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 27 mai 2021

Par Clara GALLET

Née le 23 juin 1995 à Saint-Martin-Boulogne – France

Les différentes techniques d'acquisition du pavillon auriculaire en prothèse maxillo-faciale

JURY

Président :	Monsieur le Professeur Thomas COLARD
Assesseurs :	Monsieur le Docteur Claude LEFEVRE
	Monsieur le Docteur Jérôme VANDOMME
	Monsieur le Docteur Nicolas HELOIRE
Membre invité :	Monsieur le Docteur Thomas DENNEULIN

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. HILDELBERT	Responsable du Département de **Dentisterie Restauratrice Endodontie**
C. LEFEVRE	Prothèses
J.L. LEGER	Orthopédie Dento-Faciale
M. LINEZ	Dentisterie Restauratrice Endodontie
T. MARQUILLIER	Odontologie Pédiatrique
G. MAYER	Prothèses
L. NAWROCKI	Responsable du Département de **Chirurgie Orale** Chef du Service d'Odontologie A. Caumartin - CHRU Lille
C. OLEJNIK	Responsable du Département de **Biologie Orale**
P. ROCHER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
L. ROBBERECHT	Dentisterie Restauratrice Endodontie
M. SAVIGNAT	Responsable du Département des **Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux**
T. TRENTESAUX	Odontologie Pédiatrique
J. VANDOMME	Responsable du Département de **Prothèses**

Réglementation de présentation du mémoire de Thèse

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

Remerciements

Aux membres du jury…

Monsieur le Professeur 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 remercie. Veuillez trouver à travers ce travail le témoignage de ma gratitude et de mon profond respect.

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 Interrégionnal du Diplôme d'Etudes Spécialisées en Médecine Bucco-Dentaire

Docteur Lefevre,

Je vous remercie de l'honneur que vous m'avez fait en dirigeant ce travail. Travailler avec vous m'a permis d'apprécier vos qualités humaines et professionnelles. Cette thèse n'aurait pu voir le jour sans votre participation auriculaire. J'espère que ce travail saura être à la hauteur de vos attentes. Voyez à travers cet ouvrage l'expression de toute ma gratitude, et soyez assuré de ma sincère reconnaissance.

Monsieur le Docteur Jérôme VANDOMME

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier des CSERD

Section Réhabilitation Orale

Département Prothèses

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur en Biologie Cellulaire de l'Université de Lille2

Master II Biologie Santé

Master I des Sciences Biologiques et Médicales

Responsable du Département de Prothèses

Assesseur aux Nouvelles Technologies

Docteur Vandomme,

Je vous remercie d'avoir accepté de siéger au sein de ce jury. Tout au long de mes études, j'ai pu profiter de la qualité de votre enseignement. Les vacations de prothèse ensemble m'auront permises d'apprécier votre dynamisme ainsi que votre sens de l'organisation. Soyez assuré de ma sincère reconnaissance et de tous mes remerciements.

Monsieur le Docteur Nicolas HELOIRE

Praticien hospitalier

Docteur en chirurgie dentaire

Master 1 Français Langue Etrangère – Université d'Artois
Maitrise des Sciences Biologiques et Médicales – Lille 2
Master 2 Phonétique et Phonologie – Paris 3
CESB Prothèses – Mention Prothèse Maxillo-Faciale
CES d'Odontologie Chirurgicale

Docteur Héloire,

Je suis très honorée que vous ayez accepté de siéger dans ce jury. Les quelques vacations partagées ensemble m'auront permises d'apprendre, dans une ambiance bienveillante, de votre grande expérience. La confiance que vous portent vos patients me semble être un objectif que tout praticien devrait chercher à atteindre. Veuillez trouver dans ce travail, l'expression de ma reconnaissance et de mon estime sincère.

Je dédie cette thèse…

Table des matières

Les différentes techniques d'acquisition du pavillon auriculaire en prothèse maxillo-faciale

1 Introduction 13
2 Généralités 14
2.1 Etiologies de la perte du pavillon auriculaire 14
2.2 Anatomie de l'oreille externe 16
2.3 Confection d'une épithèse 18
2.3.1 Méthode traditionnelle 20
2.3.2 Méthode par conception et fabrication assistée par ordinateur 22
3 Méthode traditionnelle de prise d'empreinte auriculaire 24
3.1 Généralités 24
3.2 Technique de prise d'empreinte 25
3.3 Résultats 28
3.4 Limites 30
4 Systèmes numériques de prise d'empreinte auriculaire 32
4.1 Cone beam 32
4.1.1 Généralités 32
4.1.2 Technique d'acquisition 34
4.1.3 Résultats 35
4.1.4 Limites 37
4.2 Scanner laser 37
4.2.1 Généralités 37
4.2.2 Technique d'acquisition 38
4.2.3 Résultats 39
4.2.4 Limites 40
4.3 Empreinte optique 40
4.3.1 Généralités 40
4.3.2 Technique d'acquisition 42
4.3.3 Résultat 44
4.3.4 Limites 45
4.4 Photogrammétrie 46
4.4.1 Généralités 46
4.4.2 Technique d'acquisition 47
4.4.3 Résultats 49
4.4.4 Limites 50
5 Comparaison des résultats 52
5.1 « Matching » avec l'acquisition par cone beam 53
5.2 « Matching » avec l'acquisition par caméra optique 54
5.3 « Matching » avec l'acquisition par photogrammétrie 55
6 Discussion 57
7 Conclusion 59
Références bibliographiques 60
Table des illustrations 62

1 Introduction

La prothèse maxillo-faciale se définit comme « l'art et la science de la reconstruction artificielle du massif facial dans les cas de pertes de substances acquises ou de malformations congénitales ». Cet enseignement fait partie des disciplines odonto-stomatologiques de par sa spécificité prothétique et son ancrage médico-chirurgical [1].

Elle intervient lors de la présence d'une perte de substance au niveau de la face : perte oculo-palpébrale, nasale, auriculaire ou encore au niveau des maxillaires.

Cette discipline, bien que très ancienne, rend encore de grands services dans les cas où les patients ne sont pas éligibles à une chirurgie reconstructrice en raison de leur âge, de leur état de santé général, de leurs antécédents, de leur volonté [2].

La réhabilitation prothétique faciale doit répondre à des impératifs fonctionnels, esthétiques et psycho-sociaux [3].

A travers cette discipline, le patient est amené à subir de multiples moulages afin d'enregistrer les moindres détails de l'organe délabré. L'organe symétrique sain, s'il existe, est également moulé afin de s'en inspirer pour créer une épithèse ou encore enrichir une banque de moules dits « donneurs ».

Le pavillon auriculaire est un organe complexe difficilement reproductible à l'identique en cas de délabrement. Nous verrons comment enregistrer les particularités anatomiques du pavillon par l'utilisation de l'empreinte à l'alginate, cette technique nécessitant de multiples prises d'empreintes souvent peu agréables.

Nous détaillerons également les techniques numériques de prise d'empreinte permettant la sculpture du pavillon auriculaire par intégration au flux numérique.

Les données 3D des différentes techniques seront comparées au travers d'un cas clinique d'enregistrement de pavillon auriculaire.

2 Généralités

2.1 Etiologies de la perte du pavillon auriculaire

La perte d'une partie ou de la totalité du pavillon auriculaire peut être liée à diverses origines tels que :

- **Origine congénitale** : syndrome branchio-oto-rénal, syndrome oto-mandibulaire, syndrome de Franceschetti (ou dysostose mandibulofaciale) *(Figure 1)* par exemple [1]. Les malformations congénitales sont rares, elles ont une incidence de 1 sur 3 800 enfants nouveau-nés. L'atrésie auriculaire, qui est une malformation congénitale majeure menant à une anomalie anatomique qui se caractérise par la fermeture complète ou non de l'orifice de l'oreille externe, a une incidence de 1 pour 10 000 à 1 pour 15 000 nouveau-nés. Cette atrésie est bilatérale dans 15 à 20% des cas, soit 1 pour 50 000 nouveau-nés [4].

- **Origine traumatique**, suite à un accident balistique, de la voie publique, sportif, une morsure animale ou encore des brûlures *(Figure 2).*

- **Origine chirurgicale**, c'est-à-dire lors d'une chirurgie d'exérèse suite à une tumeur maligne, dans le cas de mélanome, carcinome basocellulaire, carcinome épidermoide cutané.

- **Origine infectieuse** : Périchondrite du pavillon par destruction du cartilage [3].

Il existe de multilples étiologies à la perte partielle ou totale du pavillon auriculaire. Cette absence est très rarement bilatérale. Le plus souvent l'oreille saine sert de modèle pour remplacer l'oreille défectueuse controlatérale.

Figure 1 *Syndrome de Franceschetti de Benoist* [2]

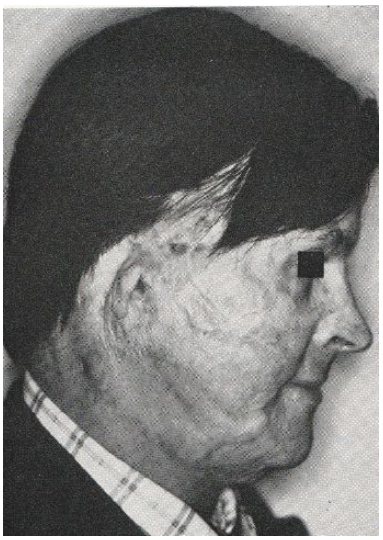

Figure 2 *Amputation du pavillon de l'oreille et du cuir chevelu par brûlure de Benoist* [2]

La perte du pavillon auriculaire est une mutilation particulièrement inesthétique, qui entraine un déséquilibre de l'harmonie du visage.

Pour parer à ce déséquilibre, nous disposons actuellement de plusieurs solutions de reconstruction du pavillon auriculaire. Une reconstruction chirurgicale reste préférable. A ce jour, la reconstruction chirurgicale est possible par greffe de cartilage costal sculpté, réalisable de 8 à 50 ans, ou par assemblage de fragments de polyéthylène poreux préfabriqué (appelé implant Medpor) [1] [5].

Une approche prothétique grâce à une épithèse reste nécessaire dans certaines circonstances notamment après les chirurgies carcinologiques. En effet, les patients en bénéficiant sont souvent âgés, poly-pathologiques, contre-indiquant une chirurgie lourde. La radiothérapie complique également la mise en place de vis ostéo-intégrées mais ne représente pas une contre-indication formelle. Enfin, une épithèse permet une surveillance locale idéale dans le cadre d'un suivi post-carcinologique [5] [6].

2.2 Anatomie de l'oreille externe

Le pavillon de l'oreille est situé sur les parties latérales de la tête. Il est positionné en arrière de l'articulation temporo-mandibulaire et de la région parotidienne, en avant de la région mastoïdienne et en-dessous de la région temporale.

Sa position est délimitée entre deux lignes horizontales, dont la supérieure passe par la ligne bi-sourcilière et l'inférieur passe par le bord libre de l'aile du nez *(Figure 3).*

En vue sagittale, le grand axe du pavillon est parallèle à l'arête nasale *(Figure 4).*

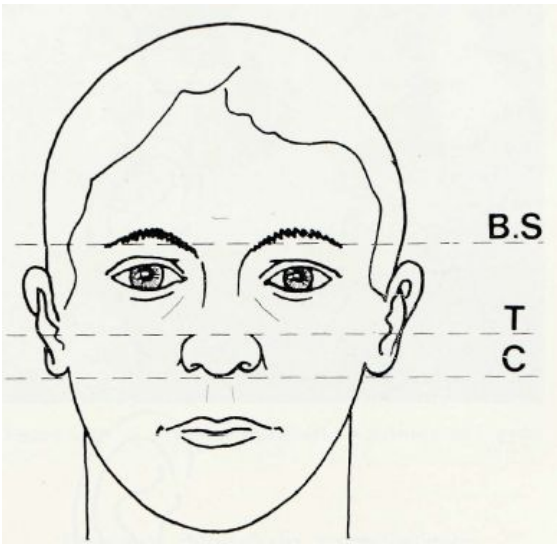

Figure 3 *Positionnement du pavillon entre la ligne bi-sourcilière et le bord libre de l'aile du nez de Benoist* [2]

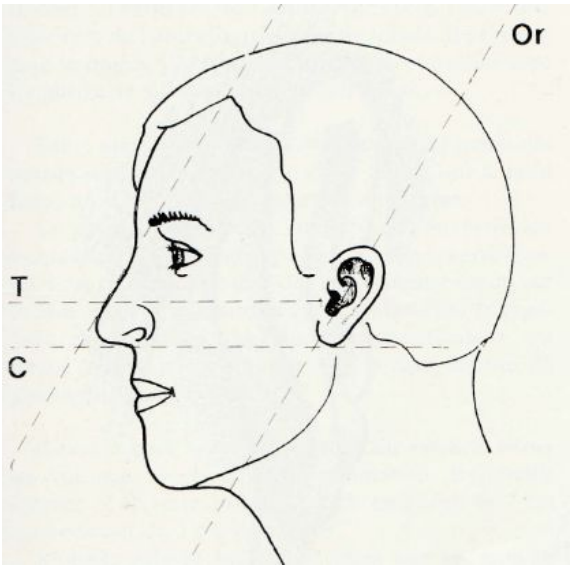

Figure 4 *Grand axe du pavillon de l'oreille de Benoist* [2]

Son implantation, ses dimensions et sa configuration sont variables. Entre les oreilles qui s'appliquent contre la paroi crânienne et celles qui s'en écartent jusqu'à 90° se trouvent toutes les dispositions intermédiaires. D'ordinaire, l'angle d'écartement, c'est-à-dire l'angle céphalo-auriculaire mesure en moyenne 20 à 30° [1].

