inadaptées : irritation de la peau, durée de conservation limitée, stérilisation à la chaleur impossible, coût, ... • Faible volume des objets imprimés • Association de matériaux compliquée • Post traitement parfois difficile
Fabrication Soustractive	<ul style="list-style-type: none"> • Production de modèles complexes • Capacité à créer des détails fins • Temps de production diminué • Nombreuses technologies : usinage électrochimique, usinage par faisceau d'électrons, ... 	<ul style="list-style-type: none"> • Importante quantité de matière gaspillée • Forte abrasion et usure des outils de fraisage • Fissures introduites dans les matériaux fragiles • Usinage compliqué en cas de contre-dépouilles • Possible problèmes d'ajustement et propriétés inférieures

Tableau 9. Comparatif entre fabrication additive et soustractive (Source personnelle) [36,37,39–41]

L'impression 3D est donc une excellente opportunité pour la dentisterie d'autant plus qu'il existe un large éventail de technologies d'impression.

5.1. Pourquoi un passage au numérique ?

Ces dernières années, l'odontologie numérique est devenue un nouveau défi. En effet, le domaine de la dentisterie voit sa pratique habituelle transformée par la CAO (Conception Assistée par Ordinateur), la FAO (Fabrication Assistée par Ordinateur) et l'impression 3D.

Ces nouvelles technologies présentent l'avantage d'apporter des solutions thérapeutiques adaptées à chaque patient [42]. De plus, le numérique permet de pallier les difficultés rencontrées avec la méthode conventionnelle à savoir les incertitudes et les risques liés à l'homme (Tableau 10). La précision, l'exactitude et la cohérence sont ainsi améliorées.

La numérisation de l'empreinte secondaire au CBCT évite le traitement conventionnel de l'empreinte pouvant engendrer des variations liées au coffrage de l'empreinte ou à la coulée.

Les fabrications numériques possèdent l'avantage de produire des objets et dispositifs personnalisés au patient tout en ayant une haute qualité et grande précision. Leur fabrication est reproductible sur demande.

Différentes technologies d'imprimantes 3D peuvent être utilisées offrant une large gamme d'applications : guides chirurgicaux, couronnes, prothèse amovible, modèles d'études ...

	Avantages	Inconvénients
Méthode conventionnelle	<ul style="list-style-type: none"> Maîtrise des protocoles 	<ul style="list-style-type: none"> Délai de fabrication plus long Plus de rendez-vous avec le patient Pas de garantie précise que le dispositif médical soit adapté Manque de précision
Méthode numérique = CAO et impression 3D	<ul style="list-style-type: none"> Meilleure précision, exactitude et cohérence Réduction des délais de fabrication Moins de rendez-vous prévus avec le patient Dispositif personnalisé et adapté au patient Pallie les difficultés rencontrées avec la méthode conventionnelle Production sur demande 	<ul style="list-style-type: none"> Equipement nécessaire (scanner, imprimante 3D, ...) Maîtrise/formation du logiciel de CAO Nouvelle organisation et logistique de travail

Tableau 10. Comparatif méthode conventionnelle / impression 3D (Source personnelle)

5.2. Base d'occlusion = dispositif médical

Selon la Haute Autorité de Santé (HAS), les bases d'occlusion sont des dispositifs médicaux (DM) de classe I non stériles, c'est-à-dire des dispositifs à faible degré de risque et non invasifs [43].

Afin de pouvoir être commercialisé au niveau européen, le dispositif médical doit obtenir un marquage CE permettant d'assurer que celui-ci est « conforme aux exigences générales en matière de sécurité et de performance ».

Pour les DM de classe I, le fabricant peut apposer lui-même le marquage CE sur son dispositif après vérification de sa conformité. On parle d'auto-certification [44].

5.3. Généralités sur l'impression 3D

5.3.1. Les techniques

L'impression 3D est un domaine en plein essor comprenant de nombreuses technologies qui peuvent être regroupées en 4 grandes catégories (Figure 20). Chacune d'entre elles utilise des principes de fonctionnement et des matériaux différents.

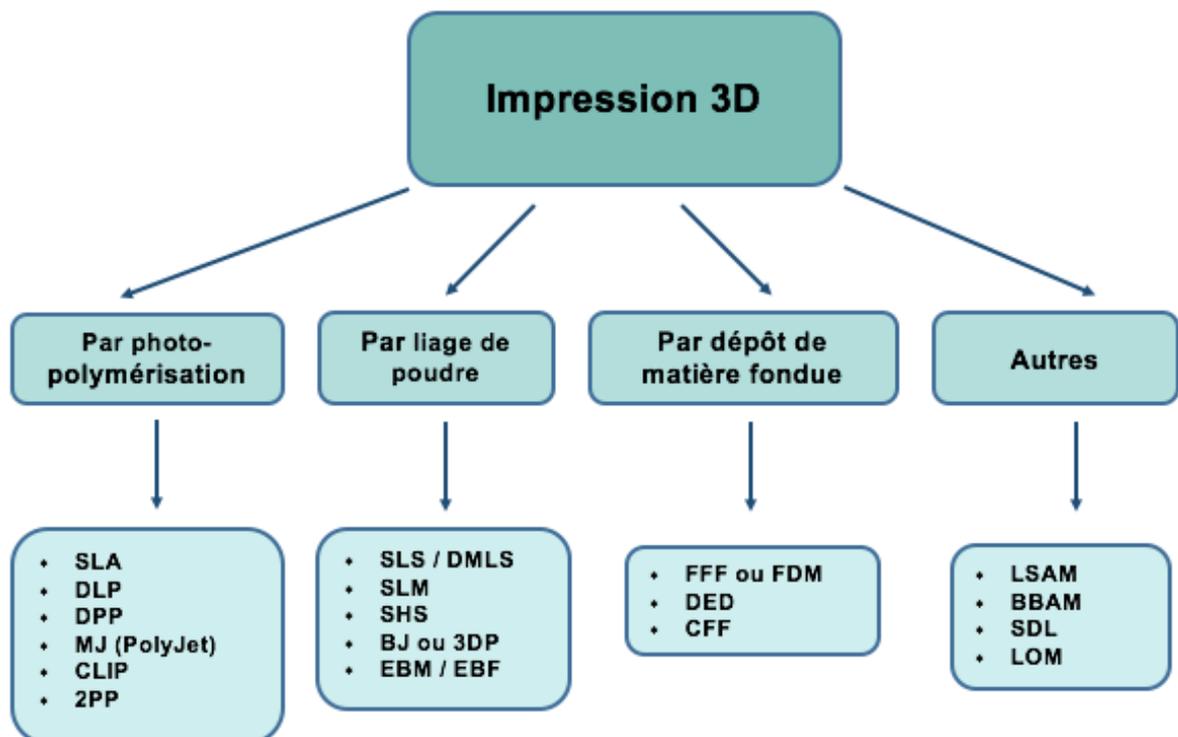


Figure 20. Principales techniques d'impression 3D (Source personnelle)

5.3.2. Les matériaux

Différents matériaux peuvent être utilisés pour l'impression 3D. En fonction de la technologie d'impression, il convient de choisir le bon matériau pour fabriquer l'objet souhaité. Classiquement, 4 grandes familles de matériaux se distinguent (Figure 21) [39].

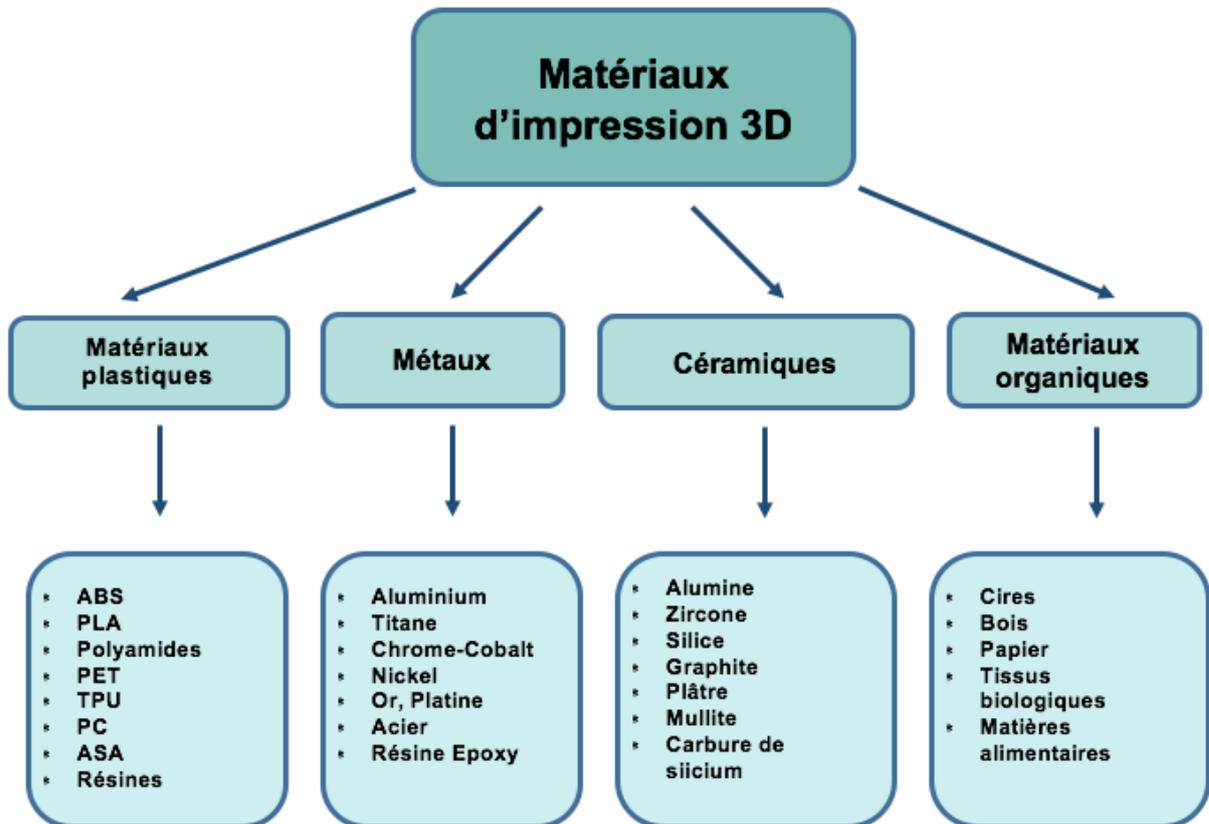


Figure 21. Principaux matériaux d'impression 3D (Source personnelle)

Les matériaux plastiques sont les plus répandus dans le domaine de l'impression 3D avec l'ABS, les résines et le polyamide. Ce sont les plastiques les plus populaires permettant le prototypage rapide mais également l'impression d'objets de haute précision.

5.3.3. Les critères de choix de l'imprimante

L'imprimante 3D choisie doit répondre à certains critères afin d'optimiser l'impression des pièces :

- Faible coût
- Utilisation aisée
- Rapidité d'impression
- Précision correcte
- Matériau non toxique, apte au contact alimentaire et finition possible

Plusieurs paramètres sont à prendre en compte lors du choix de l'imprimante :

- Epaisseur de la couche : Elle influence la qualité de l'impression 3D. En effet, plus la couche sera fine, plus le rendu final de la pièce sera lisse et fin. Au dessus de 200 μ , l'impression peut être décevante.
- Technologie utilisée : Suivant la technologie utilisée, il faudra tenir compte de la taille du faisceau laser (technologie par photo-polymérisation), de la résolution de pixel de l'écran LCD (technologie DPP) ou encore du type de vidéo-projecteur (technologie DLP). Mais il existe de nombreuses technologies d'impression n'utilisant pas de source de lumière.
- Plateau de l'imprimante : Il supporte la pièce imprimée. La taille du plateau conditionnera la taille de la pièce imprimée. De plus, son revêtement est très important car il modifiera le décollage et nettoyage de la pièce.
- Matériaux utilisés : Ils sont très variés mais diffèrent suivant le choix de l'imprimante.
- Vitesse d'impression : Elle est très variable et peut être modulée en fonction de la précision souhaitée.
- Interface avec le logiciel et l'ordinateur : Certaines imprimantes peuvent lire des cartes mémoires, des clés USB ou se connecter en Wi-Fi.

5.4. Choix de l'imprimante 3D

5.4.1. Choix de la technologie d'impression 3D

Pour ce travail, une imprimante SLA (Stéréolithographie) est utilisée car il s'agit de l'imprimante la plus courante en dentisterie permettant l'impression dans des résines spécifiques compatibles avec le milieu buccal.

5.4.1.1. Impression 3D par photo-polymérisation : Stéréolithographie (SLA)

La stéréolithographie (SLA = StereoLithography Apparatus) est une technique d'impression 3D par photo-polymérisation introduite en 1986 par Charles HULL [37]. Elle est considérée comme étant à l'origine de l'impression 3D et a été la première à être brevetée.

Beaucoup de techniques d'impression 3D dérivant de ce processus ont vu le jour ces dernières années : Digital Light Processing (DLP), PolyJet, Continuous Liquid Interface Production (CLIP), ...

Cette technique est basée sur un bain de résine liquide photosensible qui subit une polymérisation par exposition à un laser UV (Figure 22) [35]. Les photo-polymères constituant la résine sont sensibles aux rayonnements UV et ont la capacité de se modifier sous l'effet de la lumière en provoquant leur durcissement [39].

Un rayon laser UV frappe la résine point par point dans le but de durcir une 1^{er} couche de matériau sur une plateforme de fabrication mobile immergée dans la résine. La pièce va progressivement être imprimée grâce à la descente de la plateforme entre chaque nouvelle couche permettant au rayon laser UV de polymériser à nouveau la résine de surface en suivant le motif numérique de l'objet souhaité. La réaction créée par les UV ne se produit qu'à la surface du matériau [38,41].

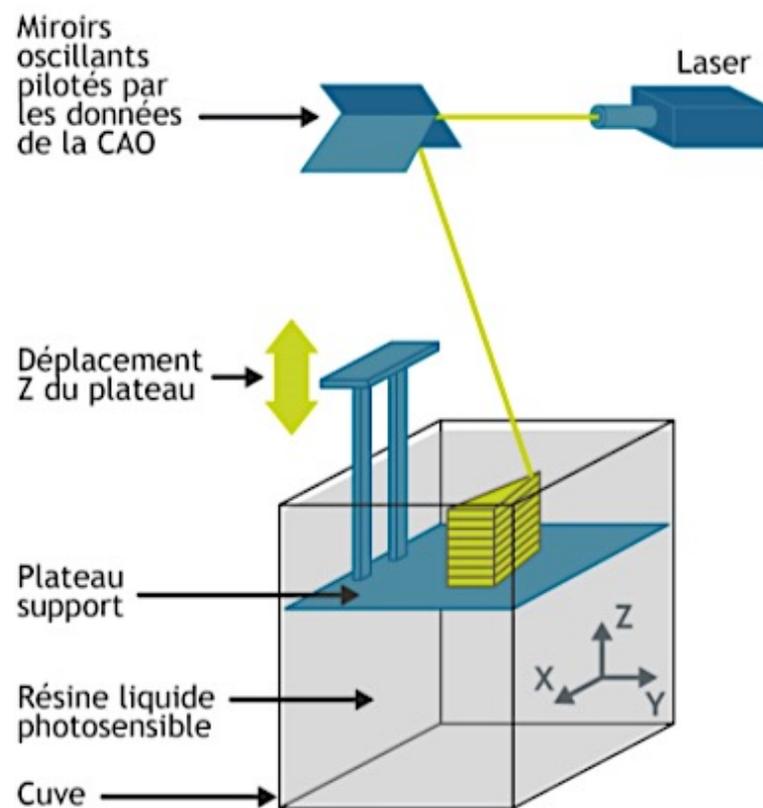


Figure 22. Principe de fonctionnement de la Stéréolithographie (SLA) [45]

Lorsque la pièce est conçue, la résine en excès peut être réutilisée. Les structures de support sont retirées et la pièce est lavée à l'aide d'un solvant dans le but de retirer les excès de résine. Une étape de post-durcissement de la résine peut être effectuée dans un four UV afin d'augmenter le taux de conversion des photopolymères [34]. En effet, seul 80% de la polymérisation est achevée dans la cuve [46].

Il existe également des systèmes de stéréolithographie inversés dans lesquels la pièce de résine est produite de bas en haut. Le rayon laser frappe le dessous de la cuve et la plateforme remonte à chaque couche imprimée.

Avec l'expiration des premiers brevets d'impression 3D basés sur la stéréolithographie, de nombreuses entreprises et start-ups ont développé de nouvelles technologies dérivées de ce principe [35].

5.4.1.2. Imprimante Form 2 de Formlabs®

L'imprimante 3D choisie est la Form 2 de Formlabs® qui utilise la technologie de photopolymérisation par SLA (StereoLithographie Apparatus) (Figure 23). Elle présente des caractéristiques, avantages et inconvénients qui lui sont propres (Tableau 11).

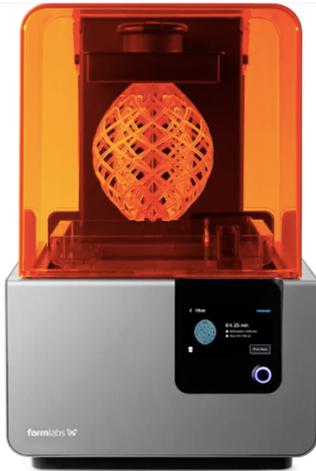
Imprimante Form 2 de Formlabs®	
Caractéristiques	
<ul style="list-style-type: none"> • Taille du faisceau : 140 µ • Puissance du laser : 250 mW • Epaisseur des couches : 25 à 300 µ • Longueur d'onde du laser : 405 nm • Système de remplissage de la résine automatique • Bac à résine auto-chauffant • Matériaux biocompatibles • Matériau support généré avec les pièces et retrait simple 	
	
<p><i>Figure 23. Imprimante Form 2 de Formlabs® [47]</i></p>	
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Grande précision • Grande qualité et détails fins • Finition lisse • Production de pièces complexes • Solidité de l'objet • Résistance mécanique élevée • Technologie avec le plus de recul 	<ul style="list-style-type: none"> • Cartouche de résine unique • Choix des matériaux limité • Peu de couleurs • Finition toujours nécessaire • Supports d'impression nécessaires • Impression lente (1 à 2mn par couche) • Post traitement obligatoire et chronophage • Résine salissante, pouvant provoquer des sensibilités et irritations par contact • Pas de stérilisation à la chaleur • Durée de conservation en cuve limitée

Tableau 11. Présentation générale de l'imprimante 3D Form 2 de Formlabs® (Source personnelle) [34,35,38,39,41,48]

5.4.2. Choix du matériau d'impression 3D

5.4.2.1. Les résines

Dans le cadre de ce travail, le matériau choisi doit présenter également quelques caractéristiques primordiales [49,50] :

- Faible coût
- Rigide à température buccale
- Absence de toxicité
- Biocompatible et apte au contact alimentaire
- Possibilité de retouches

Les résines sont des plastiques liquides photosensibles qui durcissent sous l'effet de la lumière afin de devenir solides. Elles sont utilisées avec la technologie SLA et nécessitent un post-traitement assez simple mais obligatoire.

Il existe différents types de résines, aux particularités différentes, dont certaines sont biocompatibles et utilisées dans le secteur dentaire.

5.4.2.2. Dental SG Resin de Formlabs®

La gamme de résine proposée, Dental SG Resin de Formlabs®, permet au praticien de fabriquer rapidement des dispositifs médicaux à usage dentaire (Figure 24, tableau 12) [51].

Lors de l'utilisation de cette résine, il est important de bien secouer la cartouche pendant 5 minutes afin de mélanger la formulation chimique.

Une fois la pièce imprimée, le lavage manuel avec le Finish Kit ou le lavage automatisé avec la Form Wash de Formlabs® est indispensable. En effet, ce lavage sert à éliminer la résine non polymérisée de la surface des pièces imprimées en les trempant dans un solvant [52]. Pour la résine Dental SG, le solvant utilisé est l'alcool isopropylique à 96% avec un temps de trempage de 20 mn. Attention, il est recommandé de ne pas laisser la pièce imprimée plus de 20 mn dans ce bain de solvant au risque d'altérer la qualité de la pièce [53].

La dernière étape de conception est la post-polymérisation à l'aide de la Form Cure de Formlabs®. Elle va permettre la polymérisation finale de la pièce dans le but que celle-ci atteigne une résistance et stabilité plus élevées. Pour la résine Dental SG, il est recommandé d'effectuer une post-polymérisation d'au moins 30 mn à 60° [54]. La couleur de la pièce imprimée passe alors du jaune transparent à un orange transparent.

A l'issue de l'impression, il ne reste qu'à couper les supports d'impression à l'aide d'une pince coupante et lisser la surface avec du papier de verre à faible grain.

