



HAL
open science

Conception d'un obturateur palatin par CFAO

Camille Marie Bouscaillou

► **To cite this version:**

Camille Marie Bouscaillou. Conception d'un obturateur palatin par CFAO. Sciences du Vivant [q-bio]. 2021. dumas-03196233

HAL Id: dumas-03196233

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03196233>

Submitted on 12 Apr 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

U.F.R. D'ODONTOLOGIE

Année 2021

Thèse n°16

THESE POUR L'OBTENTION DU

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

Présentée et soutenue publiquement

Par BOUSCAILLOU Camille Marie

Née le 02/03/95 à SARLAT

Le 30/03/2021

CONCEPTION D'UN OBTURATEUR PALATIN PAR CFAO

Sous la direction de : Christophe BOU

Membres du jury :

Professeur ELLA NGUEMA Bruno
Docteur NAVEAU Adrien
Docteur JAECK Clémence
Docteur BOU Christophe

Président
Rapporteur
Assesseur
Directeur

UNIVERSITE DE BORDEAUX

Président M. TUNON DE LARA Manuel

Directeur de Collège des Sciences de la Santé M. PELLEGRIN Jean-Luc

COLLEGE DES SCIENCES DE LA SANTE

UNITE DE FORMATION ET DE RECHERCHE DES SCIENCES ODONTOLOGIQUES

Directrice	Mme BERTRAND Caroline	58-01
Directeur Adjoint à la Pédagogie	Mr DELBOS Yves	56-01
Directeur Adjoint – Chargé de la Recherche	M. CATROS Sylvain	57-01
Directeur Adjoint – Chargé des Relations Internationales	M. SEDARAT Cyril	57-01

ENSEIGNANTS DE L'UFR

PROFESSEURS DES UNIVERSITES

Mme Caroline	BERTRAND	Prothèse dentaire	58-01
Mme Marie-José	BOILEAU	Orthopédie dento-faciale	56-01
M Sylvain	CATROS	Chirurgie orale	57-01
M Raphaël	DEVILLARD	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01
Mme Véronique	DUPUIS	Prothèse dentaire	58-01
M. Bruno	ELLA NGUEMA	Sciences anatomiques et physiologiques - Biomatériaux	58-01
M. Jean-Christophe	FRICAÏN	Chirurgie buccale – Pathologie et thérapeutique	57-01

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

Mme Elise	ARRIVÉ	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologielégale	56-02
Mme Audrey	AUSSEL	Sciences anatomiques et physiologiques	58-01
Mme Cécile	BADET	Biologie Orale	57-01
M. Etienne	BARDINET	Orthopédie dento-faciale	56-01
M. Michel	BARTALA	Prothèse dentaire	58-01
M. Cédric	BAZERT	Orthopédie dento-faciale	56-01
M. Christophe	BOU	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologielégale	56-02
Mme Sylvie	BRUNET	Chirurgie buccale – Pathologie et thérapeutique	57-01
M. Jacques	COLAT PARROS	Sciences anatomiques et physiologiques	58-01
M, Jean-Christophe	COUTANT	Sciences anatomiques et physiologiques	58-01
M. François	DARQUE	Orthopédie dento-faciale	56-01
M. François	DE BRONDEAU	Orthopédie dento-faciale	56-01
M. Yves	DELBOS	Odontologie pédiatrique	56-01
M, Emmanuel	D'INCAU	Prothèse dentaire	58-01
Mme Mathilde	FENELON	Chirurgie Orale	57-01
Mme Elsa	GAROT	Odontologie pédiatrique	56-01
M. Dominique	GILLET	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01
Mme Olivia	KEROUREDAN	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01
M. Jean-François	LASSERRE	Prothèse dentaire	58-01
M. Yves	LAUVERJAT	Parodontologie	57-01
Mme Odile	LAVIOLE	Prothèse dentaire	58-01
Mme Javotte	NANCY	Odontologie pédiatrique	56-01

M.	Adrien	NAVEAU	Prothèse dentaire	58-01
M.	Philippe	POISSON	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
M.	Patrick	ROUAS	Odontologie pédiatrique	56-01
M.	Johan	SAMOT	Biologie Orale	57-01
Mme	Maud	SAMPEUR	Orthopédie dento-faciale	56-01
M.	Cyril	SEDARAT	Parodontologie	57-01
Mme	Noélie	THEBAUD	Biologie Orale	57-01
M.	Eric	VACHEY	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01

AUTRES ENSEIGNANTS

M.	Cédric	FALLA	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
M.	François	ROUZÉ L'ALZIT	Prothèse dentaire	58-01

ASSISTANTS

M.	Bastien	BERCAULT	Chirurgie Orale	57-01
M.	Baptiste	BERGES	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Mathilde	BOUDEAU	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
Mme	Virginie	CHUY	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
M	Pierre-Hadrien	DECAUP	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Laura	DONNET	Biologie Orale	57-01
Mme	Julia	ESTIVALS	Odontologie pédiatrique	56-01
Mr	Pierre-André	GUILLAUD	Parodontologie	57-01
Mme	Jane	GOURGUES	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
Mr	Louis	HUAULT	Sciences anatomiques et physiologiques	58-01
Mme	Mathilde	JACQUEMONT	Parodontologie	57-01
Mme	Clémence	JAECK	Prothèse dentaire	58-01
Mr	Aymeric	JOUBERT DU CELLIER	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01
Mr	Jean-Baptiste	IRIBARREN	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01
Mme	Claudine	KHOURY	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
Mme	Camille	LACAULE	Orthopédie dento-faciale	56-01
M.	Antoine	LAFITTE	Orthopédie dento-faciale	56-01
Mme	Léa	MASSE	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Aude	MENARD	Prothèse dentaire	58-01
M	Florian	PITEU	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Rawen	SMIRANI	Parodontologie	57-01
Mme	Florianne	VILLAT	Dentisterie restauratrice et endodontie	5801
M.	Clément	VACHEY	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
M	Paul	VITIELLO	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Sophia	ZIANE	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
Mme	Laurie	FUCHS	Odontologie pédiatrique	56-01

REMERCIEMENTS

À notre Président de thèse,

Monsieur le Professeur ELLA NGUEMA Bruno

Professeur des universités – Praticien hospitalier

Sous-section Sciences Anatomiques et physiologiques – Biomatériaux 58-01

Je tiens à vous témoigner toute ma reconnaissance d'avoir accepté de présider le jury de cette thèse. Je tiens également à vous remercier pour votre accompagnement en clinique et votre pédagogie.

Je vous prie d'accepter, Monsieur, l'expression de ma sincère gratitude et l'assurance de mes sentiments respectueux.

À notre Directeur de thèse,

Monsieur le Docteur Christophe BOU

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier

Sous-section Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale 56-02

Je vous suis infiniment reconnaissante d'avoir accepté de diriger cette thèse.

Vos précieux conseils, votre constante disponibilité et votre implication m'ont permis de mener à bien ce travail. Je tiens également à vous exprimer ma gratitude pour votre bienveillance, votre optimisme et humanité tout au long de ma formation. Je ne garde que des bons souvenirs des moments que nous avons partagé ensemble en clinique.

Permettez-moi de vous exprimer ici toute ma considération ainsi que l'assurance de mon profond respect.

À notre rapporteur de thèse,

Monsieur le Docteur Adrien NAVEAU
Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier
Sous-section Prothèse dentaire 58-01

Je vous remercie d'avoir accepté de faire partie de ce jury, et d'être le rapporteur de cette thèse. Je tiens également à vous exprimer ma profonde reconnaissance pour votre accompagnement clinique, votre investissement, votre rigueur et vos précieuses connaissances.

Veillez recevoir ici l'affirmation de ma sincère gratitude et de mon profond respect.

À notre Assesseur,

Madame la Docteur JAECK Clémence
Assistante – Praticienne Hospitalière
Sous-Section Prothèse dentaire 58-01

Je vous remercie d'avoir accepté de faire partie de ce jury de thèse et d'évaluer ce jour mon travail. Je souhaite également vous remercier pour votre confiance et votre accompagnement permanents qui ont rythmé mes vacances cliniques.

Je vous prie d'accepter, Madame, l'expression de ma sincère gratitude et l'assurance de mes sentiments respectueux.

Je tiens également à remercier Monsieur Benoit CROS, pour son aide précieuse, sa disponibilité et ses conseils qui m'ont permis de mener à bien ce travail.

À ma mère,

Ma mamounette, ma plus grande battante. Ton courage, ta hargne, ton grand cœur et ton amour m'ont permis de me battre de jour en jour, de ne jamais baisser les bras et d'être fière du parcours accompli. Notre relation fusionnelle est essentielle à mon équilibre. Merci encore pour tout ce que tu as fait pour Florian et moi, notre reconnaissance est immense. Je t'aime si fort.

À mon frère,

Mon Flo d'amour, mon grand frère protecteur mais aussi l'un de mes meilleurs amis. Tellement fière de l'homme que tu es devenu, généreux, doux, attentionné, aimant et passionné. Je suis heureuse du bonheur et de la stabilité que tu as trouvé, toujours présent pour moi, le Rafael Nadal de l'équipe, l'homme mi-nez, mi-flèche. Même si tu le sais déjà, je t'aime fort fort.

À ma famille,

Lucas, Clément, Elodie, Julien et vos petits loulous, Christine et Christian, Georges. A mes souvenirs d'enfance, nos repas de famille, nos épreuves et nos petits bonheurs à venir.

La vie ne nous a pas épargné, mais nous a soudé plus que jamais.

À ma famille de cœur,

Manon, Adrien, Fred et Olivier, mes voisins devenus ma famille, Corinne et Christophe, Josette et Alain, mes grands-parents de cœur. Tous toujours présents, dans les bons comme dans les mauvais moments, un soutien sans faille.

À Juliette et Michel,

De rendre heureux les deux piliers de ma vie, d'être toujours présents et bienveillants, merci de faire partie de la famille.

À Louis,

Mon loulou, juste un petit mot pour te montrer l'importance de ta présence. Nos moments à deux, simples et heureux sont précieux. A nos voyages à venir, à nos bons moments et à notre amour naissant.

À Mathilde,

Ma sœur de cœur. Comme quoi les liens du sang ne font pas toujours tout. Nos parcours de vie similaires et en même temps très différents, nos failles et notre sensibilité nous ont rapprochées et ne nous ont jamais séparées. À nos paris bourrées, à nos débriefings post-soirées, à nos peines de cœur, à nos angoisses, nos rires, nos messages quotidiens, nos confessions, notre liste d'objectifs à venir et notre pékin express raté. Je t'aime ma reus.

À Marion C,

Ma cluclu, celle que j'ai rencontré le premier jour du reste de notre vie. Les trois mousquetaires en soirée dentaire, le trio infernal du dancefloor, ta joie de vivre constante et ton bonheur matinal, ton insouciance, ton émerveillement constant et notre voyage italien ont rythmés ces dernières années. J'espère que d'autres jolis souvenirs vont s'ajouter et que notre amitié n'est pas prête de s'arrêter.

À Elodie et Quentin,

Toujours présent et que j'aimerais avoir à mes côtés un peu plus souvent. Nos retrouvailles sont toujours source de bonheur, à nos férias, nos karaokés, nos petit-déjeuner de CSCT, nos weekends entre amis, nos mojitos et nos gin to, nos futures vacances au soleil, notre amitié qui ne cesse d'évoluer et qui j'espère va perdurer.

À Marion T et Nicolas,

Ma tauziette et son nico, nos retrouvailles sont rares mais précieuses. À nos discussions de filles, nos WEI arrosés et à tes chutes dans les escaliers, à nos ADF et nos heures de sommeil ratées, à nos week-ends mugronnais, à ton regard noir bien trempé, à votre gentillesse et générosité. J'ai hâte de vous revoir.

À Quentin C,

Nos fous rires, ta folie et ta bonne humeur contagieuse me sont devenus indispensables. A nos mojitos et nos chachas endiablés, à nos dates ratés, nos retours de soirées, nos prises de tête pour une sombre histoire de télé. Tellement hâte qu'on reparte, ensemble, pour de nouvelles aventures. Ton petit cul qui tient à toi.

À mes belles rencontres de dentaire,

Adrien, Camille, Marie-line, Mayalen, Pierre et William, à nos soirées dentaires, nos cafés en terrasse, nos petits repas post-hôpital, mon meilleur plan à 3, notre voyage inoubliable à Essaouira.

À mes binômes,

Thibaut mon acolyte des TPs. Pénélope, Philippine et Eléna qui ont su m'épauler, m'accompagner et me guider. A Joran, mon plus grand rival, nos coudes à coudes m'ont poussé à donner le meilleur de moi-même.

À Valentin (et ton +1), Mathilde et Apolline,

À nos années lycée, nos parties de kems endiablées, nos retrouvailles, pas si fréquentes mais toujours si importantes.

À Eddy,

Mon coach, celui qui me permet d'être fière de moi, de retrouver mon mental perdu, supporte ma frustration avec bonne humeur et un regard toujours bienveillant.

À Pilou et Muxu,

Mes deux boules d'amour qui rendent la vie plus douce.

À ceux que j'oublie,

Qui ont rendu ces 25 années un peu plus belles les unes que les autres.

Et enfin à ceux partis trop tôt,

Papa, Tatie, Mamie et Papy, mes bonnes étoiles, qui veillent sur moi, en paix, me regardent d'en haut et me donnent force et courage. J'espère vous avoir rendu fiers.

Je vous aime éternellement.

TABLE DES MATIERES

Introduction	12
I. PERTES DE SUBSTANCE ET RÉHABILITATIONS MAXILLO-FACIALES.....	13
1. Contexte.....	14
2. Maxillectomie : classifications et réhabilitations.....	16
a. Classifications à visée prothétique.....	16
b. Réhabilitation par prothèse obturatrice.....	19
3. Obturateurs palatins : Surfaces d'appui et rétention	23
II. APPORT DE LA CFAO EN PROTHÈSE MAXILLO-FACIALE.....	26
1. CFAO : Rappels	27
2. Applications en PMF	31
3. Logiciels de CFAO.....	32
a. Logiciels de planification et de visualisation.....	33
b. Logiciels de modélisation et de préparation au prototypage rapide	33
III. APPLICATION CLINIQUE	35
1. Présentation du cas clinique de Monsieur B.	36
2. Rappels des protocoles d'acquisition et objectif de l'étude	37
3. Protocole d'étude : réalisation de l'obturateur palatin par CFAO	40
a. Fusion des acquisitions.....	40
b. Conception assistée par ordinateur	54
c. Fabrication assistée par ordinateur – Prototypage rapide	59
4. Évaluation clinique	65
5. Discussion et perspectives	69
a. Discussion	69
b. Perspectives.....	74
Conclusion.....	77
BIBLIOGRAPHIE.....	78

INTRODUCTION

La prothèse maxillo-faciale (PMF) est une discipline encore méconnue de nos jours, limitée à de rares omnipraticiens et à une prise en charge principalement hospitalière. Ce constat étant lié à une disparité de l'enseignement entre les différentes facultés (1).

Pourtant, ce champ d'activité semble essentiel à connaître et parfois intégrer dans notre pratique quotidienne, car permet une réhabilitation de la sphère oro-faciale auprès de patients lourdement affectés et en demande de soins. L'omnipraticien doit alors être en mesure de pouvoir donner les explications nécessaires, savoir accompagner, orienter, rassurer le patient et assurer un suivi de qualité (2).

Bénéficiant de progrès tant au niveau des matériaux utilisés que des techniques avec l'évolution de la conception et fabrication assistées par ordinateur (CFAO), la prothèse maxillo-faciale, au carrefour entre technicité et humanité, doit s'imposer au sein de notre pratique afin de répondre à un besoin de santé publique (3).

Ce travail s'inscrit dans la continuité d'une thèse précédente portant sur l'évaluation et la comparaison des différents modes d'acquisition des pertes de substance maxillaires, entre techniques conventionnelles et assistées par ordinateur.

Notre objectif est de concevoir un obturateur maxillaire d'usage à partir de la fusion de l'empreinte optique, conventionnelle et de l'imagerie tridimensionnelle, ainsi que de fabriquer par prototypage rapide différents modèles évalués ensuite cliniquement.

Des rappels concernant la prothèse maxillo-faciale seront développés dans un premier temps afin de redonner le contexte. Puis, nous aborderons dans un second temps les notions de conception et fabrication assistées par ordinateur dans le domaine de l'odontologie avec les principaux logiciels utilisés lors des phases de conception et de fabrication.

Enfin, nous présenterons le cas clinique de Monsieur B. et détaillerons les étapes allant de la conception digitale d'un obturateur jusqu'à son évaluation clinique.

I. PERTES DE SUBSTANCE ET RÉHABILITATIONS MAXILLO- FACIALES

1. Contexte

Les cancers de la cavité buccale appartiennent à la famille des cancers des voies aérodigestives supérieures (VADS). Leur incidence est en constante évolution avec 14 000 nouveaux cas en France en 2017 et une incidence de 600 000 nouveaux cas en moyenne dans le monde. Ils arrivent en France au 4^{ème} rang des cancers les plus fréquents chez les hommes et au 10^{ème} rang chez les femmes. De plus, c'est le 5^{ème} cancer le plus mortel après le cancer du sein, de la prostate, du colon et des poumons avec un taux de mortalité de 54 % (4,5).

Des pathologies tumorales malignes ou bénignes peuvent être représentées : les carcinomes épidermoïdes sont la principale cause de cancers malins, on les retrouve dans 95% des cas (2).

Cette étiologie carcinologique est la cause la plus fréquente des pertes de substance, ou solutions de continuité tissulaire, en prothèse maxillo-faciale. Les chirurgies d'exérèse entraînent un sacrifice osseux important dans le cadre de pathologies tumorales malignes (marges de sécurité) ou bénignes (énucléations kystiques après développement lent et progressif mais conséquent) (6).

Ce geste chirurgical est appelé maxillectomie, elle peut être uni ou bi-latérale et peut aboutir dans certains cas à une communication bucco-nasale, bucco-sinusienne ou bucco-naso-sinusienne (7).

D'autres étiologies peuvent aboutir à des pertes de substance mais sont beaucoup plus rares : les étiologies congénitales (fentes et syndromes poly malformatifs), peu concernées par les différentes solutions de réhabilitations maxillo-faciales car elles suivent un calendrier thérapeutique bien précis dès la naissance. Les étiologies acquises regroupent, en plus de la cancérologie, la traumatologie oro-faciale (civile ou de guerre), l'infectiologie (rare de nos jours grâce au développement de l'antibiothérapie) et les pertes de substance iatrogènes (biphosphonates, ostéoradionécrose) (6,8).

Suite à la chirurgie d'exérèse, la perte de substance maxillaire entraîne un défaut d'étanchéité compliquant les différentes fonctions et la réhabilitation maxillo-faciale :

- Troubles de la déglutition par reflux des aliments et liquides vers les fosses nasales liés à une incompetence labiale avec possible altération de l'orbiculaire et incompetence vélaire. (6).
- Troubles de la mastication en cas d'édentement consécutif à la chirurgie (8).
- Troubles de la phonation par perte du rôle résonateur de la cavité buccale : les voyelles sont nasalisées et les consonnes constrictives imprononçables (9,10).
- Troubles de la ventilation liées à un défaut de perméabilité des voies aériennes.
- Troubles de la vision en cas d'atteinte du plancher de l'orbite, avec perturbations de la statique oculaire (8).

Les conséquences esthétiques sont assez variables : aplasie tégumentaire, affaissement des tissus mous sus-jacents, défaut de soutien de la lèvre supérieure et asymétrie faciale (11).

Un risque d'infection chronique des sinus dans le cas de communication bucco-naso-sinusienne peut également être rencontré.

Enfin, les patients souffrent d'un handicap socio-affectif. Le schéma corporel est modifié et entraîne une vive tension émotionnelle (6,9). Les thérapies anti-cancéreuses entraînent un sentiment de stigmatisation lié à une exposition à la société de la vulnérabilité humaine. Un sentiment d'étrangeté face à sa propre identité est ressenti. Il y a un véritable bouleversement identitaire avec un « avant » et un « après ». Cette rupture bibliographique impose la création d'un nouveau « je » dans trois dimensions : le « face à face », le « face à l'autre » et le « face aux autres » (2,12,13).

2. Maxillectomie : classifications et réhabilitations

a. Classifications à visée prothétique

Afin de permettre une réhabilitation optimale, la classification de la perte de substance est essentielle. Une classification doit présenter un intérêt pratique en tant que guide décisionnel, permettre une orientation thérapeutique (6).

La classification de Benoist est une classification assez ancienne et encore utilisée par de nombreux praticiens car simple, l'inconvénient de cette dernière est l'insuffisance d'informations sur la forme, la situation et l'état de la denture résiduelle. Elle caractérise les pertes de substance comme petites, moyennes ou grandes (14).

La classification d'Aramany reste depuis son apparition en 1978 la classification de référence pour les prises en charge thérapeutiques avec une amélioration notable sur la conception et la réalisation des prothèses obturatrices (*figure 1*).

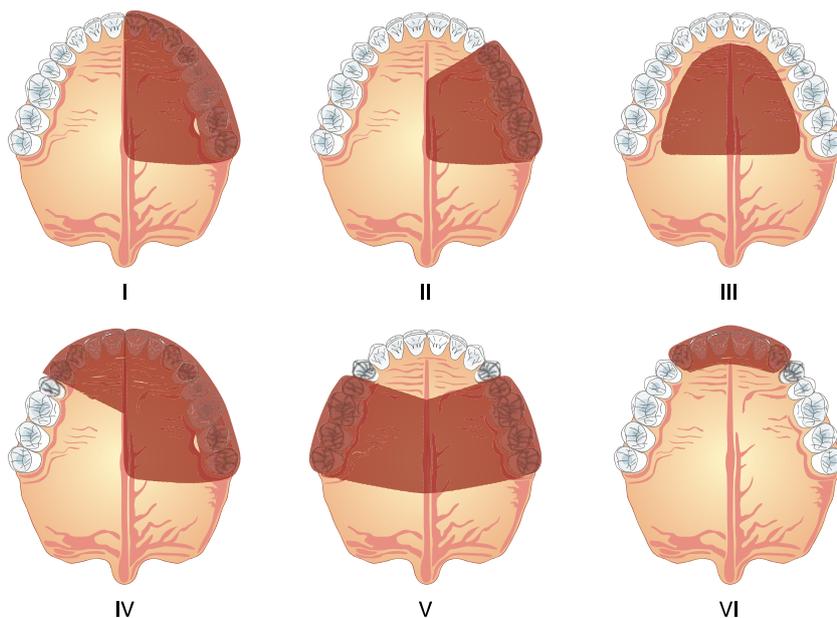


Figure 1 : Classification des pertes de substance maxillo-faciale par Aramany (1978) (8)

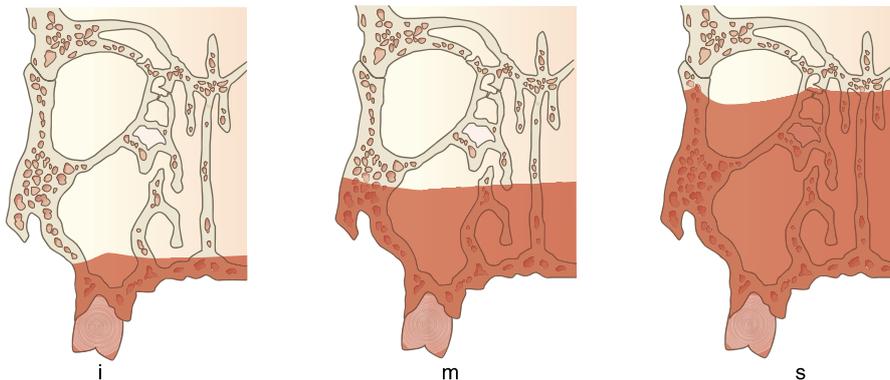
- Classe I : Maxillectomie unilatérale
- Classe II : Persistance du prémaxillaire du côté réséqué.
- Classe III : Résection centrale avec possibilité d'atteinte vélaire mais préservation de l'intégrité de la denture.
- Classe IV : Maxillectomie unilatérale avec atteinte du prémaxillaire bilatérale.
- Classe V : Résection bilatérale avec préservation de l'intégralité du prémaxillaire.
- Classe VI : Résection antérieure du prémaxillaire avec préservation postérieure.