Le pavillon a une forme de coquille concave, qui circonscrit l'orifice du conduit auditif externe. Le pavillon est principalement constitué de cartilage. Celui-ci possède

une forme tourmentée, faite de plis et de sillons, particulièrement complexe à reproduire.

On distingue au centre une dépression : la conque, au fond de laquelle s'ouvre le conduit auditif externe.

Celle-ci est surplombée en avant par le tragus, saillie arrondie ou triangulaire, et en arrière et en bas par l'antitragus.

Le bord inférieur du tragus est sur la même horizontale que le bord supérieur des ailes du nez.

Le pourtour du pavillon est formé par un repli en forme d'ourlet qui nait de la conque, au-dessus du tragus, pour former les bords supérieur et postérieur du pavillon, c'est l'hélix. Il se termine dans sa partie inférieure par le lobule dont le bord antérieur est plus ou moins détaché de la paroi crânienne.

L'anthélix nait en bas de l'antitragus et bifurque en haut pour former la fossette naviculaire.

Entre l'hélix et l'anthélix, se trouve la gouttière de l'hélix qui se prolonge en haut par la fossette scaphoïde, et rejoint plus en avant la fossette naviculaire.

On retrouve inconstamment le tubercule de Darwin qui siège sur le bord libre, à la partie postéro-supérieure de l'hélix *(Figure 5).*

Le sillon rétro-auriculaire sépare le pavillon de la paroi crânienne *(Figure 6)* [7].

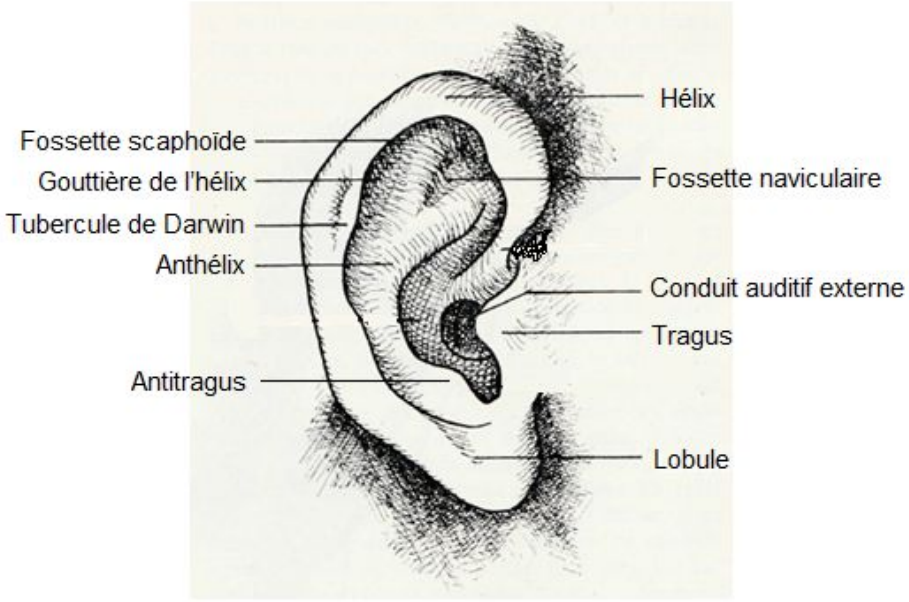

Figure 5 *Anatomie du pavillon auriculaire de Benoist* [2]

Figure 6 *Photographie illustrant le sillon rétro-auriculaire de C. Lefevre*

2.3 Confection d'une épithèse

Une épithèse est un appareillage médical, une prothèse ayant pour but de remplacer un organe manquant. Les épithèses faciales remplacent le plus souvent des structures anatomiques telles qu'un nez, une orbite, une oreille ou encore des pertes de substance de la face plus étendue.

Dans le cas de la perte de substance auriculaire, l'épithèse reproduit homothétiquement et en miroir les dimensions et la forme de l'oreille saine controlatérale. La reproduction d'une oreille représente un défi au vue de la difficulté à sculpter les détails anatomiques et en raison des problèmes d'orientation.

Le maintien de l'épithèse auriculaire peut se faire par de multiples techniques qui peuvent être : le collage, un embout olivaire creux à introduire dans le conduit auditif externe, une monture de lunettes, un procédé chirurgical via des ancrages osseux en titane sur lesquels elle est clipsée, ou par tunnellisation. Une combinaison de ces solutions est également possible [2].

Le matériau constituant l'épithèse s'altère avec le temps et celle-ci doit être renouvelée tous les 2 à 3 ans [5]. Il en découle une nécessité de développer des

solutions de prises d'empreintes confortables, notamment avec une facilité de stockage des moulages et moules déjà utilisés.

La réalisation d'une épithèse nécessite de nombreuses séquences cliniques et de laboratoire. L'épithésiste doit posséder des qualités d'ordre thérapeutique, ainsi qu'une maîtrise des techniques de laboratoire associée à un certain sens artistique.

Il n'existe qu'une dizaine d'épithésistes en France. Le seul diplôme qui ouvre l'accès à cette profession est délivré suite à une formation d'un an dans le service de stomatologie et de chirurgie maxillo-faciale de l'hôpital Pitié-Salpêtrière à Paris. Cette formation est accessible :

- aux docteurs en médecine reconnus spécialistes en stomatologie ou en chirurgie maxillo-faciale
- aux docteurs en chirurgie dentaire
- aux titulaires d'un certificat d'aptitude professionnelle (CAP) de prothésiste dentaire

L'enregistrement de l'oreille saine et de tous ses détails est de loin plus complexe que celui du reliquat auriculaire. On se concentre donc ici sur la prise d'empreinte de l'oreille saine dans un contexte de perte auriculaire unilatérale. En cas de perte auriculaire bilatérale, l'oreille saine enregistrée peut être celle d'un membre de la famille avec une morphologie similaire, on peut également utiliser le modèle en plâtre pré-chirurgical, ou encore comme dit précédemment utiliser une morphologie compatible dans une banque de moules dits « donneurs ».

Les épithèses peuvent être conçues de manière traditionnelle par la main de l'épithésiste ou grâce à la conception et fabrication assistée par ordinateur.

2.3.1 Méthode traditionnelle

- **1ère étape** : Moulage

Selon l'étendue de la perte de substance, deux types d'empreintes faciales sont réalisables.

On distingue :

- l'empreinte faciale partielle : elle est indiquée pour les épithèses d'étendues limitées (nasales, auriculaires)
- l'empreinte faciale totale : celle-ci est indiquée pour les épithèses oculo-palpébrales et les prothèses intéressant plusieurs régions de la face.

Pour la réalisation d'une empreinte faciale, partielle ou totale, les hydrocolloides irréversibles (alginates) sont majoritairement utilisés. Pour assurer la solidité du moulage, une sur-empreinte en plâtre à prise rapide peut être réalisée par-dessus [3].

- **2e étape :** Préparation de la maquette *(Figure 7)*

Suite à la réalisation du modèle en plâtre, deux méthodes peuvent être utilisées pour permettre la réalisation de la maquette en cire de la future prothèse :

• **Méthode directe** : la sculpture en cire, sur le modèle de la perte de substance, s'effectue à main levée, grâce à des adjonctions successives de cire ramollie, en visant une reproduction en image miroir la plus fidèle possible du modèle en plâtre de l'oreille saine enregistrée ;

• **Méthode indirecte** : cette technique est possible dans le cas d'une reproduction grâce à un patient « donneur ». On remplit de cire le moule de l'oreille du patient « donneur ». Après démoulage, l'organe en cire ainsi obtenu est ajusté au sujet « receveur » par modelage, adjonction et suppression de cire [4] [7].

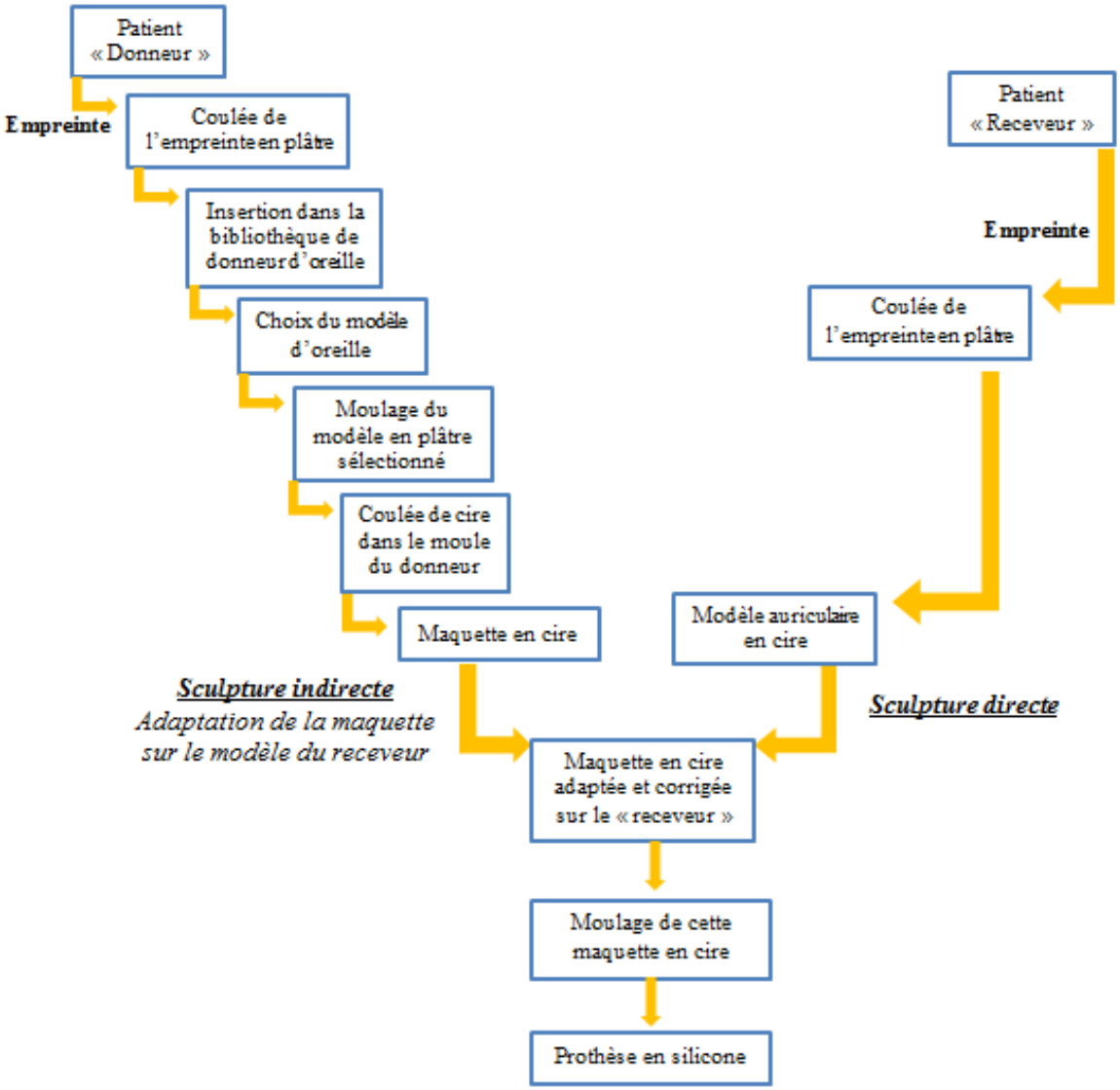

Figure 7 *Séquence conventionnelle de réalisation d'une épithèse auriculaire d'après Destruhaut* [3]

- **3e étape** : Mise en moufle de la maquette en cire

Après s'être assuré de son adaptation sur le patient, la maquette en cire peut être mise en moufle.

Un moule constitué de deux contreparties est utilisé *(Figure 8)*. Celles-ci correspondent à l'intrados et à l'extrados de la prothèse. La coulée du silicone est réalisée dans ce moule après élimination de la cire.

Suite à sa réalisation et afin d'apprécier son adaptation, la prothèse en silicone est placée sur le patient. On termine en réalisant le maquillage de la prothèse [6].

Figure 8 *Moule prothétique en 3 parties de Jamayet* [8]

Afin de faciliter le travail de l'épithésiste dans la sculpture de la future prothèse, un nouveau concept dit par « conception et fabrication assistée par ordinateur » (CFAO), faisant appel aux principes numériques associés aux techniques du prototypage rapide, est de plus en plus proposé.

2.3.2 Méthode par conception et fabrication assistée par ordinateur

Grâce aux progrès dans l'acquisition de l'imagerie médicale et aux perfectionnements de l'outil informatique, nous pouvons effectuer des reconstructions virtuelles volumiques des structures anatomiques.
Ces images tridimensionnelles permettent, après exportation sous un format de fichier approprié, la fabrication de la maquette de la pièce anatomique.

Ce concept par CFAO comprend deux étapes successives :

- étape 1 : étape de conception assistée par ordinateur (CAO), c'est-à-dire l'étape de reconstruction des structures anatomiques et de simulation 3D de la future épithèse ;
- étape 2 : étape de fabrication assistée par ordinateur (FAO), c'est-à-dire l'étape de fabrication de la maquette à partir de machines de prototypage rapide [6].