Dental SG Resin Formlabs® EN-ISO 10993-1 : 2009/AC : 2010)	
Caractéristiques	
<ul style="list-style-type: none"> • Résine biocompatible de classe I • Applications dentaires professionnelles • Epaisseur de couche : 50 et 100 µ • Composée d'un mélange d'esters méthacryliques et de photo-initiateurs • Utilisation uniquement avec les imprimantes 3D de Formlabs® 	
	
<p><i>Figure 24. Cartouche Dental SG resin de Formlabs® [52]</i></p>	
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Post traitement assez simple • Lavage à l'alcool isopropylique • Stérilisable à la vapeur par autoclave • Matériau solide • Finition de surface détaillée • Utilisation immédiate après impression • Pièce imprimée pouvant rester jusqu'à 24h en bouche 	<ul style="list-style-type: none"> • Post traitement nécessaire • Bac à résine, plateforme de fabrication et kit de finition à utiliser uniquement avec cette résine • Pas de stockage de la cartouche de résine plus d'un mois dans un bac à résine • Protections requises lors de la manipulation (gants, lunettes)
Prix : 270 euros le litre	

Tableau 12. Présentation générale de la Dental SG Resin Formlabs® (Source personnelle) [49,50,52,55] (Annexes 2 et 3)

5.4.3. Logiciel de préparation d'impression

Une fois le modèle conçu sur le logiciel CAO (MeshMixer®), il convient de l'importer au format STL dans le logiciel de préparation d'impression PreForm®.



Ce logiciel, intuitif et épuré, développé par Formlabs® permet la configuration des modèles à imprimer, leur orientation ainsi que la création de supports d'impression. Il est utile pour le paramétrage des options d'impression automatiquement ou manuellement.

6. Intégration de la relation intermaxillaire (RIM) au flux numérique CBCT : expérimentation à propos d'un cas clinique

6.1. Prise des empreintes secondaires et numérisation à l'aide du CBCT

Comme évoqué dans la partie 4.2, les empreintes secondaires de référence sont réalisées sur une patiente édentée totale, grâce à des portes-empreintes individuels (PEI) et à l'aide des polyéthers (Permadyne® orange et bleue).

Ces empreintes sont positionnées sur le plateau fourni avec le CBCT et la numérisation peut débuter selon les paramètres d'acquisition énoncés.

Les données acquises par le CBCT sont exportées sous la forme d'un fichier STL (STéréoLithographie) grâce au logiciel Ez-3Di™, dans le but de servir de base de travail pour les logiciels de traitement et de modélisation.

Pour cela, dans le logiciel Ez-3Di™, il convient d'aller dans « Menu principal » puis « Exporter le modèle de surface » afin de choisir les paramètres d'exportation du fichier STL comme ci-dessous (Figure 25, Tableau 13) :

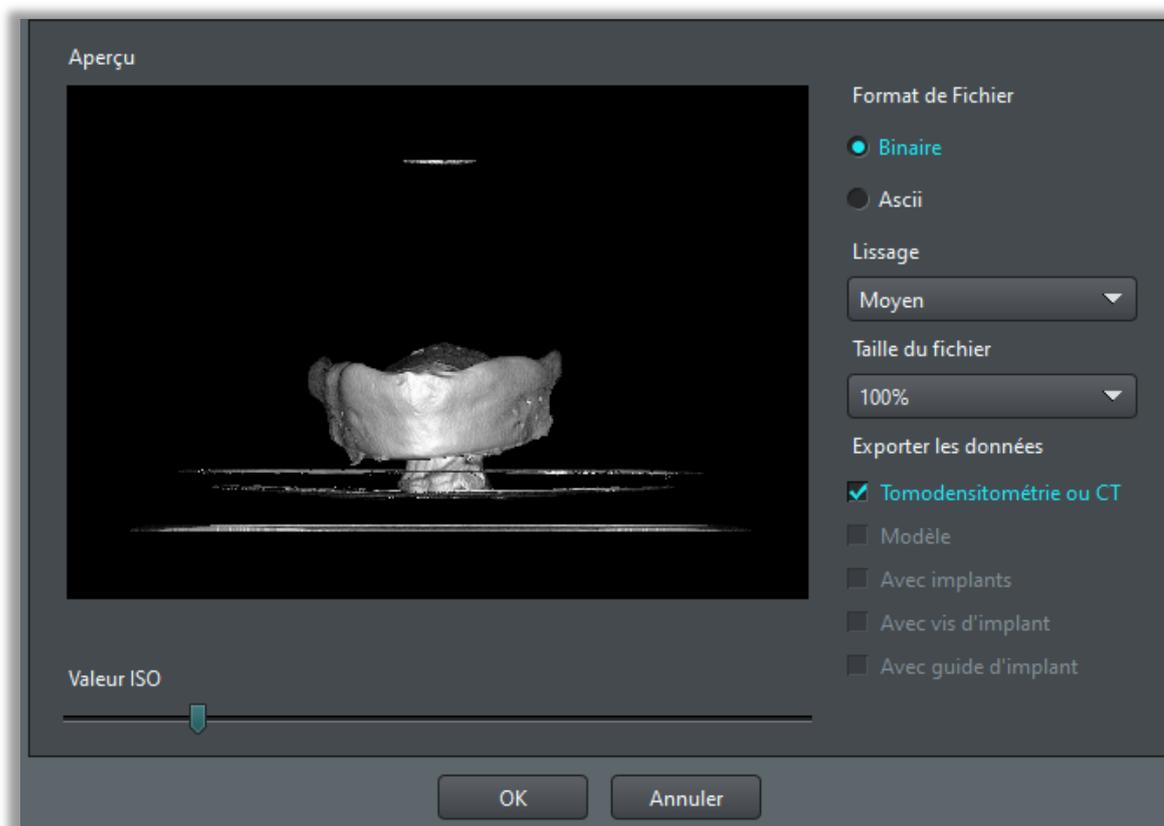


Figure 25. Exportation du modèle de surface dans le logiciel Ez-3Di™ (Illustration personnelle)

Le curseur « Valeur ISO » en bas de la fenêtre doit être réglé dans le but d'inclure le plus de points possible dans le fichier STL exporté. Il est donc nécessaire de le déplacer vers la gauche.

Paramètres d'exportation du fichier STL	
Format de fichier	Binaire
Lissage	Moyen
Taille du fichier	100%
Exporter les données	Tomodensitométrie ou CT
Valeur ISO	Déplacer le curseur à gauche

Tableau 13. Paramètres d'exportation de l'empreinte numérisée par CBCT en fichier STL (Source personnelle)

6.2. Traitement numérique des empreintes secondaires

Le traitement numérique de ces empreintes numérisées se réalise sur MeshMixer, une fois les données CBCT exportées sous format STL.

6.2.1. Importation du fichier STL

Il faut tout d'abord ouvrir le logiciel MeshMixer et importer le fichier STL brut obtenu grâce à « Import » (Figure 26).

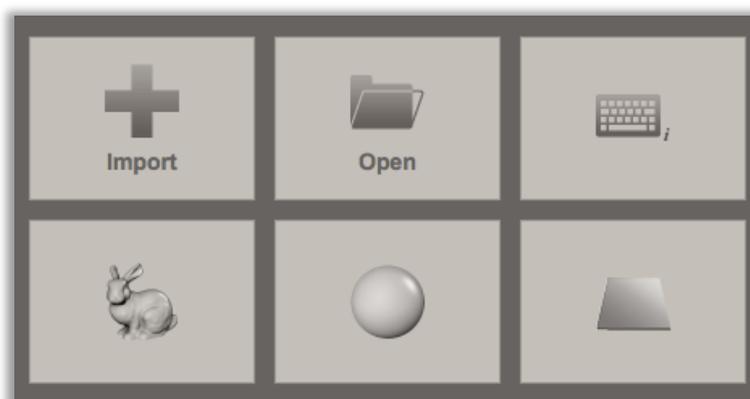


Figure 26. Page d'accueil du logiciel MeshMixer (Illustration personnelle)

Le modèle « brut » sans retouche s'affiche (Figure 27). Il est possible de manipuler ce modèle afin de l'orienter dans l'espace grâce à la molette située en haut à droite. La modification de position du modèle aide à la réalisation des différentes étapes de conception.



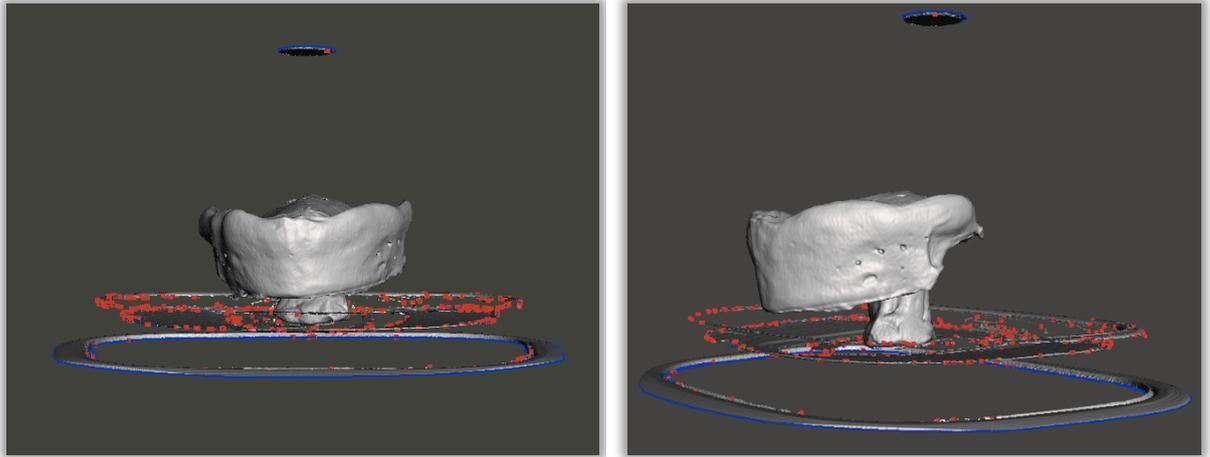
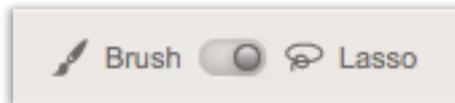


Figure 27. Modèle « brut » d'une empreinte importée dans le logiciel MeshMixer (vue de face à droite et vue de ¾ à gauche) (Illustration personnelle)

6.2.2. Détourage de l'empreinte secondaire

Cependant, des données gênantes et non intéressantes pour le traitement de l'empreinte sont présentes. Il est important de les éliminer en utilisant l'outil « Select » dans le menu de gauche.

Le « Lasso » est sélectionné dans le but d'isoler et retirer les gros excès de l'empreinte tels que le support Vatech et le plot de cire soutenant l'empreinte. Les zones sélectionnées à retirer deviennent orange.



Il suffit ensuite d'utiliser les onglets « Edit » puis « Discard » afin que ces zones soient supprimées (Figure 28).

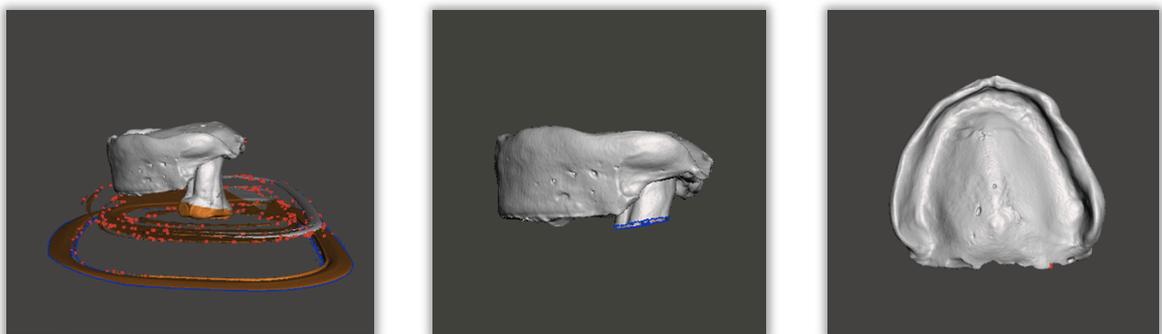
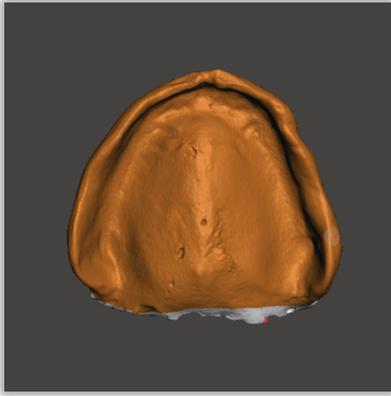


Figure 28. Détourage de l'empreinte secondaire dans le logiciel MeshMixer grâce à l'outil « Lasso » (Illustration personnelle)



L'ensemble de la surface d'appui de l'empreinte secondaire est sélectionné à l'aide de l'outil « Brush » en ayant réglé son épaisseur dans le but de sélectionner tous les détails. La surface devient alors orange (Figure 29).

L'étape suivante consiste à sélectionner « Edit » puis « Separate ». Une fenêtre « Object Browser » apparaît avec la création d'un 2^e fichier STL qu'il convient d'enregistrer. Le 1^e fichier STL ne sera plus utile et peut donc être supprimé (Figure 30).

Figure 29. Surface d'appui sélectionnée dans le logiciel MeshMixer (Illustration personnelle)

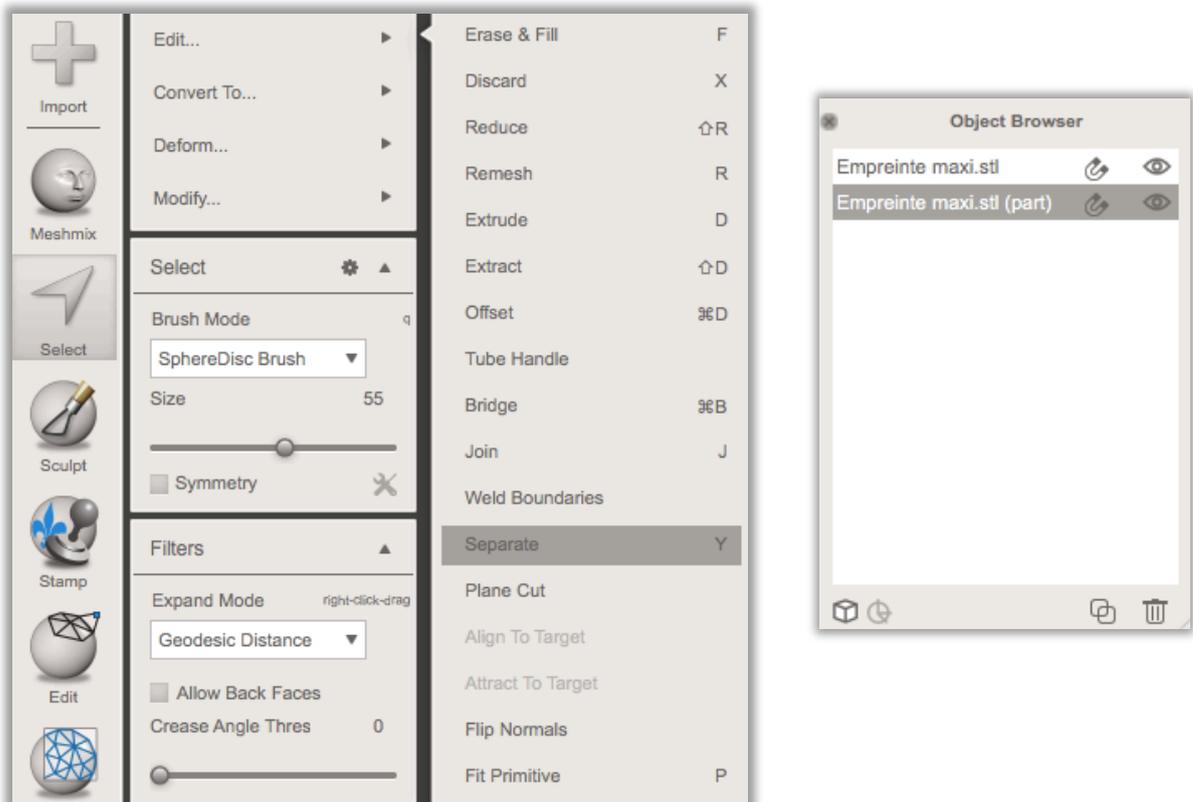


Figure 30. Manipulation effectuée pour détourer l'empreinte secondaire dans le logiciel MeshMixer (Illustration personnelle)

La surface d'appui de l'empreinte détournée est retournée afin de retrouver le positif de l'empreinte sous forme de surface rayée. Cependant, cette surface rayée correspond à un vide qu'il va falloir solidifier (Figure 31).

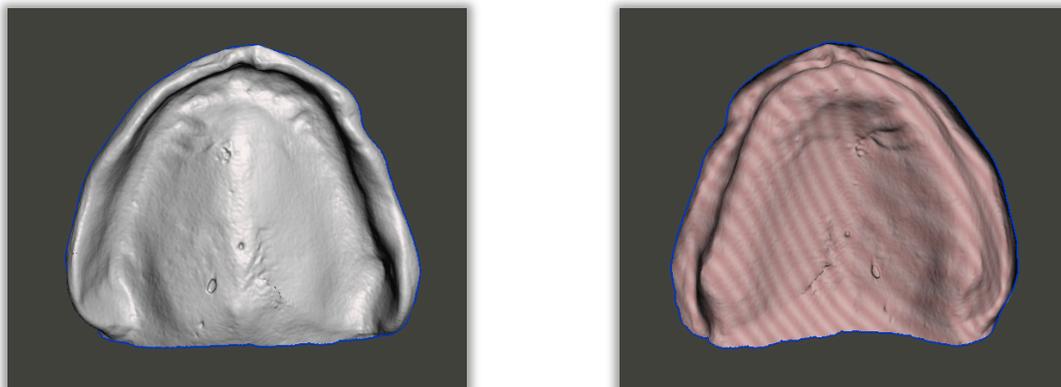


Figure 31. Empreinte secondaire maxillaire détournée dans le logiciel MeshMixer (Illustration personnelle)

6.2.3. Conversion de l'empreinte secondaire en modèle secondaire positif

L'ensemble de la surface rayée est sélectionné par un double-clic ou en utilisant Cmd+A. Cette surface devient alors noire. Il convient ensuite de se rendre dans le menu « Edit » puis « Flips Normals » dans le but d'obtenir un modèle positif.

Un modèle secondaire positif est donc créé à partir de l'empreinte secondaire numérisée au cone beam tout en conservant les informations enregistrées lors de la prise de cette empreinte (Figure 32).

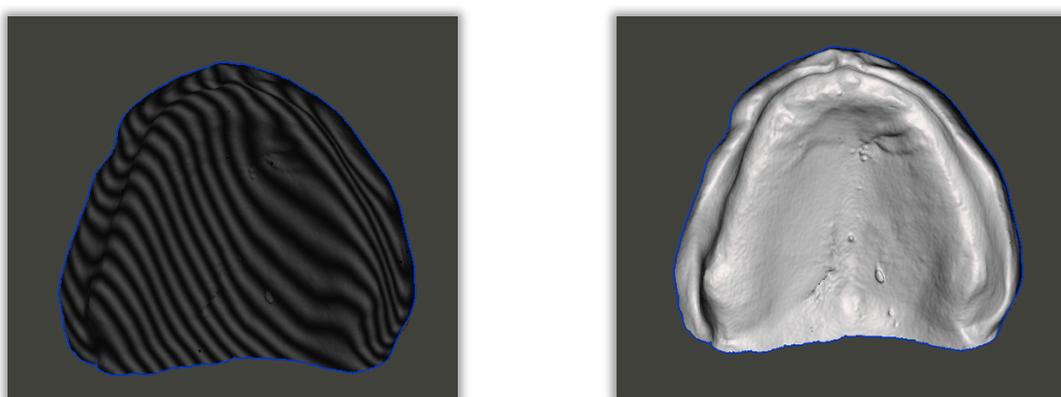


Figure 32. Conversion de l'empreinte secondaire détournée en surface positive dans le logiciel MeshMixer (Illustration personnelle)

6.2.4. Création d'un socle pour l'empreinte secondaire

Lors du traitement conventionnel de l'empreinte secondaire, un coffrage est réalisé afin de créer un socle. L'objectif étant d'obtenir un modèle secondaire qui soit la parfaite reproduction de la surface d'appui.

En revanche, pour le traitement numérique de cette empreinte, la création d'un socle n'est pas indispensable. Il est cependant possible de le créer si l'impression d'un modèle secondaire avec socle est souhaitée.