Cette classification présente malgré tout deux inconvénients : elle ne prend pas en considération la dimension verticale de la perte de substance, et n'intègre pas les patients présentant un édentement total (15).

Pomar et al. ont donc proposé en 2008 une nouvelle classification complète en tenant compte des trois dimensions de l'espace et du type d'édentement concerné (*figure 2*).

Dans le sens vertical, trois niveaux peuvent être atteints, on parle de :

- Infrastructure : lésion de la gencive, du palais et du voile du palais.
- Mésostructure : lésion de la cavité nasale avec perte de l'épine nasale antérieure et/ou de la corniche zygomatique-malaire mais conservation du plancher orbitaire.
- Suprastructure : lésion de l'orbite avec ou sans atteinte du contenu orbitaire (8).



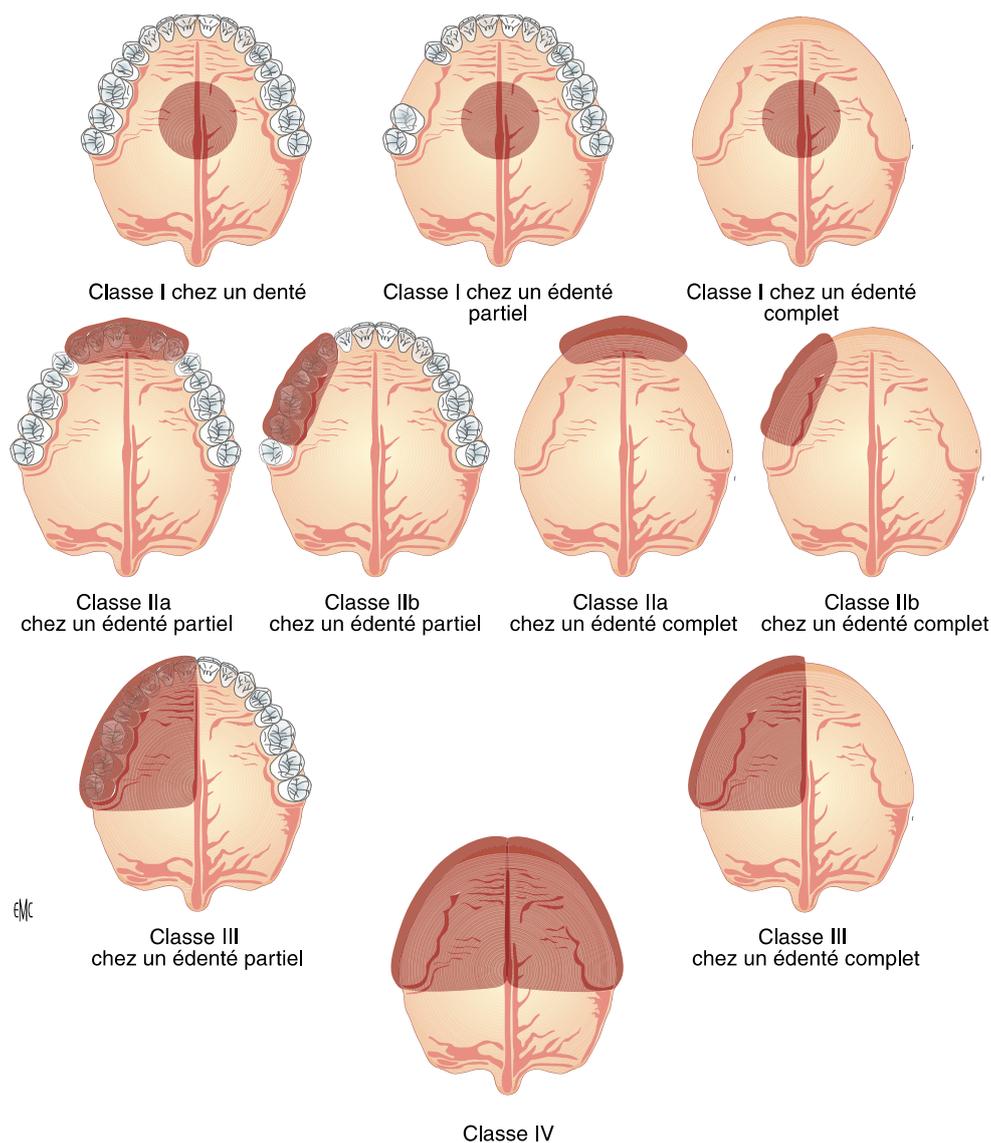


Figure 2 : Classification de Pomar et al. (2008) (8)

Une fois la perte de substance classée, la réhabilitation est envisagée.

La solution idéale de réhabilitation maxillo-faciale lors d'une perte de substance reste de nos jours controversée. En effet, le choix peut se porter entre prothèse obturatrice, greffe, lambeau local ou régional et lambeau libre (16) en fonction de l'étendue de la résection, des dents résiduelles et de la qualité du moignon palatin (17).

Peu importe la solution retenue, cette dernière devra respecter, selon Okay et al. des objectifs bien précis afin d'améliorer *in fine* la qualité de vie du patient : fermeture de la cavité buccale,

réalisation d'une base solide pour restaurer les fonctions, redonner une symétrie au visage et permettre un soutien oculaire dans le cas d'une atteinte du plancher de l'orbite (6).

Ces solutions thérapeutiques ne sont pas en compétition mais complémentaires. C'est pourquoi on parle de « symbiose chirurgico-prothétique » (1) . La réhabilitation maxillo-faciale a donc également un véritable objectif psychologique : on peut parler de « prothèse psychothérapique » (12).

La prothèse maxillo-faciale (PMF) se définit comme l'art et la science de la reconstruction artificielle de pertes de substance acquises ou congénitales du massif facial. Elle consiste au remplacement de structures stomatognathiques et/ou cranio-faciales, en reproduisant sa forme et ses fonctions pour une réhabilitation globale dynamique (7) . Son champ d'activité se situe à l'interface de disciplines médico-chirurgicales et odonto-stomatologiques (1).

Les obturateurs maxillaires appartiennent à la grande famille des ecto-prothèses, ces prothèses endo-orales interviennent dans le cas de pertes de substance maxillaire pour une réhabilitation esthétique, fonctionnelle et une prise en charge psychologique essentielle.

b. Réhabilitation par prothèse obturatrice

La prothèse obturatrice est un dispositif artificiel de remplacement ayant pour but la fermeture étanche d'une communication bucco-nasale et/ou sinusienne afin de rétablir une fonction et une esthétique adaptées. (16,18).

Elle est indiquée dans les cas de contre-indications à la chirurgie pour raisons médicales, financières ou géographiques, de complément ou d'échec à la chirurgie de reconstruction, ou tout simplement de refus de la part du patient. (31).

Pour ce faire, toute prothèse obturatrice est constituée de deux parties : une plaque palatine surmontée d'un obturateur (souple ou rigide) permettant de combler la perte de substance palatine (18).

Différentes prothèses obturatrices peuvent être réalisées en fonction du moment où le patient est adressé vers le spécialiste maxillo-facial : on distingue la prothèse immédiate, la prothèse semi-immédiate, la prothèse transitoire et la prothèse d'usage (8,9,11) :

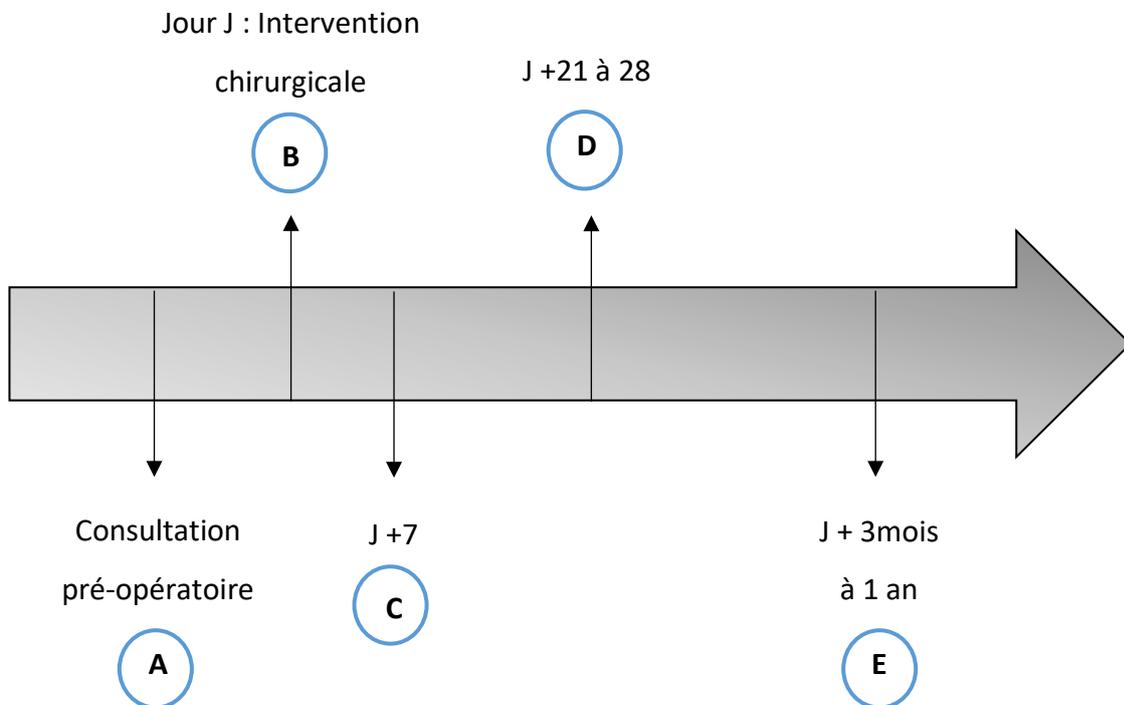


Figure 1 : Frise chronologique de prise en charge maxillo-faciale

A. Consultation pré-opératoire

La prise d'empreinte et l'enregistrement du rapport inter-maxillaire sont réalisés avant la résection chirurgicale. La simulation de la résection palatine sur modèle permet la réalisation d'une prothèse obturatrice immédiate, qui sera modifiée le jour de l'intervention.

B. Jour J : Intervention chirurgicale

Une fois la résection maxillaire réalisée, la prothèse immédiate est insérée en bouche après modification. Elle permet la réhabilitation des fonctions orales le plus tôt possible, le soutien des tissus mous afin de prévenir une fibrose, participer à l'hémostase, protéger la plaie et éviter les risques de contamination. Elle peut être laissée en place 3 à 4 semaines après l'intervention.

C. J+7

Dans le cas où une prothèse immédiate n'a pu être posée le jour J, il est possible de confectionner une prothèse obturatrice semi-immédiate ; elle présente les mêmes avantages que l'immédiate, mais impose au patient une alimentation par voie parentérale durant la semaine qui suit l'intervention chirurgicale.

D. J+21 à 28

C'est la période correspondant à la réalisation de la prothèse transitoire. C'est une prothèse évolutive durant toute la durée de la cicatrisation et intervient en général pendant la radiothérapie, elle assure l'étanchéité maxillaire, a un rôle de guide cicatriciel et de simulation du projet prothétique d'usage.

E. J+3 mois à 1 an

La réalisation de la prothèse obturatrice d'usage n'intervient que 3 mois à 1 an après l'intervention chirurgicale car nécessite un arrêt des remodelages des tissus mous bordant la perte de substance. La réalisation de la prothèse d'usage peut être envisagée après épithélialisation muqueuse complète, en l'absence de séquestre osseux et d'infection.

RÉHABILITATION PROTHÉTIQUE (1,6,16,20,21)

AVANTAGES	INCONVENIENTS	FACTEURS DECISIONNELS
<ul style="list-style-type: none"> - Réhabilitation fonctionnelle et esthétique immédiate et de bonne qualité. - Aménage le schéma occlusal. - Tétrade prothétique (étanchéité et triade de Housset) - Reproduction fidèle. - Ne retarde pas les thérapeutiques secondaires. - Surveillance oncologique aisée. - Faible coût. - Amélioration de la qualité de vie du patient. 	<ul style="list-style-type: none"> - Perte de substance visible par le patient. - Fuites alimentaires, phonation hyper nasale à cause de problème d'étanchéité. - Écoulement de fluides - Maintenance lourde - Problème esthétique si manque de coordination entre chirurgien et prothésiste. - Problèmes mécaniques si prothèse instable ou pas suffisamment rétentive en cas de pertes de substance très étendues ou chez des patients totalement édentés. - Retouches régulières 	<ul style="list-style-type: none"> - Perte de moins de 50% de la surface palatine dure et persistance du palais antérieur et canines maxillaires (13 et 23).

L'objectif final réside dans une réhabilitation satisfaisant patient, entourage et équipe médicale afin de permettre un bien être psychologique et une réintégration sociale (1,6).

3. Obturateurs palatins : Surfaces d'appui et rétention

Les prothèses obturatrices d'usage peuvent se distinguer par la nature de leur obturateur palatin, on trouve :

- Des obturateur rigides, en résine, solidarisés à la plaque palatine, souvent évidés afin de diminuer le poids de l'ensemble prothétique. Ils sont indiqués lorsque le patient est denté, dans le cas de pertes de substance limitées et en absence de limitation d'ouverture buccale. Ce type d'obturateur n'exploite pas les contre-dépouilles de la perte de substance mais présente comme avantages une facilité d'entretien, une pérennité et une possibilité d'adaptation dans le temps.
- Des obturateurs souples, en silicone indiqués chez les patients édentés complets en l'absence de moyen de rétention, en cas de grande perte de substance, et dans les cas de trismus impliquant la réalisation d'une empreinte fractionnée (technique de Soulet). Ces obturateurs exploitent les contre-dépouilles de la perte de substance afin d'apporter d'avantage de rétention, mais présentent un vieillissement prématuré par colonisation impliquant une réfection régulière (tous les 6-8 mois), un traumatisme muqueux bordant la perte de substance, un entretien délicat et une impossibilité de réparation.

L'obturateur doit s'adapter aux contours de la perte de substance en pénétrant le moins possible dans celle-ci (8,10).

Lorsque l'obturateur cherche à exploiter les contre-dépouilles de la perte de substance, plusieurs surfaces d'appui sont disponibles pour améliorer la rétention : l'os maxillaire et l'os palatin composant le palais dur (*figure 4*).

L'étage moyen de la face, complexe, est bordé par la région orbitaire et l'arcade dentaire supérieure, et est constitué d'une multitude d'os et de cavités aériques telles que les sinus

maxillaires annexés aux fosses nasales, les cavités orbitaires, ainsi que les cellules ethmoïdales.

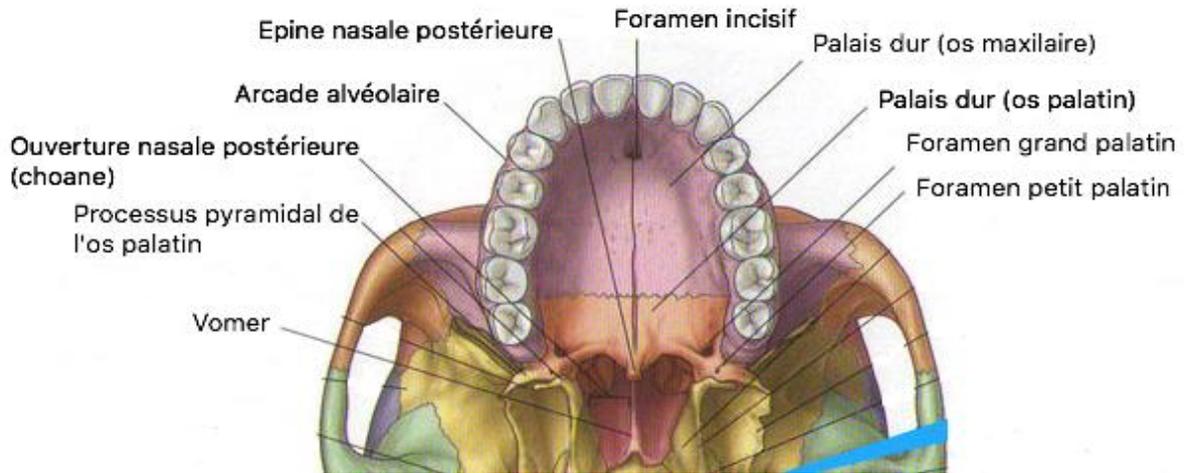


Figure 2 : Schéma de la vue caudale du squelette cranio-facial (22)

Le maxillaire est un os pair, c'est la pièce maîtresse du massif facial fixe. Il s'apparente à un polyèdre à six parois comportant des piliers verticaux qui sont des zones de renforcement lors de la mastication reliant l'arcade alvéolo-dentaire à la base du crâne (6). Le maxillaire permet la séparation de la cavité buccale avec les fosses nasales et les cavités orbitaires (20). Les sinus maxillaires sont les plus grands des sinus para-nasaux, de formes variables, ils se situent latéralement aux fosses nasales et sont limités en haut par le plancher de l'orbite, en bas par l'arcade alvéolaire supérieure.

L'os palatin est un petit os pair composé d'une lame verticale et d'une lame horizontale participant à la formation du tiers postérieur du palais dur, situé dans le prolongement du processus palatin de l'os maxillaire (23).

Finalement, le processus palatin de l'os maxillaire, la lame horizontale de l'os palatin et la paroi inférieure des sinus maxillaires sont autant de surfaces d'appui pouvant être utilisées pour améliorer la rétention d'un obturateur. Lorsque que l'obturateur n'est pas assez rétentif,

l'implantologie peut être une option avec la mise en place d'implants au niveau du maxillaire résiduel, dans les os maxillaires ou zygomatiques (24).

Malgré toutes les techniques de réhabilitation à notre disposition et les précautions prises au cas par cas, certaines reconstructions ne sont pas toujours satisfaisantes. Notre prise en charge peut toujours être améliorée et devenir d'avantage prédictible, notamment grâce à l'avènement de l'informatique. Planification, conception assistées par ordinateur et prototypage rapide sont autant de nouveautés permettant la création de modèles tridimensionnels et de pièces prothétiques sur mesure.

II. APPORT DE LA CFAO EN PROTHESE MAXILLO-FACIALE

1. CFAO : Rappels

La CFAO est un terme associant deux concepts : la conception assistée par ordinateur et la fabrication assistée par ordinateur.

Globalement l'application pratique de la CFAO nécessite 3 étapes afin de mettre en place un flux numérique ou « digital workflow » (25).

La numérisation des données constitue la première étape : elle permet une acquisition de données géométriques transformées en données informatiques et qui seront traitées par un logiciel de conception. Les données des patients peuvent provenir d'imageries médicales (Cone beam, tomodensitométrie, IRM) ou directement de la cavité buccale du patient. Dans ce cas, l'acquisition numérique passe par l'utilisation d'une caméra optique (méthode ondulatoire) et permet la numérisation des tissus directement en bouche, d'une empreinte conventionnelle (modèle négatif) ou d'un modèle positif coulé après empreinte (26). Cette empreinte optique permet de s'affranchir des techniques d'empreintes conventionnelles désagréables, angoissantes et douloureuses pour le patient, et complexes pour le praticien avec risques de fusées de matériaux dans la perte de substance (27).

La conception arrive ensuite (CAO), il s'agit de modéliser un objet en trois dimensions à partir de l'acquisition numérique, à l'aide d'un logiciel adapté. Une étape de segmentation des données sera essentielle en amont pour obtenir des reconstructions 3D volumiques ensuite exportées sous un format de maillage. Le format STL (Standard Tessellation Language) est le format neutre et universel. Si les imageries médicales du patient sont utilisées, une transformation du format DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) en format STL sera nécessaire pour permettre l'étape de conception puis la fabrication tridimensionnelle (28).

La reconstruction tridimensionnelle des données du patient est appelée « réalité augmentée » tandis que la modélisation d'un objet à partir de l'acquisition, et la complétant est appelée « réalité virtuelle ».

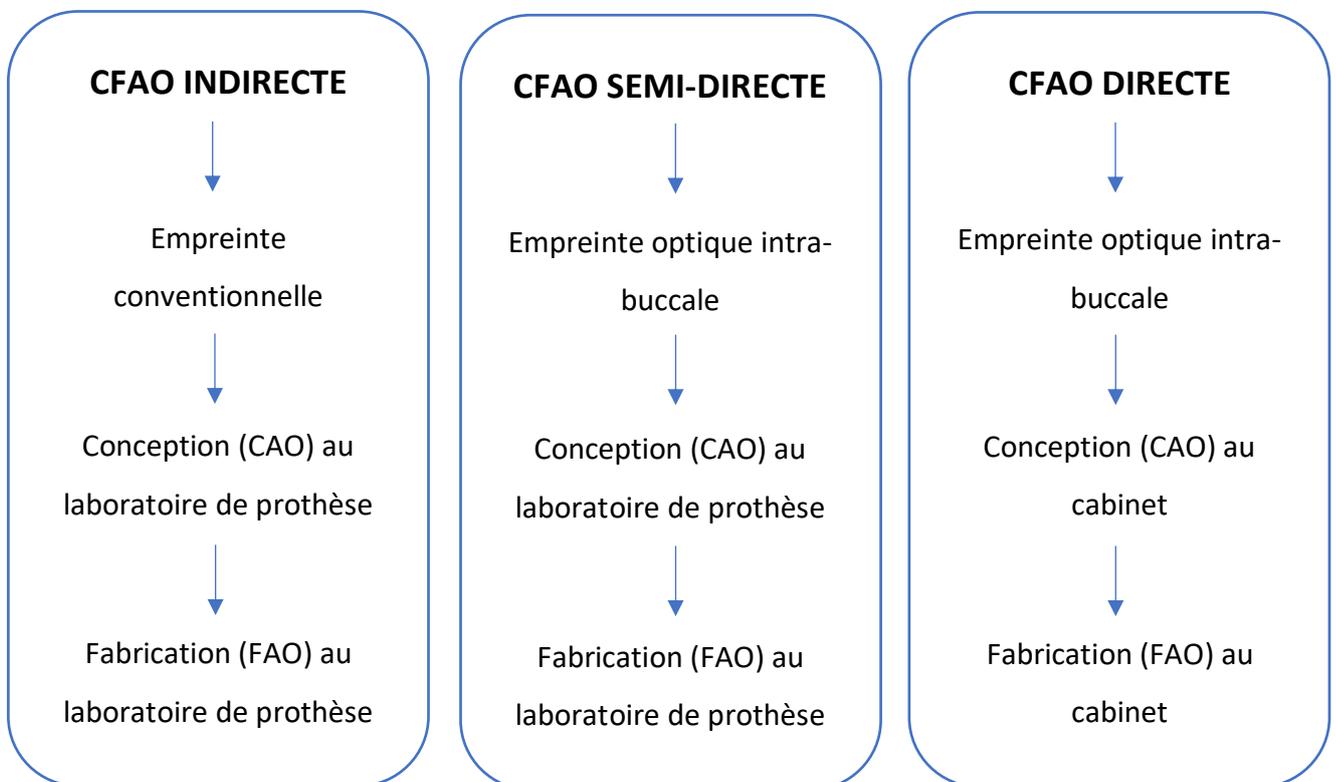
Enfin intervient l'étape de fabrication assistée par ordinateur (FAO) de l'objet modélisé. L'utilisation des outils informatiques permet de planifier, gérer et contrôler la fabrication par addition ou soustraction. La fabrication par soustraction consiste à usiner des blocs de divers matériaux à l'aide de fraises, et suivants 3, 4 ou 5 axes afin de lui donner la forme désirée. La fabrication par addition est différente ; l'objet modélisé est d'abord divisé informatiquement en fines couches. Puis lors de la fabrication, c'est l'ajout de couches successives, les unes sur les autres, qui permet la création de l'objet final. On peut parler « d'impression 3D », « de fabrication digitale directe », de « prototypage rapide » ou encore de « fabrication en couches » (29).