Il existe deux méthodes pour concevoir une épithèse à l'aide de la CFAO :

- **1ère méthode** : Grâce à un logiciel de CAO, un moule en négatif du pavillon auriculaire peut être virtuellement conçu, puis imprimé via une imprimante 3D. La maquette en cire et l'épithèse sont ensuite réalisées classiquement, selon le même procédé qu'une épithèse réalisée à partir d'un patient « donneur ».
- **2ème méthode :** la prothèse définitive conçue virtuellement est directement imprimée en silicone à haute résolution par une imprimante 3D. L'imprimante est capable de reproduire des détails précis, cependant le panel de couleurs reste limité et ne permet pas encore d'imprimer des prothèses avec un rendu esthétique suffisant.

3 Méthode traditionnelle de prise d'empreinte auriculaire

Lors de la réalisation d'une épithèse, la prise d'empreinte est une étape cruciale visant à aboutir à une reproduction, ressemblante par symétrie, de l'organe sain sur l'organe défectueux. Dans le cas de prothèse auriculaire, la reproduction est un défi au vu des différentes formes de pavillons auriculaires et de reliefs anatomiques variables selon les individus. Il est souhaitable que les deux oreilles soient semblables (par symétrie inverse), pour cela l'empreinte de l'oreille saine doit être prise, puis ensuite celle de l'oreille amputée. Cependant tout au long de cette thèse, nous nous intéressons uniquement à la prise d'empreinte de l'oreille saine. En effet, cette dernière est ce que l'on cherche à reproduire, elle est plus complexe à enregistrer que le reliquat auriculaire défectueux, et plus complexe à réaliser pour l'épithésiste [2].

3.1 Généralités

Le matériau utilisé est un hydrocolloïde irréversible : l'alginate. C'est un acide alginique extrait d'algues marines.

La prise d'empreinte nécessite une résille pour éventuellement isoler les cheveux du patient et un morceau de coton qui est placé dans le conduit auditif externe *(Figure 9).*

Dans le but de coffrer l'alginate, on utilise une feuille de cire afin de réaliser un cercle d'une dizaine de centimètres de diamètre, sur 3 à 4 centimètres de hauteur. Ce cercle de cire doit être correctement adapté aux reliefs cutanés de la zone à enregistrer.

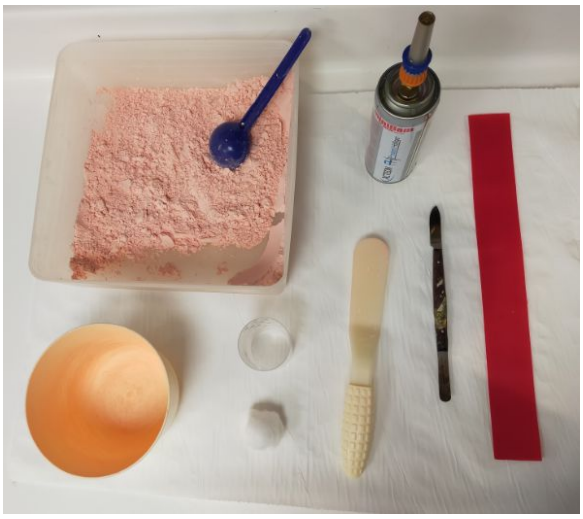

Figure 9 *Matériel nécessaire à la prise d'empreinte auriculaire à l'alginate – Photographie personnelle*

3.2 Technique de prise d'empreinte

Pour obtenir un parfait rendu esthétique, la future prothèse doit être repositionnée symétriquement par rapport à l'oreille saine controlatérale. Dans ce but, il convient d'enregistrer des repères cutanés. On trace sur l'organe deux lignes indiquant les deux plus grands diamètres de l'oreille, leur intersection siégeant dans la région du conduit auditif externe. Ces deux lignes sont à reporter de manière symétrique sur la région amputée. Il convient de placer le point de croisement en se basant sur l'angle externe de l'œil pour la ligne horizontale, et en mesurant la distance de deux de ses points avec la médiane de la face pour la ligne verticale. Ces repères s'imprimeront sur l'empreinte et seront retrouvés sur le modèle en plâtre *(Figure 10)* [2].

Figure 10 *Repères de positionnement tracés sur le pavillon sain de Benoist* [2]

Concernant l'approche de l'empreinte avec le patient, il convient de le rassurer et de lui expliquer toutes les étapes avant de procéder à la prise d'empreinte afin d'éviter toute crispation musculaire. Pour ce qui est du positionnement, le patient doit être couché sur le côté, et non pas allongé sur le dos avec la tête incliné sur le côté. En effet, cette position entrainerait une hyper-extension et de ce fait un glissement des téguments, ce qui fausserait l'empreinte *(Figure 11)*.

Figure 11 Photographie *illustrant la position requise pour réalisation de l'empreinte auriculaire – Photographie personnelle*

Le cerclage en cire est placé autour de la zone à enregistrer en veillant à bien le repositionner suivant les reliefs cutanés *(Figure 12)*. Afin d'éviter l'écrasement du pavillon auriculaire contre la paroi crânienne du fait de sa mobilité, l'empreinte sera prise en deux temps. L'alginate doit être préparé fluide et en grosse quantité. Il est conseillé d'utiliser de l'eau bien froide afin de retarder la prise [2].

Figure 12 *Photographie illustrant le coffrage de l'oreille nécessaire à la prise d'empreinte – Photographie personnelle*

On commence par verser de l'alginate au niveau du sillon rétro-auriculaire jusqu'à le remplir complètement afin d'éviter l'écrasement de l'hélix, puis on laisse l'alginate revenir vers l'avant, au niveau du tragus. Avant le début de la gélification de cette première quantité d'alginate, on prépare la deuxième quantité que l'on verse dans la conque en veillant à ne pas enfermer de bulles d'airs. Il est possible de s'aider d'une petite spatule afin de bien diriger l'alginate dans les différents récessus *(Figure 13)* [2]. On finit en versant le restant de l'alginate dans le coffrage jusqu'à ce que le relief le plus élevé soit recouvert d'un centimètre d'alginate *(Figure 14).*

Figure 13 *Remplissage du sillon rétro-auriculaire et des différents récessus avec l'alginate – C. Lefevre*

Figure 14 *Remplissage du coffrage – C. Lefevre*

Grâce à la déformabilité de l'oreille, l'empreinte se démoule aisément sans être détériorée en tirant légèrement sur la peau environnante. On s'assure que les lignes de repères cutanés soient bien imprimées et au besoin on les renforce. Il n'est pas utile de réaliser de chape en plâtre afin de renforcer l'empreinte *(Figure 15).*

L'empreinte est coulée en plâtre dur. Elle doit être coulée sur vibreur afin de s'assurer de la pénétration du plâtre dans les différents reliefs et récessus anatomiques. Afin d'éviter de fracturer les modèles, le modèle sera démoulé en fragmentant l'alginate [2].

Figure 15 *Démoulage de l'empreinte de C. Lefevre*

3.3 Résultats

Dans le but de réaliser les empreintes, nous avons réalisé différents mélanges d'alginate afin de s'assurer d'avoir la bonne consistance de matériau. Pour réaliser une empreinte auriculaire, il est nécessaire d'avoir un alginate de consistance fluide afin qu'il puisse s'insinuer dans les récessus de l'oreille.

Un mélange de proportion 1 de poudre pour 1 d'eau est trop consistant.
Inversement, un mélange de 1 de poudre pour 3 d'eau est trop fluide. L'alginate ne tient pas en place au niveau du sillon rétro-auriculaire et ne permet pas de soutenir l'hélix.

Une proportion de 1 de poudre pour 2 d'eau semble être le dosage le plus adapté pour réaliser l'empreinte. Différents mélanges ont été effectué en modifiant différents facteurs tels que :

- un malaxage manuel versus l'utilisation d'un mélangeur
- augmentation du temps de travail du mélangeur
- utilisation d'un alginate différent, plus précis.

En conclusion, peu importe les modifications de facteurs, la fluidité obtenue par mélange de proportion de 1 de poudre pour 2 d'eau semble la plus adaptée pour notre usage. L'alginate présente toujours des grumeaux, même lors de l'utilisation du mélangeur. L'utilisation du mélangeur permet d'améliorer l'état de surface et de réduire la quantité de bulles d'air dans le matériau.

Toutefois, il semble plus simple de procéder à une prise d'empreinte avec un malaxage manuel au vue des quantités importantes d'alginate nécessaires. En effet, le mélangeur présente un bol d'assez petite contenance.

Lors d'un premier essai de prise d'empreinte auriculaire, on a procédé en 2 temps comme décrit précédemment. Cependant, les deux couches d'alginate ne se sont pas scindées, sûrement dû au fait que le premier lé d'alginate venait de passer en phase plastique. De plus, la quantité d'alginate prévue était insuffisante *(Figure 16).*

Figure 16 *Empreinte auriculaire à l'alginate – 1er essai – Photographie personnelle*

Lors d'un second essai, l'empreinte a été réalisée en un seul temps avec 4 doses de poudre pour 8 doses d'eau selon le protocole précédemment décrit, c'est-à-dire application d'alginate en arrière de l'hélix, puis dans les récessus et enfin en versant le reste pour combler le reste du coffrage en cire *(Figure 17).*

Figure 17 *Empreinte auriculaire à l'alginate – 2nd essai – Photographie personnelle*

Dans les deux cas, la désinsertion s'est déroulée sans encombre.

Au démoulage, on note quelques bulles en positif sur les modèles en plâtre. Ces bulles se trouvent principalement le long de la fossette scaphoïde. L'angle entre le lobule et le visage pose également problème lors des deux enregistrements *(Figure 18 et 19).*

Figure 18 *Modèle en plâtre issu du 1er essai de prise d'empreinte à l'alginate – Photographie personnelle*

Figure 19 *Modèle en plâtre issu du 2nd essai de prise d'empreinte à l'alginate – Photographie personnelle*

3.4 Limites

Les points positifs de cette méthode d'empreinte sont liés aux quelques **avantages** de son matériau : l'alginate. Ce dernier est facile d'utilisation, a une prise rapide, possède une certaine élasticité qui permet le passage d'éventuels contre-dépouille. Il est peu coûteux et possède une précision de 50 micromètres, ce qui semble suffisant pour la réalisation d'une épithèse.

Mais cette méthode présente de nombreux **inconvénients** tels qu'un certain inconfort pour le patient et un risque de fuites du matériau dans les cavités naturelles.

Concernant l'alginate, il présente certes des avantages mais aussi des défauts : il faut être rapide dans sa manipulation, il doit être coulé dans les 15 minutes suivant l'empreinte du fait de son absence de stabilité tridimensionnel, il reste donc déformable. Il convient de prendre soin en appliquant l'alginate de ne pas écarter l'hélix par rapport à la position physiologique, et de ne pas non plus l'écraser en appliquant l'alginate dans les récessus. Un travail de recherche de la bonne consistance de l'alginate semble donc primordial.

Cette méthode est opérateur-dépendant et un contrôle en « négatif » de la qualité de l'empreinte est difficile comme on peut le voir en notant la présence des bulles en positifs sur les modèles qui indique l'incorporation de bulle d'air dans l'alginate lors de la prise d'empreinte.

De plus, la précision reste moindre que celle que l'on pourrait atteindre avec un système numérique.

4 Systèmes numériques de prise d'empreinte auriculaire

La prise d'empreinte numérique renvoie à l'acquisition des données. L'acquisition des données tridimensionnelles peut être réalisée grâce au système d'empreinte optique bien connu du monde dentaire, mais elle peut également l'être grâce aux appareils de tomodensitométrie, tels que le CBCT (Cone beam computed tomography), grâce à un scanner laser de laboratoire ou encore grâce à la photogrammétrie.

L'acquisition de l'objet source permet d'obtenir l'ensemble de ses coordonnées spatiales. La maquette numérique obtenue peut être modifiée informatiquement, puis transmise à une usineuse (mode soustractif) ou à une imprimante (mode additif).

Ces systèmes présentent l'avantage de faciliter le travail de reproduction en miroir. Il est possible de procéder à l'impression en cire de la maquette modélisée. L'épithésiste n'a plus qu'à l'essayer et l'adapter sur le patient. Par la suite, cette maquette en cire, adaptée au patient, est soit à nouveau scannée pour l'usiner, soit l'épithèse est conçu classiquement grâce à la technique de la cire perdue.

4.1 Cone beam

4.1.1 Généralités

Le cone beam, également appelé Cone Beam Computed Tomography (CBCT), est une technique de tomodensitométrie, qui réalise en une seule révolution l'acquisition d'un volume à radiographier. Il est largement utilisé dans le monde dentaire et trouve son application dans les domaines de la planification implantaire, l'orthodontie, l'endodontie ou encore la chirurgie maxillo-faciale [9].

Le principe du CBCT est basé sur un dispositif émetteur/détecteur de rayons X, fixé sur un arceau rotatif. L'arceau va effectuer une rotation progressive de 180° à 360° autour de la tête du patient tout en effectuant une centaine de clichés radiographiques 2D *(Figure 20).* L'émetteur est un faisceau de rayons de X de forme conique, ce faisceau est atténué par les tissus en traversant la zone d'intérêt à radiographier. Il est ensuite recueilli au niveau du système de détection qui l'analyse.

Les données recueillies sont transmises à un logiciel qui procède à une reconstitution volumique en voxel (correspondant à un pixel en 3D) et les exporte au format standard appelé DICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine) [10].