Tout d'abord, il convient d'extruder le socle en largeur (Figure 33, 34). Pour cela, le contour du modèle secondaire représenté par un liseré bleu, est sélectionné à l'aide de l'outil « Brush » de petite taille. Un liseré orange vient alors se superposer au liseré bleu existant. Il suffit ensuite de sélectionner « Edit » puis « Extruder » afin de pouvoir régler les paramètres d'extrusion en largeur :



- Offset : - 4 mm
- Harden : 0
- Density : 20
- Direction : Normal
- End Type : Offset

Figure 33. Paramètres d'extrusion du socle en largeur dans le logiciel MeshMixer (Illustration personnelle)

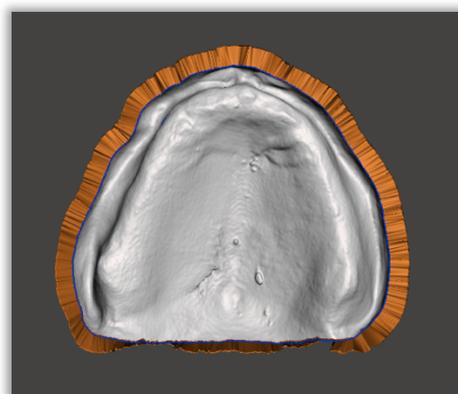
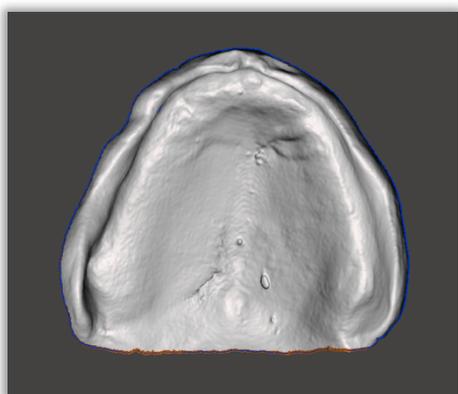


Figure 34. Extrusion du socle en largeur dans le logiciel MeshMixer (Illustration personnelle)

Une fois que cela est fait, l'ensemble de la surface est sélectionné dans le but d'extruder le socle en hauteur (Figure 35, 36). Il suffit de cliquer sur « Edit » puis « Extruder » afin de régler les paramètres d'extrusion en hauteur :



- Offset : - 15 mm
- Harden : 0
- Density : 20
- Direction : Constant
- End Type : Flat

Figure 35. Paramètres d'extrusion du socle en hauteur dans le logiciel MeshMixer (Illustration personnelle)

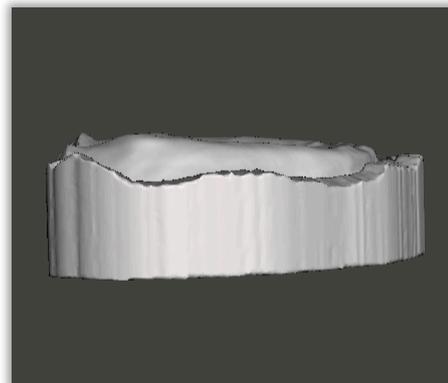
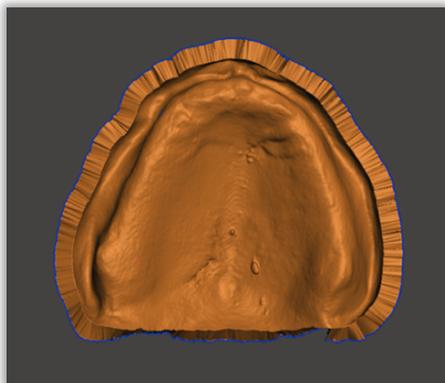


Figure 36. Extrusion du socle en hauteur dans le logiciel MeshMixer (Illustration personnelle)

Le socle est ainsi créé. Il ne reste ensuite qu'à le lisser grâce à l'outil « Sculpt ». Une « Brosse » type « Robust smooth » est utilisée afin d'obtenir un rendu de surface plus net (Figure 37, 38).

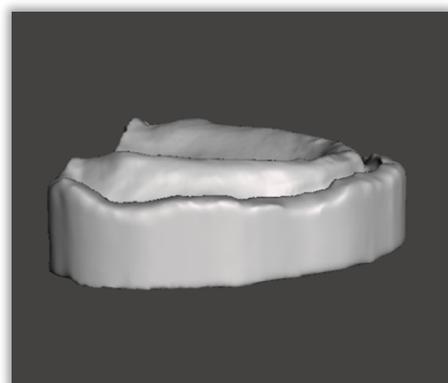
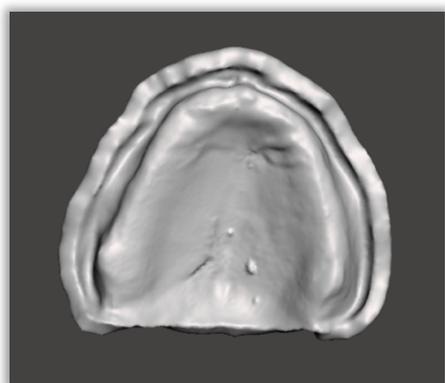


Figure 37. Rendu final du socle maxillaire conçu dans le logiciel MeshMixer (Illustration personnelle)

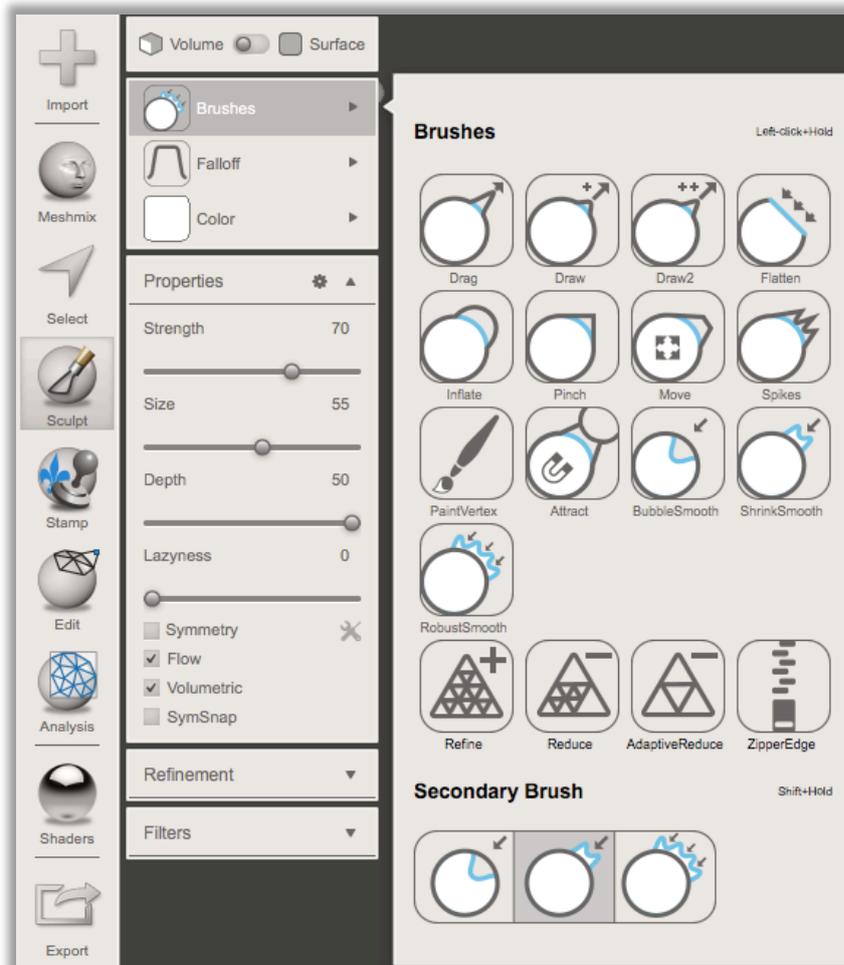


Figure 38. Manipulation effectuée pour lisser le socle maxillaire dans le logiciel MeshMixer (Illustration personnelle)

6.3. Confection numérique des bases d'occlusion

La base d'occlusion numérique est confectionnée directement sur l'image 3D du modèle secondaire. La présence d'un socle n'est pas nécessaire.

6.3.1. Orientation du modèle secondaire positif dans l'espace

Avant de débuter la confection des bases d'occlusion, il convient d'orienter le modèle secondaire dans l'espace afin que son plan soit parallèle au plan d'occlusion. Pour cela, il est nécessaire de sélectionner dans la barre de tâche du haut, la catégorie « View » puis « Show Grid » afin de laisser apparaître le plan virtuel permettant l'orientation dans l'espace.

Il suffit ensuite de se rendre dans l'onglet « Edit » puis « Transform » pour que le curseur de modification de position apparaisse. La position du modèle secondaire est ainsi modifiée dans les 3 plans de l'espace (Figure 39).

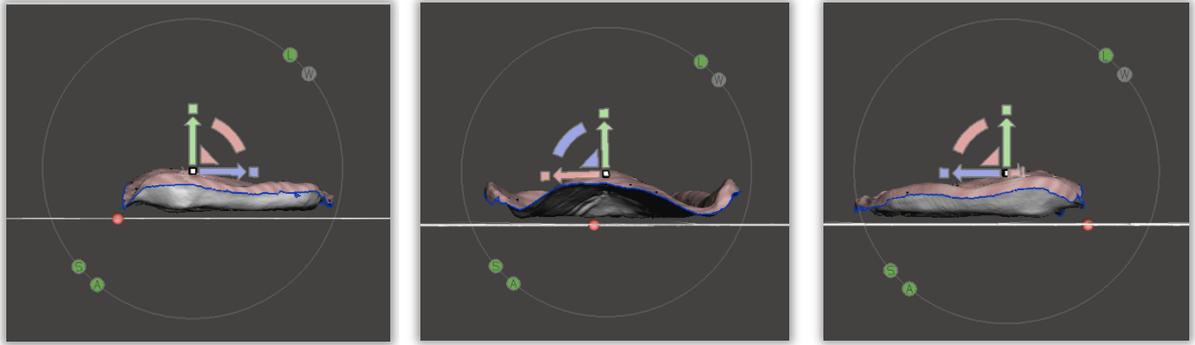


Figure 39. Parallélisme entre l’empreinte secondaire maxillaire et le plan d’occlusion dans le logiciel MeshMixer (Illustration personnelle)

Il est important de rappeler que dans le cas d’un modèle mandibulaire, le plan d’occlusion passe par les 1/3 supérieurs des trigones et le point antérieur situé à 18 mm du fond du vestibule au niveau de l’incisive latérale. Il faut donc paralléliser l’image 3D du modèle secondaire à ce plan (Figure 40).

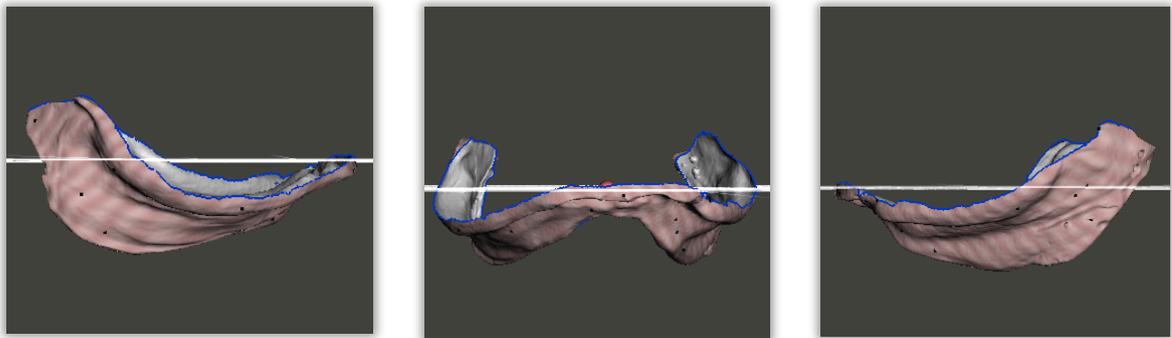


Figure 40. Parallélisme entre l’empreinte secondaire mandibulaire et le plan d’occlusion passant par les 1/3 supérieurs des trigones dans le logiciel MeshMixer (Illustration personnelle)

6.3.2. Confection de la plaque base

Une fois le modèle orienté, la confection de la base d’occlusion peut débuter.

Tout d’abord à l’aide de l’outil « Brush », l’ensemble de la surface d’appui de la plaque base est sélectionné. Elle apparaît alors en orange (Figure 41).

L’étape suivante consiste à cliquer sur « Edit » puis « Separate » dans le but de créer un 2^e fichier SLT correspondant à cette surface d’appui.

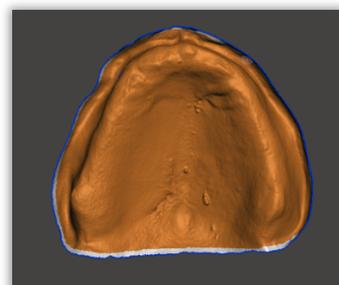
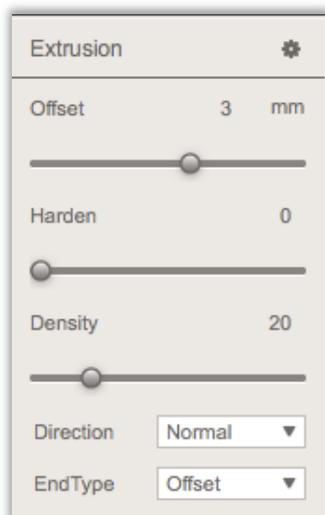


Figure 41. Sélection de la surface d’appui de la plaque base dans le logiciel MeshMixer (Illustration personnelle)

Toute la surface d'appui est sélectionnée par un double-clic ou Cmd+A. Il ne reste qu'à utiliser l'outil « Edit » puis « Extrude » afin de régler les paramètres d'extrusion de cette plaque base (Figure 42) :



- Offset : 3 mm
- Harden : 0
- Density : 20
- Direction : Normal
- End Type : Offset

Figure 42. Paramètres d'extrusion de la plaque base dans le logiciel MeshMixer (Illustration personnelle)

Afin de finaliser cette plaque base, il convient de se rendre dans l'onglet « Edit » dans le menu de gauche et de sélectionner « Make Solid » dans le but de solidifier la plaque (Figure 43).

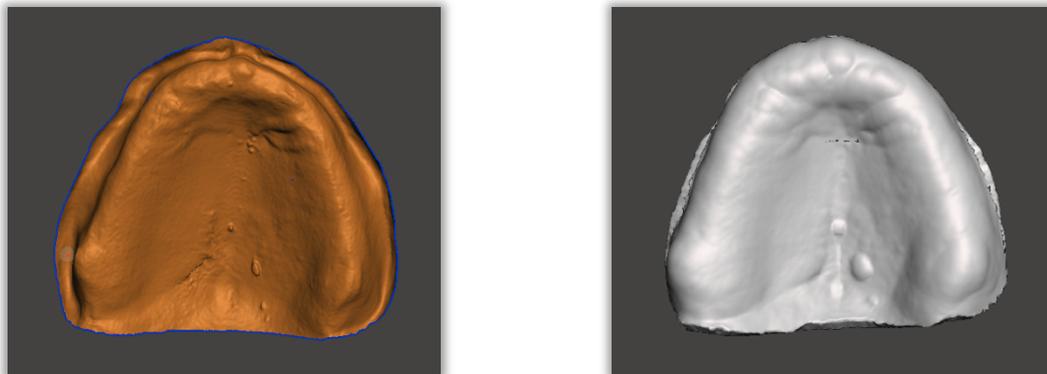


Figure 43. Rendu final de l'extrusion de la plaque base dans le logiciel MeshMixer (Illustration personnelle)

6.3.3. Confection du bourrelet d'occlusion

La dernière étape consiste à confectionner le bourrelet d'occlusion. Tout d'abord, à l'aide de l'outil « Brush » réglé selon différentes tailles, la trajectoire du bourrelet est réalisée sur la plaque base en respectant les critères conventionnels.

Il suffit ensuite de cliquer sur « Modify » puis « Smooth Boundary » afin de délimiter la zone du bourrelet (Figure 44). Ceci aboutit à la création d'un 3^e fichier STL dans la fenêtre « Objet Browser ». Les paramètres pré-sélectionnés de réglage de la limite ne sont pas modifiés. Il convient de les valider en cliquant sur « Accept » (Figure 45).

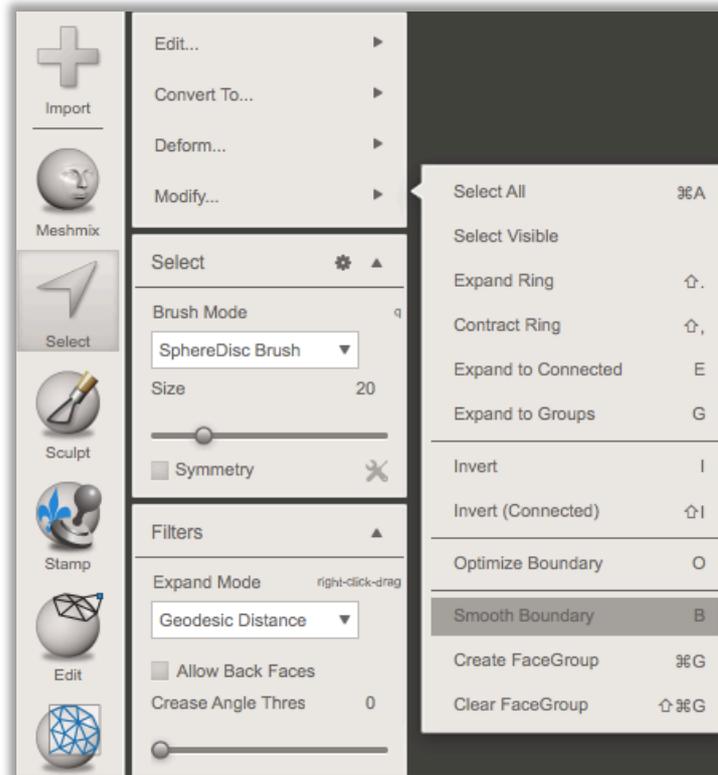


Figure 44. Manipulation effectuée pour délimiter la zone du bourrelet d'occlusion dans le logiciel MeshMixer (Illustration personnelle)

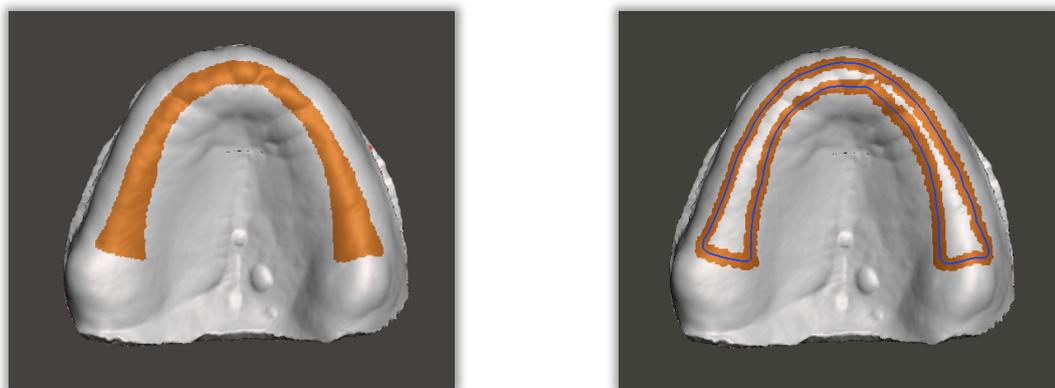


Figure 45. Délimitation de la surface du bourrelet d'occlusion dans le logiciel MeshMixer (Illustration personnelle)

Dans un 2^e temps, la surface du bourrelet est sélectionnée par double-clic ou Cmd+A. Il convient ensuite aller dans « Modify » puis « Transform » afin de laisser apparaître le curseur de modification. Le bourrelet est ainsi conçu par extrusion de 22mm de hauteur et avec une angulation d'environ 15° (Figure 46).

Il est important de rendre la surface du bourrelet bien plane. Pour cela, il est nécessaire de se rendre dans l'onglet « Edit » et de sélectionner « Plane Cut » dans le but de couper la surface irrégulière.

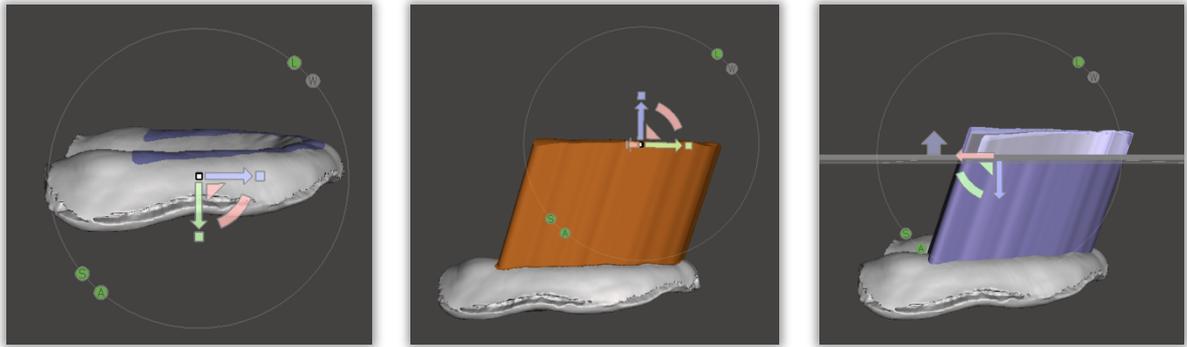


Figure 46. Extrusion du bourrelet d'occlusion dans le logiciel MeshMixer (Illustration personnelle)

Le lissage est la dernière étape de la confection de la base d'occlusion. Il convient de sélectionner dans l'onglet « Sculpt », différentes « Brushes » afin d'optimiser le rendu de surface (Figure 47).

Il ne faut pas oublier de mesurer le bourrelet d'occlusion afin de vérifier qu'il réponde aux critères conventionnels. Pour cela, il suffit de se rendre dans « Analysis » puis « Units/Dimensions » afin de prendre la mesure à l'endroit souhaité.