Le tableau suivant résume les différentes techniques de fabrication additive, leurs principes et les matériaux concernés par leurs applications : (26,28–30)

TECHNIQUE	PRINCIPE	MATERIAUX UTILISÉS
STEREOLITHOGRAPHIE	Photopolymérisation de strates successives de résine liquide photosensible suivant l'impact du trajet d'un faisceau laser.	- Résines Photopolymérisables
IMPRESSION 3D	Impression de jet de gouttes couche par couche sur support, suivi ou non d'une polymérisation en fonction du matériau utilisé.	- Cires (technique de cire perdue) - Résines - Silicones

<p>FRITTAGE LASER</p>	<p>Poudre soudée couche par couche sous l'effet d'un faisceau laser, avec solidarisation des couches entre elles.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Métaux (Titane, CoCr) - Composites - Céramiques - Cires
<p>DEPOT DE FIL FONDU</p>	<p>Extrusion à partir d'une buse de filament de matériau autopolymérisable, déposé couche par couche sur un support.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Matériaux thermoplastiques, plus ou moins souples

Il existe 3 chaînes de CFAO : directe, semi-directe ou indirecte. Ce qualificatif est attribué en fonction du niveau d'intervention du prothésiste au sein de ce digital workflow.



La CFAO indirecte n'entraîne pas de changement dans la pratique du chirurgien-dentiste car l'empreinte reste physico-chimique. C'est au prothésiste de réaliser l'acquisition numérique du modèle en plâtre ou bien de l'empreinte elle-même puis de réaliser la conception de la prothèse ainsi que sa fabrication. Le patient peut donc bénéficier de ce flow numérique sans investissement de la part du praticien mais l'empreinte conventionnelle reste une source potentielle d'erreur car opérateur-dépendant.

La CFAO semi-directe fait intervenir à la fois le chirurgien-dentiste qui réalise l'acquisition numérique des données par l'intermédiaire d'une empreinte optique, et le technicien de laboratoire qui se charge de la conception et de la fabrication assistées par ordinateur de la prothèse après réception des données par internet. Il y a donc un gain en temps avec une simplification de réalisation et en précision, avec un partage des frais entre praticien et laboratoire de prothèse. La précieuse collaboration avec le prothésiste est maintenue afin d'apporter son expérience et sa technicité dans des cas simples et complexes.

La CFAO directe, aussi appelée « chairside » ou « au fauteuil ». Elle est intéressante de par la possible réalisation d'une pièce prothétique en une séance unique au fauteuil. Le praticien est équipé d'une caméra optique, d'une unité de modélisation et d'usinage pour la réalisation de cas simples (inlays, onlays, couronnes unitaires, facettes ou chips, bridge de faible étendue). Le praticien reste décisionnaire, gagne du temps dans sa pratique mais doit faire face à un investissement initial conséquent (31,32).

Ce flux numérique présente des avantages : traitements plus rapides et moins invasifs pour nos patients, meilleur rendement, gain en précision, suppression des étapes opérateurs dépendantes potentielles sources d'erreurs, baisse de la pénibilité du travail, archivage peu encombrant et stockage inaltérable. Mais comme toute nouvelle technologie, l'investissement initial lourd, l'apprentissage nécessaire des logiciels et du métier de prothésiste, l'esthétique encore insuffisante de certains matériaux sont autant de facteurs à prendre en considération (26,30,33).

2. Applications en PMF

De nombreux articles mettent en évidence l'intervention de la CFAO lors de prises en charge maxillo-faciales. Seules certaines étapes peuvent être concernées par cette irruption numérique, c'est parfois l'ensemble de la thérapeutique qui devient digitale.

La chirurgie maxillo-faciale peut dans un premier temps être concernée par la CFAO avec la simulation de la future résection à partir d'une tomographie initiale, permettant la création de guides de résection et de reconstruction à l'aide de logiciels adaptés, ainsi qu'une planification implantaire pour des réhabilitations avec une précision, une reproductibilité et une sécurité augmentées (30,34).

Des porte-empreintes individuels peuvent être conçus et fabriqués à partir d'une imagerie médicale (tomodensitométrie, cone beam) afin de faciliter la prise d'empreinte dans le cas de pertes de substance, afin de réaliser une empreinte secondaire de qualité (35).

La CFAO n'est pas encore généralisée et souvent utilisée ponctuellement. De nombreuses études l'utilisent afin d'imprimer tri dimensionnellement les modèles positifs de pertes de substance maxillaires à partir d'empreintes optiques, de CBCT, de tomodensitométries ou encore de l'association de deux imageries pour plus de précision. Les étapes de conception et de fabrication étant réalisées à partir des techniques conventionnelles par le technicien de laboratoire (wax up en cire, mise en moufle, cire perdue...) (36–40).

De la même façon, l'ébauche d'un obturateur palatin peut être directement imprimé en 3D, suivi d'un rebasage en bouche et d'une confection finale traditionnelle (41).

Dans les cas de réalisation de prothèses obturatrices, le châssis métallique de la prothèse peut être imprimé en résine ou en cire afin de permettre un essai en bouche permettant

d'éventuelles retouches avant la phase de fabrication finale par technique de cire perdue (42–44), ou bien, être fabriqué en 3D directement après la conception, par les techniques de frittage laser utilisant notamment comme alliage le Cobalt-chrome (45).

Quelques rares articles mettent en évidence un workflow complètement digital, de l'acquisition numérique des données à la fabrication de la prothèse. C'est notamment le cas de *Kortes et al.* qui simule la future résection oncologique à partir de la fusion d'un IRM et d'un CBCT pré-opératoires, réalise la conception et l'impression 3D d'un obturateur chirurgical associé à une plaque palatine, utilisé directement en per-opératoire (46).

D'autres publications illustrent des cas de flux complètement numérique : impression 3D d'un obturateur chirurgical à partir d'une tomographie pré-opératoire (47,48), conception et fabrication assistées par ordinateur d'une prothèse obturatrice (châssis métallique et balle obturatrice) à partir d'une empreinte optique (49), réalisation d'épithèses (prothèses auriculaire, nasale, oculaire, jugale) en comparant des logiciels ouverts et fermés (27).

Enfin, les situations d'urgence dans les cas de prothèses fracturées ou perdues ont également leur place dans le flux numérique. La création de bases de données par la numérisation de prothèses déjà existantes permettent une réfection rapide en cas de besoin (50,51).

Les applications de la CFAO en PMF sont donc diverses et variées, mais les exemples de workflow complètement digitaux demeurent encore rares et peu représentés, notamment pour la réalisation d'obturateurs d'usage.

3. Logiciels de CFAO

De nombreux logiciels de visualisation, conception et fabrication assistées par ordinateur existent. Il convient de présenter les principaux, fréquemment cités dans diverses publications : (52–55)

a. Logiciels de planification et de visualisation

- **ProPlan CMF 3.0** : logiciel de planification de chirurgie cranio-maxillo-faciale, possibilité de superposition à la fois d'empreinte dentaire avec des imageries médicales afin de créer des guides chirurgicaux précis.

- **Horos project et Osirix** sont deux logiciels permettant la visualisation d'imageries, suivant divers axes et coupes ainsi que le processus de segmentation.

- **Mimics software** : très largement cité dans la bibliographie, logiciel de traitement d'image 3D, de visualisation et segmentation. Très simple d'utilisation pour permettre la reconstitution 3D de la région d'intérêt après sélection, puis son exportation au format STL pour le prototypage rapide.

b. Logiciels de modélisation et de préparation au prototypage rapide

- **Geomagic software** : logiciel de modélisation.

- **3 Matic design software** : logiciel de modélisation 3D, permet l'optimisation de l'impression 3D par des étapes de texturation et de remaillage.

- **Meshmixer** : logiciel ouvert de modélisation 3D très complet, permet la préparation des maillages. Optimisation des impressions par simplification du maillage avec des outils de lissage et de remodelage. Ne permet pas la création intégrale d'un objet 3D mais la modification de modèles préexistants. Permet la superposition et fusion de plusieurs données numériques (imageries médicales) et est adapté aux utilisateurs intermédiaires.

- **Meshlab** : logiciel de traitement de maillage pour manipulation et édition de modèles 3D. Peut également être utilisé pour la fusion manuelle de deux imageries médicales.

- **Blender** : logiciel gratuit open source, de modélisation et d'animation 3D, logiciel professionnel complexe d'utilisation. Permet la création de maillages adaptés à l'impression 3D avec possibilité de réparation pour impression optimale.
- **Objet Studio software** : logiciel de prototypage rapide, a pour rôle l'exportation de fichiers de conception assistée par ordinateur en format .STL pour impression 3D, génère automatiquement le support d'impression.
- **Netfabb** : logiciel payant d'impression 3D, optimise la qualité des fichiers STL avant impression, génère des supports d'impression 3D.

III. APPLICATION CLINIQUE

1. Présentation du cas clinique de Monsieur B.

Monsieur B. est un patient âgé de 68 ans, reçu en consultation pour la première fois en juin 2016 au service d'Odontologie de l'hôpital Saint André à BORDEAUX.

Ce dernier présente comme antécédent médical un lymphome traité par chimiothérapie, avec une métastase à localisation buccale. Une chirurgie résectrice a été décidée, entraînant une perte de substance palatine avec communication bucco-naso-sinusienne. Cette perte de substance concerne le palais dur dans sa portion centrale ainsi que le secteur 1 avec l'absence de 11, 15, 16 et 17 (*figures 3 et 4*). L'extraction de 26 a été indiquée (a posteriori de la prise de photographies intra-buccales) à cause d'une carie corono-radriculaire juxta-osseuse.



Figure 3 : Photographie intra-buccale de l'arcade maxillaire et de la PDS par le Dr BOU Christophe



Figure 4 : Photographie intra-buccale du patient en occlusion par le Dr BOU Christophe

Cette perte de substance correspond à une classe II selon la classification d'Aramany avec persistance du prémaxillaire côté droit, ou à une classe IIb.i selon la classification de Pomar et al. avec une atteinte de l'infrastructure dans le sens vertical et un édentement partiel.

Monsieur B. était suivi en libéral et possède une prothèse obturatrice (*figure 5*) afin de retrouver fonction, esthétique et confort psychologique suite à la chirurgie d'exérèse.

Cette prothèse est composée d'une plaque palatine avec châssis métallique comportant des dents prothétiques pour remplacer les édentements et des crochets sur 14, 26 et 27 permettant d'assurer notamment la rétention, surmontée d'une portion obturatrice en résine rigide (polyméthacrylate de méthyle) solidarisée à la prothèse amovible partielle.

Cette prothèse n'étant plus adaptée en bouche (hiatus postérieur) avec un manque de rétention et stabilisation liées à l'absence de 26, une réfection était indiquée.

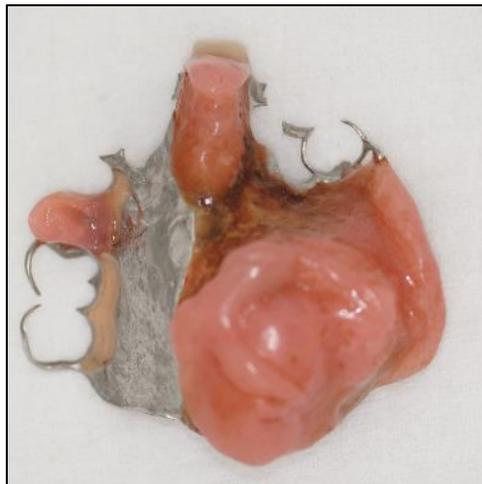


Figure 5 : Photographie de la prothèse obturatrice du patient par le Dr BOU Christophe

2. Rappels des protocoles d'acquisition et objectif de l'étude

Notre travail succède celui d'une thèse ayant pour objet la comparaison de la précision et de la faisabilité clinique entre différents modes d'acquisition des données : empreinte conventionnelle à l'alginat, tomodensitométrie suivi d'une segmentation 3D et empreinte optique.

C'est une tomodensitométrie de contrôle (*figure 6*) qui a été utilisée lors de cette étude, la segmentation manuelle réalisée sur le logiciel ITK Snap a permis la reconstruction 3D de la région d'intérêt au niveau de l'étage moyen de la face. Le fichier STL obtenu a été modifié

sur le logiciel MeshLab afin d'optimiser sa densité de maillage et donc la qualité de la future impression 3D (figure 7).



Figure 6 : Coupe sagittale (à gauche) et horizontale (à droite) de la perte de substance sur tomodensitométrie, par le Dr BOU Christophe et le Dr POURKIER Adeline

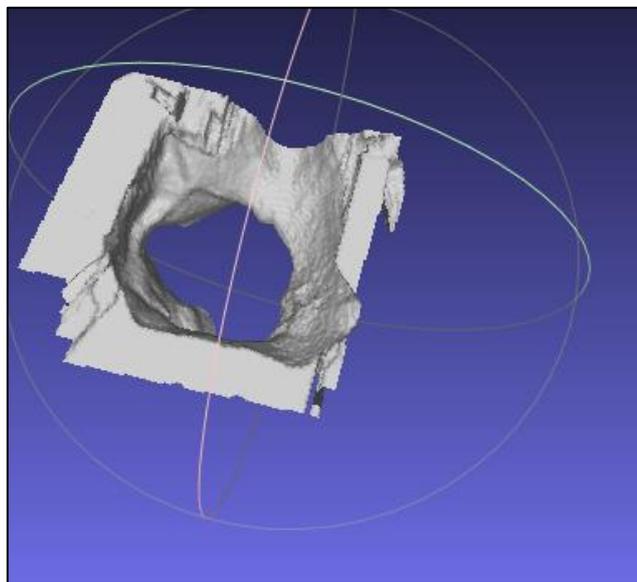


Figure 7 : Fichier STL final, par le Dr BOU Christophe et le Dr POURKIER Adeline

En ce qui concerne l’empreinte optique, c’est la caméra Trios de la société 3shape qui a été retenue. Une reconstruction surfacique de la perte de substance est obtenue suite à la

numérisation des données, en format STL compatible avec l'impression 3D. Deux empreintes successives ont été réalisées afin d'enregistrer à la fois les dents résiduelles sur l'arcade et les parois bordant la perte de substance, dont la paroi postérieure très difficile à enregistrer. La fusion des deux fichiers sur MeshLab a permis l'obtention d'un fichier plus précis, bien que le bord postérieur de la perte de substance demeure incomplet (*figure 8*).

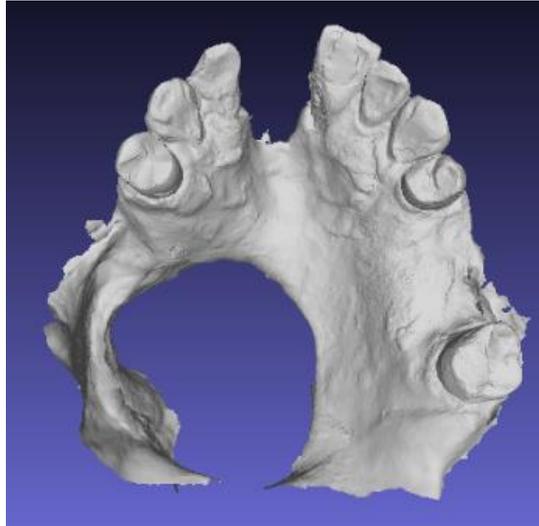


Figure 8 : Reconstruction surfacique de la PDS par empreinte optique,

Par le Dr BOU Christophe et par le Dr POURKIER Adeline

En comparant les différentes acquisitions et les fusionnant les unes avec les autres, c'est donc la fusion de la tomodensitométrie et de l'acquisition par caméra optique qui semble la plus précise. L'empreinte optique permet un bon enregistrement des dents, crêtes alvéolaires, palais antérieur et muqueuse bordant la perte de substance, tandis que le scanner permet un meilleur enregistrement de la perte de substance en elle-même.

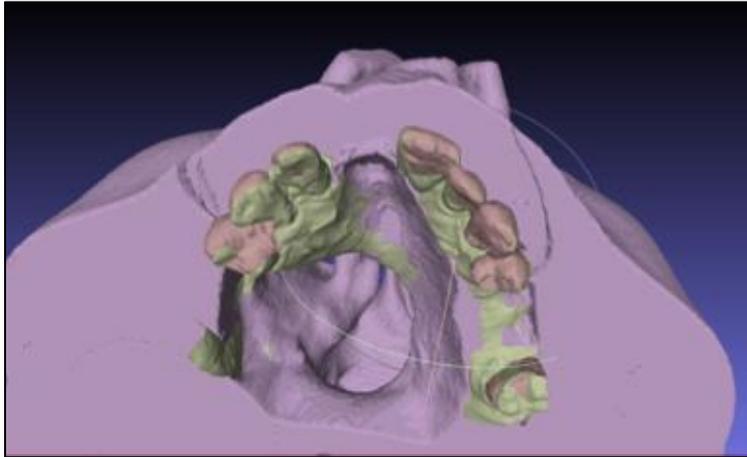


Figure 9 : Acquisition finale issue de la fusion entre scanner et empreinte optique, par le Dr BOU Christophe et le Dr POURKIER Adeline

L'objectif de notre travail consiste donc à réaliser, à partir de la fusion de l'ensemble des acquisitions des données du patient, un obturateur palatin souple d'usage, directement adapté à la perte de substance palatine, indépendant de la prothèse amovible par un workflow complètement digital avec conception et fabrication assistées par ordinateur, suivi d'une évaluation clinique afin de tester son adaptation et son étanchéité.

3. Protocole d'étude : réalisation de l'obturateur palatin par CFAO

Notre protocole expérimental se décompose en 3 étapes successives : une étape de fusion des acquisitions de la perte de substance, une étape de conception de l'obturateur et enfin de fabrication assistée par ordinateur.

a. Fusion des acquisitions

L'objectif est d'obtenir un fichier final complet et précis, résultat de la fusion des deux acquisitions par empreinte optique (Trios de 3shape), de l'empreinte conventionnelle à l'alginate et enfin du scanner.

Le logiciel MeshLab est intéressant pour réaliser ce type de manipulation.

Grâce à l'outil « *Align tool* », la superposition des fichiers est réalisée en choisissant 4 points de référence, fixes et précis ; c'est pourquoi nous avons décidé de choisir des points de références dentaires.

- Fusion des deux acquisitions par empreinte optique

La fusion des deux acquisitions est nécessaire car ces dernières se complètent ; l'une enregistre la totalité des bords de la perte de substance (dont le bord postérieur délicat à enregistrer), tandis que l'autre enregistre seulement une partie de la perte de substance mais entièrement les dents.

Le protocole est donc le suivant :

- « *Align tool* »
- Sélection du premier fichier : UpperJawScan1
- « *Glue here Mesh* »
- Sélection du second fichier : UpperJawScan2
- « *Point based glueing* » (figure 10)

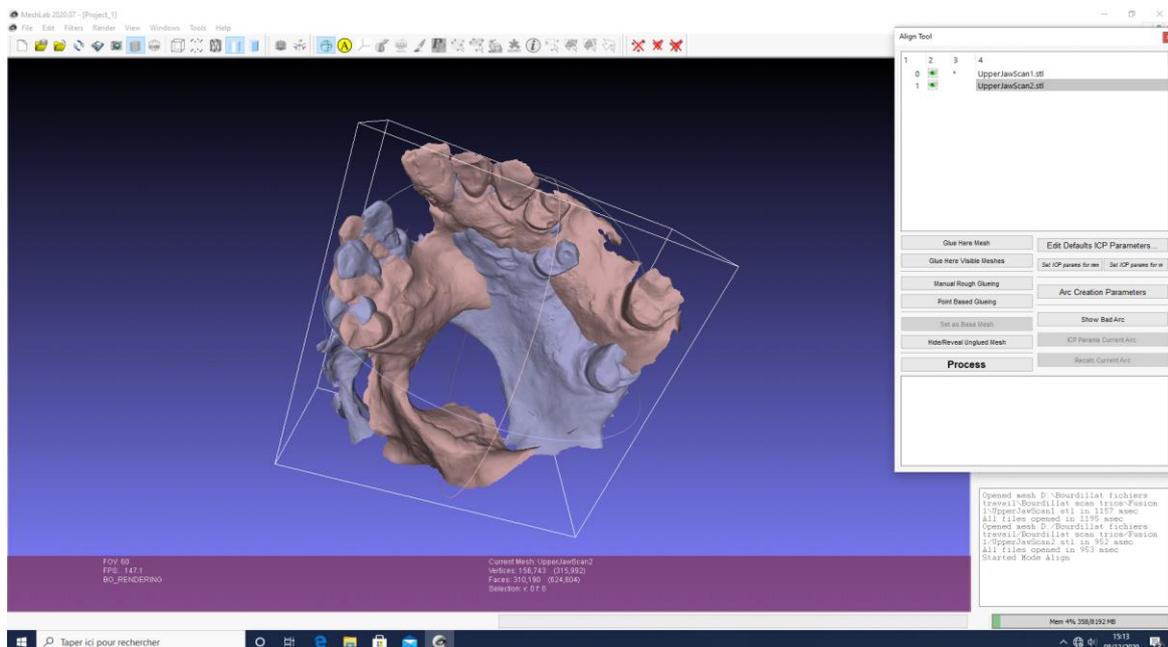


Figure 10 : Visualisation des empreintes optiques dans le logiciel MeshLab – Crédit photo BOUSCAILLOU Camille

Sélection des 4 points de référence pour réaliser la superposition :

- Pointe cuspidienne vestibulaire de 14
- Fraisage cingulaire de 12
- Cingulum de 22
- Sillon occlusal de 24 (*figure 11*)

Aucun point de référence n'a été choisi en postérieur au niveau de 27 car peu reproductible.



Figure 11 : Sélection des points de références dentaires pour superposition – Crédit photo BOUSCAILLOU Camille

- « OK »

La superposition des deux acquisitions est donc réalisée, la fusion est l'étape suivante afin de n'obtenir qu'un seul et unique fichier (*figures 12 à 14*).