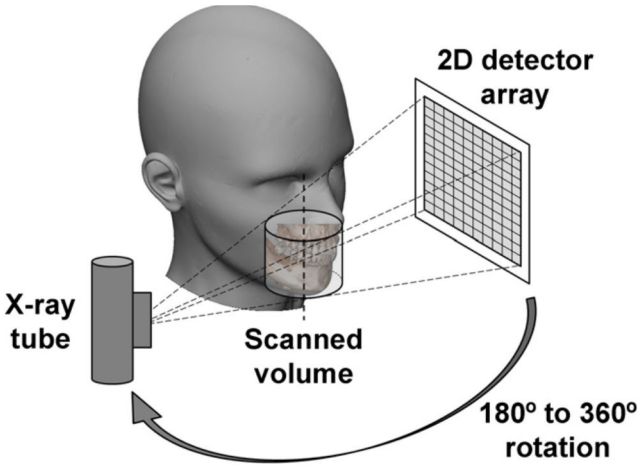

Figure 20 *Fonctionnement du tube à rayons X lors de l'acquisition au CBCT de Pauwels* **[10]**

Le CBCT utilisé pour notre étude est le PaX-i3D Green de chez VATECH® *(Figure 21).*

Figure 21 *Cone beam utilisé : le PaX-i3D Green de chez VATECH® – Photographie personnelle*

4.1.2 Technique d'acquisition

Le générateur de rayons X du CBCT est un élément fixe. Le cone beam est initialement conçu pour des acquisitions au niveau de la sphère dentaire. De ce fait, le champ d'irradiation n'est pas centré sur la zone auriculaire. Le patient doit donc être positionné de manière à ce que son oreille saine soit entièrement située dans la zone d'irradiation *(Figure 22).* La fonction « Viewer », dont certains CBCT sont équipés, peut s'avérer d'une aide précieuse pour veiller au bon positionnement du patient.

Figure 22 *Photographie illustrant une position approximative pour l'acquisition de la zone auriculaire – Photographie personnelle*

Une oreille étant un organe relativement grand, le plus grand champ est utilisé, soit un champ de 16 x 9 cm. Une fois les paramètres du cone beam sélectionnés, et le patient positionné, l'acquisition est déclenchée.

En quelques secondes, les données acquises sont traitées par le logiciel informatique permettant l'obtention d'une reconstruction virtuelle tant surfacique que volumétriques. En prothèse maxillo-faciale, les pertes de substances faciales nécessitent une reconstruction isosurface [6].

Par la suite, le modèle de surface est exporté et converti en fichier .stl, afin d'y avoir accès grâce à des logiciels de conception 3D (tels que MeshMixer de Autodesk®) *(Figure 23).*

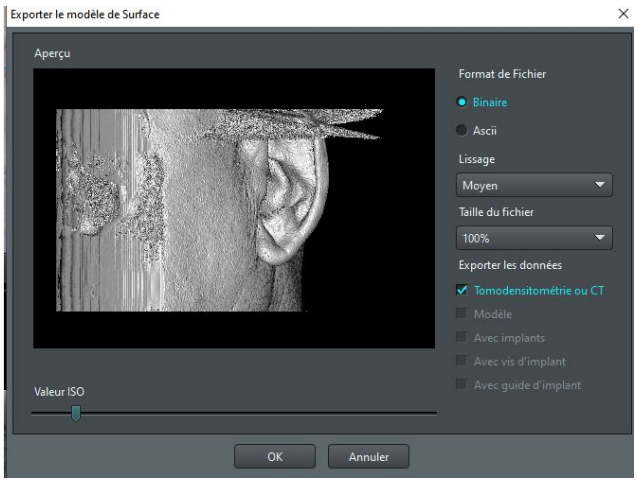

Figure 23 *Exportation du modèle de surface – Photographie personnelle*

4.1.3 Résultats

Pour notre étude, trois acquisitions différentes de l'oreille gauche de notre patient ont été réalisées afin de chercher le meilleur positionnement.

A chaque acquisition, une partie différente de l'oreille saine du patient est manquante.

Dans le premier cas, la partie supérieure et la moitié de la partie latérale de l'hélix sont manquantes *(Figure 24).*

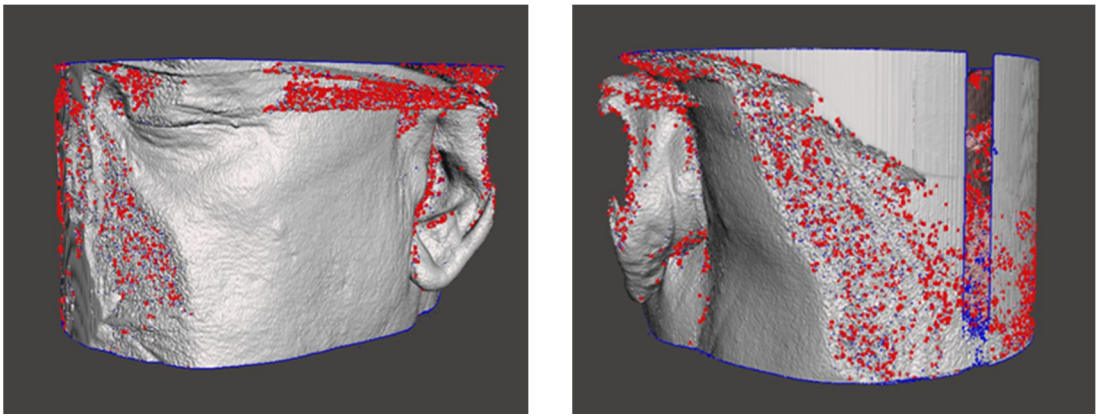

Figure 24 *Résultats de la 1ère acquisition au CBCT - Photographie personnelle*

Dans le second cas, il manque une petite partie, la partie la plus latérale de l'hélix. Pour le reste, l'oreille a été parfaitement numérisée, jusque dans les moindres récessus *(Figure 25).*

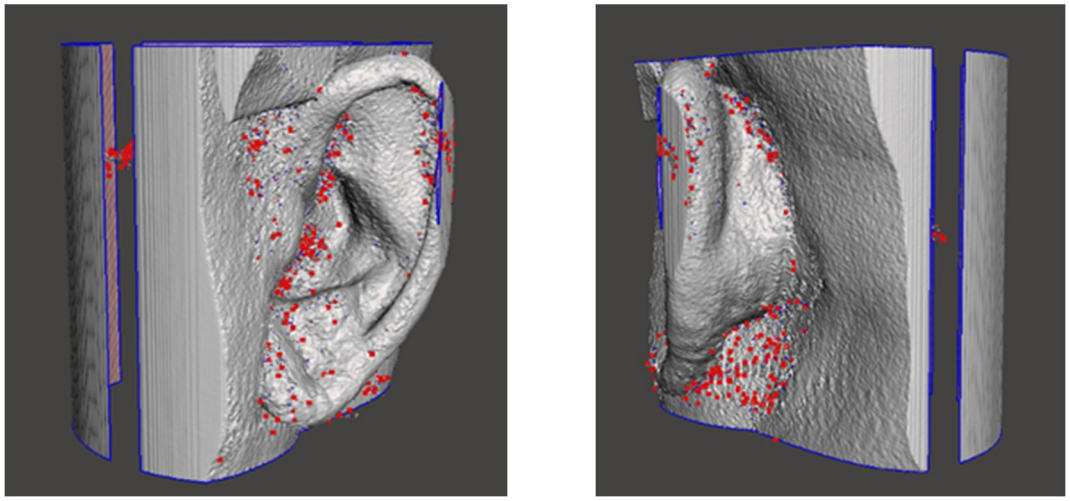

Figure 25 *Résultats de la 2e acquisition au CBCT - Photographie personnelle*

Et enfin, dans le 3e cas, il manque uniquement la partie supérieure de l'hélix *(Figure 26).*

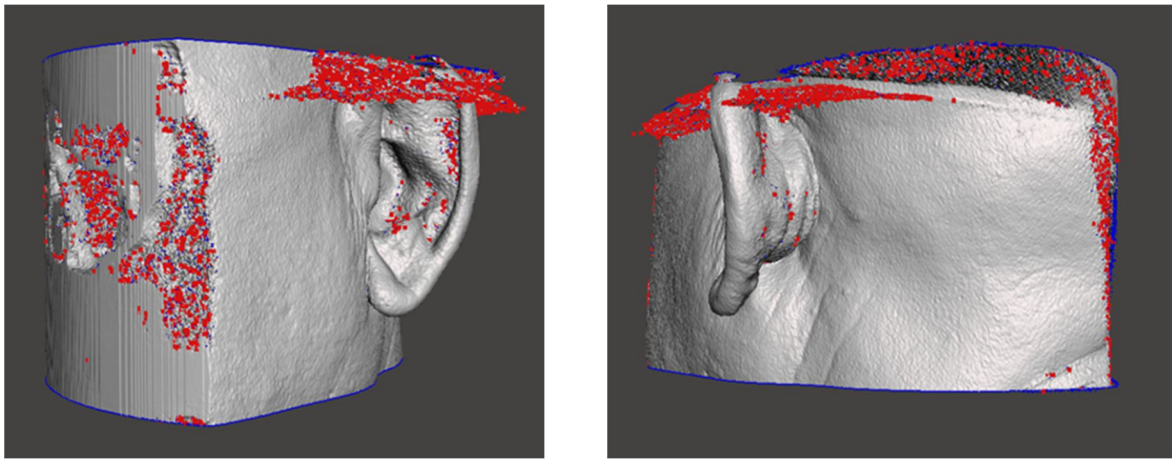

Figure 26 *Résultats de la 3e acquisition au CBCT - Photographie personnelle*

4.1.4 Limites

La principale limite à l'utilisation du CBCT est le problème de positionnement du patient qui entraine des manques lors de l'acquisition. Ce positionnement est aléatoire et non reproductible. De plus, cela engendre une irradiation du patient à chaque acquisition. Bien que la dose délivrée avec le CBCT soit 1.5 à 4 fois plus faible que celle délivrée avec un scanner médical, et que le champ d'irradiation soit réduit.

4.2 Scanner laser

4.2.1 Généralités

Un scanner laser est un dispositif de balayage optique 3D sans contact destiné principalement aux laboratoires de dentisterie ou encore aux cabinets dentaires.
Il combine la technologie de triangulation laser et le mouvement libre de ses axes dans le but de numériser aussi bien des modèles positifs que négatifs, c'est-à-dire des empreintes. Le logiciel reproduit directement sur l'écran de l'ordinateur les données qu'il vient de recueillir quelques secondes plus tôt.

Pour numériser un modèle, il faut placer le modèle en plâtre sur le support du scanner et le visser dessus jusqu'à ce qu'il soit maintenu en place. Suite à cela, les principales étapes de fonctionnement du scanner laser sont les suivantes :

- Création de la commande de numérisation
- Numérisation du modèle physique pour créer un modèle numérique en 3D
- Conception de la restauration
- Exportation de la commande sur place ou en sous-traitance.

On utilise ici le scanner laser : 7Series de la marque DentalWings® *(Figure 27).* C'est un laser de Classe 1. Sa technologie optique fonctionne grâce à 2 caméras de mesure haute vitesse et 1 caméra couleur pour la prévisualisation. Le laser se déplace selon 5 axes (3 rotations et 2 translations) et permet une acquisition d'une précision de 15 micromètres [11].

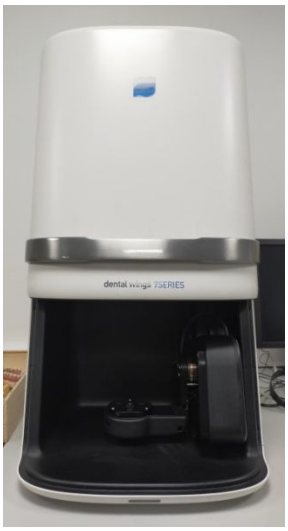

Figure 27 *Scanner laser 7Series de DentalWings® – Photographie personnelle*

4.2.2 Technique d'acquisition

On utilise le modèle en plâtre issu de la prise d'empreinte auriculaire à l'alginate en suivant le protocole décrit précédemment.

Le scanner laser permet de numériser soit des empreintes, soit des modèles en plâtre. Hors, dans le cas de l'oreille, numériser l'empreinte est impossible car l'empreinte ne reproduit pas de visu l'organe enregistré, elle ne saurait être numérisée tant il n'y a que des contre-dépouilles et même tout un réseau de récessus interne à l'empreinte. On numérise donc le modèle en plâtre de l'oreille, bien que cela entraine un biais dans le cas où l'empreinte à l'alginate initiale aurait connu une quelconque déformation que ce soit lors de la prise ou lors de la coulée.

Le modèle en plâtre est donc fixé sur le socle du scanner laser. Puis, il est replacé sur son site de fixation dans le scanner.

Suite à cela, la commande de numérisation est créée via le logiciel du scanner, on sélectionne le type de support du modèle utilisé et la numérisation est lancée après avoir suivi les différentes directives à l'écran.