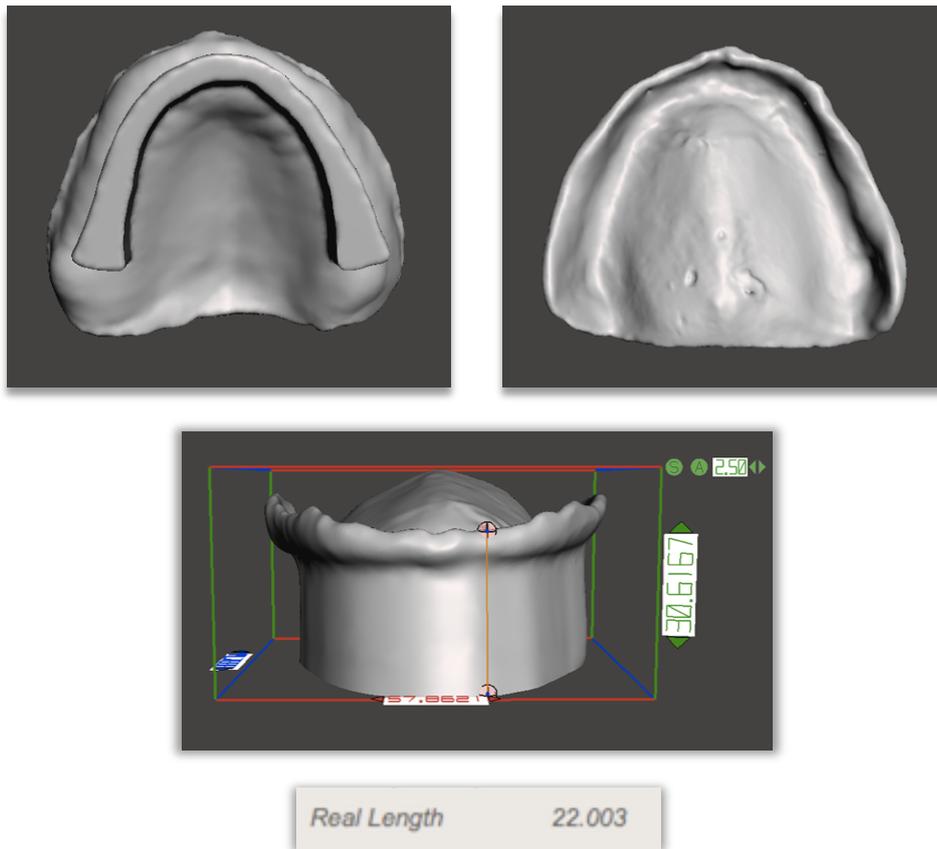


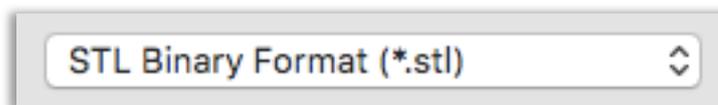
Figure 47. Rendu final de la base d'occlusion conçue dans le logiciel MeshMixer (Illustration personnelle)

La base d'occlusion est ainsi confectionnée en respectant tous les critères conventionnels énoncés dans la partie 2.

6.4. Impression des bases d'occlusion

6.4.1. Conversion du fichier issu de MeshMixer en fichier STL

Afin de pouvoir être imprimé grâce à une imprimante 3D, il est indispensable que le fichier d'impression issu de MeshMixer soit sous format STL. Pour cela, il est nécessaire de le convertir en se rendant dans l'onglet « File » de la barre de tâche puis « Export ». Le fichier est renommé en sélectionnant le format STL.



6.4.2. Paramétrage sur le logiciel PreForm

Dans ce travail, les bases d'occlusion sont imprimées sur l'imprimante 3D SLA Form 2 de Formlabs®. Pour cela, les modèles doivent être préparés pour leur impression 3D grâce au logiciel PreForm, conçu par Formlabs®.

Ce logiciel permet la configuration de la tâche pour l'impression, l'orientation des modèles et la création de supports d'impression.

6.4.2.1. Importation des fichiers STL

Afin de débiter la préparation des modèles, il convient de les importer dans le logiciel PreForm grâce à l'onglet « Fichier » dans la barre de tâche puis « Ouvrir ». Plusieurs fichiers STL peuvent être ouverts en même temps.

6.4.2.2. Configuration de la tâche

La 1^e étape consiste en la configuration de l'imprimante 3D (Figure 48).

A ce titre, il convient de choisir l'imprimante utilisée dans la liste déroulante. Il s'agit ici de « Form 2 ». Il peut être utile de brancher l'imprimante sur l'ordinateur grâce à un câble USB, si l'imprimante n'est pas détectée automatiquement ou si le réseau Wi-Fi de ces deux éléments n'est pas le même.

Ensuite, le matériau et sa version sont sélectionnés. Attention, s'il n'existe qu'une seule version du matériau, le logiciel PreForm la sélectionnera automatiquement. Dans le cas contraire, il faudra entrer le numéro figurant sur l'étiquette de la cartouche. « Dental SG » est ici sélectionné.

Il ne reste plus qu'à opter pour l'épaisseur de couche souhaitée. Pour cette impression, l'épaisseur choisie est de 50 microns afin d'obtenir une qualité d'impression optimale.

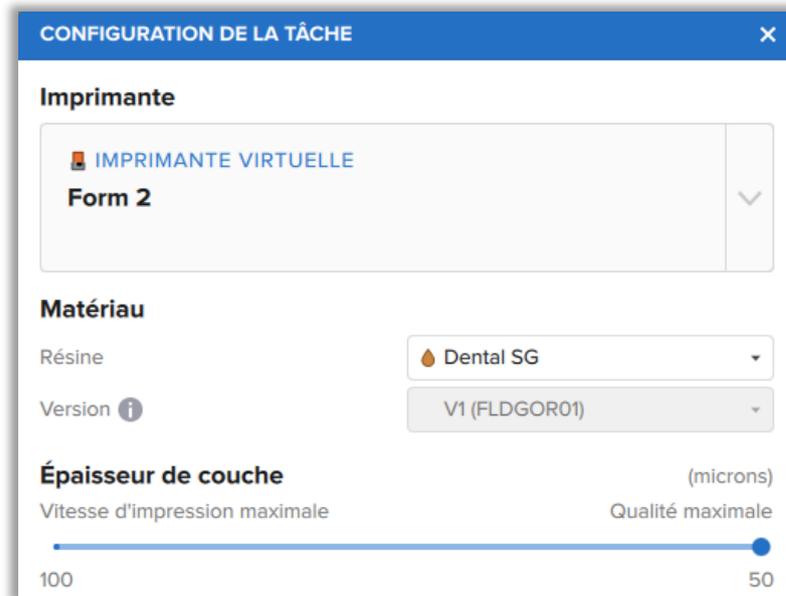


Figure 48. Configuration de l'imprimante 3D dans le logiciel PreForm (Illustration personnelle)

6.4.2.3. Orientation des modèles

L'étape suivante repose sur l'orientation des modèles ayant une influence sur la stabilité et la finition des pièces imprimées. Deux choix s'offrent à nous (Figure 49).

En effet, il est possible de choisir l'orientation automatique avec 10 à 20° d'inclinaison [56]. Le but de l'angulation est de réduire la surface de chaque couche, de préserver l'intégrité des intersections tout en conservant les détails fins et de permettre l'écoulement de la résine. Dans le cas contraire, les paramètres d'orientation peuvent être saisis manuellement.

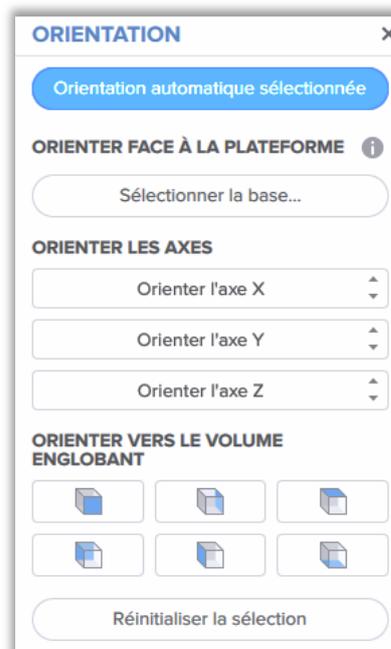


Figure 49. Paramètres d'orientation des modèles dans le logiciel PreForm (Illustration personnelle)

6.4.2.4. Création de supports d'impression



La dernière étape consiste en la création de supports d'impression. Pour cela, il suffit de cliquer sur l'icône « Support » figurant dans le menu de gauche afin de laisser apparaître la fenêtre de réglage.

De la même manière que pour l'orientation, le logiciel PreForm propose plusieurs options pour la création des supports. Il est possible de sélectionner la « génération automatique » prenant des valeurs par défaut dans le but de garantir la réussite de l'impression. Dans le cas contraire, les paramètres peuvent être modifiés manuellement.

Les points de contact sont les zones où la structure de support touche le modèle. En diminuant leur taille, l'enlèvement des supports est amélioré mais l'impression est moins sécurisée. Il convient donc d'augmenter la densité pour stabiliser la pièce lors de l'impression et compenser une taille de point de contact faible [57].

Pour cette impression, les supports sont positionnés sur l'extrados des bases d'occlusion avec une densité réglée à 1,00 et une taille des points de contact de 0.60 mm (Figure 50).



Figure 50. Paramètres des supports d'impression sur le logiciel PreForm (Illustration personnelle)

6.4.3. Modèles prêts à l'impression

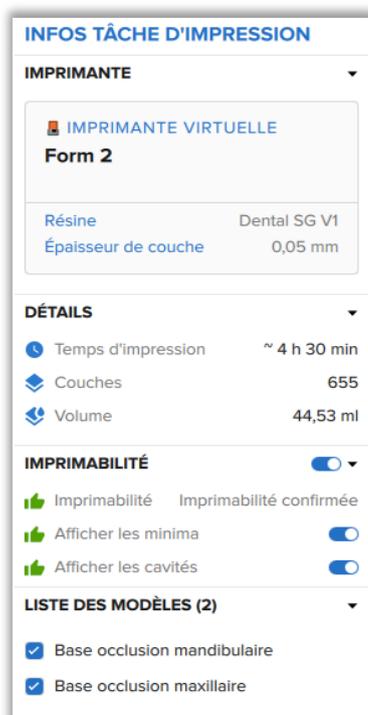
Une fois les modèles et les supports d'impression configurés, il ne reste qu'à envoyer le travail à l'imprimante (Figure 51). La cartouche de résine Dental SG est secouée pendant 5 mn puis mise en place dans le bac à résine.

Il est important de noter que pour cette impression, les modèles ont été imprimés sans orientation. Bien qu'aucun problème n'ait été rencontré, il aurait été préférable de les anguler afin de parfaire l'impression et ainsi éviter la stagnation de résine en favorisant son écoulement.



Figure 51. Modèles configurés sur le logiciel PreForm (Illustration personnelle)

Toutes les informations concernant l'impression s'affichent alors (Figure 52). Dans le cadre de ce travail, l'impression a duré 4h30. Elle a été suivie par 20 mn de nettoyage dans un bain d'alcool isopropylique à 96% puis 1h de polymérisation afin de rendre la pièce prête à l'emploi.



Impression des bases d'occlusion

- Temps d'impression : 4h 30mn
- Nombre de couches : 655
- Nettoyage : 20 mn dans l'alcool isopropylique
- Post polymérisation : 1h
- Volume résine : 44,53 mL

Estimation du prix d'une base d'occlusion
=> **6 euros**

Figure 52. Informations sur la tâche d'impression des bases d'occlusion dans le logiciel PreForm (Illustration personnelle)

6.4.4. Rendu final des bases d'occlusion imprimées

Les bases d'occlusion sont ainsi imprimées avec leurs supports (Figure 53).



Figure 53. Bases d'occlusion imprimées avec leurs supports d'impression (Photographie personnelle)

Il ne reste qu'à couper ces supports d'impression à l'aide de la pince coupante fournie dans le Finish Kit afin de pouvoir les essayer en bouche (Figure 54).



Figure 54. Rendu final des bases d'occlusion imprimées sur la Form2 de Formlabs® après retrait des supports d'impression (Photographie personnelle)

D'autres types d'imprimantes 3D peuvent permettre l'impression de ces bases d'occlusion. Il est cependant important d'utiliser une résine biocompatible et de préparer les modèles pour leur impression.



En cas d'utilisation d'une imprimante 3D ne disposant pas de logiciel de configuration à l'impression (orientation et création de supports), il est possible d'utiliser le logiciel gratuit Lychee Slicer pour le faire. Celui-ci possède de nombreuses imprimantes pré-configurées dans son répertoire facilitant le paramétrage.

L'impression 3D est en plein essor. Dans le cadre de ce travail, elle a permis l'impression de base d'occlusion à partir de la numérisation des empreintes secondaires. Toutes les étapes de confection manuelle conventionnelle ont été supprimées évitant ainsi les imprécisions et risques liés à l'homme.

Il est également important de noter que le coût d'impression d'une base d'occlusion est estimé à 6 euros. Cependant, en faisant appel à un laboratoire de prothèse, le coût de revient est beaucoup plus important. En effet, après renseignements auprès de différents laboratoires de prothèse, le prix d'une base d'occlusion est d'environ 22 euros soit 3 à 4 fois plus onéreux que l'impression 3D.

6.5. Enregistrement de la relation intermaxillaire (RIM) à partir des bases d'occlusion imprimées

Il s'agit d'une séance exigeante sur le plan clinique pouvant entraîner de nombreux échecs prothétiques si elle est mal réalisée. La relation intermaxillaire va préfigurer la future occlusion prothétique du patient édenté total et donc rétablir ses différentes fonctions : mastication, déglutition, phonation et esthétique.

6.5.1. Essayage des bases d'occlusion en bouche

Une fois les bases d'occlusion polies dans le but de supprimer les rugosités, elles sont essayées en bouche (Figure 55).

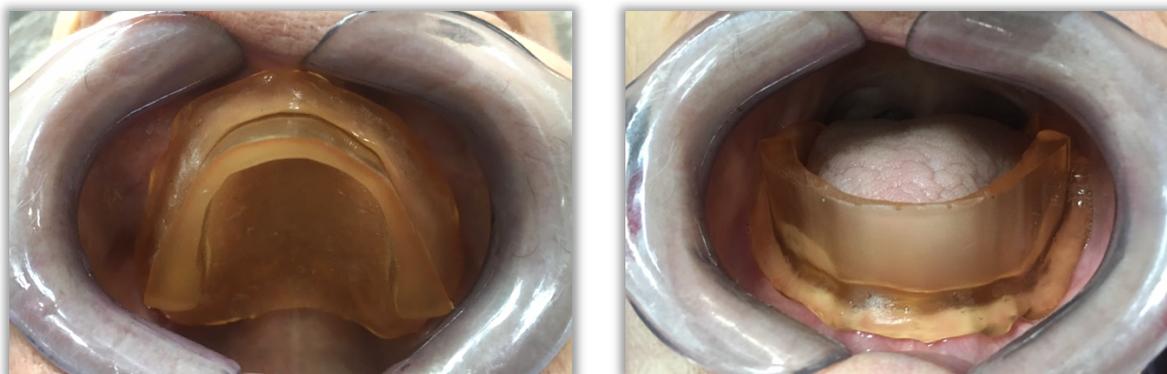


Figure 55. Essayage en bouche des bases d'occlusion maxillaire et mandibulaire (Photographie personnelle)

6.5.2. Stabilisation des bases d'occlusion

Comme pour l'enregistrement de la RIM à partir de bases d'occlusion conventionnelles, la stabilité des bases imprimées doit être vérifiée en bouche et sur les modèles secondaires. Si ce n'est pas le cas, elles doivent être stabilisées afin que les surfaces d'appui se retrouvent dans la même position que lors de l'empreinte secondaire [8].

En revanche comme évoqué dans la partie 4.2, l'utilisation de pâte oxyde de zinc eugéol (pâte ZOE) pour la stabilisation n'est pas possible car la qualité du rendu numérique de ce matériau est mauvaise après numérisation par CBCT [2].

Dans le cadre de ce travail, la base d'occlusion maxillaire manquait de stabilité en bouche. Pour pallier les inconvénients de la pâte ZOE, du silicone Light Body (President®) a été utilisé pour la stabiliser (Figure 56). La base d'occlusion mandibulaire, quant à elle, était stable sur le modèle secondaire mais également en bouche.



Figure 56. Stabilisation de la base d'occlusion maxillaire à l'aide du silicone Light Body (President®) (Photographie personnelle)

6.5.3. Réglage du bourrelet d'occlusion maxillaire dans les différents plans

Après stabilisation, le bourrelet d'occlusion maxillaire est progressivement adapté en bouche dans le but de rétablir l'esthétique et la fonction en préfigurant la future arcade prothétique. Le réglage des bases d'occlusion imprimées est réalisé à l'aide d'un taille-plâtre et de papier de verre.

L'objectif du réglage du bourrelet maxillaire dans le plan sagittal est d'assurer un soutien naturel et harmonieux de la lèvre en restaurant l'angle naso-labial [9]. Pour cela, du silicone Light Body (President®) est placé sur la partie antérieure du bourrelet d'occlusion dans le but de rétablir le soutien labial (Figure 57).



Figure 57. Réglage de la base d'occlusion maxillaire dans le plan sagittal à l'aide du silicone Light Body (President®) (Photographie personnelle)

Dans le plan frontal, le réglage concerne la hauteur antérieure du bourrelet maxillaire qui doit répondre à deux critères essentiels (esthétiques et phonétiques) comme évoqué succinctement dans la partie 3.

Un plan de Fox et une règle sont utilisés afin de vérifier que le bourrelet maxillaire soit (Figure 58) [10] :

- Parallèle à la ligne bi-pupillaire et à la ligne bi-commissurale en antérieur
- Parallèle au plan de Camper en postérieur



Figure 58. Réglage de la base d'occlusion maxillaire dans le plan frontal et sagittal à l'aide du plan de Fox (Photographie personnelle)

6.5.4. Détermination de la dimension verticale d'occlusion (DVO)

La détermination de la dimension verticale d'occlusion (DVO) est une étape cruciale lors de l'enregistrement de relation intermaxillaire. Elle est difficile à évaluer mais primordiale car elle peut se traduire par des échecs prothétiques dans le cas où elle serait négligée. Elle conditionne le rétablissement des différentes fonctions ainsi qu'une meilleure intégration prothétique [58].

6.5.4.1. Méthodes d'obtention de la dimension verticale d'occlusion (DVO)

Dans le cadre de ce travail, la méthode indirecte à partir de la dimension verticale de repos physiologique (DVR) a été utilisée. Cette méthode fait intervenir la fonction de respiration. Elle nécessite la mise en place de repères cutanés au niveau du bout du nez et de la pointe du menton.

Il est demandé à la patiente de souffler le plus fin filet d'air possible entre ces lèvres. Lorsque la patiente arrive en phase d'expiration terminale, la distance entre les deux repères cutanés est mesurée. Cette distance correspond à la DVR. La mandibule est alors totalement relâchée et la patiente retrouve son occlusion labiale [6,10]. La DVO peut ensuite être déterminée.

D'autres méthodes peuvent également être utilisées pour déterminer la dimension verticale d'occlusion ou alors pour vérifier la cohérence de la DVO obtenue.

6.5.4.2. Réglage de la base d'occlusion mandibulaire

Le réglage de la base d'occlusion mandibulaire ne représente pas une étape à part entière mais celle-ci est ajustée au fur et à mesure de l'élaboration de la DVO.

Il convient cependant de vérifier que l'inclinaison vestibulaire du bourrelet d'occlusion mandibulaire permette un soutien correct de la lèvre inférieure et reproduise une concavité pour le muscle orbiculaire [7].

6.5.5. Enregistrement de la relation intermaxillaire (RIM)

6.5.5.1. Positionnement des marqueurs radio-opaques

L'objectif de ce travail est d'intégrer les bases d'occlusion imprimées et réglées en bouche dans le flux numérique CBCT de la patiente. Ces données fusionnées serviront à l'analyse du positionnement des dents en prothèse amovible complète en fonction des structures osseuses du patient.

Pour cela, deux volumes différents (patiente / bases d'occlusion) sont superposés à l'aide de repères radio-opaques. La superposition et le matching de ces deux volumes sont évoqués ci-dessous dans la partie 6.6.

Dans un 1^{er} temps, des pertuis de faible diamètre sont réalisés sur les bases d'occlusion à l'aide d'une fraise boule montée sur contre-angle (Figure 59).



Figure 59. Réalisation de pertuis dans la base d'occlusion à l'aide d'une fraise boule montée sur contre-angle (Photographie personnelle)

Puis, pour chacune des bases d'occlusion, 5 vis en titane sont fixées dans les pertuis créés [59,60] (Figure 60, 61) :

- Trois vis sur le plan d'occlusion
- Deux vis sur la base de la base d'occlusion

Des encoches sont également réalisées sur les bourrelets d'occlusion dans le but d'assurer l'enregistrement de la relation intermaxillaire à l'aide d'un matériau d'enregistrement.



Figure 60. Mise en place des marqueurs en titane sur la base d'occlusion maxillaire (Photographie personnelle)



Figure 61. Mise en place des marqueurs en titane sur la base d'occlusion mandibulaire (Photographie personnelle)

6.5.5.2. Enregistrement de la relation intermaxillaire

Une fois les bases d'occlusion préparées et réglées, il convient d'enregistrer le rapport intermaxillaire. Pour cela, du silicone par addition (Jet Blue Bite Fast Coltene®) est positionné sur la base d'occlusion mandibulaire. Les deux bases sont insérées en bouche et la patiente est manipulée en relation centrée (Figure 62).



Figure 62. Manipulation de la patiente en relation en centrée (Photographie personnelle)

Pour cet enregistrement de relation intermaxillaire, le silicone par addition a été utilisé car il possède une consistance souple avec un temps de prise réduit, une stabilité idéale et une manipulation simple. Malgré le fait qu'il soit catégorisé comme matériau classique d'enregistrement d'occlusion, quelques difficultés se sont présentées.

En effet, de par sa souplesse, le repositionnement après désinsertion des bases s'est avéré plus compliqué. Pour pallier à cela, les bases d'occlusion et le matériau d'enregistrement ont été solidarisés à l'aide de colle cyanoacrylate afin de pouvoir les numériser sans bascule (Figure 63).