- Clic droit sur le premier fichier UpperJawScan1
- « Flatten visible layers »
- « Apply »

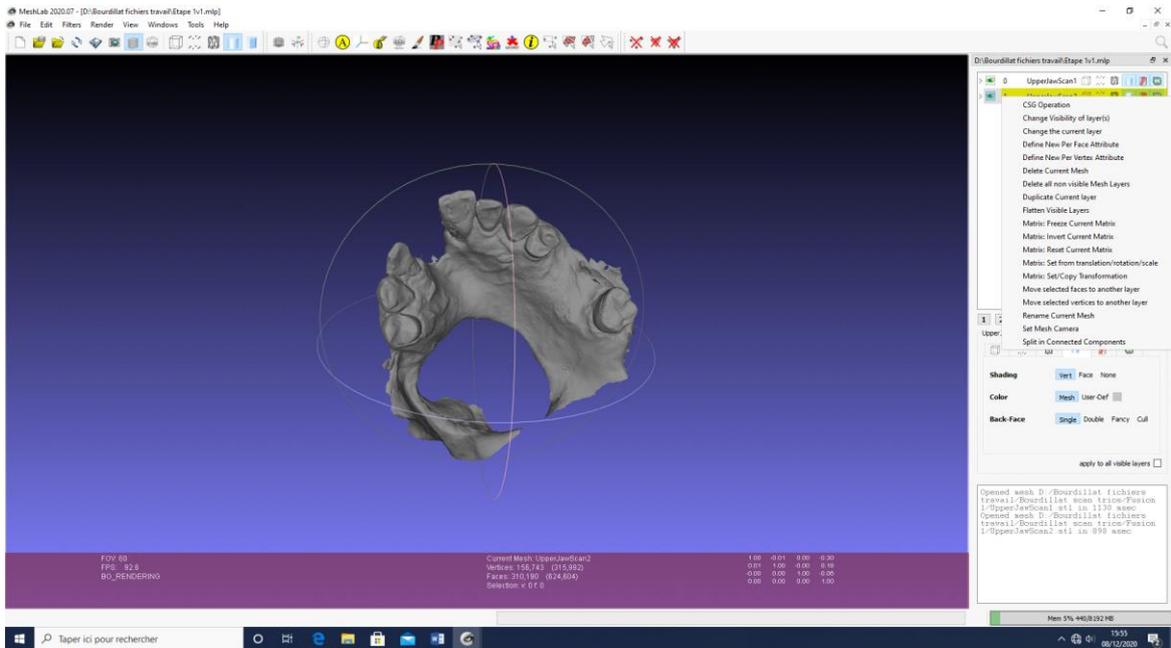


Figure 12 : Fichiers superposés selon 4 points de référence dentaires– Crédit photo BOUSCAILLOU Camille

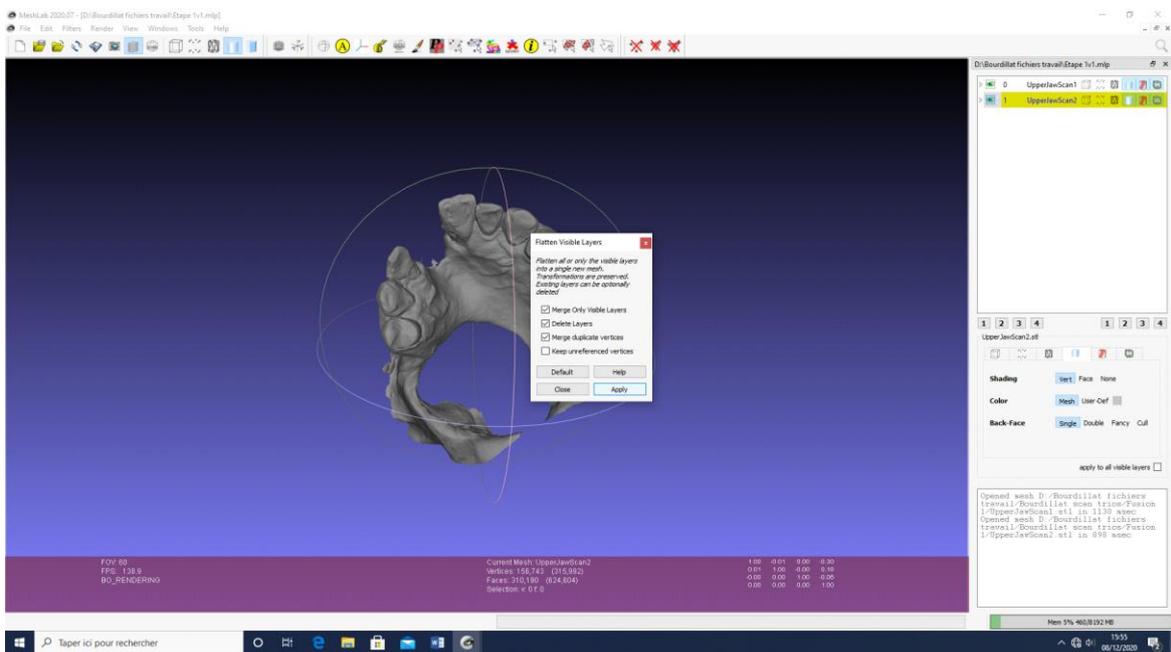


Figure 13 : Manipulation pour fusion des fichiers superposés– Crédit photo BOUSCAILLOU Camille

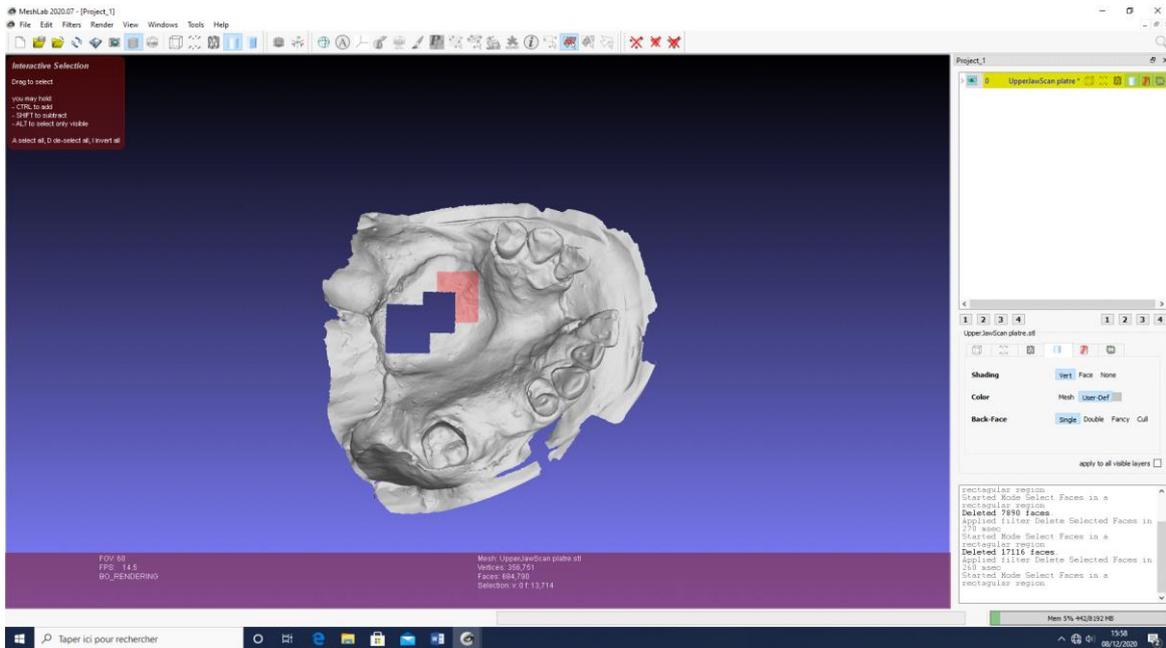


Figure 15 : Sélection et suppression rectangulaire au sein de la perte de substance– Crédit photo BOUSCAILLOU Camille

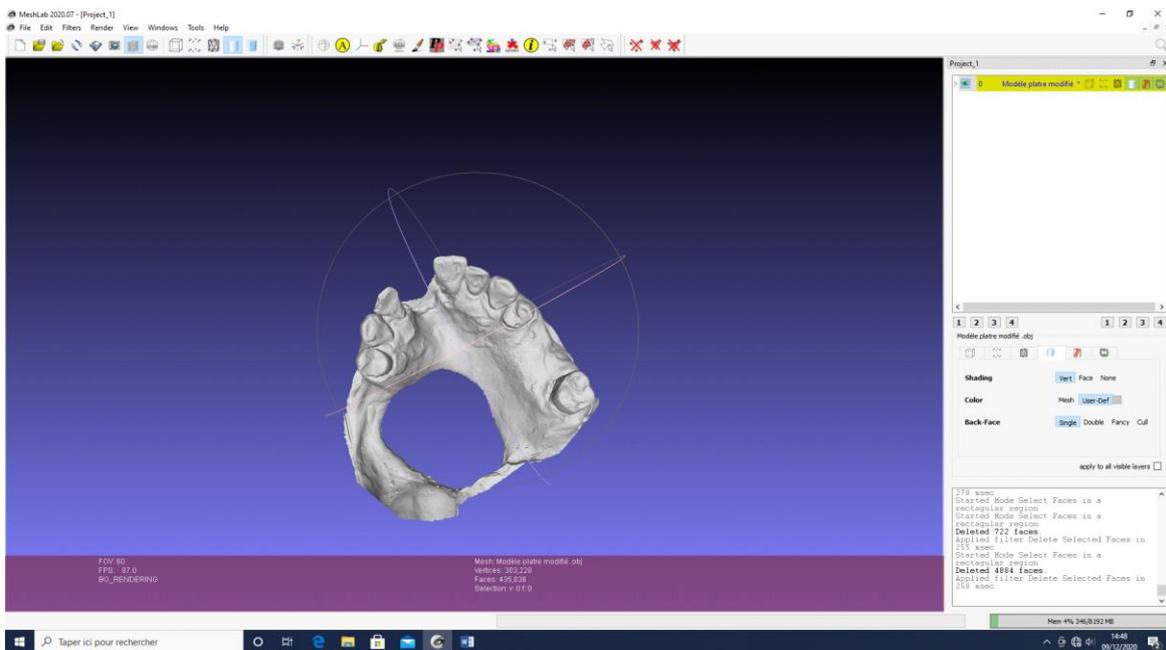


Figure 16 : Modèle en plâtre complètement évidé avec conservation des bords de la PDS– Crédit photo BOUSCAILLOU Camille

La sélection rectangulaire rend cette étape chronophage ; une sélection point par point afin de délimiter la zone à supprimer serait plus rapide tout en conservant un haut niveau de précision.

Une fois le modèle en plâtre complètement évidé au niveau de la perte de substance et détourné, afin d'enlever le plâtre au-delà du fond du vestibule présentant peu d'intérêt dans le cadre de notre travail (*figure 16*), les bords de la perte de substance ont été supprimés avec l'outil « Select faces in a rectangular region » (*figure 17*).

En effet, les bords de la perte de substance présentent une meilleure définition lors de leur enregistrement par empreinte optique et par scanner.

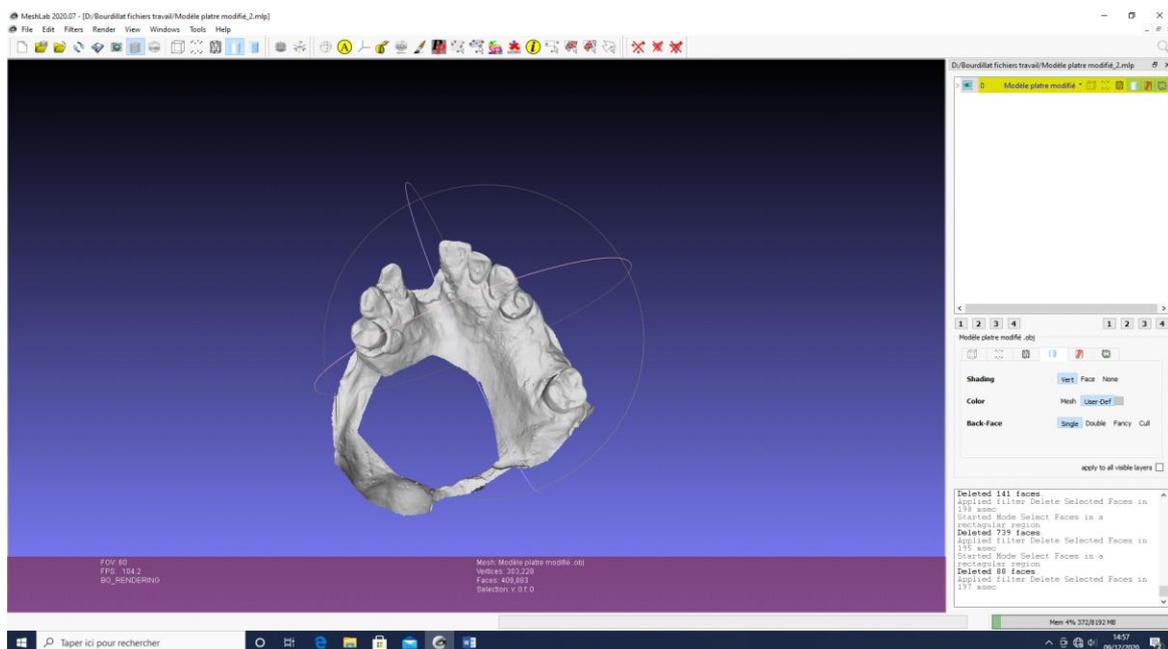


Figure 17 : Modèle en plâtre final détourné avec suppression de la PDS et de ses parois– Crédit photo BOUSCAILLOU Camille

Les étapes de superposition et de fusion sont les mêmes que précédemment avec la sélection de 4 points de référence dentaire : (*figures 18 et 19*)

- Sillon occlusal de 14
- Angle mésial de 12
- Jonction composite/dent sur la face palatine de 21
- Sillon occlusal de 24

La dernière étape concernant la fusion des acquisitions consiste en la superposition et fusion du fichier final obtenu précédemment avec le scanner, pour une définition précise des bords de la perte de substance et des structures de dépouilles/contre-dépouilles.

- Fusion des acquisitions optiques, de l’empreinte conventionnelle et du scanner

On commence tout d’abord par une étape de segmentation du scanner à l’aide du logiciel ITK Snap afin de permettre un reconstitution tridimensionnelle de la région d’intérêt.

Une segmentation cutanée est réalisée en choisissant manuellement une fourchette de densités en unité HOUNSFIELD (UH) incluant les structures osseuses et cutanées de l’étage moyen de la face, incluant la perte de substance palatine (*figures 20 et 21*).

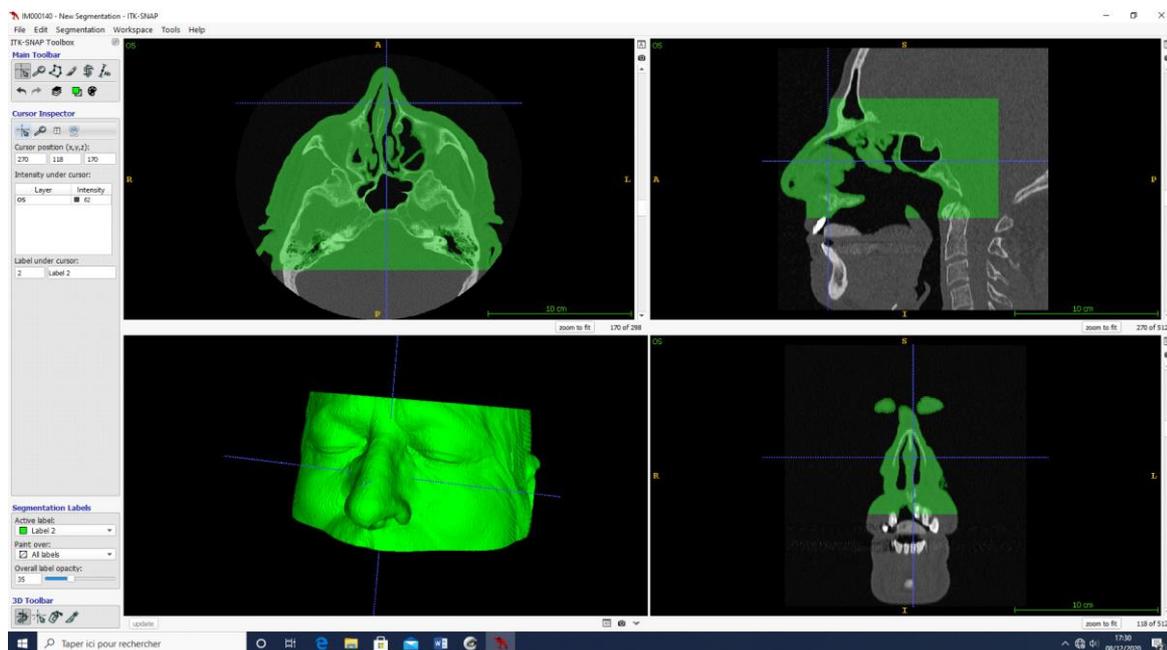


Figure 20 : Segmentation cutanée, vue de face, par le Dr BOU Christophe

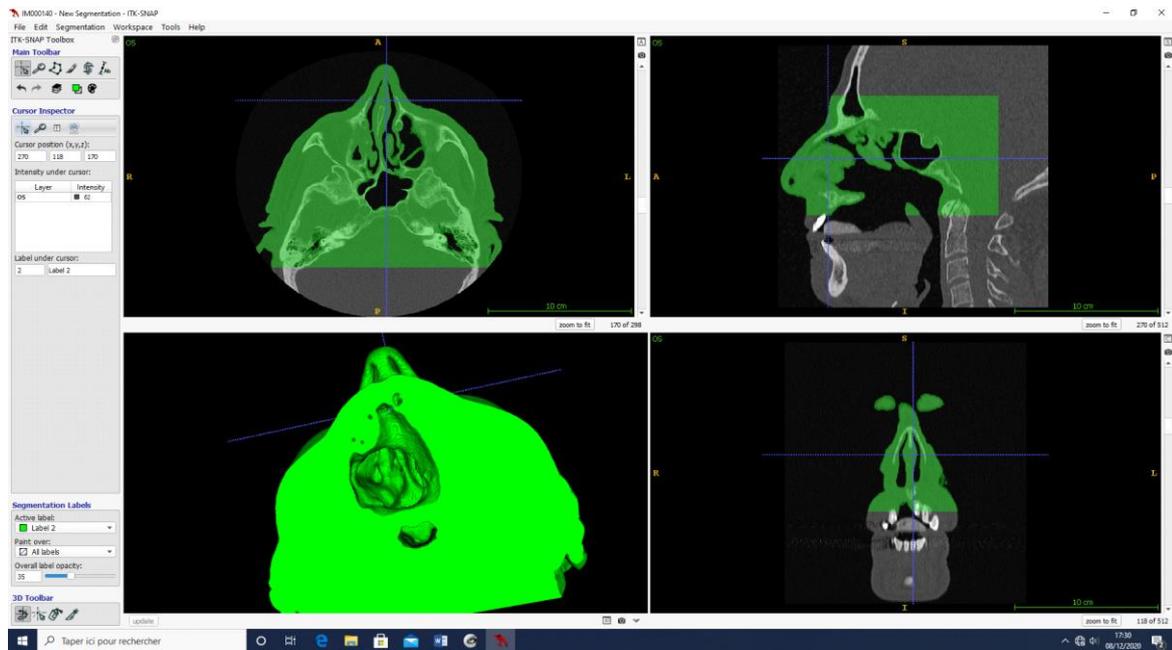


Figure 21 : Segmentation cutanée, vue caudale de la perte de substance, par le Dr BOU Christophe

Cependant, cette segmentation est insuffisante pour permettre une superposition précise et reproductible avec le fichier précédemment obtenu car les dents – soit les points de référence- sont absentes.

C'est pourquoi une segmentation différentielle est réalisée, dentaire cette fois-ci.

- Sélection de la région d'intérêt dentaire en pointillés rouges (*figure 22*)
- Sélection manuelle de la fourchette de densités : 1290 – 3071 UH
- Ajout de « bubble » au niveau de chaque dent sur la portion coronaire et radulaire pour permettre une segmentation automatique rapide. Une fois l'extension de chaque « bubble » terminée, la segmentation différentielle est réalisée (*figure 23*).
- « Update » : actualisation de la segmentation initiale par ajout de la segmentation différentielle dentaire (*figure 24*), apparait en bleu.
- « Export surface mesh »
- « as 1 mesh » afin d'enregistrer ces deux segmentations comme fichier unique.

