

UNIVERSITE DE LILLE
FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année de soutenance : 2024

N°:

THESE POUR LE
DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement le 14 Mai 2024

Par Louis DELDYCK

Né le 29 aout 1997 à Lille – FRANCE

**MODELES EN IMPRESSION 3D ET CAVITES TYPES SUR
DENTS ANTERIEURES POUR LES TRAVAUX PRATIQUES
DE DRE EN DFGSO2**

JURY

Président :	Monsieur le Professeur Etienne Deveaux
Assesseurs :	Monsieur le Docteur Marc Linez
	Monsieur le Docteur Jérôme Vandomme
	<u>Monsieur le Docteur Corentin Denis</u>
Membre invité :	Monsieur le Docteur Maxime Beaurain



Président de l'Université :	Pr. R. BORDET
Directrice Générale des Services de l'Université :	A.V. CHIRIS FABRE
Doyen UFR3S :	Pr. D. LACROIX
Directrice des Services d'Appui UFR3S :	
Doyen de la faculté d'Odontologie – UFR3S :	Pr. C. DELFOSSE
Responsable des Services :	L. KORAÏCHI
Responsable de la Scolarité :	G. DUPONT

PERSONNEL ENSEIGNANT DE LA FACULTE

PROFESSEURS DES UNIVERSITES

K. AGOSSA	Parodontologie
P. BOITELLE	Responsable du département de Prothèse
T. COLARD	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
C. DELFOSSE	Doyen de la faculté d'Odontologie – UFR3S Odontologie Pédiatrique Responsable du département d'Orthopédie dento-faciale
E. DEVEAUX	Responsable du Département de Dentisterie Restauratrice Endodontie

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

T. BECAVIN	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
A. BLAIZOT	Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie Légale
F. BOSCHIN	Responsable du Département de Parodontologie
C. CATTEAU	Responsable du Département de Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie Légale.
X. COUTEL	Biologie Orale
A. de BROUCKER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
M. DEHURTEVENT	Prothèses
C. DENIS	Prothèses
F. DESCAMP	Prothèses
M. DUBAR	Parodontologie
A. GAMBIEZ	Dentisterie Restauratrice Endodontie
F. GRAUX	Prothèses
M. LINEZ	Dentisterie Restauratrice Endodontie
T. MARQUILLIER	Odontologie Pédiatrique
G. MAYER	Prothèses
L. NAWROCKI	Responsable du Département de Chirurgie Orale Chef du Service d'Odontologie A. Caumartin - CHRU Lille
C. OLEJNIK	Responsable du Département de Biologie Orale
P. ROCHER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
L. ROBBERECHT	Dentisterie Restauratrice Endodontie
M. SAVIGNAT	Responsable du Département des Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
T. TRENTESAUX	Responsable du Département d'Odontologie Pédiatrique
J. VANDOMME	Prothèses

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES ASSOCIES

M. BEDEZ	Chirurgie Orale, Parodontologie, Biologie
R. WAKAM KOUAM	Prothèses

Réglementation de présentation du mémoire de Thèse

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

Remerciements

Aux membres du jury,

Monsieur le Professeur Etienne DEVEAUX
Professeur des Universités – Praticien Hospitalier
Section de Réhabilitation Orale
Département de Dentisterie Restauratrice Endodontie

Docteur en chirurgie dentaire
Docteur en sciences odontologiques
Docteur en odontologie de l'Université de Lille 2
Habilité à diriger des recherches

Doyen honoraire de la faculté de chirurgie dentaire de Lille
Ancien membre associé national de l'Académie nationale de chirurgie dentaire
Ancien président de la Société française d'endodontie
Chevalier dans l'Ordre des palmes académiques.

Responsable du Département de Dentisterie Restauratrice Endodontie
Chargé de mission Relations Institutionnelles avec le CHU

Je suis très sensible à l'honneur que vous me faites en acceptant la présidence de ce jury. Veuillez trouver ici, à travers ce travail, l'expression de mon profond respect pour votre rigueur, votre savoir et la qualité de votre enseignement.

Monsieur le Docteur Marc LINEZ

Maitre de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier

Section de Réhabilitation Orale

Département de Dentisterie Restauratrice Endodontie

Docteur en Chirurgie Dentaire

Diplôme d'Études Approfondies Sciences de la Vie et de la Santé Maitrise de Sciences de la Vie et de la Santé

Responsable de l'Unité Fonctionnelle de Dentisterie Restauratrice Endodontie

Vous avez accepté de faire partie de ce jury de thèse et je vous en remercie. Merci également pour la qualité de votre enseignement et votre pédagogie lors des travaux pratiques ou vacations cliniques. Soyez assuré de ma sincère reconnaissance, et de mon plus profond respect.