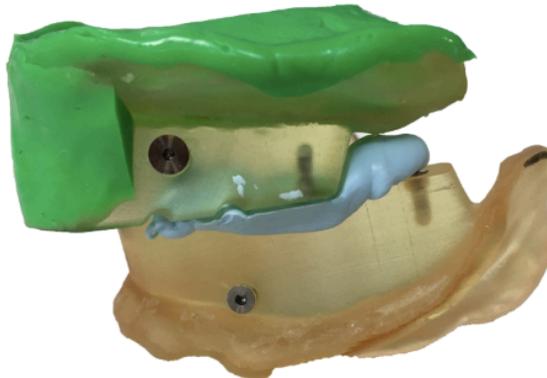


Figure 63. Enregistrement du rapport intermaxillaire à l'aide de silicone par addition (Photographie personnelle)

6.6. Numérisation des bases d'occlusion grâce au CBCT et intégration de la relation intermaxillaire au flux numérique

6.6.1. Numérisation des bases d'occlusion en bouche grâce au CBCT

Une fois la relation intermaxillaire enregistrée, un cone beam de la patiente avec les bases d'occlusion en bouche est effectué.

La patiente est positionnée dans le cone beam comme lors d'une acquisition classique (Figure 64). Les paramètres d'acquisition sont les mêmes que pour la numérisation des empreintes secondaires. En effet, un grand champ d'acquisition est nécessaire afin de visualiser toutes les structures anatomiques du maxillaire et de la mandibule.



Figure 64. Positionnement de la patiente dans le cone beam avec les bases d'occlusion en bouche (Photographie personnelle)

6.6.2. Numérisation des bases d'occlusion seules grâce au CBCT

Comme pour la numérisation des empreintes secondaires, les bases d'occlusion sont positionnées sur le plateau fourni par la société VATECH avec le cone beam. De la même manière, ces bases sont légèrement surélevées à l'aide de plot de cire collante (Figure 65).

Lors de la numérisation, les mêmes paramètres d'acquisition que pour les empreintes secondaires sont sélectionnés.

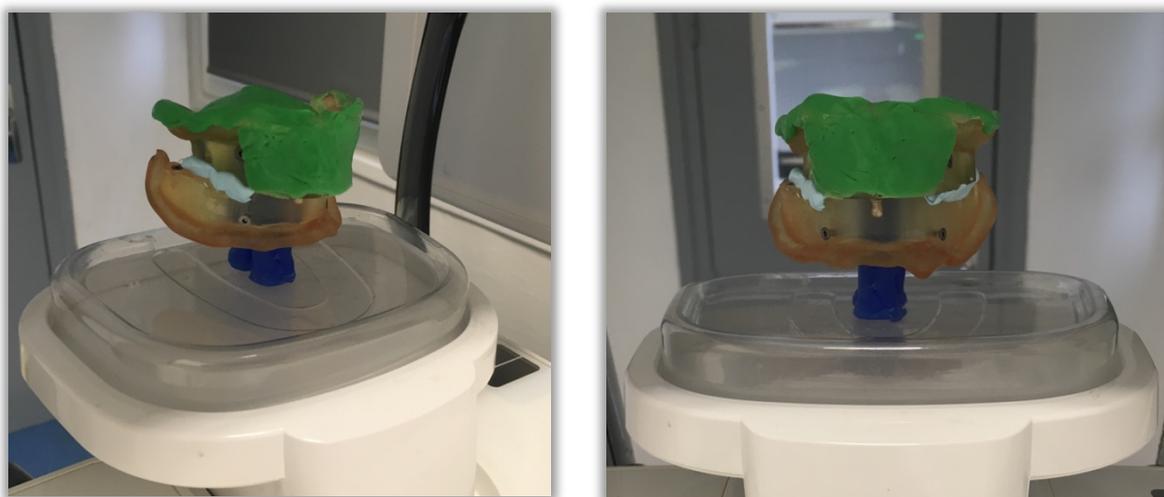


Figure 65. Positionnement des bases d'occlusion sur le plateau fourni par VATECH (vue de $\frac{3}{4}$ à gauche et vue de face à droite) (Photographie personnelle)

6.6.3. Intégration de la relation intermaxillaire au flux numérique CBCT de la patiente

Le logiciel Blue Sky Plan® est utilisé dans le but d'intégrer la relation intermaxillaire enregistrée en bouche dans le flux numérique CBCT de la patiente. Ce logiciel permet la lecture d'images radiologiques DICOM, la visualisation des structures anatomiques de la patiente et l'intégration d'éléments du projet prothétique au flux numérique.

En matière de superposition 3D, il existe deux grandes façons de procéder :

- Superposition automatique (Technique du double scan) : il s'agit d'une technique plus complexe mais plus fiable. Le logiciel utilise les marqueurs radio-opaques visibles sur les deux fichiers 3D pour les superposer automatiquement.
- Superposition manuelle (Matching STL/DICOM) : il s'agit d'une technique simple mais relativement subjective. En effet, 5 points identiques au minimum sont sélectionnés par le praticien sur les deux fichiers à superposer. Plus il y a de points sélectionnés, meilleure est la précision.

6.6.3.1. Technique du double scan

6.6.3.1.1. Méthode

La technique du « double scan » est une méthode développée dans les années 90 par une équipe de recherche de l'Université de Louvain [61]. Cette technique utilise deux clichés 3D présentant les mêmes repères radio-opaques dans le but de les superposer.

Elle est basée sur la réalisation d'un 1^e cone beam de la patiente avec les bases d'occlusion en bouche suivi d'un 2nd cone beam des bases d'occlusion seules (Figure 66). L'objectif est d'intégrer les bases d'occlusion dans le massif maxillo-mandibulaire de la patiente.



Figure 66. Schéma explicatif de la technique du double scan (Illustration personnelle)

Pour cette méthode, il est important d'utiliser des marqueurs radio-opaques de petit diamètre, fixés sur les bases d'occlusion, qui sont visibles sur les deux cone beam. Dans le cadre de ce travail, des vis en titane ont été utilisées.

Tout d'abord, le 1^e cone beam réalisé (patiente + bases d'occlusion) montre des images des structures osseuses maxillaires et mandibulaires avec les marqueurs radio-opaques sans visualiser les bases d'occlusion elles-mêmes (Figure 67). En effet, celles-ci sont essentiellement constituées de matériaux radio-transparents.

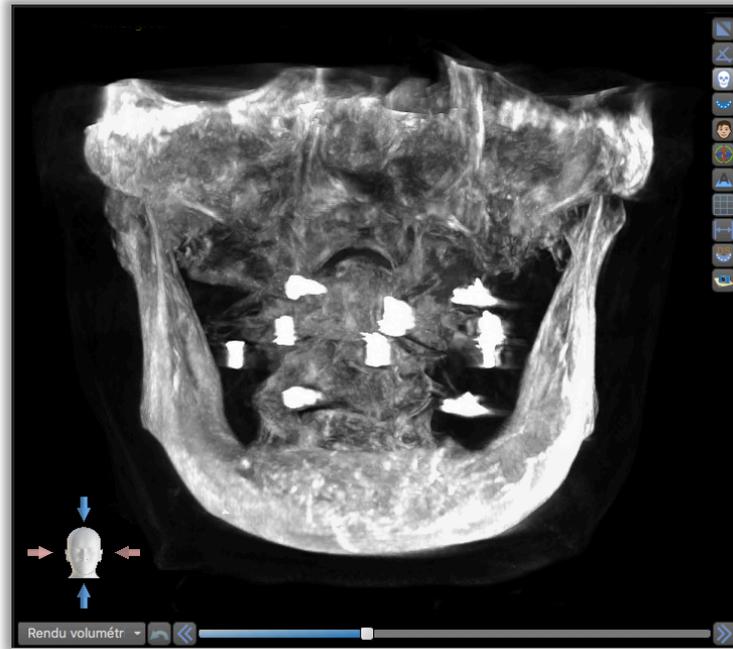


Figure 67. Rendu volumique par projection d'intensité maximale (MIP) du 1^e cone beam (patiente + bases d'occlusion) sur le logiciel Blue Sky Plan® (Illustration personnelle)

Puis, la réalisation du 2nd cone beam (bases d'occlusion seules) montre des images des bases d'occlusion avec les marqueurs radio-opaques (Figure 68). La densité de ces bases étant supérieure à celle de l'air, elles apparaissent dans cette 2nde numérisation.

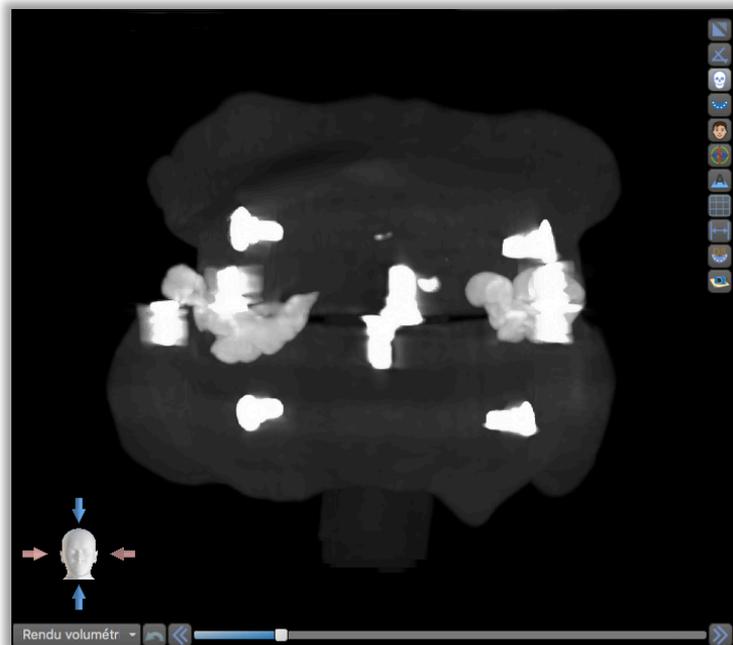


Figure 68. Rendu volumique par projection d'intensité maximale (MIP) du 2nd cone beam (bases d'occlusion seules) sur le logiciel Blue Sky Plan® (Illustration personnelle)

Ces marqueurs radio-opaques étant visibles sur les deux cone beam réalisés, le logiciel utilise ses similarités dans le but de fusionner les bases d'occlusion avec les structures maxillo-faciales de la patiente.

6.6.3.1.2. Manipulation sur le logiciel Blue Sky Plan®

Tout d'abord, il convient d'ouvrir le logiciel Blue Sky Plan® et de choisir le type de projet souhaité. Pour ce travail, la catégorie « Guides chirurgicaux » est choisie (Figure 69).

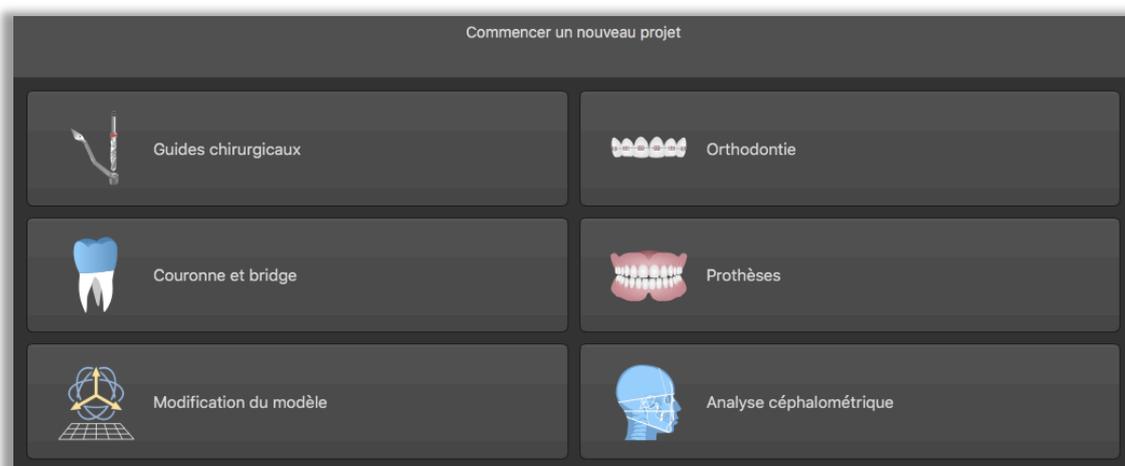


Figure 69. Page d'accueil du logiciel Blue Sky Plan® (Illustration personnelle)

Les images radiographiques issues du 1^{er} cone beam (patiente + bases d'occlusion) sont ensuite importées dans le logiciel. Il est nécessaire de recadrer la zone d'intérêt sur ces images, dans toutes les directions, en modifiant la position des cadrans jaunes (Figure 70).

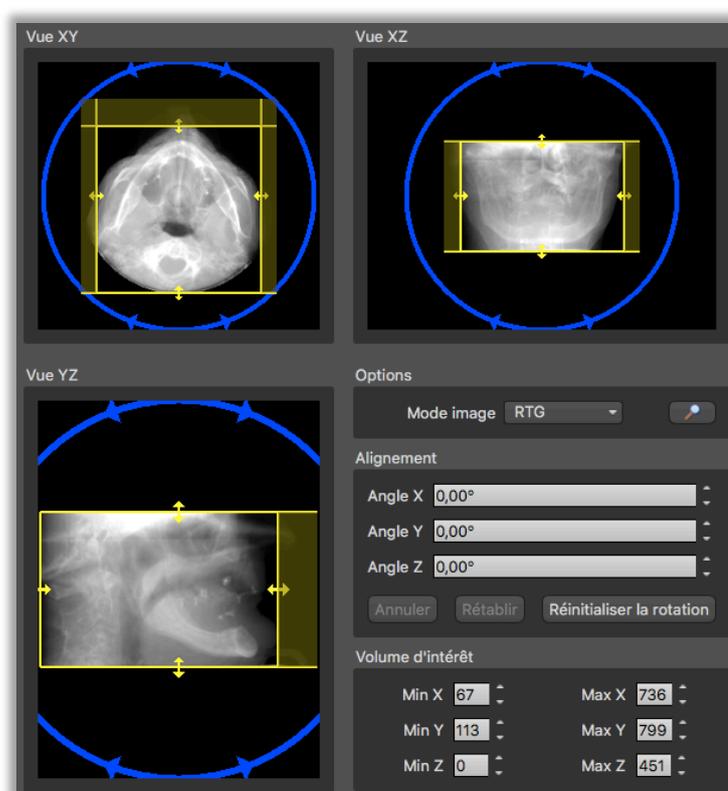


Figure 70. Recadrage de la zone d'intérêt sur les images radiographiques issues du 1^{er} cone beam dans le logiciel Blue Sky Plan® (Illustration personnelle)

Puis, une surface supplémentaire peut être importée. Ici, la catégorie « Importer la numérisation CT de l'impression avec des marqueurs » est sélectionnée (Figure 71). Le 2nd cone beam correspondant aux bases d'occlusion seules est alors importé.

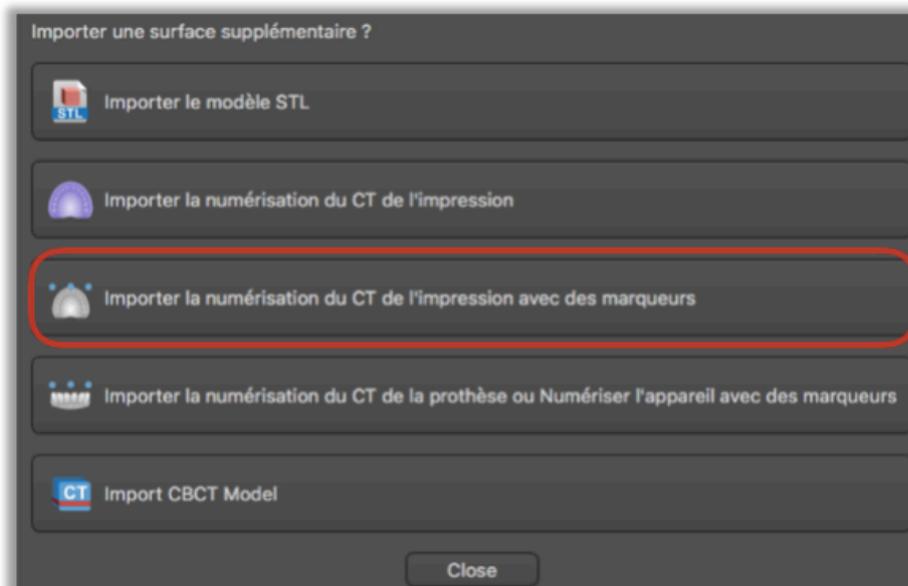


Figure 71. Importation d'une surface supplémentaire dans le logiciel Blue Sky Plan® (Illustration personnelle)

De la même manière que pour les images issues du 1^e cone beam, la zone d'intérêt est recadrée (Figure 72).

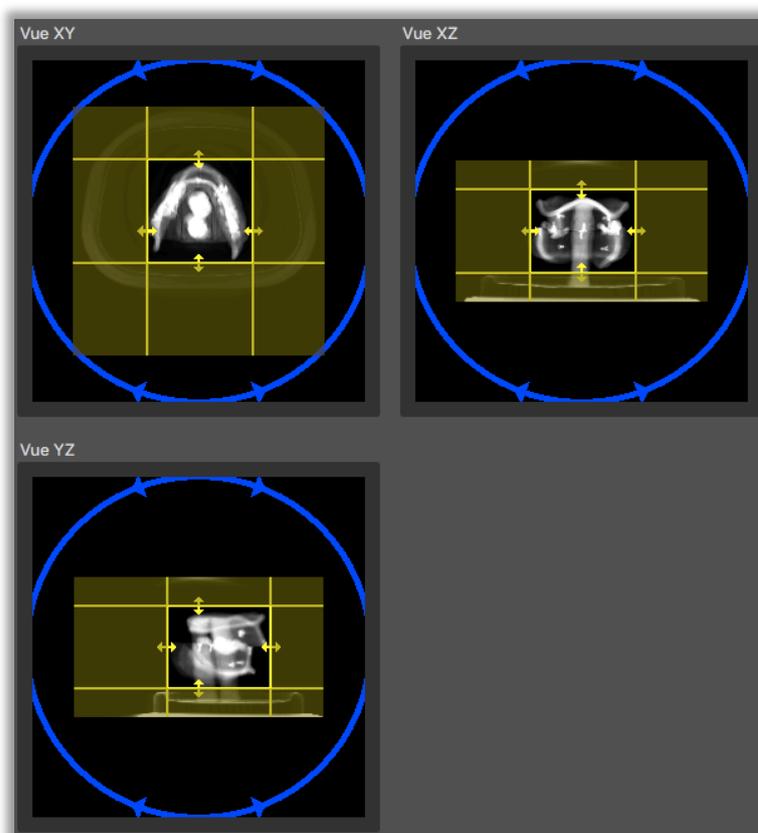


Figure 72. Recadrage de la zone d'intérêt sur les images radiographiques issues du 2nd cone beam dans le logiciel Blue Sky Plan® (Illustration personnelle)

Après validation, une fenêtre « Aligner l'appareil de balayage » s'affiche alors (Figure 73). Il est nécessaire de bien discerner les marqueurs du patient ainsi que les marqueurs de l'appareil de balayage afin d'avoir l'appariement le plus précis.

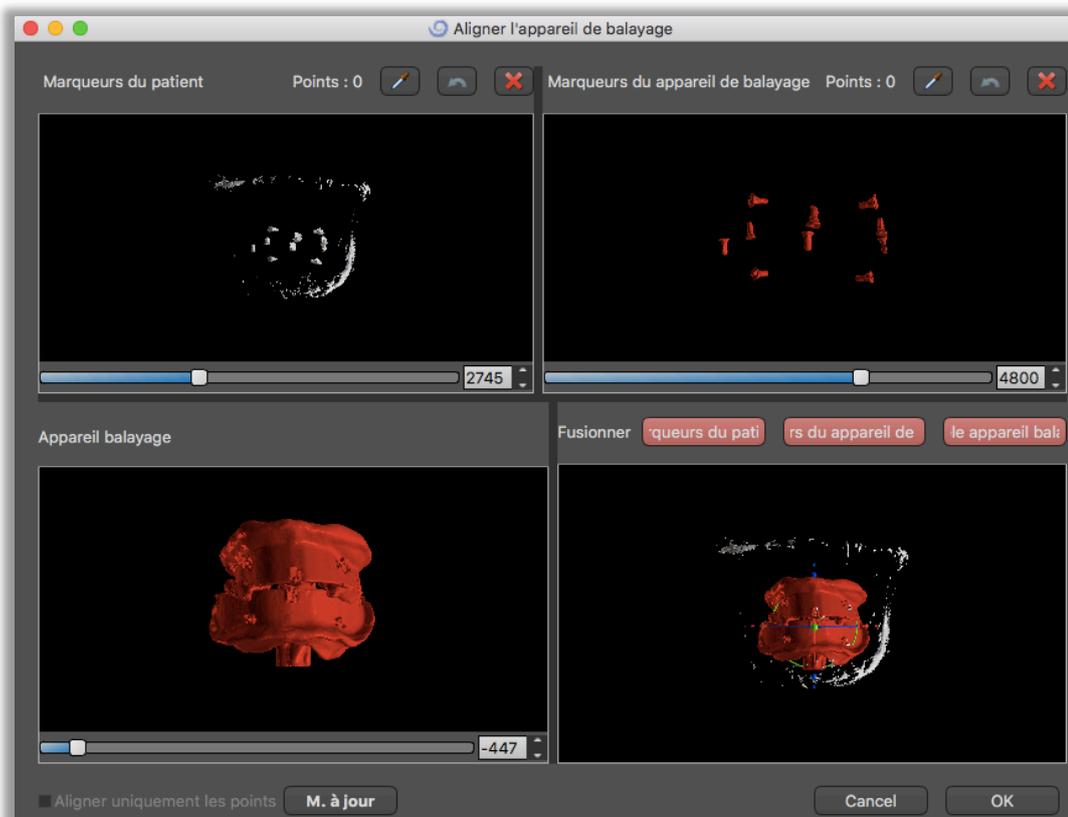


Figure 73. Appariement des marqueurs des deux CBCT dans le logiciel Blue Sky Plan® (Illustration personnelle)

Il suffit ensuite de cliquer sur « Impression des marqueurs » en haut à gauche afin d'intégrer les bases d'occlusion au flux numérique CBCT de la patiente par alignement et fusion des marqueurs radio-opaques (Figure 74, 75).