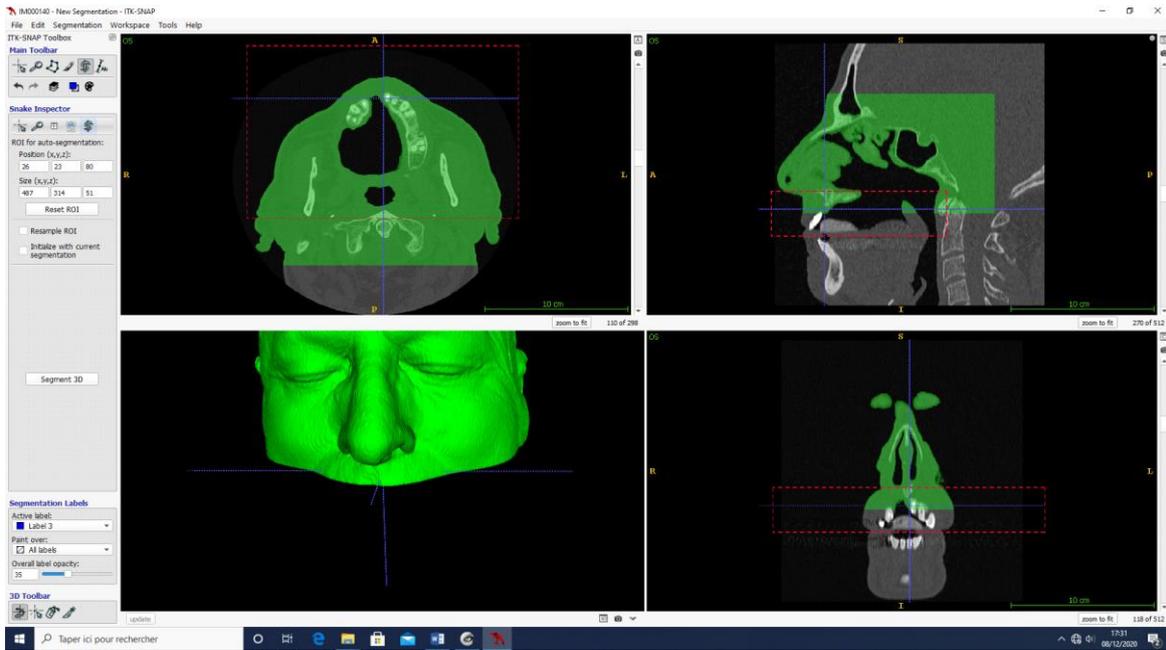


Figure 22 : Sélection de la région d'intérêt pour segmentation dentaire par le Dr BOU Christophe

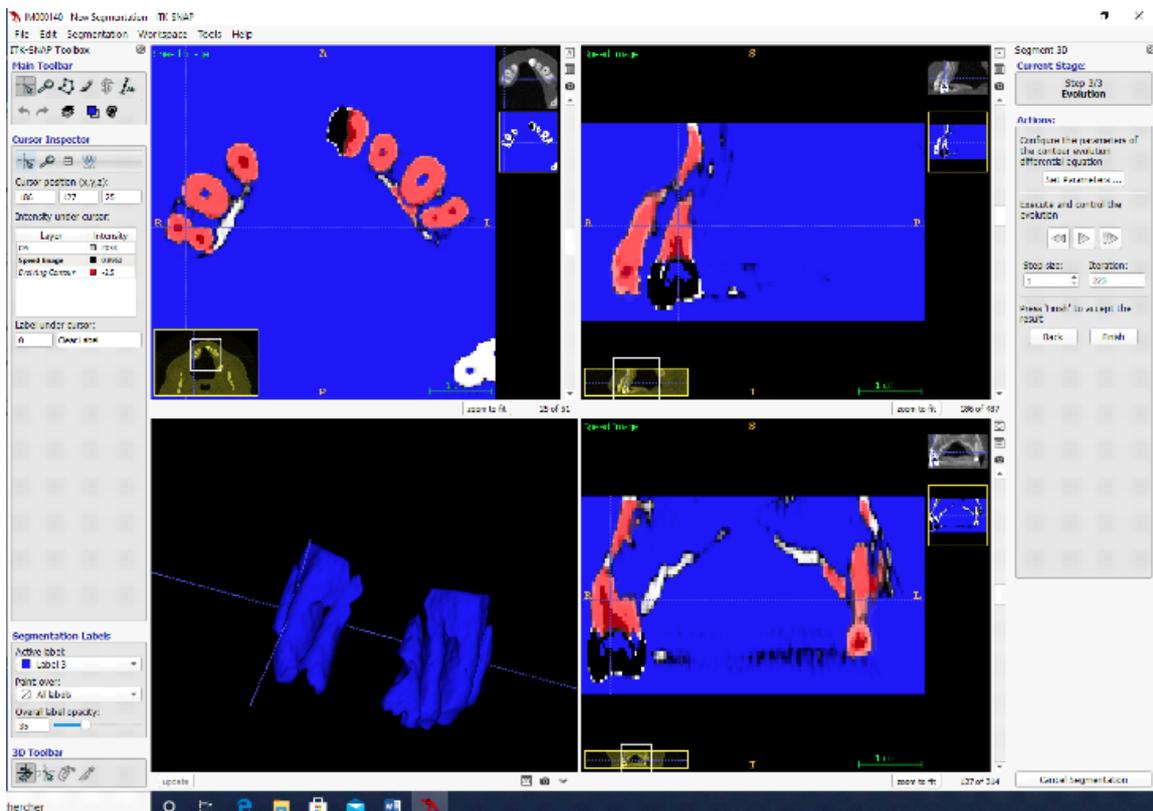


Figure 23 : Segmentation différentielle par extension des "bubbles" dentaires par le Dr BOU Christophe

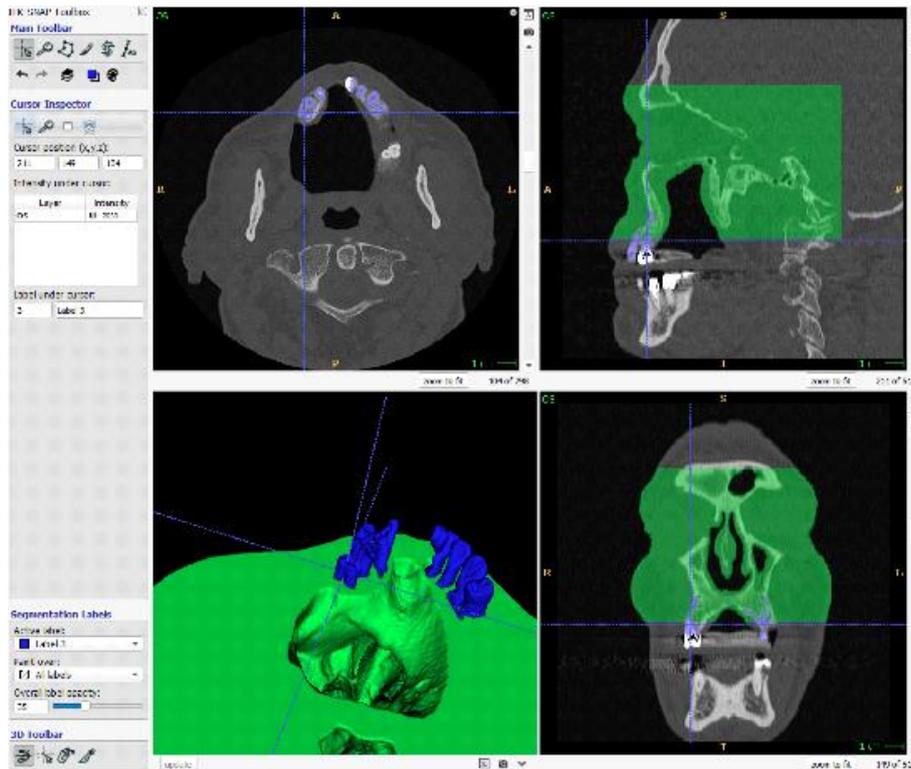


Figure 24 : Segmentation finale avec association des segmentations cutanée et dentaire, par le Dr BOU Christophe

Une fois la segmentation réalisée, intervient l'étape de superposition et fusion sur MeshLab pour obtenir un fichier final complet et précis réunissant toutes les acquisitions de la perte de substance palatine.

Les dents ne présentant pas une bonne définition sur le scanner, seuls les bords libres ont été conservés afin de garder des points de référence pour permettre la superposition (figure 25).

- « Select faces in a rectangular region » pour sélectionner les portions coronaires à supprimer.
- « Delete »
- « Select connected components in a region » pour sélectionner les portions radiculaires intra-osseuses.
- « Delete »

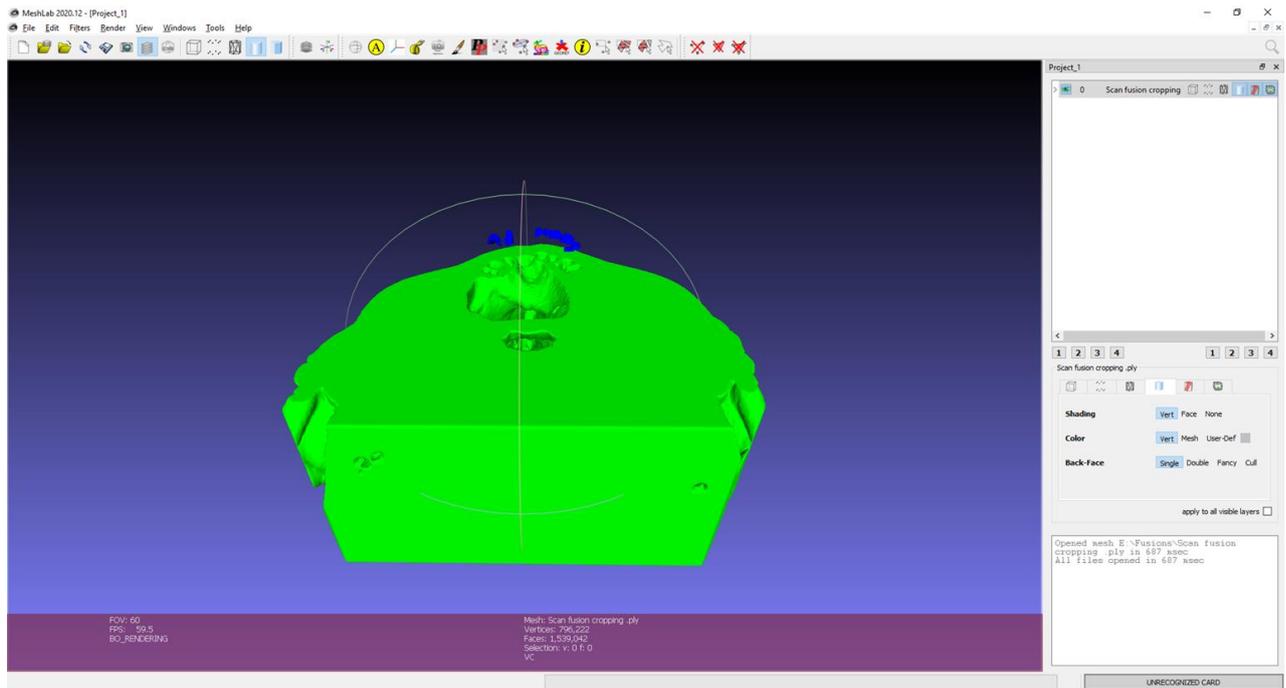


Figure 25 : Segmentation finale comportant perte de substance palatine et bords libres dentaires, par le DR BOU Christophe

La superposition est ensuite réalisée entre scanner et fichier issu de la fusion des empreintes optiques et conventionnelle.

5 points de référence sont sélectionnés (figure 26) :

- Pointe cuspidienne de 13
- Angle mésial de 12
- Bord libre de 22
- Pointe cuspidienne de 23
- Pointe cuspidienne vestibulaire de 24

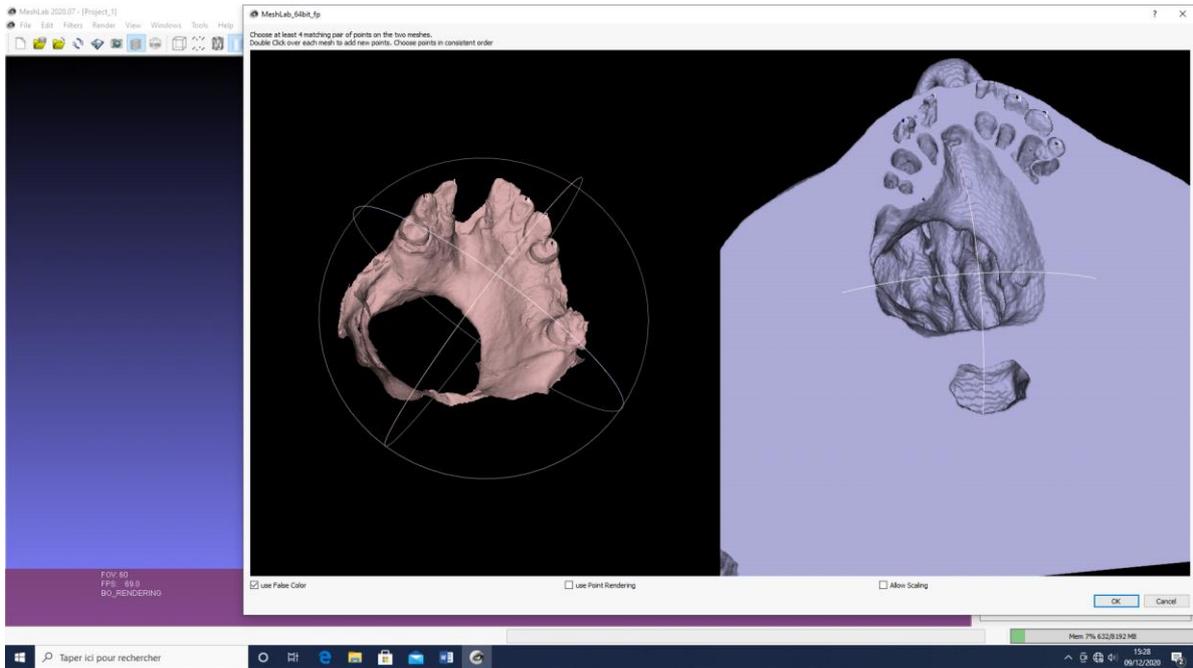


Figure 26 : Sélection des points de référence pour superposition sur MeshLab– Crédit photo BOUSCAILLOU Camille

La fusion est ensuite réalisée pour obtenir le fichier final, issu de la fusion de l'ensemble des acquisitions, support pour la conception et la fabrication de l'obturateur palatin par CFAO (figure 27).

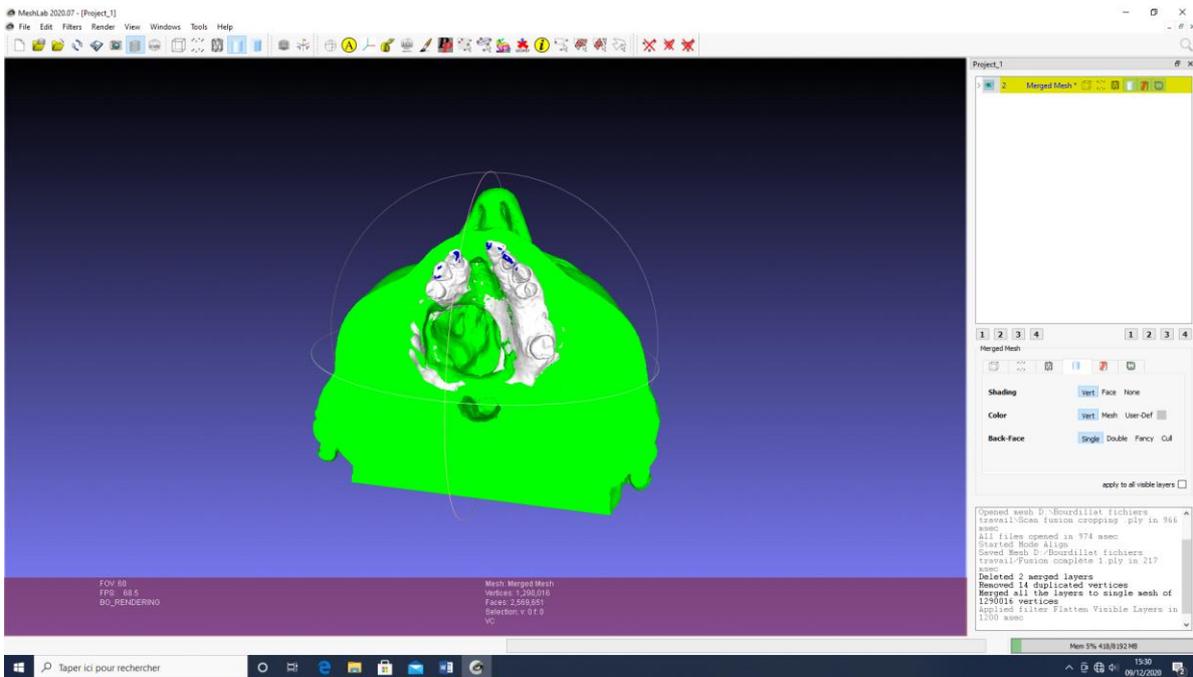


Figure 27 : Fichier final obtenu – Crédit photo BOUSCAILLOU Camille

b. Conception assistée par ordinateur

La phase de modélisation de l'obturateur est ensuite effectuée à l'aide du logiciel Meshmixer. Un cropping du modèle a été réalisé en amont sur MeshLab afin de ne conserver que la portion de l'étage moyen intéressée par la perte de substance palatine (*figure 28*).

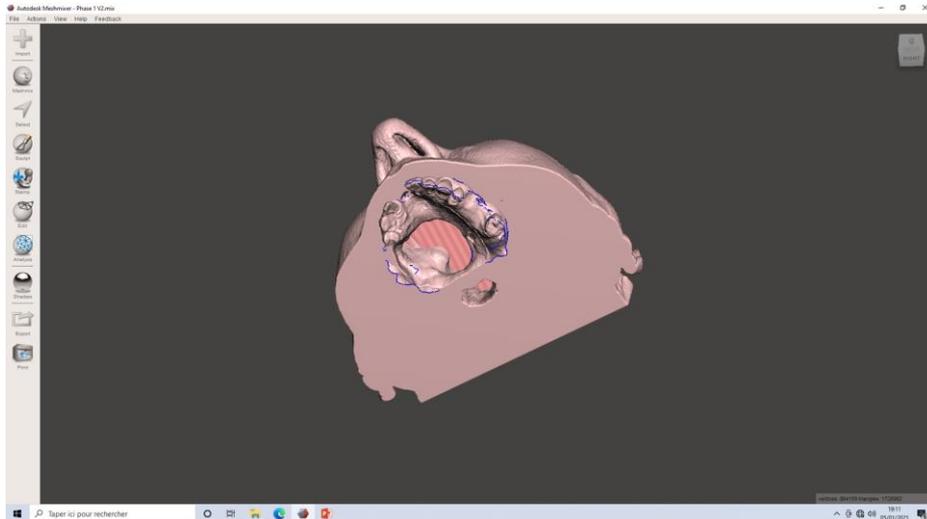


Figure 28 : Modèle numérique de la perte de substance sur Meshmixer par le Dr BOU Christophe

L'obturateur est conçu grâce à une opération booléenne par différence. Un « mesh » est inséré, ici le choix s'est porté sur un cône (*figure 29*). L'asymétrie de cet objet permettra lors des finitions de la conception de différencier la portion supérieure de la face inférieure et ainsi mieux orienter l'ébauche de l'obturateur.

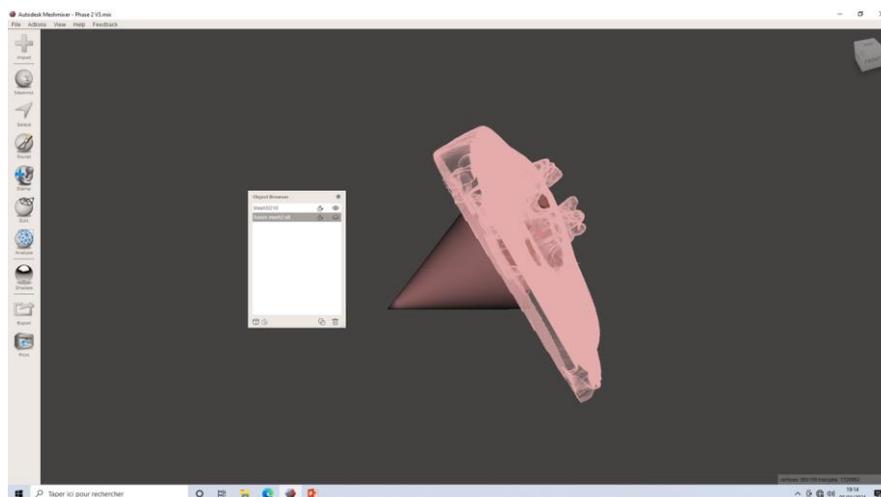


Figure 29 : Opération booléenne par différence entre un « mesh » et la perte de substance par le Dr BOU Christophe

L'objectif de l'opération booléenne est de soustraire au « mesh » les portions de la perte de substance s'inscrivant dans l'objet, et ainsi obtenir un modèle positif de la perte de substance palatine.

- Le cône est inséré dans la perte de substance
- Sélection du cône et du modèle numérique
- « Edit »
- « Boolean difference »
- Conservation des paramètres prédéfinis
- « Accept »

L'ébauche de l'obturateur est obtenu (*figure 30*), les finitions sont réalisées dans un second temps avec le logiciel Blender qui présente d'avantage de fonctionnalités.

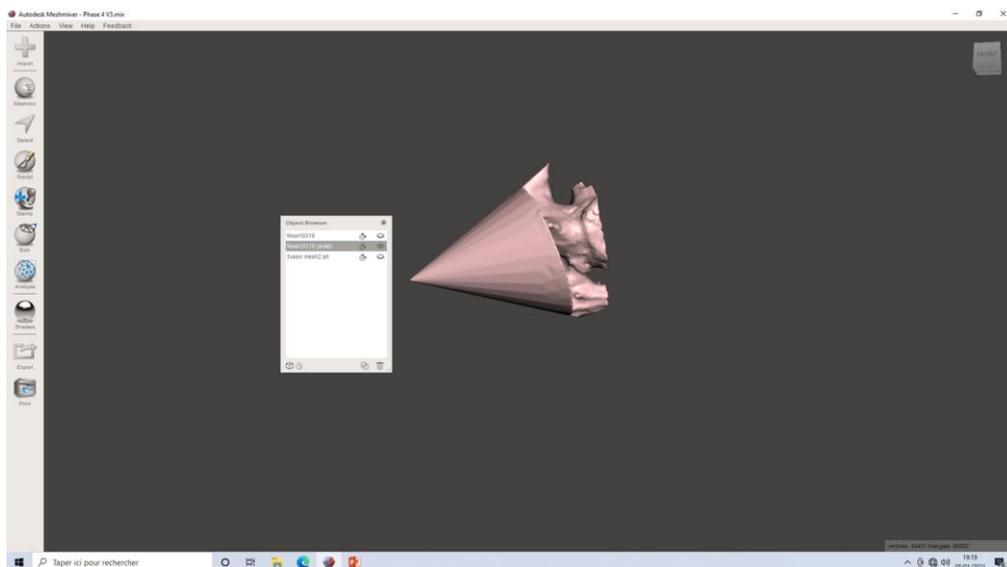


Figure 30 : Ébauche de l'obturateur palatin, par le Dr BOU Christophe

La première étape consiste à supprimer une partie du cône restant, utilisé précédemment pour créer l'obturateur. L'intérêt de cette étape est de conserver seulement la pointe du cône et une portion antérieure afin de garder des repères pour orienter notre pièce correctement par rapport à la perte de substance, sans gêner la visibilité (*figure 31*).

Nous réalisons cette manipulation à l'aide d'une opération booléenne par différence entre un mesh en forme de cube et l'obturateur.

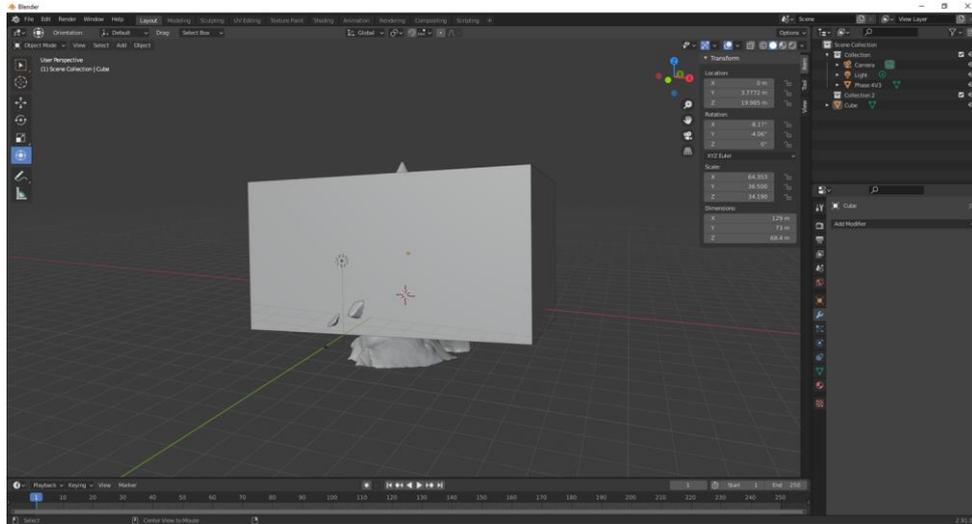


Figure 31 : Opération booléenne pour supprimer une partie du mesh utilisé pour créer l'obturateur—Crédit photo BOUSCAILLOU Camille

Une fois cette étape réalisée, le volume de l'obturateur est sous dimensionné de 1%, puis repositionné dans la perte de substance, afin de vérifier une bonne adaptation et tester l'insertion, qui reste cependant compliquée à évaluer numériquement.