4.2.3 Résultats

L'acquisition de notre modèle en plâtre avec le scanner laser n'est pas complète. En effet, il existe des zones de manques de données. Elles sont situées au niveau du fond du récessus en avant de la partie supérieure de l'anthélix *(figure 28),* au niveau de la zone de contre-dépouille qu'est la gouttière de l'hélix *(figure 29)* et au niveau de la partie postéro-supérieure du pavillon auriculaire *(figure 30).*

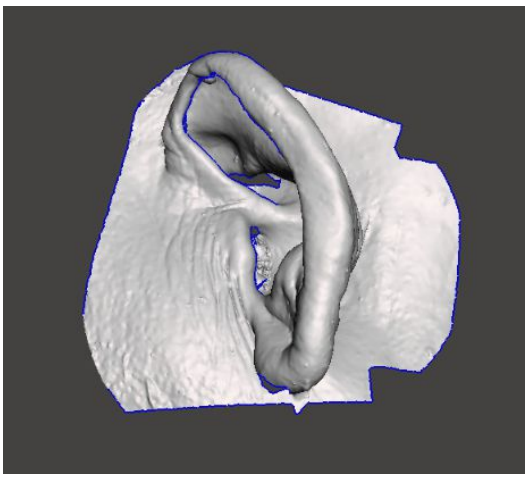

Figure 28 *Zone de manque de données suite à l'acquisition par scanner laser – Photographie personnelle*

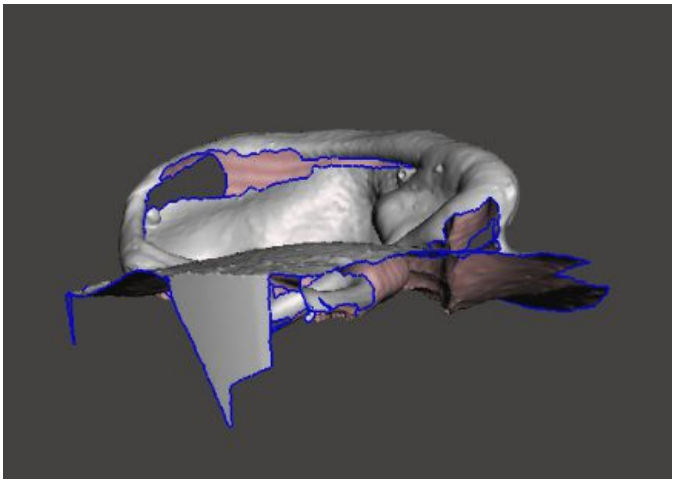

Figure 29 *Zone de manque de données suite à l'acquisition par scanner laser – Photographie personnelle*

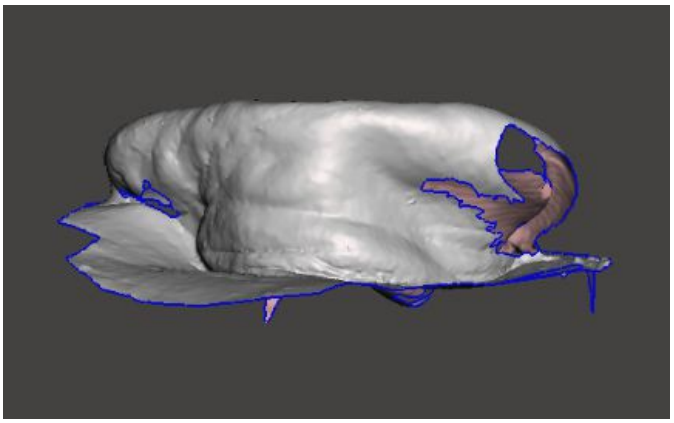

Figure 30 *Zone de manque de données suite à l'acquisition par scanner laser – Photographie personnelle*

4.2.4 Limites

Les limites semblent être liées au fait que le scanner laser est un outil destiné au monde dentaire. En effet, les zones manquantes sur l'oreille sont les zones les plus en contre-dépouilles. Or le monde dentaire connait bien des problématiques de contre-dépouilles mais elles ne sont pas aussi prononcées que dans notre cas. Le scanner laser déplace son socle afin de numériser les contre-dépouilles. Cependant, son amplitude de déplacement est limitée et ne permet pas d'avoir accès aux zones de contre-dépouille du pavillon auriculaire.

4.3 Empreinte optique

4.3.1 Généralités

Depuis plusieurs années, le monde dentaire connait un avènement pour les systèmes d'empreintes optiques.

Le principe de l'empreinte optique est de diffuser sur un objet un rayonnement lumineux (ou rayonnement incident) dont on connait les caractéristiques. Le rayonnement incident reçu par l'objet est partiellement renvoyé vers une caméra photosensible. Celle-ci va alors mesurer la déformation que l'objet a imposée au rayonnement incident. Le principe est donc basé sur une mesure de déformation [12].

Cette technologie est composée de :

- Un émetteur de lumière
- Un récepteur associé à un convertisseur de données optiques en données numériques
- Un système de traitement d'informations d'image

Suite à l'acquisition des données, le traitement de l'image s'effectue par ordinateur.

Sur le commerce, il existe actuellement de multiples systèmes d'acquisition optiques utilisant principalement trois technologies différentes :

- La triangulation
- Le balayage parallèle confocal
- La méthode de focalisation/défocalisation (ou Active Wavefront Sampling)

Pour notre cas, le système optique utilisé est la caméra 3Shape de TRIOS®. Cette caméra utilise la technologie **d'imagerie confocale parallèle** [13]**.**

L'imagerie confocale parallèle a été décrite par Minsky en 1953, puis modifiée lors de progrès en informatique et en technologie laser. La microcopie confocale parallèle se sert du scannage laser et optique pour reproduire numériquement une surface [14].

En optique, pour que l'image d'un point soit bien nette, il faut que l'objet soit situé dans le plan focal du système optique. L'image des points en dehors du plan de focalisation apparait floue. On n'enregistre donc que les points situés dans le plan focal. Or, à chaque instant, la profondeur de champ du système est connue. Il en découle que lorsqu'un point est situé dans le plan focal, on en déduit sa distance qui est alors égale à la distance focale du système optique. Le système est capable de modifier sa distance focale, en modifiant la taille d'ouverture du diaphragme [15].

Les images sont capturées par niveau de profondeur, puis informatiquement reconstruites.

Après avoir passé un premier orifice, le faisceau laser incident est concentré par une lentille sur l'objet. Le rayon réfléchi retraverse la lentille, puis traverse un diviseur de faisceau afin de réduire le bruit de la lumière ambiante. Le rayon

lumineux franchit ensuite une « pinhole » et est envoyé sur le capteur CCD (charge coupled device) *(Figure 31).*

Cette pinhole joue le rôle d'obturateur, afin de ne sélectionner que la lumière venant du plan focal. Les points ainsi sélectionnés possèderont une forte intensité lors de leur réflexion sur l'objet visé, il s'agit de la lumière confocale. Ils seront alors intégrés par le récepteur CCD [16].

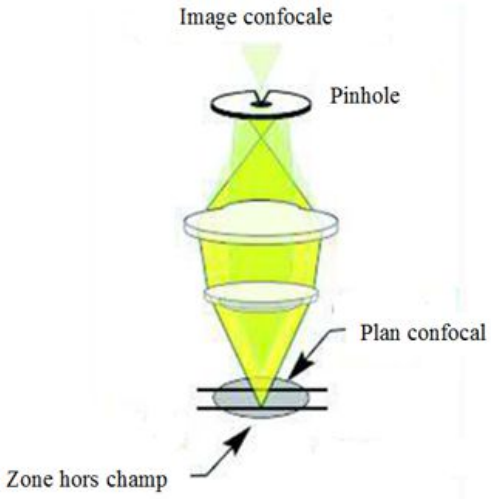

Figure 31 *Illustration de la méthode par imagerie confocale parallèle de Flonck* **[17]**

La caméra enregistre ainsi par couches successives, espacées d'environ 50 microns chacune.

Par la suite, les ingénieurs ont combiné 2 techniques :

- Imagerie confocale parallèle
- Triangulation avec projection de lumière structurée

L'acquisition en « Full motion » permet d'enregistrer en filmant et non en photographiant, ce qui permet d'accélérer l'acquisition [18].

4.3.2 Technique d'acquisition

Afin de procéder à l'acquisition du pavillon auriculaire, le patient est allongé sur le côté dans la même position que lors de la prise d'empreinte à l'alginate. L'opérateur, la caméra en main, balaie la surface cutanée de l'oreille en étant le plus près possible de sa surface, sans la toucher. On procède en avançant progressivement le long des différents replis de l'organe *(Figure 32).*

Figure 32 *Photographies pendant l'acquisition grâce à la caméra optique 3Shape de Trios® - Photographies personnelles*

Trois acquisitions de la même oreille ont été réalisées:

- Lors de la première acquisition, on procède de gauche à droite, en faisant des allers-retours.
- Lors de la deuxième, on se déplace de l'intérieur vers l'extérieur en partant du tragus.
- Et enfin, lors du dernier essai, on suit le schéma signalé par Ballo et al *(Figure 33)*. Les auteurs utilisent dans leur étude le même modèle de caméra et ils notent de meilleurs résultats en suivant ce schéma. Ils précisent qu'il faut déplacer la tête de la caméra en forme de selle le long des plis afin d'obtenir des données suffisantes au niveau des surfaces les plus profondes. Ils utilisent a postériori un logiciel pour améliorer l'acquisition en comblant les trous par un remplissage automatique et en lissant la surface [19].

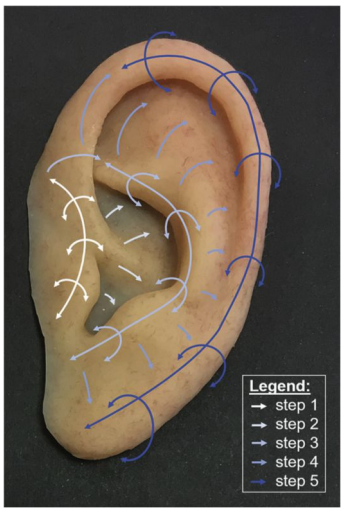

Figure 33 *Schéma suivi lors de la 3e acquisition de Bannink* [19]

4.3.3 Résultat

Lors de la 1ère acquisition, les zones de manques sont situées au fond du récessus en avant de la partie supérieure de l'anthélix, au niveau de la partie postéro-supérieure et postéro-inférieure du pavillon auriculaire, et au niveau de la contre-dépouille au bord supérieur de la gouttière de l'hélix *(Figure 34)*.

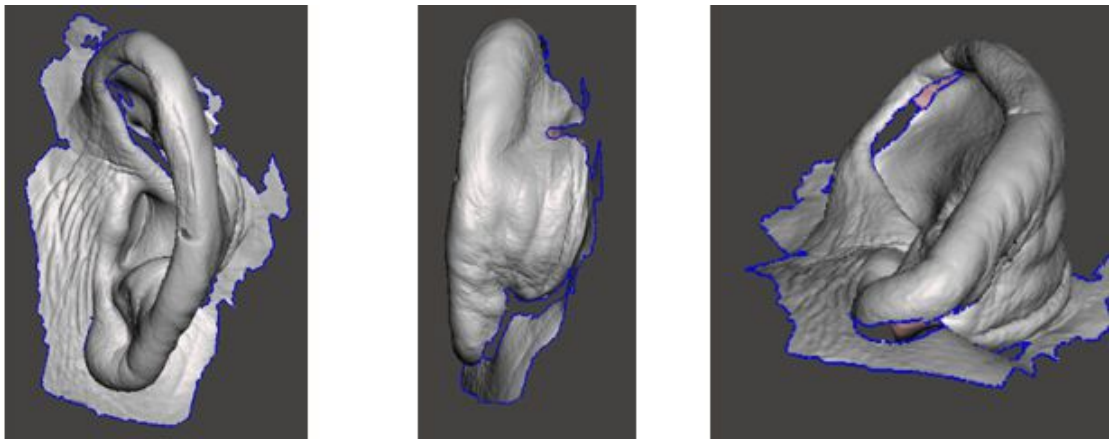

Figure 34 *Zones de manque lors de la 1ère acquisition – Source personnelle*

Lors de la seconde acquisition, les zones de données manquantes se situent au niveau du bord supérieur de l'hélix, au niveau des replis centraux de l'oreille vers le conduit auditif externe et au niveau de la partie postéro-inférieure du pavillon auriculaire *(Figure 35)*.

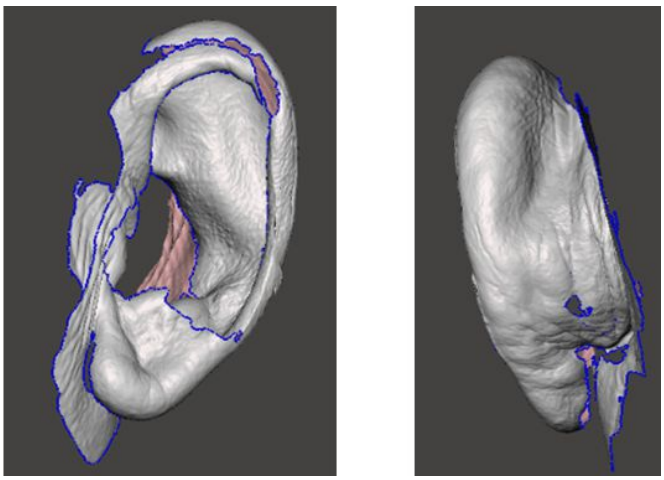

Figure 35 *Zones de manque lors de la 2nd acquisition – Source personnelle*

Lors de la dernière acquisition, les zones d'acquisition manquantes sont situées au niveau des replis centraux, là où l'oreille est la plus profonde, au niveau de la gouttière de l'hélix, et au niveau de la partie postéro-supérieure et postéro-inférieure du pavillon auriculaire *(Figure 36).* Bien que l'acquisition soit faite en suivant le schéma de Ballo, les zones de manquantes sont similaires aux deux précédentes acquisitions. Par ailleurs, il peut sembler simple de suivre un schéma lors de l'acquisition mais la réalité est tout autre.