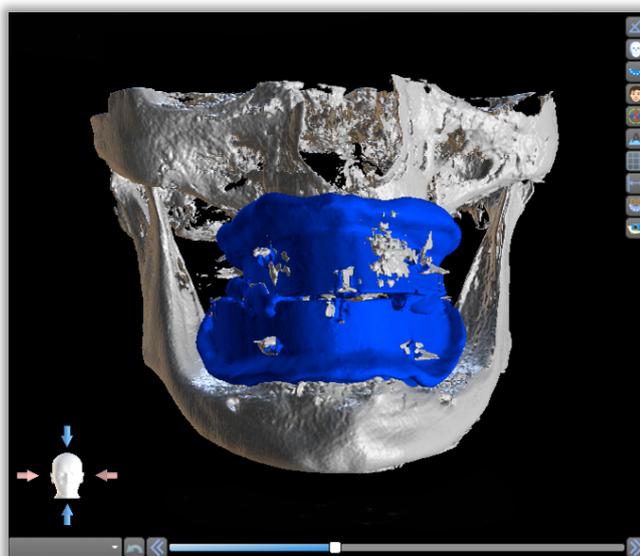


Figure 74. Intégration des bases d'occlusion au flux numérique CBCT de la patiente par la technique du double scan dans le logiciel Blue Sky Plan® (Vue de face) (Illustration personnelle)

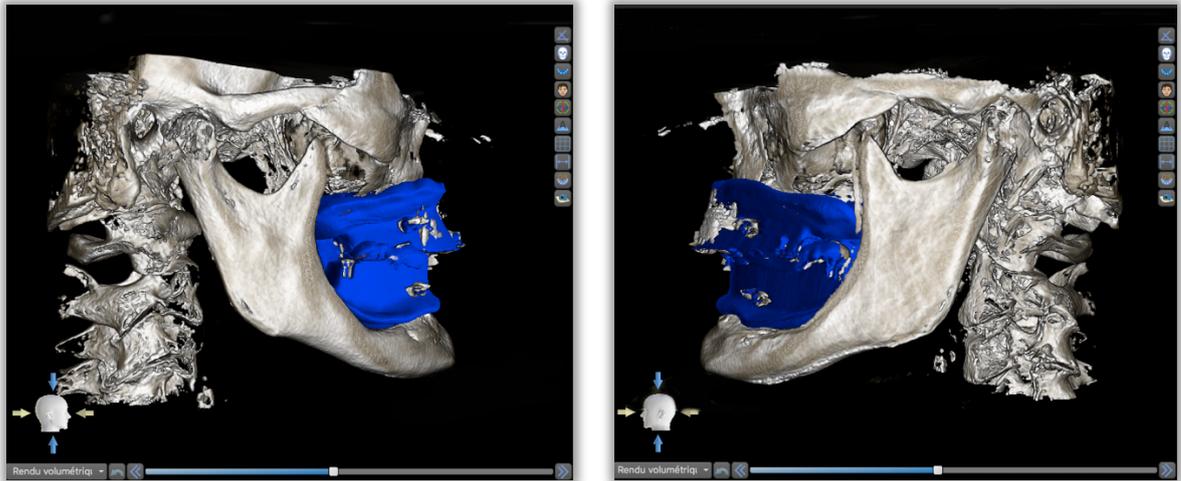


Figure 75. Intégration des bases d'occlusion au flux numérique CBCT de la patiente par la technique du double scan dans le logiciel Blue Sky Plan® (Vue de profil droit et gauche) (Illustration personnelle)

6.6.3.2. Technique du matching

6.6.3.2.1. Objectif du matching des volumes

Le matching correspond à la superposition de fichiers DICOM et STL. Son but est de fusionner les données radiologiques avec les données cliniques pour pouvoir les confronter.

6.6.3.2.2. Méthode

Pour réaliser le matching, il convient donc de sélectionner des points communs entre le fichier DICOM et le fichier STL. Habituellement, les tissus biologiques enregistrés sur ces fichiers sont :

- Fichier DICOM : tissus osseux et tissus dentaires
- Fichier STL : tissus dentaires et tissus mous

Il est à noter que seuls les tissus dentaires sont communs à ces deux fichiers. Ce sont par leur intermédiaire que le matching des deux fichiers peut se faire. Mais en prothèse amovible complète (PAC), le patient ne présente plus de tissus dentaires servant de point commun. Il a donc fallu trouver un autre moyen permettant le matching.

Dans le cadre de ce travail, la base d'occlusion munie de marqueurs radio-opaques a servi d'intermédiaire de matching. En effet, ces marqueurs permettent de repérer des points communs sur les deux fichiers.

Les deux cone beam réalisés pour la technique du double scan ont été utilisés pour ce matching. Mais il est important de noter que la numérisation des bases d'occlusion seules peut s'effectuer soit grâce au CBCT qui est exporté sous format STL ou alors grâce à une caméra optique ou un scanner de laboratoire produisant directement un fichier STL.

Ici, des vis en titane ont été utilisées comme marqueurs car elles répondent parfaitement aux critères requis :

- Être radio-opaques sur le fichier DICOM
- Être présentes sur le fichier STL et DICOM
- Ne pas entraîner d'artéfacts

L'algorithme du logiciel va ainsi superposer les deux fichiers grâce à ces points sélectionnés.

6.6.3.2.3. Manipulation sur le logiciel Blue Sky Plan®

Tout d'abord, il convient d'ouvrir le logiciel Blue Sky Plan® et de choisir le type de projet souhaité. Pour ce travail, la catégorie « Guides chirurgicaux » est également choisie.

Les images radiographiques issues du 1e CBCT (patiente + bases d'occlusion avec marqueurs radio-opaques) sont ensuite importées dans le logiciel. Comme pour la technique du double scan, il est nécessaire de recadrer la zone d'intérêt sur ces images.

Une surface supplémentaire peut être importée. Ici, la catégorie « Importer le modèle STL » est sélectionnée (Figure 76). La numérisation des bases d'occlusion seules sous format STL est utilisée.

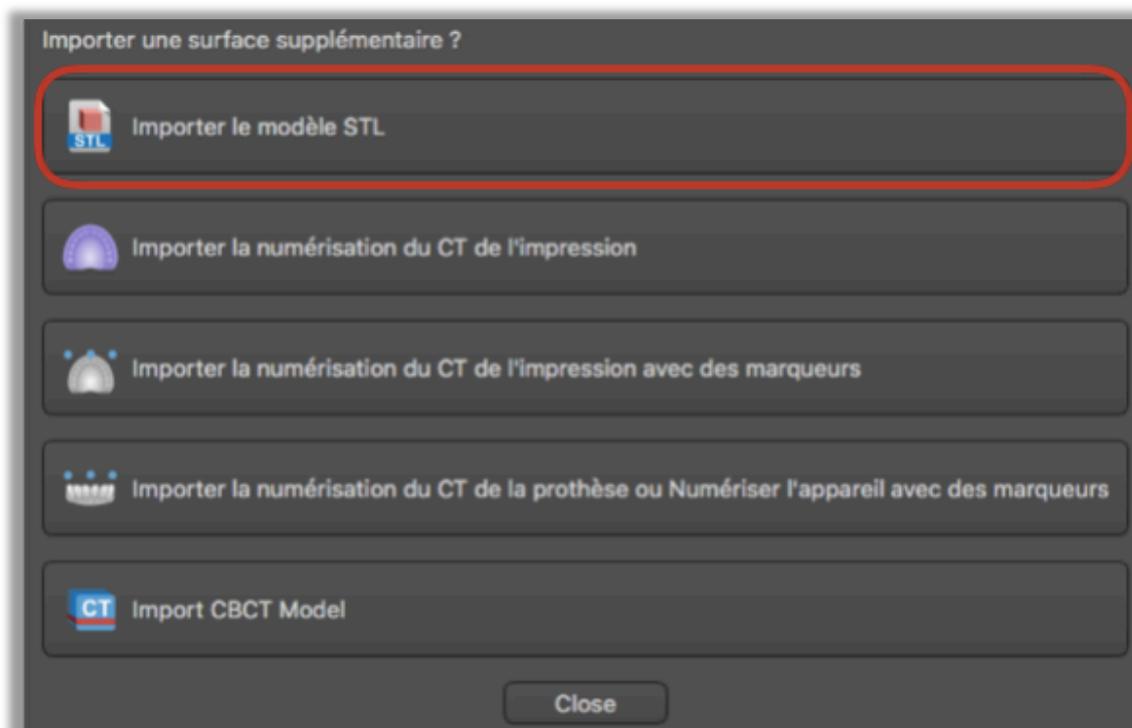


Figure 76. Importation d'une surface supplémentaire dans le logiciel Blue Sky Plan® (Illustration personnelle)

Une fois les deux fichiers de formats différents ouverts, il suffit de les aligner grâce à des points communs. Il est important de sélectionner la catégorie « Points » dans la fenêtre « Alignement du modèle » (Figure 77).

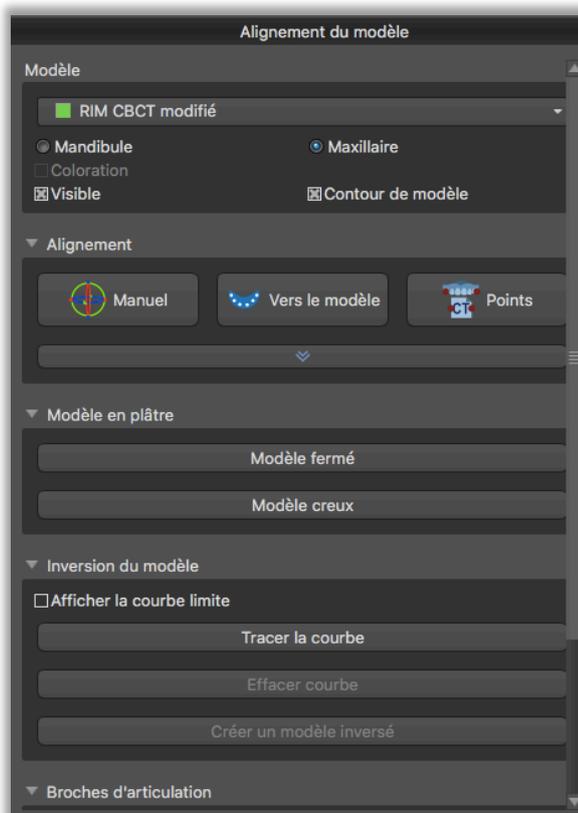


Figure 77. Alignement du modèle sur le logiciel Blue Sky Plan® (Illustration personnelle)

Afin d'aligner les bases d'occlusion importées au CBCT de la patiente, 5 points communs aux deux fichiers sont sélectionnés manuellement grâce aux repères laissés par les marqueurs (Figure 78).

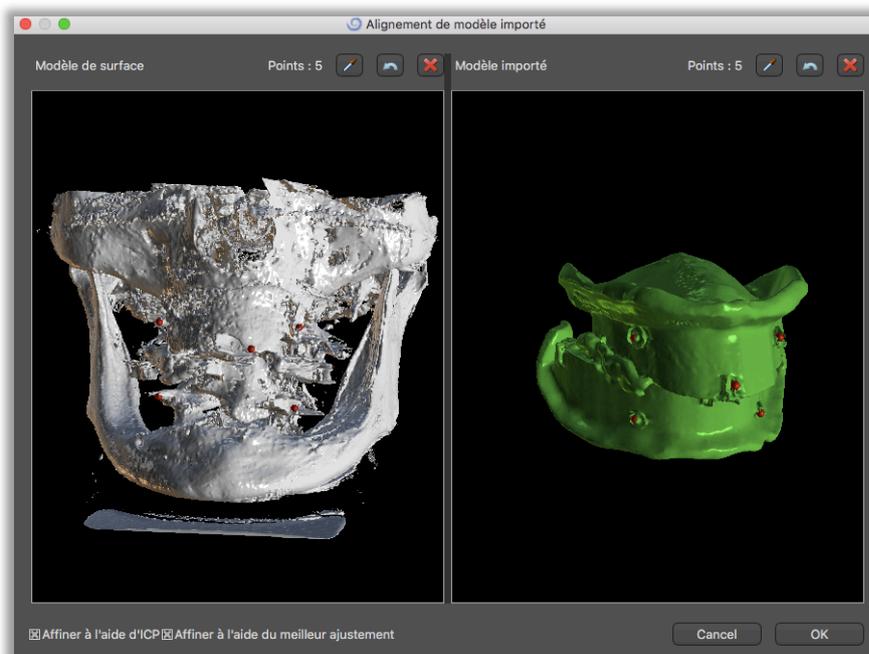


Figure 78. Sélection de 5 points communs entre le fichier DICOM et le fichier STL sur le logiciel Blue Sky Plan® (Illustration personnelle)

La validation des points sélectionnés permet l'intégration des bases d'occlusion au flux numérique CBCT de la patiente (Figure 79, 80).

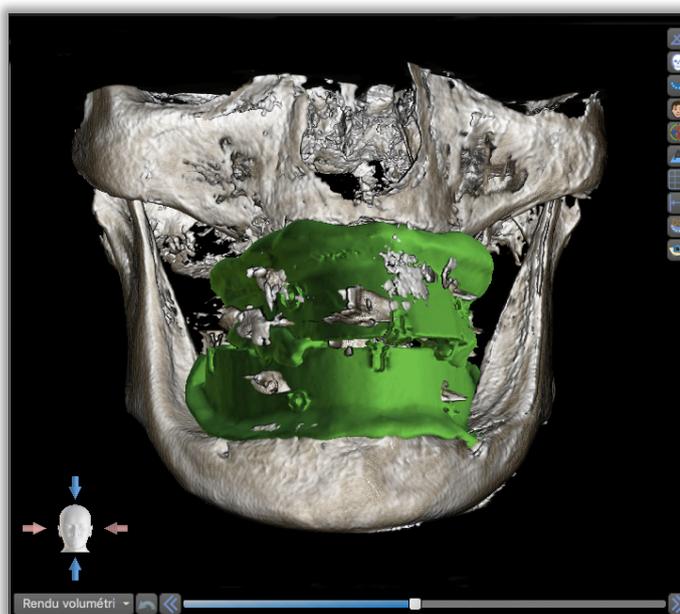


Figure 79. Intégration des bases d'occlusion au flux numérique CBCT de la patiente par fusion des données DICOM et STL dans le logiciel Blue Sky Plan® (Vue de face) (Illustration personnelle)

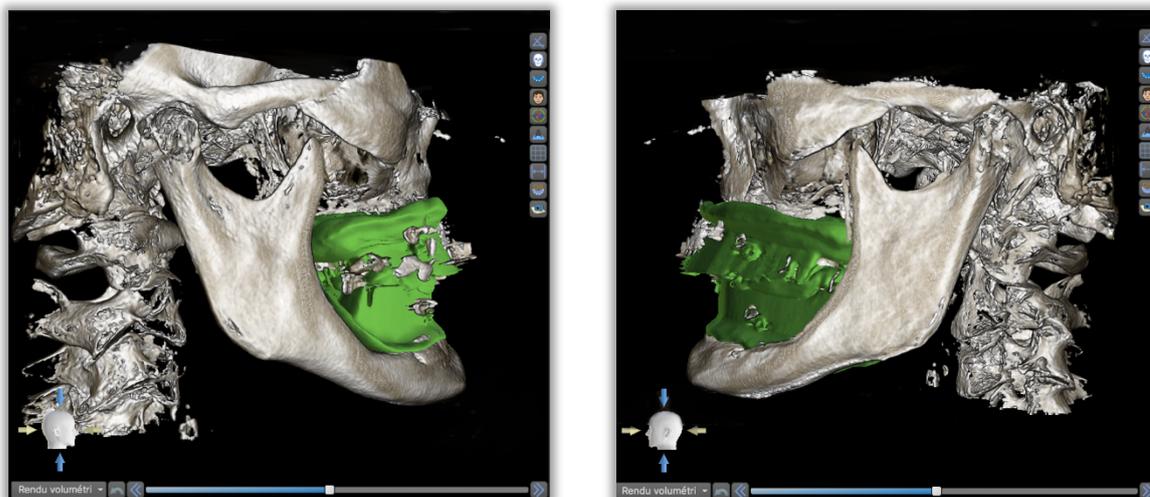
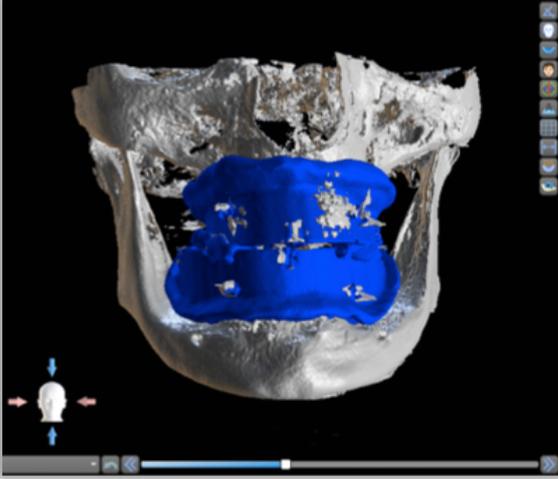
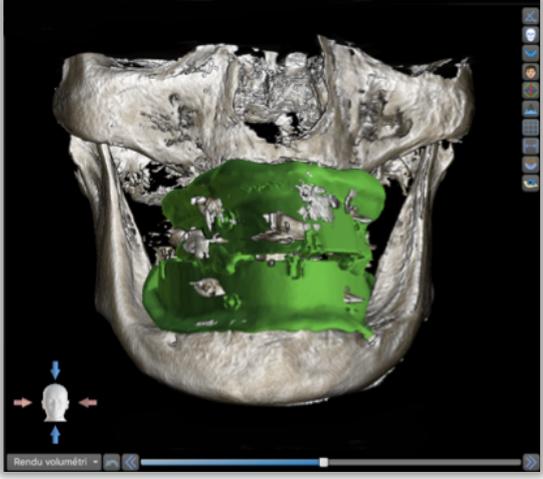


Figure 80. Intégration des bases d'occlusion au flux numérique CBCT de la patiente par fusion des données DICOM et STL dans le logiciel Blue Sky Plan® (Vue de profil droit et gauche) (Illustration personnelle)

6.6.3.3. Comparaison entre les deux techniques de superposition 3D

Les deux techniques présentées ci-dessus aboutissent aux mêmes résultats, à savoir l'intégration des bases d'occlusion et donc de la relation intermaxillaire au flux numérique CBCT de la patiente. En revanche, pour chacune d'entre elles, des avantages et limites sont apparus (Tableau 14, Figure 81, 82, 83, 84).

Technique du double scan	Matching DICOM / STL
Méthode	
 <p data-bbox="245 846 833 949"><i>Figure 81. Intégration des bases d'occlusion au flux numérique CBCT par la technique du double scan (Illustration personnelle)</i></p> <p data-bbox="240 1019 836 1122">Cette technique consiste en la superposition de deux fichiers 3D à l'aide de marqueurs radio-opaques.</p> <p data-bbox="240 1160 836 1263">Le logiciel repère ces marqueurs présents sur les deux fichiers et les apparie de manière très précise.</p>	 <p data-bbox="863 846 1450 976"><i>Figure 82. Intégration des bases d'occlusion au flux numérique CBCT par matching de fichiers DICOM/STL (Illustration personnelle)</i></p> <p data-bbox="858 1019 1453 1151">Cette technique repose sur le matching entre un fichier STL et un fichier 3D DICOM à l'aide de points sélectionnés manuellement.</p> <p data-bbox="858 1189 1453 1292">Les bases d'occlusion sont munies de repères radio-opaques servant à la sélection des points.</p>
Avantages	
<ul data-bbox="245 1420 836 1563" style="list-style-type: none"> • Précise • Rapide • Fiable et reproductible car technique automatique 	<ul data-bbox="863 1420 1442 1523" style="list-style-type: none"> • Simple • Peu de points communs nécessaires : 5 au minimum
Inconvénients	
<ul data-bbox="245 1682 836 1749" style="list-style-type: none"> • Artéfacts parfois créés par les marqueurs radio-opaques 	<ul data-bbox="863 1682 1442 2033" style="list-style-type: none"> • Biais de repositionnement, imprécision à prendre en compte • Méthode subjective car praticien dépendante • Obtention du fichier STL de la numérisation des bases d'occlusion nécessaire • Artéfacts parfois créés par les marqueurs radio-opaques sur le fichier DICOM

Résultats

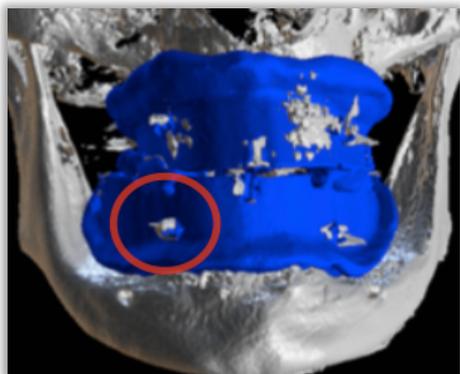


Figure 83. Appariement par la technique du double scan (Illustration personnelle)

- Appariement précis

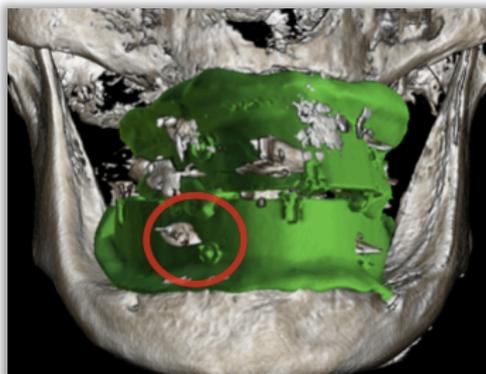


Figure 84. Appariement par la technique de matching DICOM/STL (Illustration personnelle)

- Appariement imprécis. Un décalage entre le marqueur du fichier DICOM et le marqueur du fichier STL est constaté. La source d'imprécision peut venir de la sélection manuelle des points.