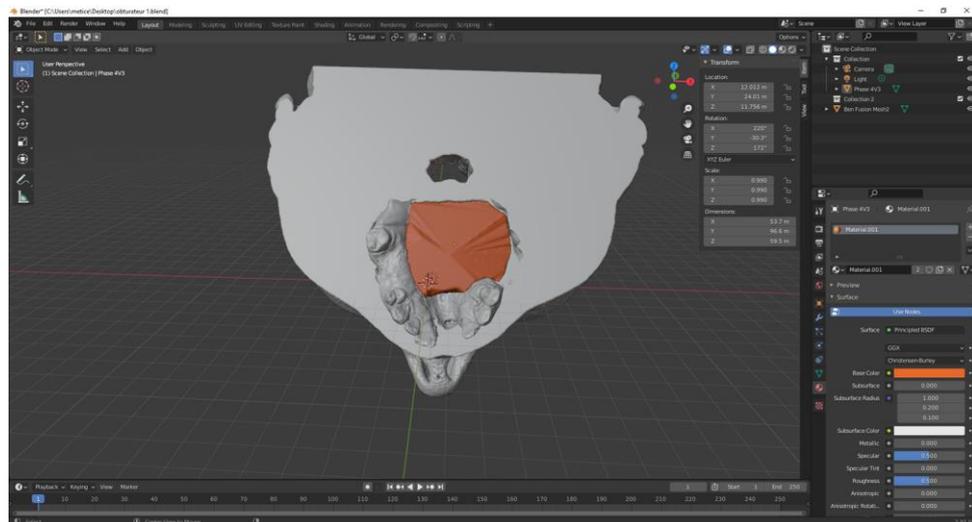
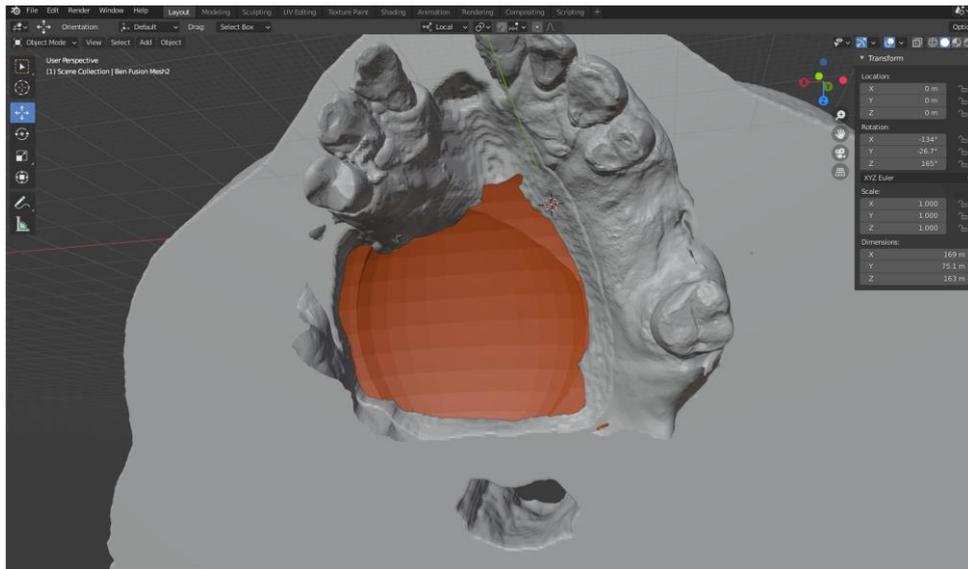


Figure 32 : Obturateur repositionné dans la PDS avec le logiciel Blender—Crédit photo BOUSCAILLOU Camille

Une concavité palatine est ensuite réalisée sur la face inférieure de l'obturateur afin de s'intégrer au mieux avec le palais du patient et ne pas perturber secondairement la mise en place d'une PAP (*figure 33*). Un sur-contour au niveau du palais est malgré tout conservé afin d'éviter un enfoncement trop important de l'obturateur dans la perte de substance lors de son insertion et de sa mise en fonction.



*Figure 33 : Finitions avec création d'une concavité palatine pour une intégration optimale– Crédit photo BOUSCAILLOU
Camille*

La face supérieure de l'obturateur doit désormais être retravaillée à son tour ; en effet cette dernière ne doit pas être plate mais présenter également une concavité, décline dans le sens antéro-postérieur afin de guider les sécrétions vers le pharynx pour éviter toute accumulation et une augmentation du poids global de l'obturateur, pouvant entraîner une désinsertion progressive (*figure 34*).

Un mesh personnalisé est donc créé afin de former une pente progressive d'avant en arrière en regard du pharynx. Une opération booléenne est réalisée entre la face supérieure de l'obturateur et le mesh (*figure 35*) pour obtenir la forme finale attendue (*figure 36*).

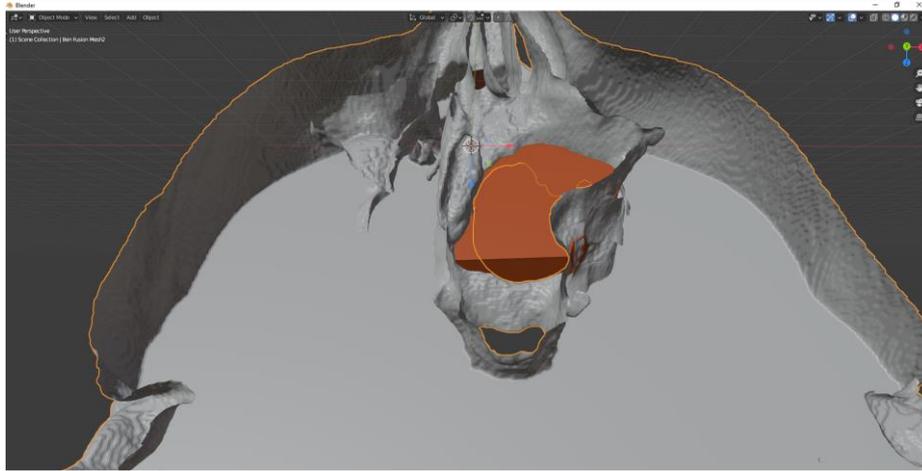


Figure 34 : Rapports postérieurs entre obturateur et pharynx– Crédit photo BOUSCAILLOU Camille

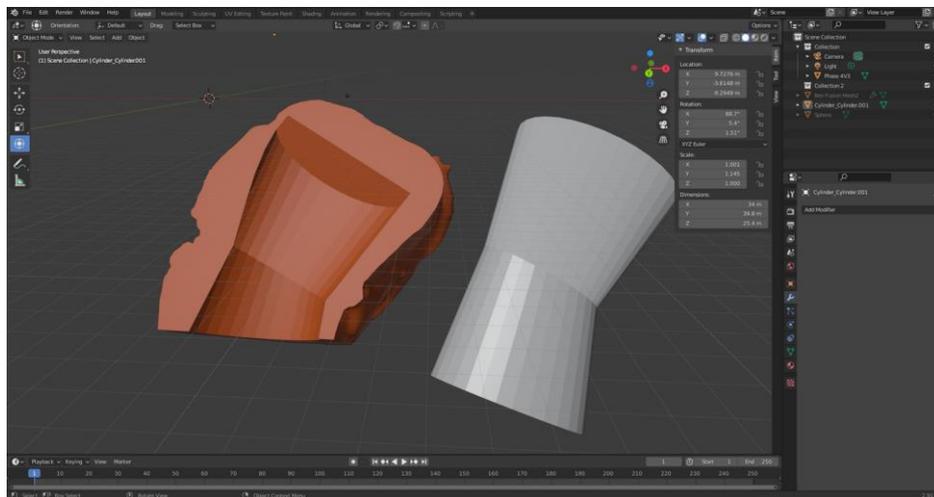


Figure 35 : Finitions de la face supérieure par opération booléenne– Crédit photo BOUSCAILLOU Camille

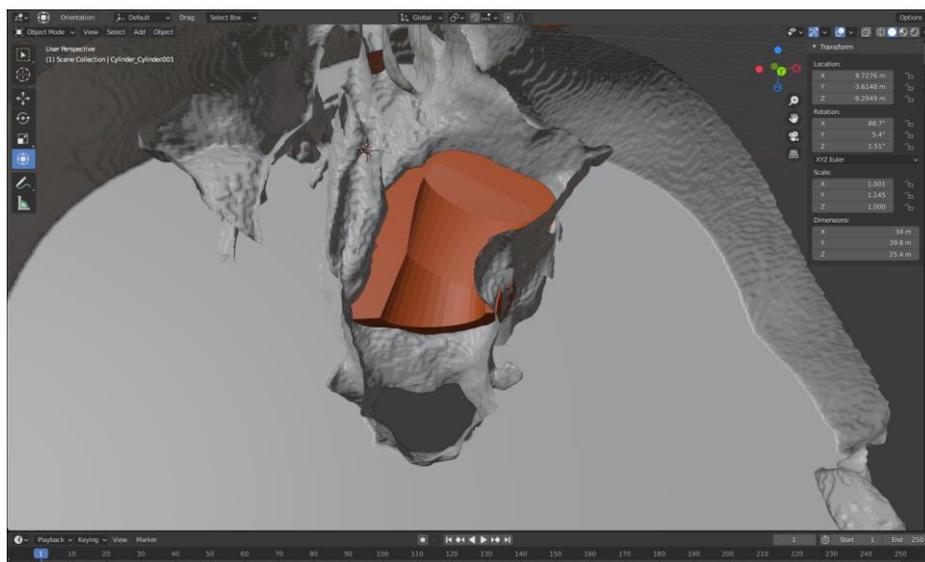


Figure 36 : Obturateur final, vue de dessus– Crédit photo BOUSCAILLOU Camille

L'obturateur final est exporté en format .stl compatible pour l'impression 3D ; 2 fichiers sont enregistrés, un obturateur sous dimensionné de 1% et un de 3% afin de tester lors de l'évaluation clinique celui qui est le plus adapté à la perte de substance.

c. Fabrication assistée par ordinateur – Prototypage rapide

La dernière étape de l'expérimentation clinique consiste en l'impression 3D .

La technique utilisée est une fabrication assistée par ordinateur additive, avec impression par dépôt de fil fondu.

Nous utilisons l'imprimante de la société Dagoma, la Disco Easy 200 (*figure 37*) ainsi que le logiciel de FAO associé, facile d'utilisation et intuitif : Cura par Dagoma pour gérer l'impression 3D et régler les différents paramètres.

2 éléments sont à imprimer tri dimensionnellement pour mener à bien ce travail : l'obturateur palatin et la perte de substance maxillaire afin de pouvoir tester secondairement l'adaptation et l'étanchéité de la pièce.

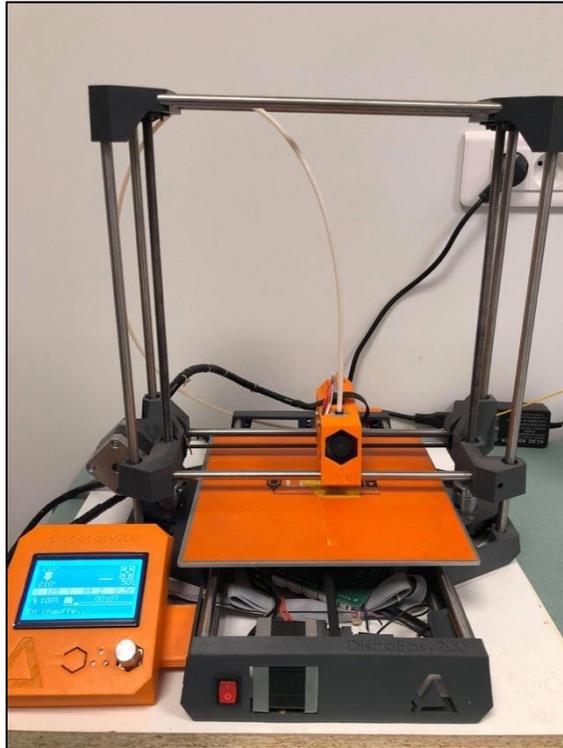


Figure 37 : Imprimante Disco Esay 200 par Dagoma– Crédit photo BOUSCAILLOU Camille

Nous décidons d'imprimer dans un premier temps l'obturbateur sous-dimensionné de 1% en résine PLA (Acide polylactique), qui est un polymère thermoplastique rigide, afin d'observer le rendu fini et faire d'éventuelles modifications avant l'impression finale en résine souple, destinée à l'évaluation clinique.

Le fichier .stl est ouvert dans le logiciel de fabrication assistée par ordinateur et les différents paramètres sont choisis (*figure 38*).

Des supports sont nécessaires dans ce cas afin de mener à bien l'impression de l'obturbateur (*figure 39*).

L'impression 3D est lancée pour une durée de 47 minutes.

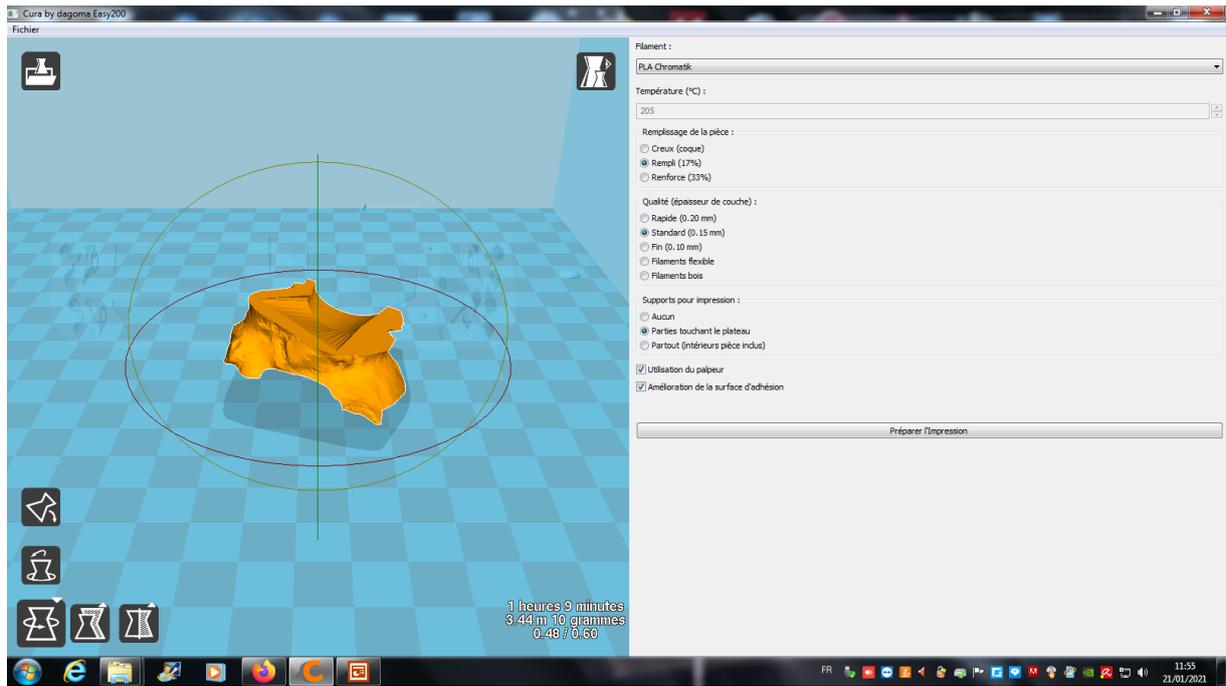


Figure 38 : Choix des paramètres pour impression 3D dans le logiciel Cura by Dagoma– Crédit photo BOUSCAILLOU Camille

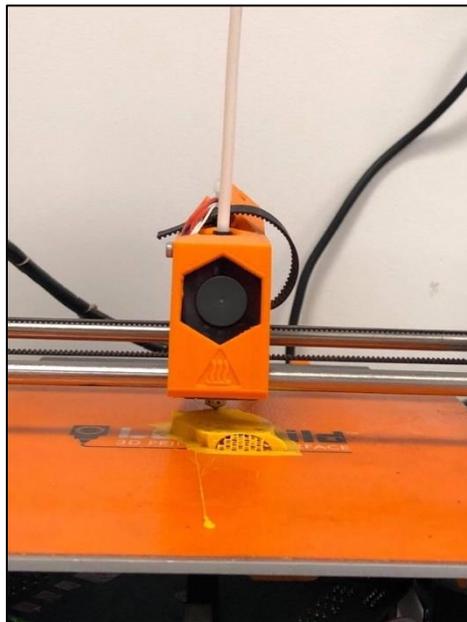


Figure 39 : Supports d'impression pour maintien de la concavité– Crédit photo BOUSCAILLOU Camille

Plusieurs points sont à retenir de cette première impression.

On observe la présence d'une contre-dépouille postérieure intéressante car exploitable pour la rétention de l'obturateur lors de l'insertion en bouche, une fois l'obturateur imprimé en résine flexible.

La présence de supports entraîne une rugosité interne suite à leur dépose (figures 40 et 41) ; ce point n'est pas non plus problématique car située sur la face supérieure, dans la perte de substance. Cela peut être dérangerant dans le cadre de l'hygiène et de l'entretien de la prothèse, mais une étape de polissage peut être réalisée secondairement.

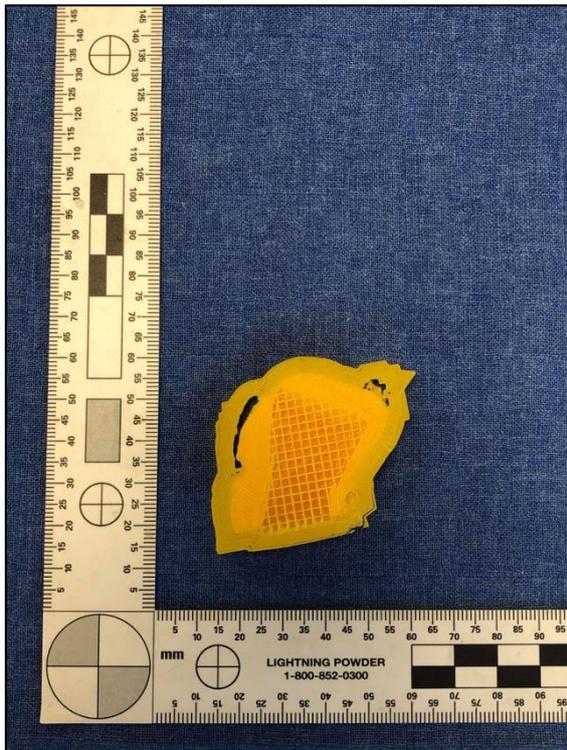


Figure 40 : Supports après impression 3D– Crédit photo
BOUSCAILLOU Camille



Figure 41 : Rugosité après dépose des supports– Crédit photo
BOUSCAILLOU Camille

Enfin un très léger effet de marche est observé (figure 42). L'obturateur reste malgré tout globalement lisse, mais les paramètres d'impression peuvent toujours être modifiés afin d'utiliser un filament légèrement plus fin de 0,10mm.

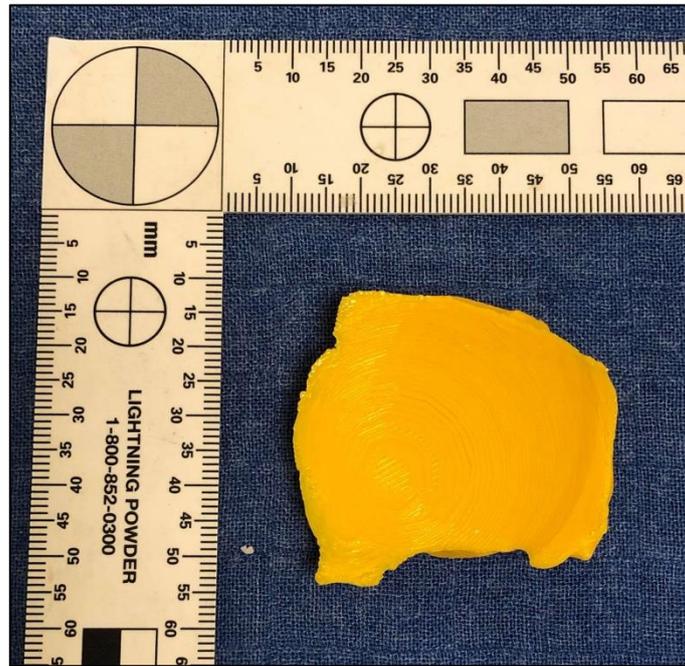


Figure 42 : Effet de marche– Crédit photo BOUSCAILLOU Camille

La seconde étape consiste en l'impression de l'obturateur en résine flexible ou TPU flex (Polyuréthane thermoplastique). Nous avons décidé de réaliser une impression délocalisée, auprès de la société Sculptéo, située à Villejuif et spécialisée dans l'impression 3D, car la mise en place de la bobine et l'impression de résine flexible avec l'imprimante Disco Easy 200 de Dagoma est une étape délicate. En effet la buse d'extrusion n'est pas toujours adaptée pour ce genre de matériaux et peut aboutir à des impressions anarchiques.

Les fichiers des obturateurs sous dimensionnés de 1% et 3% ont été envoyés au format .stl pour permettre le prototypage des pièces à distance, en conservant qualité et précision.

Les pièces reçues présentent un état de surface satisfaisant car aucun effet de marche n'est observé. Cependant, une rigidité encore trop importante est mise en évidence. Malgré le choix du TPU comme matériau, celui utilisé par la société Sculptéo n'est pas suffisamment flexible pour notre application et ne présente pas les mêmes caractéristiques que les silicones lors d'une déformation. La rigidité observée peut également provenir du fait que les obturateurs soient pleins ; le choix des paramètres d'impression avec l'obtention d'une coque vide pourrait être la solution afin d'obtenir une flexibilité satisfaisante (*figures 43 et 44*).



Figure 43 : Obturateur en TPU flex, vue craniale

- Crédit photo BOUSCAILLOU Camille

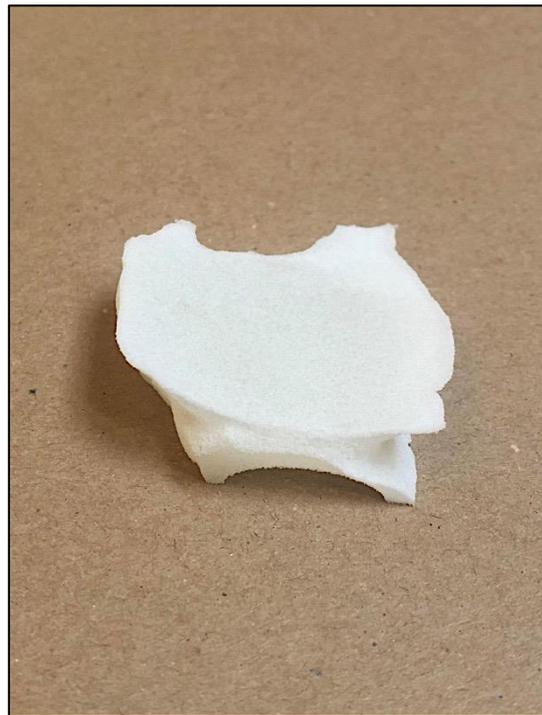


Figure 44 : Obturateur en TPU flex, vue postérieure

-Crédit photo BOUSCAILLOU Camille

Enfin nous avons procédé à l'impression du modèle maxillaire comportant la perte de substance palatine. Nous avons conservé les mêmes paramètres d'impression à l'exception de la mise en place de supports, inutiles car une surface plane était en contact avec le plateau d'impression. L'impression est lancée pour une durée de 10 heures (*figures 45 et 46*).