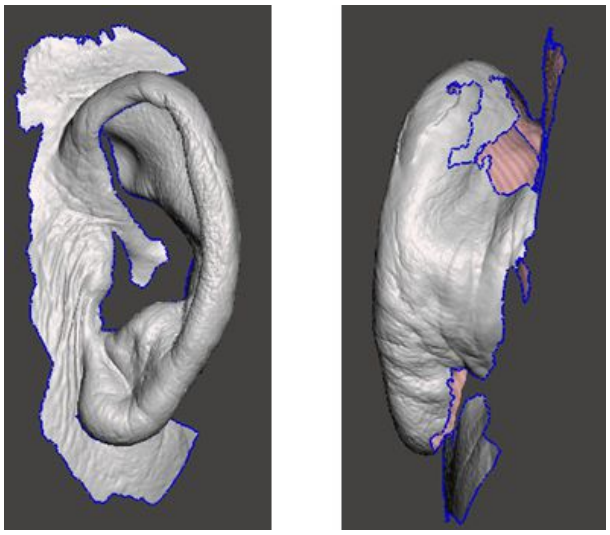

Figure 36 *Zones de manque lors de la 3ème acquisition – Source personnelle*

4.3.4 Limites

La caméra optique est difficile à manier autour de l'oreille. En effet, la taille de la tête de la caméra empêche d'être au plus près de certaines zones tels que la zone du conduit auditif externe, ce qui entraine des manques d'acquisitions. La taille de la tête de la caméra recouvre quasiment la moitié de l'oreille. Une caméra de la taille d'une pointe de stylo pourrait être une solution facilitant l'acquisition.

De plus, la caméra a des difficultés à scanner la surface cutanée, elle s'arrête régulièrement ce qui allonge considérablement le temps d'acquisition et par la même occasion entraine une acquisition trop conséquente en termes de nombre d'images enregistrées.

Pour pallier les problèmes des différentes zones de manques, il a été réalisé via le logiciel MeshLab une superposition des différentes acquisitions. Il en ressort que ces différentes acquisitions ne se superposent pas parfaitement, on observe des

anomalies lors de l'acquisition de la zone de l'hélix sur la 2e acquisition et de la zone postérieure de l'oreille sur la 3e acquisition. Il y apparait une différence de plan semblant indiquer que la surface de l'oreille a été touchée lors de l'acquisition. De plus, la superposition n'apporte pas plus d'informations quant aux zones de manques car ces zones sont la plupart du temps situées au même endroit. Pour notre analyse, la première acquisition réalisée grâce à la caméra optique sera notre référence pour cette technique car elle ne présente pas d'anomalie et est celle présentant le moins de zones de manque.

4.4 Photogrammétrie

4.4.1 Généralités

La photogrammétrie est une technique qui existe depuis le milieu du XIXème siècle dans les domaines de l'industrie de l'espace, de l'aéronautique, de la géologie, de la météorologie et de la géographie. Elle donne accès à un modèle 3D à partir d'image 2D. Cette technique fonctionne via un logiciel qui regroupe les caractéristiques communes entre chaque image et permet ainsi de concevoir un modèle 3D grâce aux éléments qui se chevauchent entre les différentes images [20]. Ce logiciel fonctionne grâce à un algorithme complexe, le plus utilisé étant l'algorithme de Levenberg-Marquardt. Cet algorithme a pour but la minimisation de la somme des erreurs sur les coordonnées et sur les déplacements relatifs des points de référence, connue sous le nom de « bundle adjustment » [21].

Il existe deux techniques de photogrammétrie :

- Une technique de stéréophotogrammétrie : différentes caméras à différentes hauteurs et angulations par rapport au sujet procèdent à des captures du sujet en simultané.
- Une technique monoscopique : une seule caméra est utilisée afin de prendre des captures séquentielles à des hauteurs et angulations différentes par rapport au sujet.

Technique de stéréophotogrammétrie :

L'objet à scanner est filmé selon des angles de vue différents par au minimum deux caméras. Ensuite, les coordonnées de l'objet 3D sont calculées par un logiciel en couplant les coordonnées 2D enregistrées par les caméras. Le calcul est basé sur la connaissance des paramètres propres du système d'enregistrement (c'est-à-dire la position des caméras, la distance entre les deux caméras…) et sur la correspondance des images enregistrées par les caméras. Il est possible d'enregistrer la couleur en s'équipant une caméra supplémentaire. La stéréophotogrammétrie est une technique de choix d'acquisition de la face [22].

Technique monoscopique :

Une série de captures à différentes hauteurs et angulations par rapport au sujet à scanner est réalisée par une seule caméra. Dans cette technique, c'est la caméra qui bouge, le sujet lui reste fixe. Le traitement des données est exécuté par un logiciel. Des alternatives aux logiciels payants existent. Dans ce cas, on utilise notamment le logiciel ReCap Photo d'Autodesk®, qui permet la conception des modèles 3D à partir des captures d'images [20] [22]. Les photographies sont prises grâce à un smartphone, ici le smartphone Oppo® A72 (système Android).

4.4.2 Technique d'acquisition

Afin de réaliser les prises de vues, le patient est placé au centre de la pièce de manière à circuler librement autour de lui. Il est en position allongé sur le côté comme lors des précédentes techniques acquisitions. Le patient doit rester parfaitement immobile. La pièce est éclairée par une lumière naturelle. Par ailleurs, le flash, responsable d'ombre, est proscrit.

On réalise les photographies en effectuant une rotation autour du patient. Idéalement, on prend une photo tous les 5 à 10 degrés. Après avoir fait une première rotation à 360 degrés sur un même plan, on continue en changeant l'orientation de prises de vues par rapport à la zone d'intérêt. Cela dans le but d'avoir des captures du sujet dans un maximum d'angulations possibles *(Figure 37).* Les zones au-dessus et au-dessous du sujet doivent être enregistrées. A terme, il faut au minimum 30 à 40 photos. Ici, 97 photographies de l'oreille étudiée ont été réalisées.

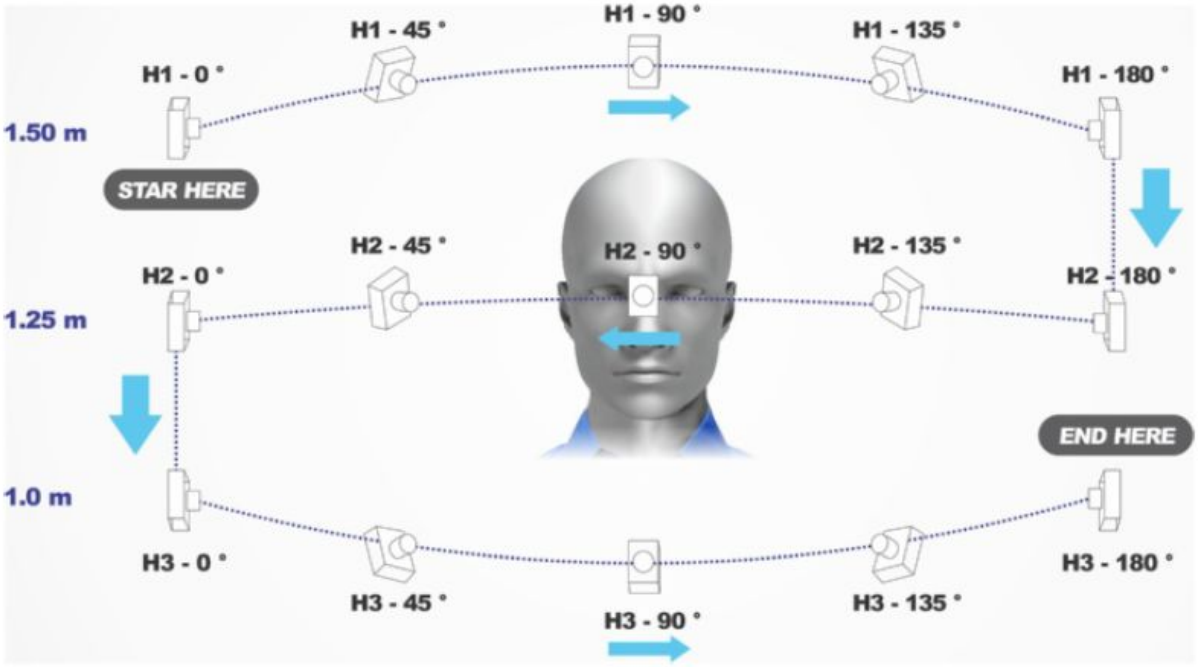

Figure 37 *Séquence à suivre pour la prise de photographies de Salazar-Gamarra* [20]

Par ailleurs, lors de la prise des photos, il faut veiller à leur netteté et à bien centrer de façon à ce que la zone d'intérêt remplisse le plus l'image afin d'avoir le moins possible de données accessoires à la zone d'intérêt sur la photographie *(Figure 38).*

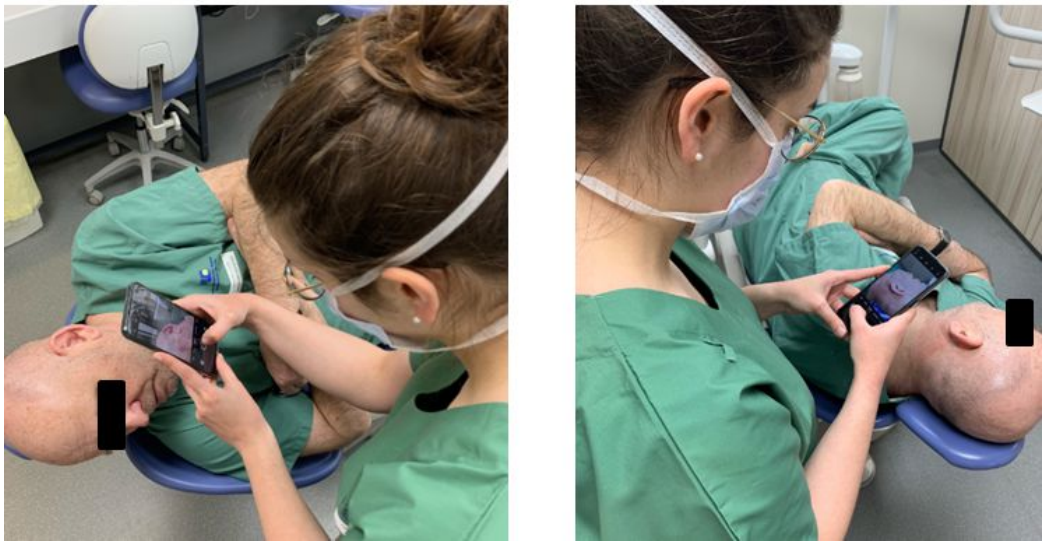

Figure 38 *Prise des photographies – Source personnelle*

Suite à cela, les photographies sont chargées sur un ordinateur, on supprime les photographies non cadrées, floues ou sur/sous exposées. Les images

sélectionnées sont chargés sur le logiciel ReCap Photo d'Autodesk®, qui lance automatiquement la reconstruction 3D. Après quelques dizaines de minutes, l'image 3D est construite.

4.4.3 Résultats

Suite à la reconstruction 3D par le logiciel Recap Photo d'Autodesk®, on obtient un modèle de surface très ressemblant au premier abord *(Figure 39)*.

Figure 39 *Captures d'écran de la reconstruction 3D grâce au logiciel Recap Photo d'Autodesk – Source personnelle*

Afin de pouvoir mieux l'analyser, le modèle est converti au format « .stl ». On observe alors qu'il n'y a aucune zone de manque de données. Par contre, il existe 3 zones imprécises *(Figure 40)*.

La zone de contre-dépouille au niveau de la gouttière de l'hélix a été remplie du fait de la présence d'ombre à ce niveau lors de l'acquisition des photographies. La contre-dépouille n'est donc pas parfaitement reproduite.

La partie postéro-supérieure du pavillon auriculaire et la partie postéro-inférieure du pavillon auriculaire sont mal délimitées au niveau de leur jointure avec le crâne.

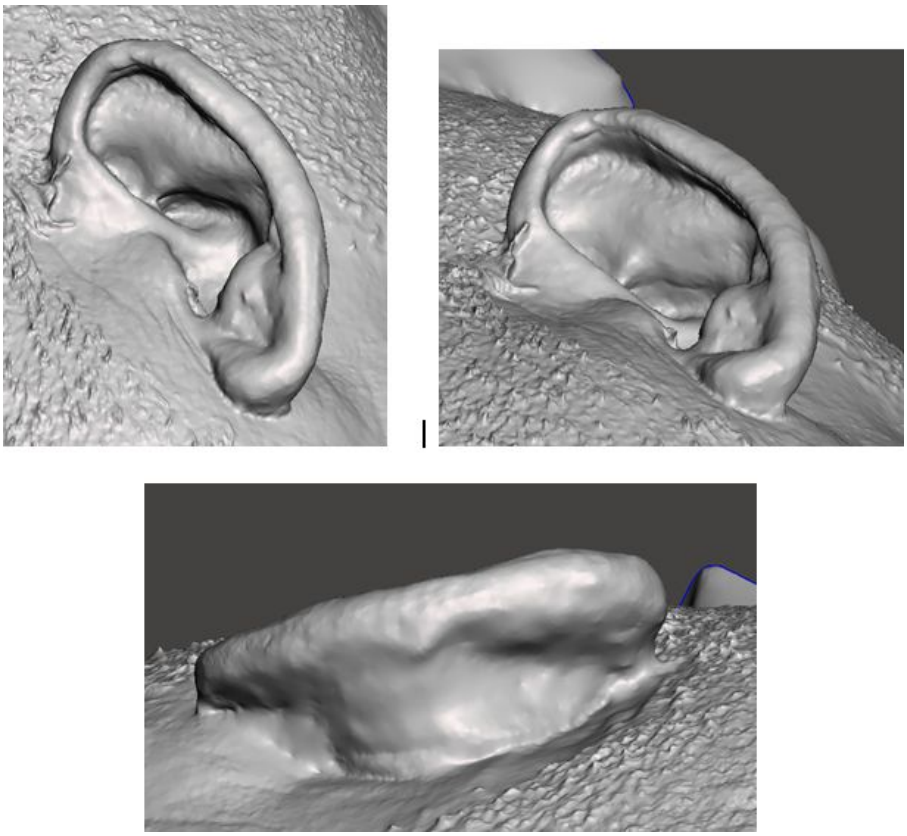

Figure 40 *Captures d'écran du modèle STL obtenu par photogrammétrie – Source personnelle*

4.4.4 Limites

En comparaison aux autres méthodes d'imageries 3D, la photogrammétrie offre certains avantages, tels que :

- Une facilité à mettre en œuvre
- Un temps d'acquisition court, ici moins de 15 minutes.