Conclusion

A travers ce travail, la technique du double scan a montré de très bons résultats reproductibles dans la superposition de fichiers 3D. Aucun inconvénient majeur n'a été relevé.

En revanche, le matching DICOM/STL a montré quelques limites. En effet, les deux fichiers étant sous format différent et la technique étant praticien-dépendante, il est important de prendre en compte le biais de repositionnement et donc l'imprécision d'appariement. De plus, les artéfacts sur le fichier DICOM ainsi que le niveau de seuillage peuvent également influencer le matching.

Tableau 14. Comparatif entre les deux techniques de superposition 3D (Source personnelle)

Conclusion

Ces dernières années, la chirurgie dentaire a bénéficié de progrès technologiques grâce à l'apparition du numérique et l'évolution des techniques de CFAO (Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur). Cependant, la prothèse amovible complète est une discipline complexe nécessitant un enchaînement chronologique d'étapes dépendantes les unes des autres. A l'heure actuelle, la prothèse amovible complète ne peut s'affranchir de certaines étapes conventionnelles telles que les empreintes primaires et secondaires qui représentent toujours le « gold standard ».

En revanche, d'après la thèse de Samy BENCHIKH [2], la numérisation des empreintes primaires et secondaires au cone beam en prothèse amovible complète est possible et offre une très bonne précision. Le traitement numérique de celles-ci s'effectue instantanément après la numérisation à condition que la méthode et les matériaux de prise d'empreinte soient compatibles.

Dans la continuité, ce travail proposait donc de répondre à la question suivante : « A partir de la numérisation au cone beam des empreintes secondaires en prothèse amovible complète, est-il possible de confectionner des bases d'occlusion numériques, imprimables en 3D et réglables en bouche, et de les intégrer dans le flux numérique CBCT du patient ? »

L'expérimentation autour de ce cas clinique montre qu'à partir de la numérisation des empreintes secondaires au cone beam, il est possible de confectionner numériquement des bases d'occlusion à l'aide de logiciels gratuits de modélisation 3D comme MeshMixer. Celles-ci peuvent ensuite être directement imprimées grâce à une imprimante 3D. De la même manière, les empreintes primaires pourraient être numérisées au cone beam et les portes-empreintes individuels confectionnés à partir des modèles primaires virtuels.

L'apport du numérique en prothèse amovible complète permet donc de supprimer les étapes conventionnelles de traitement des empreintes primaires et secondaires ainsi que la confection des portes empreintes individuels et des bases d'occlusion. Les imprécisions et risques liés à l'homme notamment lors du coffrage ou de la coulée des empreintes sont ainsi évités. Plus aucun matériau n'est nécessaire.

Ce travail a également démontré que le cone beam présente un intérêt dans l'enregistrement de la relation intermaxillaire. En effet, les bases d'occlusion imprimées et réglées en bouche au profil et caractéristiques de la patiente ont été numérisées grâce au cone beam et intégrées directement dans le flux numérique CBCT de la patiente.

Une analyse céphalométrique devrait permettre de retrouver le plan d'occlusion et le couloir prothétique grâce aux structures osseuses et aux bases d'occlusion intégrées dans le flux numérique. En effet, l'identification numérique de l'emplacement et de l'angulation du plan occlusal est essentielle à la fabrication de prothèses amovibles complètes numériques. Une thèse de recherche axée sur la détermination du plan d'occlusion par l'utilisation du cone beam a été publiée en 2016 à l'Université de Caroline du Nord de Chapel Hill [62].

Pour poursuivre ce travail, il serait donc intéressant d'explorer plus précisément l'apport de la piézographie et de l'analyse céphalométrique CBCT dans la détermination précise du plan d'occlusion en prothèse amovible complète. Le montage de dents pourrait ainsi être réalisé numériquement à partir des données du patient en s'appuyant sur des logiciels de conception tel que Dental Wings, Exocad ou 3Shape Dental (Figure 85).

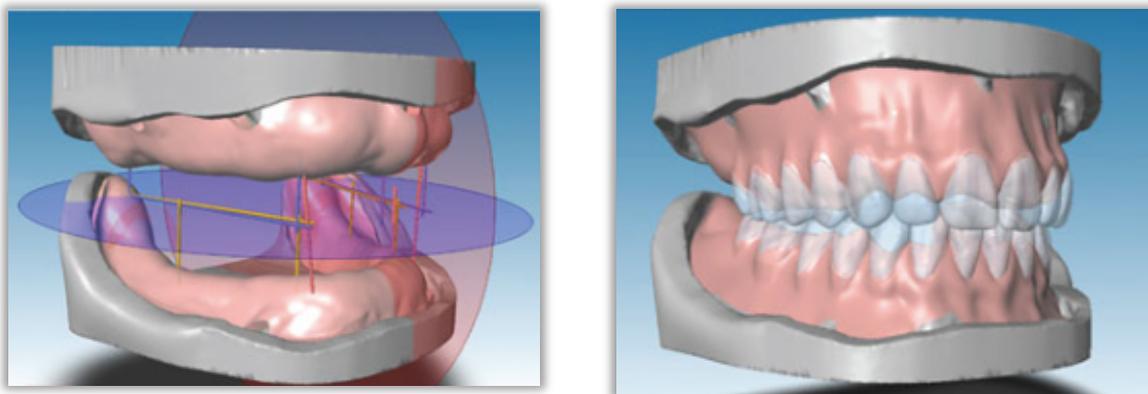


Figure 85. Identification du plan d'occlusion (Gauche) et montage de dents (Droite) d'une prothèse amovible complète bi-maxillaire sur le logiciel Dental Wings [63]

Dans un avenir proche, il deviendrait ainsi probable que les prothèses amovibles complètes soient fabriquées par usinage ou impression 3D sans qu'aucun matériau ni aucune étape de laboratoire intermédiaire ne soit nécessaire.

Annexes

AUTORISATION D'UTILISATION D'IMAGE (Sujet majeur)

Sujet	Photographe
NOM .. [REDACTED]	NOM FOURNIER
PRENOM [REDACTED]	PRENOM Clémentine
Date de naissance : .. 12/04/1994	DOMICILE .. [REDACTED]
DOMICILE .. [REDACTED] 62160 .. Bully .. les .. Tines
Mail : 59 439 .. Walignies	Mail : .. fournier.clementine@gmail.com
.....
Téléphone : [REDACTED]	Téléphone .. [REDACTED]
.....	Site Internet :

Le Photographe a réalisé en dehors de toute séance organisée une ou plusieurs photographies sur lesquelles apparaît le Sujet. Ces images ont été réalisées en date du .. 04/02/2021 .. à .. Centre .. Abel .. Cauvartin .. CHRU .. Lille .. (lieu des prises de vues).

MODES DE DIFFUSION

Le Sujet (qui atteste ne pas être lié avec un tiers par un contrat d'exclusivité sur son image) autorise expressément le Photographe à faire usage des photographies visées ci-dessus pour tous les usages ci-dessous. En cas de désaccord pour l'une des utilisations, le Sujet raye la mention concernée. Il est informé de ce qu'en ne refusant aucune des utilisations, sa photographie pourra être utilisée sur tous les supports indiqués ci-dessous.

<input type="checkbox"/> Presse	<input type="checkbox"/> Publications électroniques	<input type="checkbox"/> Projection publique
<input type="checkbox"/> Livre	<input type="checkbox"/> Objets de décoration	<input type="checkbox"/> Publicité
<input type="checkbox"/> Exposition	<input type="checkbox"/> Carte postale	<input type="checkbox"/> Autre : ... Thèse

Les photographies pourront être exploitées directement par le Photographe ou cédées à des tiers, sous toutes les formes autorisées ci-dessus.

DURÉE DE L'AUTORISATION

La présente autorisation est accordée pour une durée de ~~un~~ ~~ans~~ à compter de sa signature.

ENGAGEMENT DU PHOTOGRAPHE

Le Photographe s'interdit expressément de procéder à une exploitation des photographies susceptible de porter atteinte à la vie privée ou à la réputation du Sujet, ni d'utiliser les photographies objets de la présente autorisation sur tout support à caractère pornographique, raciste, xénophobe ou toute autre exploitation préjudiciable.

Il tiendra à disposition du Sujet un justificatif de chaque parution, disponible sur simple demande, et encouragera ses partenaires à faire de même en mettant personnellement tout en œuvre pour atteindre cet objectif.

CONDITIONS DE L'ACCORD

Le Sujet marque expressément son accord sur les conditions suivantes, en cochant la ou les cases appropriées. Il est conscient que cet accord l'engage contractuellement conformément au Code civil.

<i>Autorisation sans contrepartie</i>	<i>Autorisation contre tirages papier des photographies</i>
Le Sujet confirme que son autorisation est donnée en connaissance de cause sans contrepartie. Il manifeste ainsi son intérêt et son soutien au travail du Photographe. Il ne pourra prétendre à aucune rémunération du fait des utilisations des images réalisées.	Le Sujet confirme que son autorisation est donnée moyennant l'engagement du Photographe de lui transmettre, dès qu'elles seront prêtes, et dans un délai maximum de semaines, photographies sur tirage papier pour son seul usage personnel (préciser le nombre de tirages)
	Il s'engage à ne pas les reproduire, n'étant lui-même pas l'auteur des images qui lui seront offertes.

Autorisation soumise au Droit français - Tout litige relatif à son exécution, son interprétation ou sa résiliation sera soumis aux Tribunaux français.

Fait à Lille .. le ... 04/02/2021 .. et établi en deux exemplaires originaux.

Le Sujet,

[Signature]

Le Photographe,

[Signature]

Annexe 1. Autorisation de droit à l'image

EC Declaration of Conformity

We,

Vertex-Dental B.V.
Centurionbaan 190
3769 AV Soesterberg,
The Netherlands

Hereby declare under our sole responsibility that the CE marked product to which this declaration relates,

Formlabs Dental SG

Productcodes are available in the annex.

has been classified as Class I, according to Annex IX, rule 5, and is in conformity with the essential requirements and provisions of the Council Directive 93/42/EEC concerning medical devices as amended by Directive 2007/47/EC.

and is in conformity with EN ISO 13485:2016; EN 1041:2008 +A1:2013; EN ISO 1641:2009; EN ISO 15223-1; 2016; EN ISO 15223-2:2010; EN IEC 62366-1:2015; IEC/TR 62366-2:2016; EN ISO 7405:2009 /A1:2013; EN ISO 14971:2012; EN ISO 10993-1:2009/AC2010; EN ISO 10993-3:2014; EN ISO 10993-5:2009 and EN ISO 10993-10:2010.

and is subject to the procedure set out in Annex VII of the Council Directive 93/42/EEC as amended by Directive 2007/47/EC.

This declaration is made on base of the quality assurance certificate ISO 13485:2016
N° BE12/223574929 Issue 4 valid until 17-12-2021 delivered by:

SGS United Kingdom Ltd. Systems & Services Certification
Rossmore Business Park
Ellesmere Port
Cheshire CH65 3EN
United Kingdom

This Declaration of conformity covers batches produced as of batches:
XG055N01

Soesterberg, February 1st 2019

 VERTEX-DENTAL B.V.
Centurionbaan 190
3769 AV Soesterberg
THE NETHERLANDS
Tel. +31 (0) 88 6160 440

Mrs. L. Vloet - Emonts
Manager Quality Assurance & Regulatory Affairs

Certificate

1) NextDent SG ≈ Dental SG
3D printing material for surgical guide

Manufactured by: Vertex-Dental B.V.
Soesterberg, The Netherlands

The products mentioned above are tested on biocompatibility according to ISO 10993-1 by Namsa France.

The products are tested on:

- Cytotoxicity test	Testreport 177178
- Sensitization	Testreport 168884
- Irritation	Testreport 168883
- Systemic toxicity (acute toxicity)	Testreport 168888
- Genotoxicity	Testreport 170296

The results in these tests show that the products meet the requirements of ISO 10993-1 and are biologically safe.

Soesterberg, December 13th, 2017


VERTEX-DENTAL B.V.
Centurionbaan 190
3769 AV Soesterberg
THE NETHERLANDS
Tel. +31 (0) 88 6160 440
Stephanie de Souza
Regulatory Officer

Références bibliographiques

- [1] Lejoyeux J. Prothèse complète, Tome 1, Examen clinique, matériaux et techniques d'empreinte, 2e édition. Paris : Librairie Maloine; 1973. 501 p.
- [2] Benchikh S. Traitement numérique d'une empreinte en prothèse amovible complète par l'utilisation du Cône Beam. [Thèse d'exercice]. [Lille] : Université de Lille, 2020.
- [3] Pompignoli M, Doukhan J-Y, Raux D. Prothèse complète : Clinique et laboratoire Tome 2. 3e édition. Paris : Edition CdP; 2005. 195 p.
- [4] Hüe O, Berteretche M-V. Prothèse complète : Réalités cliniques, solutions thérapeutiques. Paris : Quintessence international; 2004. 289 p.
- [5] Pompignoli M, Doukhan J-Y, Raux D. Prothèse complète : Clinique et laboratoire Tome 1. Paris : Edition CdP; 1993. 150 p.
- [6] Begin M, Hutin I. Le rapport intermaxillaire en prothèse adjointe complète. *Réalités Cliniques*. 1997;8(4):389–407.
- [7] Helfer M, Louis JP, Vermande G. Gestion des rapports intermaxillaires en prothèse amovible complète. *Stratégie Prothétique*. Fevr 2010;10(1):33–41.
- [8] Begin M, Rohr M. La dimension verticale et l'espace libre d'inocclusion : un moyen simple de détermination. *Actual Odonto-Stomatol*. Mars 1992;(177):105–12.
- [9] Millet C, Jeannin P, Jaudoin P. Dimensions verticales en prothèse complète. *EMC - Odontologie 1*. 2005;[23-325-E-10]:1–12.
- [10] Begin M. La relation intermaxillaire : établissement de la D.V.O. *Inf Dent*. Mars 2001;(13):922–30.
- [11] Delcambre T, Picart B, Lefevre C, Mayer G, Noffi N.J. Edentements sub-totaux : un concept logique d'empreinte primaire et secondaire. *Strat Prothétique*. Avr 2003;3(2):93–102.
- [12] Lejoyeux J. Prothèse complète Tome 2, Diagnostic et traitement. 4e édition. Paris : Librairie Maloine; 1986. 529 p.
- [13] Pompignoli M, Doukhan J-Y, Raux D. Prothèse complète : Clinique et laboratoire. 4e édition. Paris : Edition CdP; 2011. 328 p.
- [14] 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. *J Prosthet Dent*. Sept 2018;120(3):389–95.
- [15] 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. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. Fevr 2016;149(2):287–94.
- [16] Haute Autorité de Santé. Tomographie volumique à faisceau conique de la face (cone beam computerized tomography) [Internet]. 2009 [cité 14 avr 2020]. Disponible sur : https://www.has-sante.fr/jcms/c_899074/fr/tomographie-volumique-a-faisceau-conique-de-la-face-cone-beam-computerized-tomography
- [17] Felizardo R, Martin-Duverneuil N. Tomographie volumique à faisceau conique (Cone Beam Computed Tomography). *EMC - Médecine Buccale*. Août 2018; [28-120-E-10]:13(4).
- [18] Scarfe WC, Farman AG. What is Cone Beam CT and how does it work ? *Dent Clin North Am*. 2008;52:707–30.

- [19] Davarpanah K, Demurashvili G, Szmukler-Moncler S, Davarpanah M. Examen radiologique. EID Paris [Internet]. Excellence in Dentistry 2013 [cité 8 févr 2021]. Disponible sur : <https://www.eidparis.com/radio/implants-dentaires.htm>
- [20] Scarfe WC, Farman AG, Sukovic P. Clinical applications of cone-beam computed tomography in dental practice. J Can Dent Assoc. Fevr 2006;72(1):75–80.
- [21] Macleod I, Heath N. Cone-beam computed tomography (CBCT) in dental practice. Dent Update. Nov 2008;35(9):590–2, 594–8
- [22] Référentiel DFGSM (édition 2017) | CERF - Collège des Enseignants en Radiologie de France [Internet]. [cité 29 avr 2020]. Disponible sur : <https://cerf.radiologie.fr/enseignement/etudiants-medecine-preparation-ecni/dfgsm>
- [23] Martin-Duverneuil N, Ruhin B. “Cone Beam CT” : techniques et principales indications en imagerie dento-maxillo-faciale chez l’adulte. EMC Radiol. Juin 2014; [31-677-E-10]: 9(2).
- [24] Rocher P, Batard J, Cavezian R, Nguyen TH, Salmon B, Schmittbuhl M, et al. Tomographie volumique à faisceau conique : Justification, optimisation et lecture. Paris : Association Dentaire Francaise; 2015.
- [25] Pauwels R, Araki K, Siewerdsen JH, Thongvigitmanee SS. Technical aspects of dental CBCT : state of the art. Dento Maxillo Facial Radiol. 2015;44(1).
- [26] Iwanaga J, Watanabe K, Saga T, Kikuta S, Tabira Y, Kitashima S, et al. Undetected Small Accessory Mental Foramina Using Cone-Beam Computed Tomography [Internet]. 2 mai 2017 [cité 14 mars 2021]. Disponible sur : <http://www.cureus.com/articles/7026-undetected-small-accessory-mental-foramina-using-cone-beam-computed-tomography>
- [27] L’empreinte optique en odontologie [Internet]. Owandy Radiol. 2020 [cité 11 sept 2020]. Disponible sur : <https://www.owandy.fr/empreinte-optique-en-odontologie/>
- [28] Format de fichier STL (Impression 3D) – Explication simple [Internet]. 2019 [cité 11 sept 2020]. Disponible sur : <https://www.lesimpressions3d.com/stl-file-format-3d-printing-simply-explained/>
- [29] Meshmixer : Logiciel de Modélisation Impression 3D [Internet]. Sculpteo [cité 11 sept 2020]. Disponible sur : <https://www.sculpteo.com/fr/glossaire/meshmixer-fr/>
- [30] Blue Sky Bio Plan User Manual - Attachment [Internet]. [cité 14 mars 2021]. Disponible sur : <https://blueskybio.com/cafeine/uploads/files/downloads/BS-LS-0161-fr%20-%20Blue%20Sky%20Bio%20Plan%20User%20Manual%20-%20Attachment-%20Rev%200.pdf>
- [31] Cazier S, Moussally C. Description of the various digital impression systems. Rev Odontostomatol (Paris) 2013;42:107–18.
- [32] Scanner intra-oral 3Shape TRIOS® – découvrez le scanner et le logiciel [Internet]. 3Shape. [cité 11 sept 2020]. Disponible sur : <https://ww2.3shape.com:443/fr-fr/products/trios/intraoral-scanner>
- [33] Scanners 3D 7Series - Scanneurs de bureau [Internet]. Dental Wings. [cité 14 févr 2021]. Disponible sur : <https://dentalwings.com/fr/scanners3d/>
- [34] Dawood A, Marti Marti B, Sauret-Jackson V, Darwood A. 3D printing in dentistry. Br Dent J. Dec 2015;219(11):521–9.
- [35] Stansbury JW, Idacavage MJ. 3D printing with polymers : Challenges among expanding options and opportunities. Dental Materials. 2016;32(1):54–64.