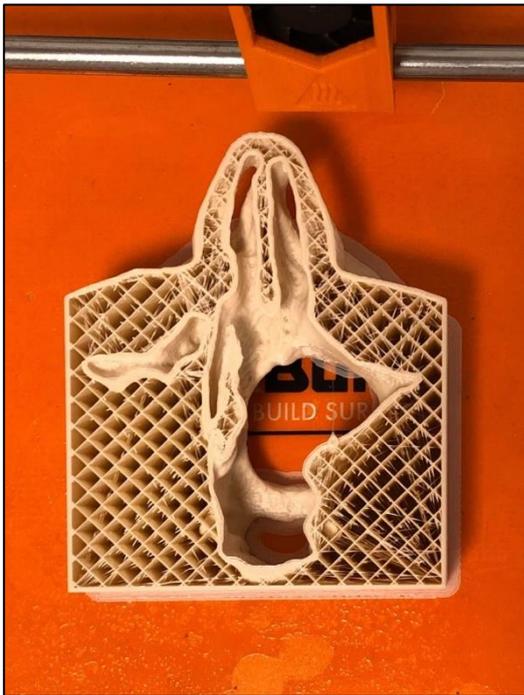


Figure 45 : Modèle maxillaire, vue craniale– Crédit photo BOUSCAILLOU Camille

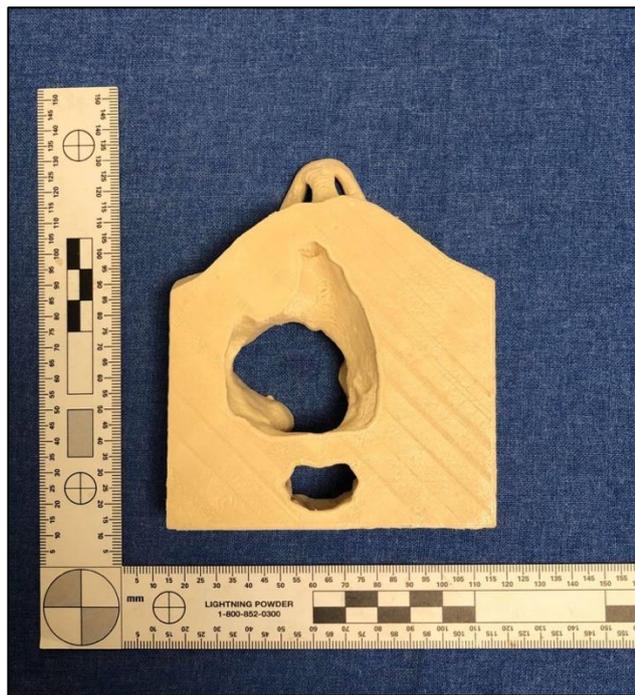


Figure 46 : Modèle maxillaire, vue caudale– Crédit photo BOUSCAILLOU Camille

4. Évaluation clinique

L'évaluation clinique représente la dernière étape de ce travail, afin d'évaluer la précision d'adaptation de l'obturateur par rapport aux bords de la perte de substance, son étanchéité, sa rétention avec l'exploitation de contre-dépouilles et sa sustentation par rapport à la collerette palatine périphérique .

Un premier essai fut réalisé afin de tester l'insertion de l'obturateur et son adaptation, pour réaliser d'éventuelles modifications avant l'impression finale en résine flexible. L'obturateur utilisé dans ce cas était en résine PLA rigide, imprimée pour permettre la validation du projet.

L'élimination des contre-dépouilles a constitué une étape préalable, car ces dernières gênaient l'insertion de la prothèse. Par réglages successifs, l'obturateur a pu être inséré correctement dans la perte de substance palatine avec une adaptation satisfaisante (figure 47).

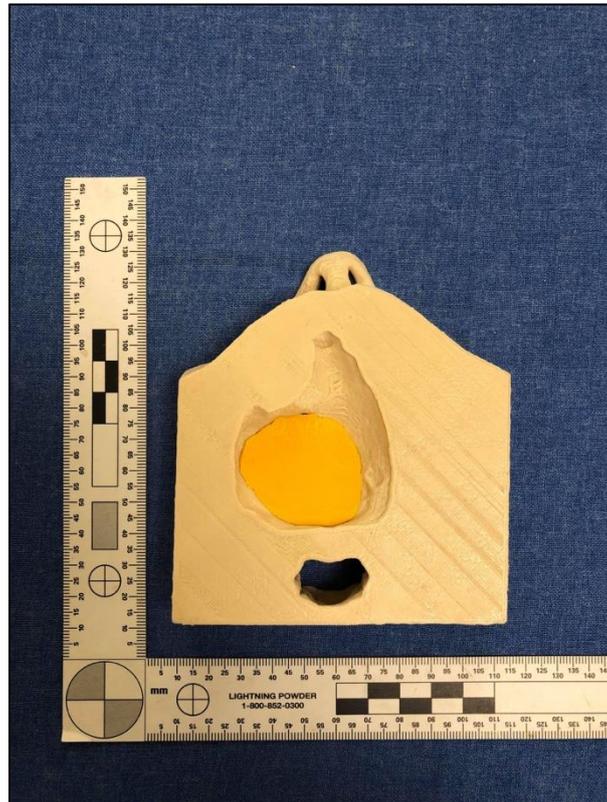


Figure 47 : Insertion de l'obturateur rigide dans la PDS– Crédit photo BOUSCAILLOU Camille

La deuxième étape de l'évaluation consistait initialement en une évaluation clinique, endo-buccale lors d'un rendez-vous à l'hôpital de Saint André avec Monsieur B. afin de tester l'obturateur sur divers points : insertion/désinsertion, adaptation, étanchéité, éventuelle compression muqueuse, confort ressenti par le patient, ainsi qu'une évaluation fonctionnelle.

Compte tenu du contexte actuel de pandémie liée à la Covid-19, l'organisation de ce rendez-vous avec le patient s'est avérée délicate, l'évaluation clinique n'a donc finalement pas pu être réalisée.

Nous avons donc choisi d'évaluer notre obturateur sur le modèle maxillaire incluant la perte de substance et précédemment imprimé en 3D à la faculté.

L'évaluation est résumée dans le tableau ci-dessous :

	OBTURATEUR SOUS DIMENSIONNÉ DE 1%	OBTURATEUR SOUS DIMENSIONNÉ DE 3%
INSERTION – DÉSINSERTION	Insertion délicate causée par la rigidité de la pièce. Nécessité de retouche pour un positionnement correct. Axe d'insertion postéro-antérieur.	Insertion délicate causée par la rigidité de la pièce. Nécessité de retouche pour un positionnement correct. Axe d'insertion postéro-antérieur.
ADAPTATION	Très bonne adaptation sur le pourtour de l'obturateur mais compression trop importante de la pièce sur les parois de la perte de substance.	Adaptation correcte mais qui demeure insuffisante en regard de la portion antérieure retouchée lors de l'insertion, de la face postérieure en regard du pharynx et du côté du secteur 1.
ETANCHÉITÉ	Étanchéité satisfaisante, aucun écoulement d'eau n'est observé entre l'obturateur et les parois de la perte de substance. Totalité de l'eau dirigée en postérieur vers le pharynx grâce à la concavité supérieure, décline d'avant en arrière.	Étanchéité insuffisante à cause du hiatus crée lors de l'élimination de la contre dépouille antérieure pour permettre l'insertion, et à la sous-dimension trop importante de 3%.

<p>RÉTENTION</p>	<p>Très bonne, grâce à l'exploitation de contre-dépouilles périphériques. Obturateur léger mais qui ne se désinsère pas avec le poids de l'eau lors du test d'étanchéité.</p>	<p>Très bonne, grâce à l'exploitation de contre-dépouilles périphériques. Obturateur léger mais qui ne se désinsère pas avec le poids de l'eau lors du test d'étanchéité.</p>
<p>SUSTENTATION</p>	<p>Très bonne, grâce à la conception de la collerette palatine périphérique.</p>	<p>Très bonne, grâce à la conception de la collerette palatine périphérique.</p>
<p>PHOTOGRAPHIES</p>		

Suite à ces différentes observations, l'idéal serait de réaliser un obturateur sous dimensionné de 2% afin d'éviter une compression muqueuse trop importante au niveau des parois de la perte de substance, ainsi qu'un obturateur en résine beaucoup plus flexible que celui obtenu dans ce travail, pour allier étanchéité, confort du patient et facilité d'insertion.

5. Discussion et perspectives

a. Discussion

La mise en place d'un workflow complètement digital dans le cadre de la réalisation d'un obturateur palatin présente donc de nombreux intérêts à la fois pour le patient et le praticien.

Cependant, l'étape de conception s'est avérée délicate et a nécessité la modification du protocole initial.

Le logiciel Blender est un logiciel très intéressant, qui présente de nombreuses fonctionnalités, mais dont la prise en main reste complexe sans un certain niveau de maîtrise.

La présence de plusieurs types de maillages et la création d'un modèle vide non fermé suite à la segmentation sont les deux éléments qui ont empêché de réaliser la modélisation de l'obturateur sur Blender.

Les superpositions et les fusions successives des acquisitions de la perte de substance sur MeshLab ont entraîné la formation de maillages complexes de tailles différentes, avec apparition de mailles parasites lors des tentatives d'opérations booléennes (*figure 48*).

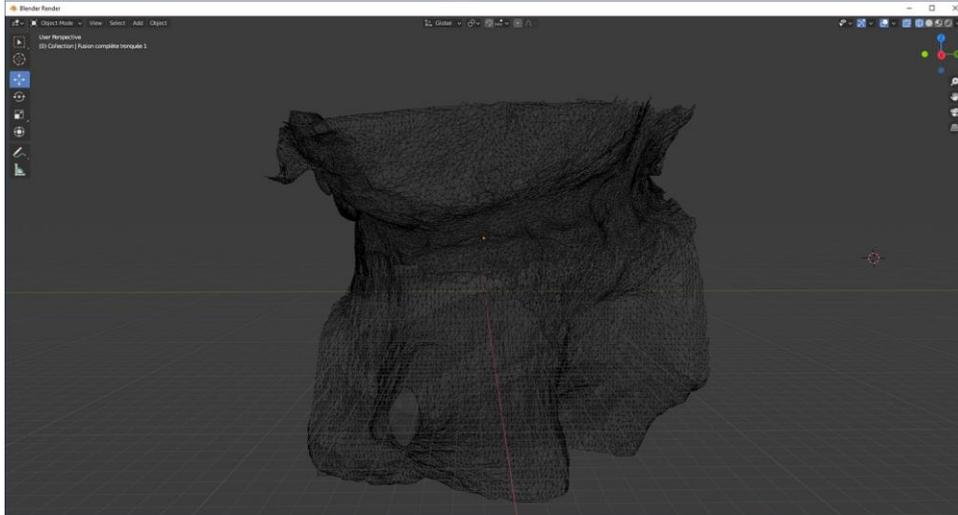


Figure 48 : Maillage complexe sur Blender – Crédit photo BOUSCAILLOU Camille

De plus, la segmentation de l'acquisition par scanner entraîne une reconstruction surfacique. Le modèle numérique de la perte de substance est donc constitué de fines parois (*figure 49*), pas suffisamment épaisses pour permettre d'obtenir un modèle positif de la perte de substance dans un mesh ajouté, lors de l'opération booléenne par différence.

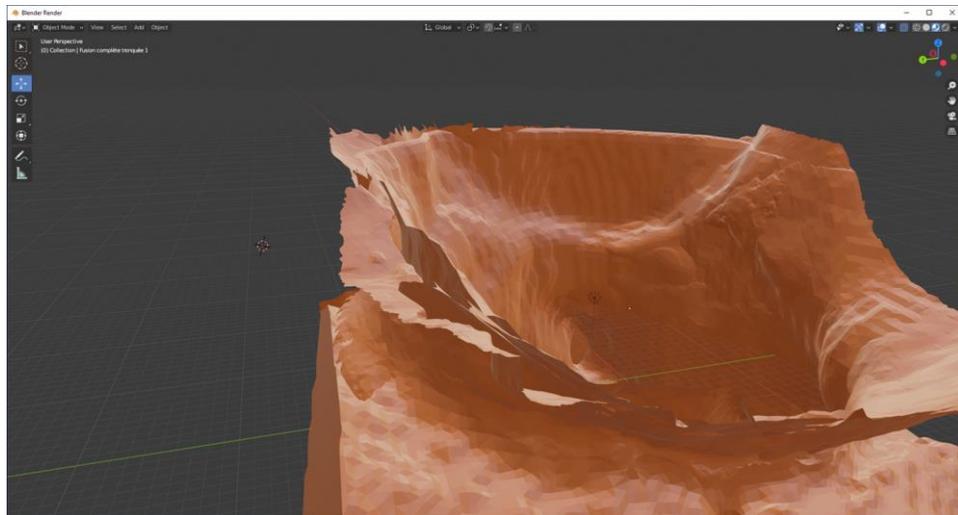


Figure 49 : Finesse des parois du modèle de la perte de substance – Crédit photo BOUSCAILLOU Camille

Nous avons également décidé de rogner le modèle final avant de débiter la conception afin de limiter la présence d'éléments périphériques qui auraient compliqué la visualisation de la

perte de substance et de l'obturateur. Cette manipulation a eu pour conséquence la création d'un modèle ouvert empêchant le bon déroulement de l'opération booléenne (figure 50).

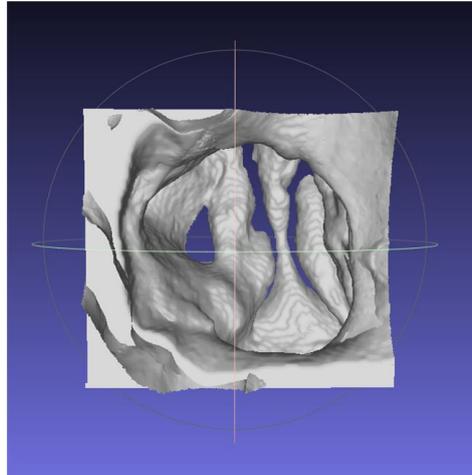


Figure 50 : Cropping du modèle numérique avec création d'ouvertures– Crédit photo BOUSCAILLOU Camille

Nous avons donc fermé le modèle par régularisation des mailles bordant les cavités (figures 51 et 52), puis par ajout de faces successives après avoir sélectionné la totalité des points d'une même ouverture (figure 53).

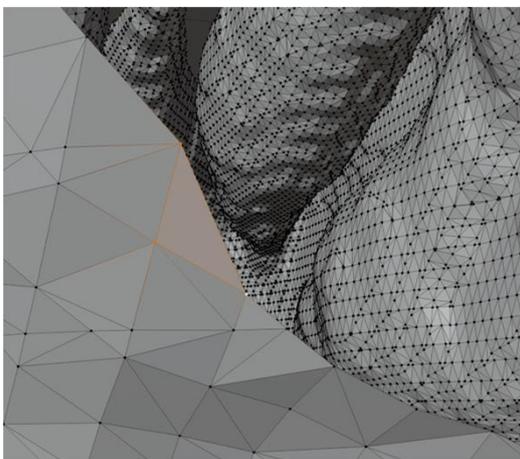


Figure 51 : Régularisation par ajout de faces– Crédit photo BOUSCAILLOU Camille

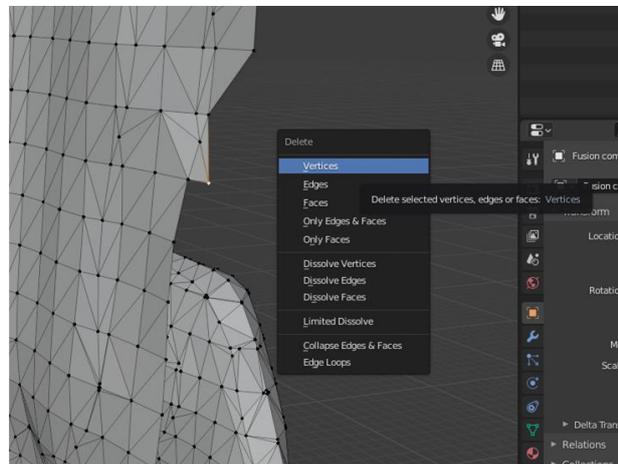


Figure 52 : Régularisation par suppression de points– Crédit photo BOUSCAILLOU Camille

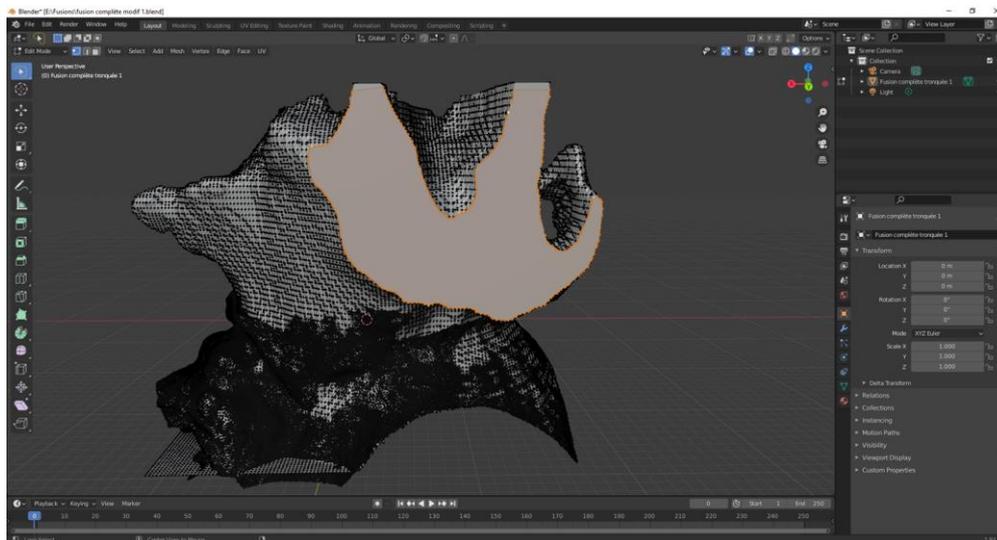


Figure 53 : Fermeture des ouvertures du modèle numérique– Crédit photo BOUSCAILLOU Camille

Malgré toutes ces manipulations pour améliorer la qualité de notre modèle, l'opération booléenne reste un échec. C'est pourquoi nous avons décidé de concevoir notre obturateur sur le logiciel Meshmixer, plus simple d'utilisation.

Il serait intéressant de trouver une manipulation afin de simplifier le maillage tout en conservant un haut niveau de précision au sein de la perte de substance palatine, ainsi que de créer un modèle plein avec des parois épaisses, c'est à dire une reconstruction volumique suite à la segmentation facilitant l'opération booléenne.

Le logiciel Blender reste dans ce cas un logiciel complexe, pas à la portée de tous les praticiens pour une généralisation de la pratique de la prothèse maxillo-faciale par CFAO.

Une première tentative d'impression a également été mise en œuvre, cependant cette dernière ne fut pas retenue car l'obturateur ne présentait pas une collerette périphérique palatine suffisamment large pour contrer son enfoncement dans la perte de substance et permettre une insertion et un positionnement corrects par le patient (*figure 54*). Lors de la conception, nous avons pris le parti d'affiner au maximum la pièce afin d'empêcher tout problème de conception et de réalisation d'une future PAP indépendante de l'obturateur. Mais l'appui palatin reste un facteur non négligeable à prendre en compte.

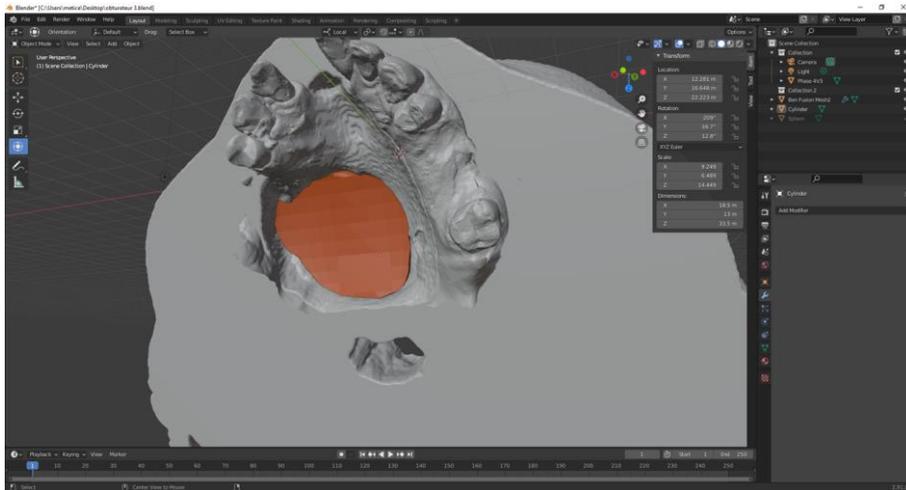


Figure 54 : Insuffisance d'appuis palatins lors de la conception sur Blender– Crédit photo BOUSCAILLOU Camille

Enfin, une réelle évaluation clinique endo-buccale est une étape importante à mettre en œuvre dans le cadre de ce travail, afin de tester la qualité de notre obturateur.

En effet une évaluation à un instant T sur modèle n'est pas suffisante ; une étude fonctionnelle permettrait d'adapter et modifier notre protocole si besoin. Une évaluation dans la vie quotidienne apporterait également un recul clinique par rapport au vieillissement de l'obturateur en conditions réelles. Pour cela, il est nécessaire de pouvoir insérer une prothèse amovible partielle afin de combler les édentements, et évaluer les différentes fonctions de manière fiable et reproductible.

Plusieurs tests ont été proposés dans la littérature afin d'évaluer la qualité d'un obturateur vis-à-vis notamment des fonctions de mastication, déglutition, phonation.

Le « Speech intelligibility » est un test subjectif, facile à appliquer en clinique, c'est le pourcentage de syllabes prononcées par le patient et comprises par un inconnu (56).

Nous pouvons également citer le test de déglutition de Kubota Toshio qui consiste à faire boire 30 mL d'eau au patient et de caractériser sa déglutition en fonction du temps enregistré, et de la présence ou absence de toux (47).

L' « Obturator functioning scale » ou OFS est également un questionnaire intéressant, très souvent cité dans de nombreux articles ; c'est une série de 15 questions divisées en 3 catégories : problèmes concernant l'alimentation, difficultés d'élocution, et autres problèmes tels que la difficulté d'insertion de l'obturateur et les interactions sociales. Pour chaque question, le patient a le choix entre 3 réponses en fonction de sa difficulté : 1 (pas du tout ou un peu), 2 (parfois) et 3 (beaucoup à extrêmement) (57).

b. Perspectives

Plusieurs perspectives sont envisageables suite à la réalisation de cette thèse, à plus ou moins grande échelle.