Le plus compliqué avec cette méthode est la gestion de l'éclairage et des éventuelles ombres.

Par ailleurs, la littérature indique qu'il faut au minimum 30 à 40 photographies. Dans notre cas, 47 photographies n'ont pas suffi à avoir une acquisition complète lors d'un premier test. Plus le nombre de photographie est important, plus la reconstruction 3D est complète et détaillée. En contrepartie, le temps de traitement des données augmente. Au final, pour 97 photographies, le temps de traitement était d'environ une heure.

De plus, le sujet doit rester parfaitement immobile tout le long de l'acquisition.

5 Comparaison des résultats

Pour l'enregistrement du pavillon auriculaire, la référence reste l'empreinte à l'alginate. En effet, de par sa plus large utilisation, on a un meilleur recul clinique sur son emploi. Les comparaisons des différentes acquisitions par voie numérique sont donc effectuées avec le modèle en plâtre issu de l'empreinte à l'alginate comme référence. Afin de pouvoir réaliser les comparaisons, il est nécessaire d'en avoir les données numériques. Le résultat de la numérisation du modèle en plâtre issue du scanner laser est donc utilisé.

5.1 « Matching » avec l'acquisition par cone beam

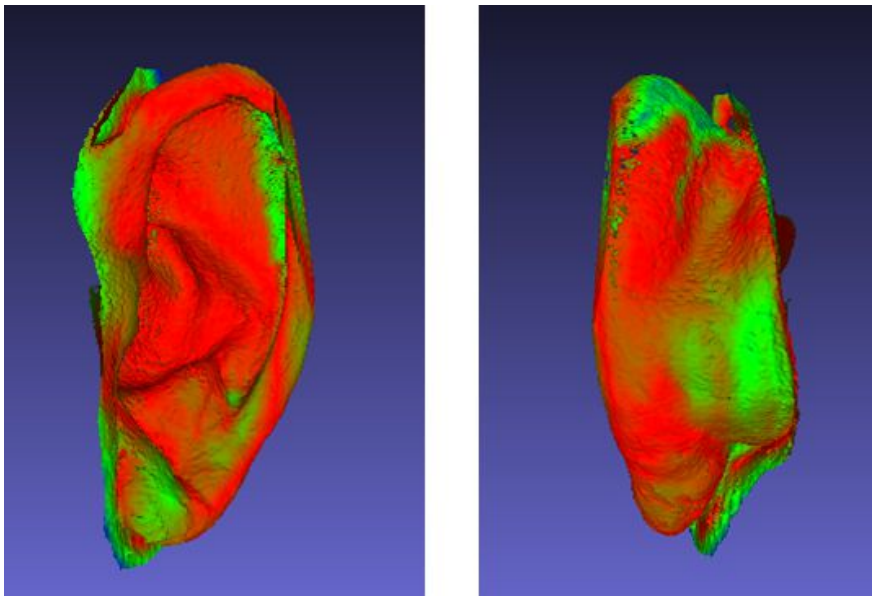

Figure 41 *« Matching » entre le modèle en plâtre, numérisé au scanner laser, et le modèle numérique obtenu par CBCT – Source personnelle*

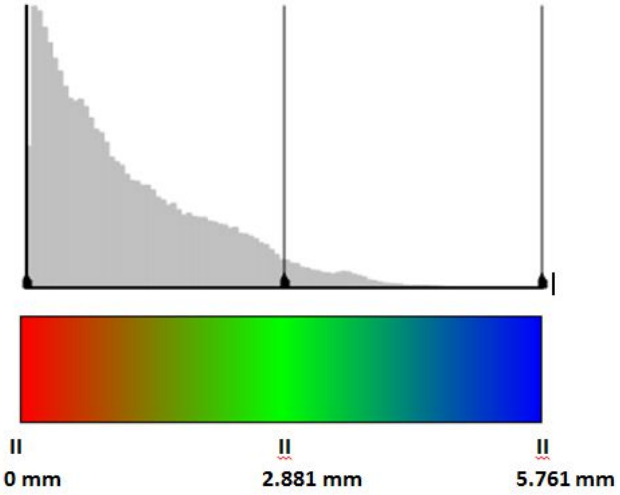

Figure 42 *Distribution de la distance entre la surface des deux modèles – Source personnelle*

Remarque

Les zones « **rouge** » indiquent un parfait repositionnement des deux surfaces comparées. Tandis que lorsque l'éloignement augmente, la couleur passe successivement au **vert** puis au **bleu**.

Analyse

Certaines zones ne se superposent pas. La zone de la gouttière de l'hélix, la zone supéro-postérieure du pavillon auriculaire et la zone postérieure de l'oreille se situent à environ 3 mm du modèle en pâtre.

5.2 « Matching » avec l'acquisition par caméra optique

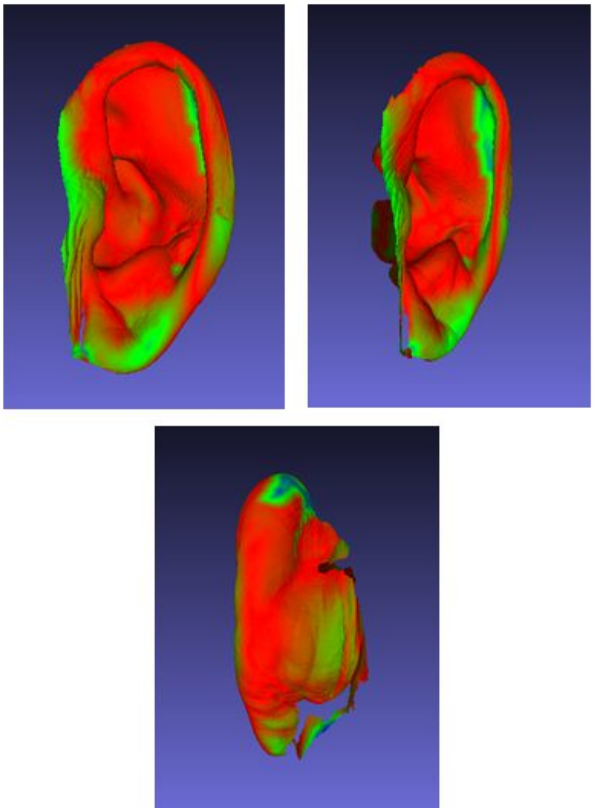

Figure 43 *« Matching » entre le modèle en plâtre, numérisé au scanner laser, et le modèle numérique obtenu par empreinte optique – Source personnelle*

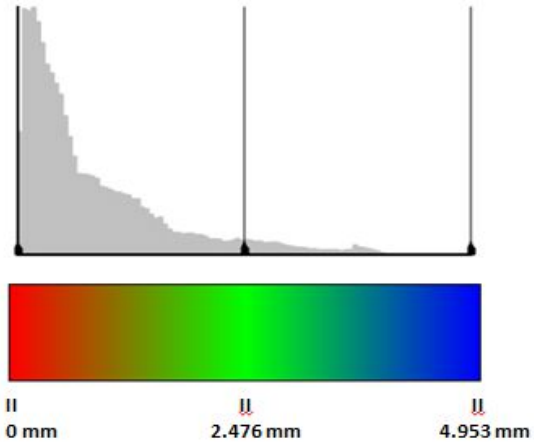

Figure 44 *Distribution de la distance entre la surface des deux modèles – Source personnelle*

Analyse

Certaines zones ne se superposent pas jusqu'à environ 2,5 mm du modèle de référence. C'est le cas de la région du lobule, de la gouttière de l'hélix, de la zone supéro-postérieure du pavillon, de la partie latérale de l'hélix et plus légèrement de la zone postérieure de l'oreille.

5.3 « Matching » avec l'acquisition par photogrammétrie

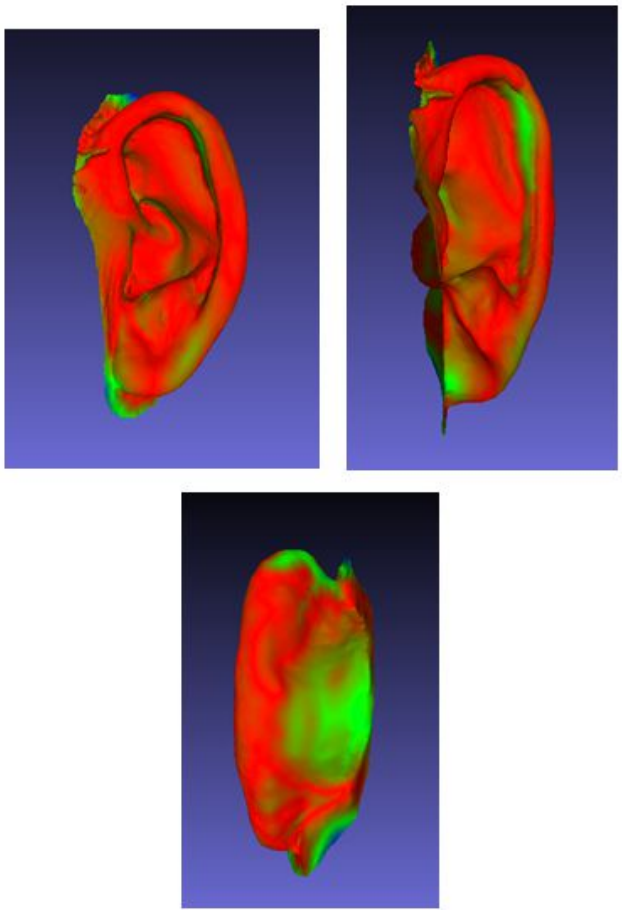

Figure 45 *« Matching » entre le modèle en plâtre, numérisé au scanner laser, et le modèle numérique obtenu par photogrammétrie – Source personnelle*

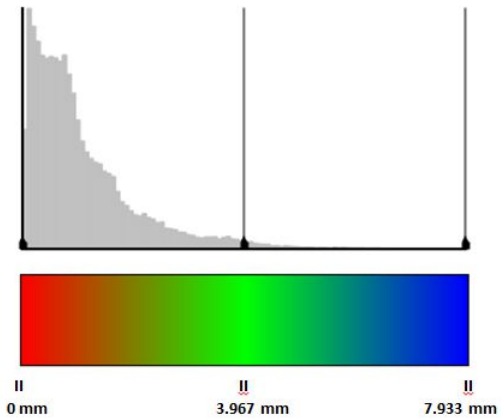

Figure 46 *Distribution de la distance entre la surface des deux modèles – Source personnelle*

Analyse

La gouttière de l'hélix, la partie supéro-postérieure du pavillon et la région postérieure de l'oreille ne se superposent pas à presque 4 mm par rapport au modèle en plâtre.

Il est impossible dans ce cas de comparer l'écart de distance entre différents mêmes points fixés entre deux modèles comparés. En effet, le « matching » reste approximatif en raison des zones de manques de certaines acquisitions et en raison d'un état de surface différent selon les acquisitions.

6 Discussion

Les différentes techniques d'acquisitions et leurs complexités ont été abordées. Elles ont toutes été réalisées par le même opérateur et ont toutes fait l'objet d'une comparaison numérique. Faute de technique de référence numérique, il a été arbitrairement choisi l'empreinte à l'alginate comme technique de référence pour faire les comparaisons.
Dans la plupart des techniques, des manques d'acquisitions rendent difficilement interprétables les résultats. En effet, il existe une certaine corrélation entre les zones d'écart lors du « matching » et les zones de manques. Cependant, en se replaçant dans le contexte des difficultés d'un épithésiste, ces manques sont faciles à combler. En effet, le plus difficile étant le travail d'imagination, de conception visuelle de l'image miroir de l'oreille, celui-ci est déjà grandement facilité.

Ce travail a été réalisé au travers d'un seul cas d'oreille, ce qui limite le caractère extrapolable des résultats.

La prise d'empreinte à l'alginate est une méthode peu agréable. Cependant, elle est rapide, peu coûteuse et nécessite peu de matériel, tout comme l'utilisation de la photogrammétrie. Comme toutes les autres techniques, ces deux méthodes nécessitent de rester immobile, néanmoins elles semblent les plus appropriées pour les enfants de par leur rapidité et facilité de mise en œuvre.

Dans la littérature, la tomodensitométrie est souvent utilisée à des fins de conception auriculaire. Cette méthode semble être appropriée lorsque le patient doit subir une chirurgie carcinologique ou implantaire. En effet, le facteur limitant de cette technique étant la nécessité d'une exposition au rayons X, nous pouvons récupérer le scanner réaliser dans le cadre de la prise en charge chirurgicale et ainsi ne pas réexposer le patient à une source de rayons X. L'utilisation du CBCT révèle le problème du positionnement du patient. En effet, dans le cas où l'acquisition est mal centrée sur la zone d'intérêt, une nouvelle acquisition et donc une nouvelle irradiation serait nécessaire. Il peut être envisageable pour pallier ce problème, tout en facilitant de le travail de l'épithésiste, de réaliser l'acquisition de l'empreinte à l'alginate qui sera ensuite numériser grâce au CBCT. Cependant, ceci multiplie le risque d'erreur

tout comme lors de l'utilisation du scanner laser. En effet, le scanner laser nécessite un modèle en plâtre et donc un enregistrement préalable grâce à une empreinte à l'alginate, ceci multiplie les risques d'erreur : erreur lors de la prise d'empreinte, erreur de coulée et erreur du scanner laser en lui-même.