- [36] Torabi K, Farjood E, Hamedani S. Rapid Prototyping Technologies and their Applications in Prosthodontics, a Review of Literature. J Dent Shiraz Iran. March 2015;16(1):1–9.
- [37] Richard van Noort. The future of dental devices is digital. Dental Materials. 2012;28:3–12.
- [38] Zaharia C, Gabor AG, Gavrilovici A, Tudor Stan A, Idrasi L, Sinscu C, et al. Digital Dentistry - 3D Printing Applications. J Interdiscip Med 2017;2(1):50–3.
- [39] Berchon M, Luyt B. L'impression 3D. 2e édition. Paris : Eyrolles; 2014. 214 p.
- [40] Prakash D, Davis R, Kumar Sharma A. Design and fabrication of dental implant prototypes using additive manufacturing. IOP Conf Ser Mater Sci Eng. 2019;561:012041.
- [41] Melchels FPW, Feijen J, Grijpma DW. A review on stereolithography and its applications in biomedical engineering. Biomaterials. 2010;31(24):6121–30.
- [42] Impression 3D dentaire : pourquoi les technologies 3D révolutionnent-elles le secteur ? [Internet]. 3Dnatives. 2019 [cité 5 juin 2020]. Disponible sur : <https://www.3dnatives.com/impression-3d-dentaire-25032019/>
- [43] Haute Autorité de Santé - Parcours du dispositif médical en France [Internet]. 2020 [cité 28 mars 2021]. Disponible sur : https://www.has-sante.fr/jcms/p_3213810/fr/parcours-du-dispositif-medical-en-france
- [44] DGS-Anne M. Les dispositifs médicaux (implants, prothèses...). Ministère Solidar Santé [Internet]. 2020. [cité 5 juin 2020]. Disponible sur : <https://solidarites-sante.gouv.fr/soins-et-maladies/autres-produits-de-sante/article/les-dispositifs-medicaux-implants-protheses>
- [45] Labo d'essais Mécastyle. Présentation par Mécastyle des différents process en fab additive [Internet]. [cité 22 mai 2020]. Disponible sur : <http://www.fabrication-additive.fr/fabrication-additive-processus>
- [46] Lal K, White GS, Morea DN, Wright RF. Use of stereolithographic templates for surgical and prosthodontic implant planning and placement. Part I. The concept. J Prosthodont. 2006;15(1):51–8.
- [47] Form 2 | Formlabs [Internet]. [cité 9 févr 2021]. Disponible sur : <https://formlabs.com/fr/3d-printers/form-2/>
- [48] Caractéristiques techniques. [Internet]. Formlabs. [cité 11 févr 2021]. Disponible sur : <https://formlabs.com/fr/3d-printers/form-3/tech-specs/>
- [49] Quels sont les matériaux utilisés en impression 3D ? [Internet]. Les numériques 2014. [cité 30 mai 2020]. Disponible sur : <https://www.lesnumeriques.com/imprimante-3d/quels-sont-materiaux-utilises-en-impression-3d-a1884.html>
- [50] A la découverte des matériaux d'impression 3D : Les plastiques [Internet]. 3Dnatives. [cité 30 mai 2020]. Disponible sur : <https://www.3dnatives.com/materiaux-impression-3d-abs-pla-polyamides-alumide/>
- [51] PolyJet/MultiJet Modeling [Internet]. Protiq Marketplace. [cité 22 mai 2020]. Disponible sur <https://www.protiq.com/en/3d-printing/processes/polyjet-multijet-modeling/>
- [52] Dental SG Resin 1 L [Internet]. Formlabs. [cité 9 févr 2021]. Disponible sur : <https://formlabs.com/fr/boutique/dental-sg-resin/>
- [53] Paramétrage des durées de lavage de la Form Wash [Internet]. Formlabs. [cité 9 févr 2021]. Disponible sur : <https://support.formlabs.com/s/article/Form-Wash-Time-Settings?language=fr>

- [54] Paramètres de durée et de température de la Form Cure [Internet]. Formlabs. [cité 9 févr 2021]. Disponible sur : <https://support.formlabs.com/s/article/Form-Cure-Time-and-Temperature-Settings?language=fr>
- [55] Utilisation de la Dental SG Resin [Internet]. Formlabs. [cité 9 févr 2021]. Disponible sur : <https://support.formlabs.com/s/article/Using-Dental-SG-Resin?language=fr>
- [56] Meilleures pratiques d'orientation des modèles en impression SLA [Internet]. Formlabs. [cité 9 févr 2021]. Disponible sur : <https://support.formlabs.com/s/article/Model-Orientation?language=fr#wishboning>
- [57] Modification des paramètres avancés pour les supports dans PreForm [Internet]. Formlabs. [cité 9 févr 2021]. Disponible sur : <https://support.formlabs.com/s/article/Advanced-Support-Structure-Settings?language=fr#edit-manually>
- [58] Kleinfinger. Dimension verticale en prothèse complète. *Inf Dent*. 1976;25–45.
- [59] Rangel FA, Maal TJJ, Bergé SJ, Kuijpers-Jagtman AM. Integration of digital dental casts in cone-beam computed tomography scans. *ISRN Dent*. 2012;2012:949086.
- [60] Rangel FA, Maal TJJ, Bronkhorst EM, Breuning KH, Schols JGJH, Bergé SJ, et al. Accuracy and reliability of a novel method for fusion of digital dental casts and Cone Beam Computed Tomography scans. *PloS One* 2013;8(3):e59130.
- [61] Vercruyssen M, Fortin T, Widmann G, Jacobs R, Quirynen M. Different techniques of static/dynamic guided implant surgery: modalities and indications. *Periodontol* 2000 2014;66:214–27
- [62] Turn. 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.
- [63] Soenen A, Sireix C, Contrepois M. Prothèse amovible complète et CFAO : Apport des logiciels dans la modélisation et conception. *Fil Dent*. Sept 2015;(107):16–20.

Table des tableaux

<u>Tableau 1.</u> Principales étapes du traitement de l’empreinte secondaire (Source personnelle)	20
<u>Tableau 2.</u> Principaux matériaux utilisés pour la confection des bases d’occlusion (Source personnelle)	23
<u>Tableau 3.</u> Principaux critères de réalisation des bases d’occlusion (Source personnelle)	24
<u>Tableau 4.</u> Avantages et limites de l'acquisition d'un cone beam (Source personnelle). 32	
<u>Tableau 5.</u> Synthèse de la qualité du rendu numérique au CBCT des matériaux utilisés pour les empreintes secondaires d'après Samy BENCHIKH (Illustration personnelle) [2]	35
<u>Tableau 6.</u> Paramètres d'acquisition pour la numérisation des empreintes au CBCT (Source personnelle).....	37
<u>Tableau 7.</u> Synthèse des logiciels utilisés pour le traitement numérique des empreintes, la confection numérique des bases d’occlusion et la superposition de fichiers 3D en prothèse amovible complète (Source personnelle) [29,30].....	39
<u>Tableau 8.</u> Comparatif des méthodes de numérisation d’une empreinte secondaire par caméra optique et scanner 3D de laboratoire en prothèse amovible complète (Source personnelle)	42
<u>Tableau 9.</u> Comparatif entre fabrication additive et soustractive (Source personnelle) [36,37,39–41]	43
<u>Tableau 10.</u> Comparatif méthode conventionnelle / impression 3D (Source personnelle)	44
<u>Tableau 11.</u> Présentation générale de l’imprimante 3D Form 2 de Formlabs® (Source personnelle) [34,35,38,39,41,48]	49
<u>Tableau 12.</u> Présentation générale de la Dental SG Resin Formlabs® (Source personnelle) [49,50,52,55] (Annexes 2 et 3).....	51
<u>Tableau 13.</u> Paramètres d'exportation de l’empreinte numérisée par CBCT en fichier STL (Source personnelle).....	53
<u>Tableau 14.</u> Comparatif entre les deux techniques de superposition 3D (Source personnelle)	86

Table des figures

<u>Figure 1.</u> Modèles secondaires obtenus après traitement conventionnel des empreintes secondaires (Photographie personnelle)	21
<u>Figure 2.</u> Repères tracés sur le modèle maxillaire avant la confection des bases d'occlusion d'après HUE et BERTERETCHE (Photographie personnelle) [4].....	22
<u>Figure 3.</u> Repères tracés sur le modèle mandibulaire avant la confection des bases d'occlusion d'après HUE et BERTERETCHE (Photographie personnelle) [4].....	22
<u>Figure 4.</u> Schéma des critères de confection du bourrelet d'occlusion maxillaire dans le plan axial [11].....	25
<u>Figure 5.</u> Schéma des critères de confection du bourrelet d'occlusion maxillaire dans le plan sagittal [11].....	25
<u>Figure 6.</u> Schéma des critères de confection du bourrelet d'occlusion mandibulaire dans le plan axial [11].....	26
<u>Figure 7.</u> Schéma des critères de confection du bourrelet d'occlusion mandibulaire dans le plan sagittal [11].....	26
<u>Figure 8.</u> Schéma récapitulatif des 3 grandes étapes de l'enregistrement de la relation intermaxillaire (Illustration personnelle)	29
<u>Figure 9.</u> Principe de fonctionnement d'une acquisition par CBCT [19].....	31
<u>Figure 10.</u> Schéma explicatif d'un voxel [22].....	31
<u>Figure 11.</u> Exemple d'un "Surface Rendering" (A) et d'un "Volume Rendering" (B) d'une mandibule [26]	34
<u>Figure 12.</u> Porte-empreinte individuel et empreinte secondaire maxillaire avec marginage à la Permadyne® Orange (Heavy) et surfaçage à la Permadyne® bleue (Light) (Photographie personnelle).....	35
<u>Figure 13.</u> Porte-empreinte individuel et empreinte secondaire mandibulaire avec marginage à la Permadyne® Orange (Heavy) et surfaçage à la Permadyne® bleue (Light) (Photographie personnelle)	36
<u>Figure 14.</u> Vue de 3/4 du positionnement des empreintes secondaires sur le plateau fourni par VATECH (Photographie personnelle).....	36
<u>Figure 15.</u> Choix des paramètres d'acquisition du CBCT dans le logiciel EzDent-i™ (Illustration personnelle).....	37
<u>Figure 16.</u> Modèle TRIOS® Cart de 3Shape [32].....	40
<u>Figure 17.</u> Scanner 3D Serie 7 Dental Wings [33]	40
<u>Figure 18.</u> Rendu numérique d'une empreinte secondaire après numérisation par caméra optique (Illustration personnelle).....	41
<u>Figure 19.</u> Rendu numérique d'une empreinte secondaire après numérisation par scanner 3D (Illustration personnelle).....	41
<u>Figure 20.</u> Principales techniques d'impression 3D (Source personnelle)	45
<u>Figure 21.</u> Principaux matériaux d'impression 3D (Source personnelle).....	46
<u>Figure 22.</u> Principe de fonctionnement de la Stéréolithographie (SLA) [45]	48
<u>Figure 23.</u> Imprimante Form 2 de Formlabs® [47]	49

<u>Figure 24.</u> Cartouche Dental SG resin de Formlabs® [52].....	51
<u>Figure 25.</u> Exportation du modèle de surface dans le logiciel Ez-3Di™ (Illustration personnelle)	52
<u>Figure 26.</u> Page d'accueil du logiciel MeshMixer (Illustration personnelle).....	53
<u>Figure 27.</u> Modèle « brut » d'une empreinte importée dans le logiciel MeshMixer (vue de face à droite et vue de $\frac{3}{4}$ à gauche) (Illustration personnelle).....	54
<u>Figure 28.</u> Détourage de l'empreinte secondaire dans le logiciel MeshMixer grâce à l'outil « Lasso » (Illustration personnelle).....	54
<u>Figure 29.</u> Surface d'appui sélectionnée dans le logiciel MeshMixer (Illustration personnelle)	55
<u>Figure 30.</u> Manipulation effectuée pour détourer l'empreinte secondaire dans le logiciel MeshMixer (Illustration personnelle).....	55
<u>Figure 31.</u> Empreinte secondaire maxillaire détournée dans le logiciel MeshMixer (Illustration personnelle).....	56
<u>Figure 32.</u> Conversion de l'empreinte secondaire détournée en surface positive dans le logiciel MeshMixer (Illustration personnelle).....	56
<u>Figure 33.</u> Paramètres d'extrusion du socle en largeur dans le logiciel MeshMixer (Illustration personnelle).....	57
<u>Figure 34.</u> Extrusion du socle en largeur dans le logiciel MeshMixer (Illustration personnelle)	57
<u>Figure 35.</u> Paramètres d'extrusion du socle en hauteur dans le logiciel MeshMixer (Illustration personnelle).....	58
<u>Figure 36.</u> Extrusion du socle en hauteur dans le logiciel MeshMixer (Illustration personnelle)	58
<u>Figure 37.</u> Rendu final du socle maxillaire conçu dans le logiciel MeshMixer (Illustration personnelle)	58
<u>Figure 38.</u> Manipulation effectuée pour lisser le socle maxillaire dans le logiciel MeshMixer (Illustration personnelle).....	59
<u>Figure 39.</u> Parallélisme entre l'empreinte secondaire maxillaire et le plan d'occlusion dans le logiciel MeshMixer (Illustration personnelle)	60
<u>Figure 40.</u> Parallélisme entre l'empreinte secondaire mandibulaire et le plan d'occlusion passant par les $\frac{1}{3}$ supérieurs des trigones dans le logiciel MeshMixer (Illustration personnelle)	60
<u>Figure 41.</u> Sélection de la surface d'appui de la plaque base dans le logiciel MeshMixer (Illustration personnelle).....	60
<u>Figure 42.</u> Paramètres d'extrusion de la plaque base dans le logiciel MeshMixer (Illustration personnelle).....	61
<u>Figure 43.</u> Rendu final de l'extrusion de la plaque base dans le logiciel MeshMixer (Illustration personnelle).....	61
<u>Figure 44.</u> Manipulation effectuée pour délimiter la zone du bourrelet d'occlusion dans le logiciel MeshMixer (Illustration personnelle).....	62
<u>Figure 45.</u> Délimitation de la surface du bourrelet d'occlusion dans le logiciel MeshMixer (Illustration personnelle).....	62

<u>Figure 46.</u> Extrusion du bourrelet d'occlusion dans le logiciel MeshMixer (Illustration personnelle)	63
<u>Figure 47.</u> Rendu final de la base d'occlusion conçue dans le logiciel MeshMixer (Illustration personnelle).....	63
<u>Figure 48.</u> Configuration de l'imprimante 3D dans le logiciel PreForm (Illustration personnelle)	65
<u>Figure 49.</u> Paramètres d'orientation des modèles dans le logiciel PreForm (Illustration personnelle)	65
<u>Figure 50.</u> Paramètres des supports d'impression sur le logiciel PreForm (Illustration personnelle)	66
<u>Figure 51.</u> Modèles configurés sur le logiciel PreForm (Illustration personnelle).....	67
<u>Figure 52.</u> Informations sur la tâche d'impression des bases d'occlusion dans le logiciel PreForm (Illustration personnelle).....	67
<u>Figure 53.</u> Bases d'occlusion imprimées avec leurs supports d'impression (Photographie personnelle)	68
<u>Figure 54.</u> Rendu final des bases d'occlusion imprimées sur la Form2 de Formlabs® après retrait des supports d'impression (Photographie personnelle).....	68
<u>Figure 55.</u> Essayage en bouche des bases d'occlusion maxillaire et mandibulaire (Photographie personnelle).....	69
<u>Figure 56.</u> Stabilisation de la base d'occlusion maxillaire à l'aide du silicone Light Body (President®) (Photographie personnelle)	70
<u>Figure 57.</u> Réglage de la base d'occlusion maxillaire dans le plan sagittal à l'aide du silicone Light Body (President®) (Photographie personnelle)	70
<u>Figure 58.</u> Réglage de la base d'occlusion maxillaire dans le plan frontal et sagittal à l'aide du plan de Fox (Photographie personnelle).....	71
<u>Figure 59.</u> Réalisation de pertuis dans la base d'occlusion à l'aide d'une fraise boule montée sur contre-angle (Photographie personnelle).....	72
<u>Figure 60.</u> Mise en place des marqueurs en titane sur la base d'occlusion maxillaire (Photographie personnelle).....	73
<u>Figure 61.</u> Mise en place des marqueurs en titane sur la base d'occlusion mandibulaire (Photographie personnelle).....	73
<u>Figure 62.</u> Manipulation de la patiente en relation en centrée (Photographie personnelle)	73
<u>Figure 63.</u> Enregistrement du rapport intermaxillaire à l'aide de silicone par addition (Photographie personnelle).....	74
<u>Figure 64.</u> Positionnement de la patiente dans le cone beam avec les bases d'occlusion en bouche (Photographie personnelle).....	74
<u>Figure 65.</u> Positionnement des bases d'occlusion sur le plateau fourni par VATECH (vue de $\frac{3}{4}$ à gauche et vue de face à droite) (Photographie personnelle)	75
<u>Figure 66.</u> Schéma explicatif de la technique du double scan (Illustration personnelle). 76	
<u>Figure 67.</u> Rendu volumique par projection d'intensité maximale (MIP) du 1 ^e cone beam (patiente + bases d'occlusion) sur le logiciel Blue Sky Plan® (Illustration personnelle)	77

<u>Figure 68.</u> Rendu volumique par projection d'intensité maximale (MIP) du 2 nd cone beam (bases d'occlusion seules) sur le logiciel Blue Sky Plan® (Illustration personnelle)	77
<u>Figure 69.</u> Page d'accueil du logiciel Blue Sky Plan® (Illustration personnelle).....	78
<u>Figure 70.</u> Recadrage de la zone d'intérêt sur les images radiographiques issues du 1 ^e cone beam dans le logiciel Blue Sky Plan® (Illustration personnelle)	78
<u>Figure 71.</u> Importation d'une surface supplémentaire dans le logiciel Blue Sky Plan® (Illustration personnelle).....	79
<u>Figure 72.</u> Recadrage de la zone d'intérêt sur les images radiographiques issues du 2 nd cone beam dans le logiciel Blue Sky Plan® (Illustration personnelle)	79
<u>Figure 73.</u> Appariement des marqueurs des deux CBCT dans le logiciel Blue Sky Plan® (Illustration personnelle).....	80
<u>Figure 74.</u> Intégration des bases d'occlusion au flux numérique CBCT de la patiente par la technique du double scan dans le logiciel Blue Sky Plan® (Vue de face) (Illustration personnelle)	80
<u>Figure 75.</u> Intégration des bases d'occlusion au flux numérique CBCT de la patiente par la technique du double scan dans le logiciel Blue Sky Plan® (Vue de profil droit et gauche) (Illustration personnelle).....	81
<u>Figure 76.</u> Importation d'une surface supplémentaire dans le logiciel Blue Sky Plan® (Illustration personnelle).....	82
<u>Figure 77.</u> Alignement du modèle sur le logiciel Blue Sky Plan® (Illustration personnelle)	83
<u>Figure 78.</u> Sélection de 5 points communs entre le fichier DICOM et le fichier STL sur le logiciel Blue Sky Plan® (Illustration personnelle).....	83
<u>Figure 79.</u> Intégration des bases d'occlusion au flux numérique CBCT de la patiente par fusion des données DICOM et STL dans le logiciel Blue Sky Plan® (Vue de face) (Illustration personnelle).....	84
<u>Figure 80.</u> Intégration des bases d'occlusion au flux numérique CBCT de la patiente par fusion des données DICOM et STL dans le logiciel Blue Sky Plan® (Vue de profil droit et gauche) (Illustration personnelle).....	84
<u>Figure 81.</u> Intégration des bases d'occlusion au flux numérique CBCT par la technique du double scan (Illustration personnelle)	85
<u>Figure 82.</u> Intégration des bases d'occlusion au flux numérique CBCT par matching de fichiers DICOM/STL (Illustration personnelle).....	85
<u>Figure 83.</u> Appariement par la technique du double scan (Illustration personnelle)	86
<u>Figure 84.</u> Appariement par la technique de matching DICOM/STL (Illustration personnelle)	86
<u>Figure 85.</u> Identification du plan d'occlusion (Gauche) et montage de dents (Droite) d'une prothèse amovible complète bi-maxillaire sur le logiciel Dental Wings [63].....	88

Confection numérique des bases d'occlusion et intégration de la relation intermaxillaire (RIM) dans le flux numérique CBCT du patient en prothèse amovible complète (PAC) / **FOURNIER Clémantine** - 101 p. : 85 ill. ; 63 réf.

Domaines : Prothèses

Mots clés Rameau :

Mots clés FMeSH :

Mots clés libres : Cone beam ; Bases d'occlusion ; Rapport intermaxillaire ; Superposition 3D ; Matching

Résumé de la thèse :

La prothèse amovible complète (PAC) est une discipline complexe s'articulant autour de 6 étapes cliniques et de laboratoires essentielles. L'avancée du numérique a permis de nombreuses évolutions dans le domaine prothétique mais malgré cela les empreintes primaires et secondaires restent toujours le « gold standard » en prothèse amovible complète.

Cependant, la numérisation des empreintes secondaires au cone beam est possible et offre une très bonne précision. Ce travail propose donc d'étudier la question suivante : « A partir de la numérisation au cone beam des empreintes secondaires en prothèse amovible complète, est-il possible de confectionner des bases d'occlusion numériques, imprimables en 3D et réglables en bouche, et de les intégrer dans le flux numérique CBCT du patient ? »

L'expérimentation à travers un cas clinique a permis d'affirmer qu'il est possible de confectionner numériquement des bases d'occlusion sur des logiciels de modélisation 3D gratuits à partir d'empreintes secondaires numérisées au cone beam. De même, ces bases d'occlusion imprimées en 3D peuvent être intégrées dans le flux numérique CBCT du patient grâce à des logiciels de superposition 3D. Ce travail ouvre donc la perspective d'une détermination du plan d'occlusion et du couloir prothétique en prothèse amovible complète grâce aux bases d'occlusion intégrées dans le flux numérique CBCT et aux repères anatomiques osseux du patient.

JURY :

Président : Monsieur le Professeur T. COLARD

Asseseurs : Monsieur le Docteur C. LEFEVRE

Monsieur le Docteur T. DELCAMBRE

Monsieur le Docteur S. BENCHIKH