L'objectif de ce travail était la réalisation d'un obturateur palatin d'usage, indépendant d'une prothèse amovible partielle sus-jacente. Un protocole a donc été proposé pour la conception et la fabrication assistées par ordinateur de l'obturateur afin de combler la perte de substance palatine. L'étape suivante consiste en la réalisation de la PAP, à l'aide de la CFAO afin de réaliser une prise en charge complètement digitale dans le cadre d'une réhabilitation globale. Les technologies actuelles de CFAO permettent la réalisation de châssis métalliques adaptés et personnalisés, ainsi que le montage de dents en résine. C'est la jonction entre l'obturateur et la prothèse sus-jacente qui doit faire l'objet d'un futur travail avec la mise en place éventuelle d'aimants ou de parties/contreparties pour permettre une mise en fonction lors de la déglutition, mastication ou phonation ainsi qu'une évaluation clinique complète.

Pour ce faire, les caméras optiques doivent être améliorées sur différents points.

Tout d'abord la prise en compte de la dépressibilité tissulaire, facteur absent de l'acquisition numérique avec l'empreinte optique et pourtant essentiel pour l'adaptation et la stabilité

d'une prothèse. Dans ce travail clinique, l'absence d'enregistrement peut entraîner un défaut d'adaptation de l'obturateur par rapport à la perte de substance.

Mais dans le cas de la réalisation d'une prothèse amovible partielle mucco-dento-portée, la triade de Housset est dépendante de l'enregistrement des mouvements des muscles péri-buccaux, des insertions freinales, de la dépressibilité muqueuse.

C'est pourquoi le développement d'un algorithme permettant le calcul virtuel de la dépressibilité tissulaire ou, la mise au point d'un porte empreinte numérique enregistrant en temps réel les mouvements de Herbst est nécessaire, ce qui n'est pas le cas actuellement (27,43).

De plus, le développement de caméras optiques présentant une tête d'acquisition plus petite est un élément non négligeable pour un enregistrement aisé des pertes de substance postérieures en évitant tout réflexe nauséux, tout en conservant une grande précision dans la qualité d'enregistrement.

Plus globalement, de nouveaux matériaux sont également à développer, avec une amélioration de la biocompatibilité, de l'étanchéité, du protocole de nettoyage, du vieillissement avec un maintien de la couleur dans le temps notamment des silicones qui présentent un vieillissement prématuré par rapport aux résines (3).

Le développement de résines souples, présentant des caractéristiques similaires aux silicones pourrait être intéressant. Les matériaux TPU ou Polyuréthanes thermoplastiques présentent une flexibilité plus ou moins importante, définie lors de l'étape de fabrication. Ils peuvent se présenter sous forme de bobines de filaments compatibles avec les impressions tridimensionnelles par dépôt de fil fondu, ou bien sous forme de poudre dans le cas de frittage laser (58).

De nombreux dispositifs médicaux sont déjà fabriqués avec du TPU, plus ou moins flexible, présentant des propriétés physiques intéressantes ainsi qu'une biocompatibilité avérée, c'est notamment le cas des gouttières d'orthodontie Invisalign[®], qui respecte les normes réglementaires des dispositifs médicaux (USP Classe VI et ISO 13485).

Chirurgies vasculaires, radiologie (cathéters), cardiologie (pacemakers), orthopédie (semelles, joints) sont autant de domaines concernés par l'utilisation des polyuréthanes thermoplastiques par prototypage rapide. Plusieurs sociétés développent de plus en plus leurs gammes de filaments, on peut citer les sociétés Biomerics, Formulance avec le Quadrathane™, ou encore la société TreeD avec le Pure FT™ antimicrobien, utilisé dans le milieu orthopédique ou le ElastoA™ flexible (59,60). Ces références comportent des certifications européennes avec notamment la norme ISO 10993 basée sur l'étude de la cytotoxicité. D'autres phases de recherches et de développement sont essentielles afin de mettre au point la norme internationale ISO 13485 qui s'intéresse aux étapes de stérilisation, à la gestion des risques et traçabilité, afin de développer des obturateurs pouvant s'insérer en bouche en toute sécurité.

La mise au point d'une résine flexible, pérenne et confortable pour le patient est un facteur essentiel au développement et à l'application d'un tel protocole.

Enfin la réduction des coûts des machines de CFAO reste un enjeu majeur, réduire l'investissement initial par une augmentation de la demande avec le vieillissement de la population pourrait constituer un facteur essentiel à une éventuelle généralisation de la CFAO dans les cabinets dentaires (3).

CONCLUSION

Ce travail nous permet donc de conclure sur la possibilité de mise au point d'un protocole permettant la réalisation d'un obturateur d'usage et indépendant d'une éventuelle prothèse amovible partielle, par CFAO dans le cadre de pertes de substances palatines.

Les résultats obtenus sont encourageants et prometteurs afin d'améliorer considérablement notre prise en charge et le service rendu. La création d'une banque de données est également une conséquence non négligeable de la mise au point d'un tel protocole.

D'autres études complémentaires demeurent néanmoins essentielles afin de mettre au point un protocole reproductible et applicable à de nombreux patients, ainsi que le développement de matériaux fiables et biocompatibles pour une utilisation endo-buccale, alliant précision d'adaptation, étanchéité, flexibilité et facilité d'utilisation.

BIBLIOGRAPHIE

1. Pomar P, Dichamp J. Introduction à la prothèse maxillofaciale. EMC Dent. 2004;118-21.
2. Destruhaut F, Toulouse E, Noirrit-Esclassan E, Hennequin A, E. Vigarios, Pomar P. Apport de la prothèse maxillofaciale dans le traitement des pertes de substance maxillofaciale. EMC Med Buccale. 2017;12(5):1-11.
3. De Caxias FP, Dos Santos DM, Bannwart LC, De Moraes Melo Neto CL, Goiato MC. Classification, History, and Future Prospects of Maxillofacial Prosthesis. Int J Dent. 2019;
4. Lefebvre J-L, Chevalier D. Épidémiologie des cancers des voies aérodigestives supérieures. EMC - Oto-Rhino-Laryngol. juin 2012;7(2):1-11.
5. Global Cancer Observatory [Internet]. [cité 26 sept 2020]. Disponible sur: <https://gco.iarc.fr/>
6. Boutault F, Diakite C, Cavallier Z, Prevost A, Lauwers F, Lopez R. Reconstruction chirurgicale des pertes de substance des maxillaires. EMC Chir Orale Maxillo-Faciale. 2018;13(1):1-20.
7. Driscoll C., Freilich M., Guckes A., Knoernschild K., McGarry T. The Glossary of Prosthodontic Terms: Ninth Edition. J Prosthet Dent. 1 mai 2017;117(5, Supplement):C1-e105.
8. Bentahar O, Pomar P, Fusaro S, F. Benfdil, Aguenau A, Abdedine A. Prothèses obturatrices après maxillectomie : bases fondamentales et thérapeutiques. EMC Stomatol. 2008;22-066-B-58.
9. Giumelli B, Bars PL, Saade K. Traitement prothétique des pertes de substance acquises des maxillaires en cancérologie. EMC Odontol. 2000;23-393-A-10.
10. Vigarios E., Destruhaut F., Pomar P., Dichamp J., Toulouse E. La prothèse maxillofaciale. Cdp. 2015.
11. Vigarios E, Destruhaut F, Amichia YCA, Toulouse E, Pomar P. Facteurs d'orientation de la réhabilitation en cancérologie cervicofaciale. EMC Stomatol. 2011;22-066-B-59.
12. Vigarios E, Fontes-Carrère M, Pomar P, Bach K. Psychologie et relation d'aide en réhabilitation maxillofaciale. EMC Stomatol. 2004;22-066-B-53.

13. Bataille C de, Toulouse E, Pomar P, Destruhaut F. Visage et image de soi : aspects théoriques et cliniques en réhabilitation maxillofaciale et soins oncologiques de support. *EMC Med Buccale*. 2019;14(2):1-7.
14. Benoist M. Réhabilitation et prothèse maxillo-faciales. Paris : J. Prélat. 1978. 454 p.
15. Aramany MA. Basic principles of obturator design for partially edentulous patients. Part I: Classification. 1978. *J Prosthet Dent*. déc 2001;86(6):559-61.
16. Rogers SN, Lowe D, McNally D, Brown JS, Vaughan ED. Health-related quality of life after maxillectomy: a comparison between prosthetic obturation and free flap. *J Oral Maxillofac Surg Off J Am Assoc Oral Maxillofac Surg*. févr 2003;61(2):174-81.
17. Azhari M, Rokhssi H, Benfdil F, Merzouk N, Bentahar O. La réhabilitation prothétique d'une perte de substance vélo-palatine: à propos d'un cas clinique. *Actual Odonto-Stomatol*. 2017;(286):2.
18. El Achhab I. La prothèse maxillo-faciale au sein d'un centre de lutte contre le cancer. *Actual Odonto-Stomatol*. 2012;(258):175-91.
19. Naveau A, Dartaguiette M, Durut M, Delobel O, Pluvinet G, Decaup PH, et al. Apport de l'impression 3D à la prothèse maxillo-faciale. *ID*. 24 juin 2020;102(25/26):64-70.
20. Moreno MA, Skoracki RJ, Hanna EY, Hanasono MM. Microvascular free flap reconstruction versus palatal obturation for maxillectomy defects. *Head Neck*. 2010;32(7):860-8.
21. Singh N, Dhiman RK, Kumar D. Prosthodontic rehabilitation of extraoral and intraoral maxillofacial defects. *Med J Armed Forces India*. déc 2015;71(Suppl 2):S556-9.
22. Duparc J., Drake R.L and coll. Gray's anatomie pour les étudiants. In: Elsevier Masson, 2ème édition. 2012. p. 807.
23. Laurentjoye M., Ella B., Caix P. Anatomie tête et cou. 2013.
24. Margerit J, Pomar P, Oussaid M. Rétention en prothèse maxillofaciale. 2009;
25. Barazanchi A, Li KC, Al-Amleh B, Lyons K, Waddell JN. Additive Technology: Update on Current Materials and Applications in Dentistry. *J Prosthodont Off J Am Coll Prosthodont*. févr

2017;26(2):156-63.

26. Descamp F, Fages M. La CFAO en odontologie : Les bases, les principes et les systèmes. Editions CdP. 2016.
27. Farook TH, Jamayet NB, Abdullah JY, Asif JA, Rajion ZA, Alam MK. Designing 3D prosthetic templates for maxillofacial defect rehabilitation: A comparative analysis of different virtual workflows. *Comput Biol Med.* 1 mars 2020;118:103646.
28. Pomar P, Bou C. Prothèse maxillofaciale et conception et fabrication assistées par ordinateur (CFAO). 2008;
29. Torabi K, Farjood E, Hamedani S. Rapid Prototyping Technologies and their Applications in Prosthodontics, a Review of Literature. *J Dent Shiraz Iran.* mars 2015;16(1):1-9.
30. Dawood A, Marti Marti B, Sauret-Jackson V, Darwood A. 3D printing in dentistry. *Br Dent J.* déc 2015;219(11):521-9.
31. Bartala M, Duret F. La CFAO appliquée. Espace ID. 2014.
32. Maillard A. Acquisition numérique, CFAO dentaire : origines, évolutions et perspectives. 2018.
33. Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *Br Dent J.* 10 mai 2008;204(9):505-11.
34. Lethaus B, Lie N, de Beer F, Kessler P, de Baat C, Verdonck HW. Surgical and prosthetic reconsiderations in patients with maxillectomy. *J Oral Rehabil.* févr 2010;37(2):138-42.
35. Huang Z, Wang X, Hou Y-Z. Novel method of fabricating individual trays for maxillectomy patients by computer-aided design and rapid prototyping. *J Prosthodont Off J Am Coll Prosthodont.* févr 2015;24(2):115-20.
36. Murat S, Gürbüz A, Kamburoğlu K. Fabrication of obturator prosthesis by fusing CBCT and digital impression data. *Int J Comput Dent.* 2018;21(4):335-44.
37. Londono J, Abreu A, Baker PS, Furness AR. Fabrication of a definitive obturator from a 3D cast with a chairside digital scanner for a patient with severe gag reflex: a clinical report. *J Prosthet Dent.* nov 2015;114(5):735-8.

38. Huang M, Zhang J, Tong D, Zhang J, Zheng L, Zhang Y, et al. Postoperative 125I brachytherapy delivered by digital model obturators for recurrent or locally advanced maxillary cancers. *The Laryngoscope*. nov 2012;122(11):2461-7.
39. Palin CL, Huryn JM, Golden M, Booth PR, Randazzo JD. Three-dimensional printed definitive cast for a silicone obturator prosthesis: A clinical report. *J Prosthet Dent*. févr 2019;121(2):353-7.
40. Tasopoulos T, Chatziemmanouil D, Karaiskou G, Kouveliotis G, Wang J, Zoidis P. Fabrication of a 3D-printed interim obturator prosthesis: A contemporary approach. *J Prosthet Dent*. 1 juin 2019;121(6):960-3.
41. Jiao T, Zhu C, Dong X, Gu X. Rehabilitation of maxillectomy defects with obturator prostheses fabricated using computer-aided design and rapid prototyping: a pilot study. *Int J Prosthodont*. oct 2014;27(5):480-6.
42. Punjabi AR, Mistry G, Shetty O, Rathod A. Maxillary hollow-bulb obturator: A paradigm shift. *J Indian Prosthodont Soc*. mars 2019;19(1):74-8.
43. Park J-H, Lee K-S, Lee J-Y, Shin S-W. Fabricating a Maxillary Obturator Using an Intraoral Digital Impression: A Case History Report. *Int J Prosthodont*. juin 2017;30(3):266-8.
44. Kim M-S, Lee J-Y, Shin S-W. Fabricating an obturator using rapid prototyping to design the framework: a case report. *Int J Prosthodont*. oct 2014;27(5):439-41.
45. Soltanzadeh P, Su J-M, Habibabadi SR, Kattadiyil MT. Obturator fabrication incorporating computer-aided design and 3-dimensional printing technology: A clinical report. *J Prosthet Dent*. avr 2019;121(4):694-7.
46. Kortés J, Dehnad H, Kotte ANT, Fennis WMM, Rosenberg AJWP. A novel digital workflow to manufacture personalized three-dimensional-printed hollow surgical obturators after maxillectomy. *Int J Oral Maxillofac Surg*. sept 2018;47(9):1214-8.
47. Jiang F-F, Hou Y, Lu L, Ding X-X, Li W, Yan A-H. Functional evaluation of a CAD/CAM prosthesis for immediate defect repair after total maxillectomy: a case series of 18 patients with maxillary sinus cancer. *J Esthet Restor Dent Off Publ Am Acad Esthet Dent AI*. avr 2015;27 Suppl 1:S80-89.

48. Rodney J, Chicchon I. Digital Design and Fabrication of Surgical Obturators Based Only on Preoperative Computed Tomography Data. *Int J Prosthodont.* avr 2017;30(2):111-2.
49. Michelinakis G, Pavlakis M, Igoumenakis D. Rehabilitation of a maxillectomy patient using intraoral scanning impression technology and a computer-aided design/computer-aided manufacturing fabricated obturator prosthesis: A clinical report. *J Indian Prosthodont Soc.* sept 2018;18(3):282-7.
50. Elbashti ME, Sumita YI, Hattori M, Aswehlee AM, Taniguchi H. The Role of Digitization in the Rapid Reproduction of an Obturator in a Frail Elderly Patient. *Int J Prosthodont.* déc 2016;29(6):592-4.
51. Elbashti M, Hattori M, Sumita Y, Aswehlee A, Yoshi S, Taniguchi H. Creating a digitized database of maxillofacial prostheses (obturators): A pilot study. *J Adv Prosthodont.* juin 2016;8(3):219-23.
52. MATERIALISE - Logiciel Suite d'innovation Mimics [Internet]. Multistation. [cité 17 nov 2020]. Disponible sur: <https://www.multistation.com/produit/materialise-logiciel-suite-innovation-mimics/>
53. Logiciel de CAO gratuit : les meilleurs logiciels 3D/2D de 2020 [Internet]. All3DP. 2020 [cité 17 nov 2020]. Disponible sur: <https://all3dp.com/fr/1/meilleur-logiciel-3d-gratuit-cao-3d-2d/>
54. Top des 25 meilleurs logiciels de CAO gratuits [Internet]. Sculpteo. [cité 17 nov 2020]. Disponible sur: <https://www.sculpteo.com/fr/centre-apprentissage/les-meilleurs-logiciels-pour-impression-3d/meilleurs-logiciels-de-cao-gratuits/>
55. TOP 12 des logiciels 3D pour les débutants [Internet]. 3Dnatives. 2019 [cité 17 nov 2020]. Disponible sur: <https://www.3dnatives.com/logiciel-3d-pour-debutant-10042017/>
56. Sumita YI, Ozawa S, Mukohyama H, Ueno T, Ohyama T, Taniguchi H. Digital acoustic analysis of five vowels in maxillectomy patients. *J Oral Rehabil.* 2002;29(7):649-56.
57. Kornblith AB, Zlotolow IM, Gooen J, Huryn JM, Lerner T, Strong EW, et al. Quality of life of maxillectomy patients using an obturator prosthesis. *Head Neck.* août 1996;18(4):323-34.
58. Quelle est la différence entre le TPE et le TPU dans l'impression 3D? [Internet].

Beamler. Disponible sur: <https://www.beamler.com/fr/quelle-est-la-difference-entre-le-tpe-et-le-tpu-dans-limpression-3d/>

59. Polyuréthanes thermoplastiques Quadrathane™ | Contact GROUPE FORMULANCE SAS [Internet]. Disponible sur: <https://www.usinenouvelle.com/expo/polyurethanes-thermoplastiques-quadrath-p363706505.html>

60. TreeD lance une gamme de filaments spéciaux pour l'impression 3D médicale [Internet]. PRIMANTE 3D. Disponible sur: <http://www.primante3d.com/healthfil-31102017/>

Autorisation de reproduction :

Les différentes illustrations de ce travail ont été tirées de l'article suivant : Bentahar O, Pomar P, Fusaro S, Benfdil F, Aguentaou A., Abdedine A. Prothèses obturatrices après maxillectomie : bases fondamentales et thérapeutiques. EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Stomatologie, 22-066-B-58, 2008 référencé dans la bibliographie. Un mail a été envoyé à la maison d'édition afin de d'obtenir un droit d'utilisation pour illustrer cette thèse.

Objet : demande de droit d'illustrations

Bonjour,

Je suis étudiante à la faculté d'odontologie de Bordeaux et je suis actuellement en cours de rédaction de thèse de fin d'études. Ma thèse porte sur la prothèse maxillo-faciale et plus précisément sur les obturateurs palatins par CFAO. Je souhaiterais utiliser des figures provenant de votre article afin d'illustrer au mieux mes propos.

Il s'agit de :

-la figure 5 : "Classification des pertes de substance maxillofaciale proposée par Aramany en 1978", page 4

- la figure 7 : Classification proposée. i : infrastructure ; m : mésostructure ; s : suprastructure", page 5

Dans l'attente de votre réponse, je vous prie d'agréer mes salutations distinguées.

BOUSCAILLOU Camille

Vu , Le Président du Jury,

Date, Signature :

Vu, la Directrice de l'UFR des Sciences Odontologiques,

Date, Signature :

Vu, le Président de l'Université de Bordeaux,

Date, Signature :

Collège des Sciences de la Santé

UFR des Sciences Odontologiques

Serment

En présence de mes Maîtres et de mes condisciples, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de l'art dentaire.

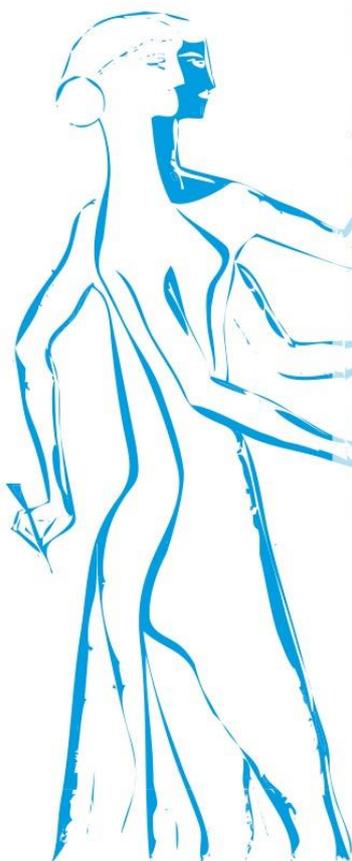
Je donnerai mes soins gratuits à l'indigent et n'exigerai jamais un honoraire au-dessus de mon travail. Ma langue taira les secrets qui me seront confiés. Admis à l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe.

Mes connaissances et mon état ne serviront ni à diffuser des propos non avérés, ni à corrompre les mœurs, ni à favoriser le crime.

Je ne permettrai pas que des conditions de croyance, de nation et de race viennent s'interposer entre mon devoir et mon patient.

Je promets et je jure de conformer strictement ma conduite professionnelle aux principes et aux règles prescrites par le code de déontologie.

Si je remplis ce serment sans l'enfreindre, qu'il me soit donné de jouir heureusement de la vie et de ma profession, honoré à jamais parmi les hommes. Si je le viole et que je me parjure, puissé-je avoir un sort contraire.



Titre : Conception d'un obturateur palatin par CFAO

Résumé :

Les cancers des voies aéro-digestives supérieures peuvent provoquer des pertes de substance de la sphère oro-faciale. Plusieurs thérapeutiques peuvent être proposées : chirurgie reconstructrice, prothèse maxillo-faciale ou symbiose des deux. La prothèse obturatrice reste une solution largement indiquée dans de nombreux cas, et qui continue de se développer grâce à l'avènement du tout numérique. L'objectif de ce travail est de réaliser la conception et fabrication assistées par ordinateur d'un obturateur palatin, indépendant de la prothèse amovible partielle puis de l'évaluer cliniquement. Des logiciels spécialisés dans la modélisation sont utilisés, puis l'obturateur est imprimé en 3D par prototypage rapide. L'évaluation montre une adaptation et une étanchéité satisfaisantes de l'obturateur sous dimensionné de 1%. Une évaluation clinique fonctionnelle sur le long terme ainsi que le développement de nouveaux matériaux flexibles et pérennes sont deux éléments essentiels à la généralisation d'un tel protocole.

Mots clés : Prothèse maxillo-faciale - Obturateur palatin - Modélisation - Impression 3D

Title : Palatal obturator fabrication using CAD/CAM

Abstract :

Congenital or acquired etiologies, such as cancers can lead to maxillary defects with oral-maxillofacial dysfunctions. Maxillary deficiency can be restored by surgery, prosthetically with an obturator or both. When surgery is not possible or when the patient is not agree with this solution, palatal prosthesis may offer the best solution in most clinical cases. CAD/CAM is now more widely used in many fields including removable prosthodontics, and is considered as a disruptive technology. The aim of this study is the fabrication of an individual maxillary obturator using the computer-aided design and computer-aided manufacturing (CAD/CAM) process and its clinical evaluation. Modeling softwares were used for the design, and the prosthesis was printed with a fused deposition modeling technique. The trial placement shows a satisfactory sealing and adaptation. Further studies are necessary to evaluate this kind of palatal obturator on the long term and to develop new reliable and biocompatible materials as flexible resin.

Keywords : Palatal obturator - Modeling - Rapid prototyping