Toutefois, l'acquisition par caméra optique n'est pas exempt de contraintes. En effet, l'acquisition est relativement longue. Pour faciliter celle-ci, il aurait pu être mis en place des repères sur l'oreille afin d'aider la caméra à se repérer et ainsi diminuer le temps d'acquisition. Par ailleurs, un « matching » des différentes acquisitions par caméra optique a été réalisé, celui-ci montre que les résultats des différentes acquisitions ne sont pas reproductibles. De plus, l'acquisition étant particulièrement difficile, un essai avec un second opérateur a été effectué, sans aucune différence quant aux résultats.

Nous avons eu connaissance en fin de rédaction de ce travail de la possession à la faculté d'un scanner extra-oral, ce qui aurait pu permettre de tester une 5ème méthode de prise d'empreinte numérique. Cependant, dans la littérature, il apparait que les scanners extra-oraux sont limités dans l'enregistrement de détails en contre-dépouille comme les plis de l'oreille et la surface arrière de l'oreille. Alors qu'un scanner intra-oral, tel que la caméra optique 3Shape de Trios, est conçu pour scanner des images issues de zones étroites comme celles présentes dans la cavité buccale et donc surmonter ces limites [19].

Concernant les comparaisons entre les différentes techniques, il est important de signaler que les points permettant le « matching » de deux acquisitions sont à indiquer manuellement, ce qui est une source d'erreur considérable. De plus, sur les différents schémas de « matching », les zones vertes (qui ne matchent pas) n'ont pas toutes la même valeur. Certes cette valeur reste faible, elle atteint au maximum 4 millimètres et cela pour une superficie faible de la surface auriculaire.

7 Conclusion

Ce travail n'a pas vocation à dire quelle est la méthode numérique la plus précise. Il démontre simplement que toutes ses méthodes (CBCT, scanner laser, empreinte optique et photogrammétrie) sont possibles pour enregistrer l'anatomie du pavillon auriculaire et que l'ordre d'erreur de quelques millimètres entre chacune des techniques reste acceptable pour un rendu esthétique et symétrique du pavillon auriculaire.

Globalement, il apparait que les zones de manques sont les mêmes selon les différentes techniques d'acquisitions. Les techniques utilisant le CBCT, l'empreinte à l'alginate et la photogrammétrie présentent le moins de zones de manque et sont les techniques les plus rapides. Toutefois le choix de la technique à utiliser reste surtout dépendant du cas clinique et du matériel à disposition. La réalisation d'une épithèse en collaboration avec un épithésiste pourrait nous permettre de juger quelle technique utiliser et dans quelle situation clinique.

Références bibliographiques

[1] Denoyelle F. Pathologie congénitale de l'oreille externe. EMC - Oto-rhino-laryngologie 2007;2:1–12. https://doi.org/10.1016/S0246-0351(07)39234-9.

[2] Benoist M. Réhabilitation et prothèse maxillo-faciales. Paris: J. Prélat; 1978. 454 p.

[3] Destruhaut F, Hennequin A, Toulouse E, Pomar P. Prise en charge prothétique face à un patient défiguré. EMC - Médecine buccale 2018;13.

[4] Truy E. Chirurgie fonctionnelle des agénésies auriculaires. EMC - Techniques chirurgicales - Tête et cou 2014;9:12.

[5] Vertu-Ciolino D, Disant F. Techniques de réparation des pertes de substance du pavillon de l'oreille. EMC - Techniques chirurgicales - Tête et cou 2017;12:14.

[6] Bou C, Pomar P, Vigarios E, Toulouse E. Prothèse maxillofaciale et conception et fabrication assistées par ordinateur (CFAO). EMC - Dentisterie 2004;1:275–83. https://doi.org/10.1016/S1762-5661(04)00076-5.

[7] Thomassin J-M, Barry P. Anatomie et physiologie de l'oreille externe. EMC - Oto-rhino-laryngologie 2016;11.

[8] Jamayet NB, Abdullah JY, Rahman AM, Husein A, Alam MK. A fast and improved method of rapid prototyping for ear prosthesis using portable 3D laser scanner. Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery 2018;71:946–953. https://doi.org/10.1016/j.bjps.2018.02.003.

[9] Khambete N, Kumar R. Cone Beam Computed Tomography: A Third Eye for Dental Practitioners. International Journal of Stomatological Research 2015;4:7.

[10] Pauwels R, Araki K, Siewerdsen JH, Thongvigitmanee SS. Technical aspects of dental CBCT: state of the art. Dentomaxillofacial Radiology 2015;44. https://doi.org/10.1259/dmfr.20140224.

[11] Dental Wings. Scanners 3D 7Series - Scanneurs de bureau. [Internet]. [consulté le 14 février 2021]. Disponible sur: https://dentalwings.com/fr/scanners3d/ (accessed April 18, 2021).

[12] Descamp F. Pratique de l'empreinte en prothèse fixée - Du pilier naturel à l'implant, des techniques classiques à la CFAO. Editions CdP; 2015. 137 p.

[13] 3shape. Scanner intra-oral 3Shape TRIOS – découvrez le scanner et le logiciel [Internet]. [consulté le 12 décembre 2020]. Disponible sur: https://www.3shape.com/fr/scanners/trios (accessed April 18, 2021).

[14] Cazier S, Moussally C. Description of the various digital impression systems. Revue d'Odonto-Stomatologie 2013:12.

[15] David G Grier. Parallel scanned laser confocal microscope. Patent Application Publication 2003:8.

[16] Minsky. Brevet US3013467A - Microscopy apparatus. [Internet]. [consulté le 12 décembre 2020]. Disponible sur: https://patents.google.com/patent/US3013467 (accessed April 18, 2021).

[17] Flonck F. L'empreinte optique : étude comparative de la répétabilité intra-système [Thèse d'exercice]. [Strasbourg]: Université de Strasbourg; 2016.

[18] Delaunay B. Comparaison des systèmes d'empreintes optiques accessibles aux chirurgiens-dentistes dans leurs cabinets en 2015 [Thèse d'exercice]. [Nancy]: Université de Lorraine; 2016.

[19] Bannink T, Bouman S, Wolterink R, van Veen R, van Alphen M. Implementation of 3D technologies in the workflow of auricular prosthetics: A method using optical scanning and stereolithography 3D printing. The Journal of Prosthetic Dentistry 2020. https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2020.03.022.

[20] Salazar-Gamarra R, Seelaus R, da Silva JVL, da Silva AM, Dib LL. Monoscopic photogrammetry to obtain 3D models by a mobile device a method for making facial prostheses. J of Otolaryngol - Head & Neck Surg 2016;45:33. https://doi.org/10.1186/s40463-016-0145-3.

[21] Lourakis M, Argyros A. Is Levenberg-Marquardt the Most Efficient Optimization Algorithm for Implementing Bundle Adjustment?. IEEE International Conference on Computer Vision. 2005. https://doi.org/10.1109/ICCV.2005.128.

[22] Willmann C. La conception assistée par ordinateur en prothèse maxillo-faciale. [Thèse d'exercice]. [Toulouse]: Université de Toulouse; 2016.

Table des illustrations

Figure 1 Syndrome de Franceschetti de Benoist [2].....15

Figure 2 Amputation du pavillon de l'oreille et du cuir chevelu par brûlure de Benoist [2] 15

Figure 3 Positionnement du pavillon entre la ligne bi-sourcilière et le bord libre de l'aile du nez de Benoist [2].....16

Figure 4 Grand axe du pavillon de l'oreille de Benoist [2].....16

Figure 5 Anatomie du pavillon auriculaire de Benoist [2].....17

Figure 6 Photographie illustrant le sillon rétro-auriculaire de C. Lefevre 18

Figure 7 Séquence conventionnelle de réalisation d'une épithèse auriculaire d'après Destruhaut [3].....21

Figure 8 Moule prothétique en 3 parties de Jamayet [8] 22

Figure 9 Matériel nécessaire à la prise d'empreinte auriculaire à l'alginate – Photographie personnelle.....25

Figure 10 Repères de positionnement tracés sur le pavillon sain de Benoist [2].....25

Figure 11 Photographie illustrant la position requise pour réalisation de l'empreinte auriculaire – Photographie personnelle 26

Figure 12 Photographie illustrant le coffrage de l'oreille nécessaire à la prise d'empreinte – Photographie personnelle.....26

Figure 13 Remplissage du sillon rétro-auriculaire et des différents récessus avec l'alginate – C. Lefevre.....27

Figure 14 Remplissage du coffrage – C. Lefevre 27

Figure 15 Démoulage de l'empreinte de C. Lefevre 28

Figure 16 Empreinte auriculaire à l'alginate – 1er essai – Photographie personnelle 29

Figure 17 Empreinte auriculaire à l'alginate – 2nd essai – Photographie personnelle 29

Figure 18 Modèle en plâtre issu du 1er essai de prise d'empreinte à l'alginate – Photographie personnelle.....30

Figure 19 Modèle en plâtre issu du 2nd essai de prise d'empreinte à l'alginate – Photographie personnelle.....30

Figure 20 Fonctionnement du tube à rayons X lors de l'acquisition au CBCT de Pauwels [10].....33

Figure 21 Cone beam utilisé : le PaX-i3D Green de chez VATECH® – Photographie personnelle.....33

Figure 22 Photographie illustrant une position approximative pour l'acquisition de la zone auriculaire – Photographie personnelle 34

Figure 23 Exportation du modèle de surface – Photographie personnelle 35

Figure 24 Résultats de la 1ère acquisition au CBCT - Photographie personnelle.....35

Figure 25 Résultats de la 2e acquisition au CBCT - Photographie personnelle.....36

Figure 26 Résultats de la 3e acquisition au CBCT - Photographie personnelle.....36

Figure 27 Scanner laser 7Series de DentalWings® – Photographie personnelle 38

Figure 28 Zone de manque de données suite à l'acquisition par scanner laser – Photographie personnelle.....39

Figure 29 Zone de manque de données suite à l'acquisition par scanner laser – Photographie personnelle.....39

Figure 30 Zone de manque de données suite à l'acquisition par scanner laser – Photographie personnelle.....40

Figure 31 Illustration de la méthode par imagerie confocale parallèle de Flonck [17] 42

Figure 32 Photographies pendant l'acquisition grâce à la caméra optique 3Shape de Trios® - Photographies personnelles 43

Figure 33 Schéma suivi lors de la 3e acquisition de Bannink [19] 43

Figure 34 Zones de manque lors de la 1ère acquisition – Source personnelle.....44

Figure 35 Zones de manque lors de la 2nd acquisition – Source personnelle.....44

Figure 36 Zones de manque lors de la 3ème acquisition – Source personnelle.....45

Figure 37 Séquence à suivre pour la prise de photographies de Salazar-Gamarra [20] 48

Figure 38 Prise des photographies – Source personnelle.....48

Figure 39 Captures d'écran de la reconstruction 3D grâce au logiciel Recap Photo d'Autodesk – Source personnelle.....49

Figure 40 Captures d’écran du modèle STL obtenu par photogrammétrie – Source personnelle.....50

Figure 41 « Matching » entre le modèle en plâtre, numérisé au scanner laser, et le modèle numérique obtenu par CBCT – Source personnelle 53

Figure 42 Distribution de la distance entre la surface des deux modèles – Source personnelle.....53

Figure 43 « Matching » entre le modèle en plâtre, numérisé au scanner laser, et le modèle numérique obtenu par empreinte optique – Source personnelle 54

Figure 44 Distribution de la distance entre la surface des deux modèles – Source personnelle.....54

Figure 45 « Matching » entre le modèle en plâtre, numérisé au scanner laser, et le modèle numérique obtenu par photogrammétrie – Source personnelle.....55

Figure 46 Distribution de la distance entre la surface des deux modèles – Source personnelle.....55

Thèse d'exercice : Chir. Dent. : Lille : Année 2021 – N°:

Les différentes techniques d'acquisition du pavillon auriculaire en prothèse maxillo-faciale / **GALLET Clara**.- 65 p. : 46 ill. ; 22 réf.

Domaine : Prothèse maxillo-faciale

Mots clés Rameau:

Mots clés FMeSH:

Mots clés libres : Empreinte auriculaire ; Cone beam ; Scanner laser ; Empreinte optique ; Photogrammétrie

Résumé de la thèse :

La prise en charge des pertes de substance auriculaire n'est pas toujours chirurgicalement possible. Fort de ce constat, la mise en place d'une épithèse est donc indispensable. Cela nécessite des prises d'empreintes et représente un défi artistique quant à la sculpture de l'épithèse.

Cette thèse a pour vocation de présenter des alternatives numériques (cone beam, scanner laser, empreinte optique, photogrammétrie) à la prise d'empreinte conventionnelle du pavillon auriculaire pour les patients présentant une perte partielle ou totale unilatérale du pavillon auriculaire.

JURY :

Président :	**Monsieur le Professeur T. COLARD**
Assesseurs :	**Monsieur le Docteur C. LEFEVRE**
	Monsieur le Docteur J. VANDOMME
	Monsieur le Docteur N. HELOIRE
Membre invité :	**Monsieur le Docteur T. DENNEULIN**