Monsieur le Docteur Jérôme VANDOMME
Maitre de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier
Section de Réhabilitation Orale
Département Prothèses

Docteur en Chirurgie Dentaire
Docteur en Biologie de l'Université de Lille2 Master II Biologie Santé
Master I des Sciences Biologiques et Médicales

Chargé de Mission Nouvelles Technologies

Vous m'avez fait l'honneur d'avoir accepté de siéger dans ce jury. Votre aide et votre implication pour les étapes de numérisation et modélisation m'ont été très précieuses. Votre expérience et vos conseils m'ont beaucoup apporté durant mes différentes vacations cliniques. Soyez assuré de ma sincère reconnaissance.

Monsieur le Docteur Corentin DENIS

Maitre de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier

Section de Réhabilitation Orale

Département Prothèses

Docteur en Chirurgie Dentaire

Master II « Sciences du médicaments » - Parcours « Dispositifs Médicaux –

Biomatériaux » - Université Lille2

C.E.S Prothèses Fixées – Université d'Aix-Marseille

Je te remercie énormément d'avoir accepté la direction de ce sujet de thèse, c'est un honneur de t'avoir à mes côtés. Tu as su être le plus disponible et réactif possible ces dernières semaines. Pendant toutes ces années d'étude j'ai eu le privilège de recevoir tes enseignements pratiques ou théoriques ainsi que tes conseils qui m'ont été d'une grande aide pour l'accomplissement de ces études. Tu as toujours pu te rendre disponible auprès des étudiants, les encourager et les tirer vers le haut et je t'en suis extrêmement reconnaissant. Je te souhaite le meilleure pour la suite de ta carrière.

Monsieur le Docteur Maxime BEURAIN

Docteur en Chirurgie Dentaire

Ancien Assistant Hospitalo-Universitaire

Certificat d'Études Supérieures d'Odontologie Conservatrice et Endodontie – Lille 2

Certificat d'Études Supérieures d'Odontologie Chirurgicale mention Médecine
Buccale – Lille 2

Maxime, c'est un grand honneur de t'avoir eu à mes côtés pour l'élaboration de ce travail ainsi que d'être présent dans ce jury. J'ai eu le privilège de recevoir tes enseignements en deuxième et troisième année et c'est avec grand plaisir que tu as accepté de m'aider dans la réalisation de ce travail malgré ton emploi du temps chargé et alors que tu n'as plus d'obligations universitaires. Je te remercie pour l'ensemble de tes conseils ces dernières années que j'essaie d'appliquer dans ma pratique clinique. Je te souhaite tout le meilleur pour la suite de ta carrière et je n'ai pas de doutes quant au bon déroulement de nos futures rencontres.

Table des matières

Introduction	14
1 Rappels et état des lieux	16
1.1 La classification de Black.....	17
1.2 Le concept Si/Sta.....	18
1.2.1 Les sites.....	18
1.2.2 Les stades	18
1.3 Les travaux pratiques en DFGSO2.....	19
1.3.1 Programme des travaux pratiques.....	20
1.3.2 Les supports pédagogiques.....	20
1.4 Intérêt de la réalisation des modèles en impression 3D	21
2 Outils et méthodes	22
2.1 Élaboration des cavités antérieures sur modèles Frasaco®	22
2.1.1 Matériel.....	22
2.1.2 Réalisation des cavités antérieures de site 2 stade 2 (classe III)	24
2.1.2.1 Trépanation	24
2.1.2.2 Ouverture	24
2.1.2.3 Finitions.....	25
2.1.3 Réalisation des cavités antérieures de site 2 Stade 3 (classe IV)	25
2.1.3.1 Trépanation	25
2.1.3.2 Ouverture	25
2.1.3.3 Finitions.....	26
2.2 Réalisation des modèles en CFAO	26
2.2.1 Rappels sur la CFAO	26
2.2.1.1 La numérisation.....	27
2.2.1.2 La conception assistée par ordinateur CAO :	28
2.2.1.3 La fabrication assistée par ordinateur FAO	29
2.2.2 Numérisation du modèle.....	30
2.2.3 Modélisation du modèle.....	32
2.2.3.1 Création d'un socle	33
2.2.3.2 Le remplacement des dents issues du scan extra-oral par celles issues du scan intra-oral	34
2.2.3.3 L'évidement du modèle	36
2.2.4 Fabrication du modèle	38
2.2.4.1 Importation	38
2.2.4.2 Impression.....	38
2.2.4.3 Post traitement.....	40
3 Discussion et perspectives	42
3.1 Problèmes rencontrés.....	42
3.1.1 Lors de la numérisation	42
3.1.2 Lors de la modélisation.....	43
3.1.3 Lors de la fabrication	43
3.2 Pertinence et avantages du modèle en impression 3D	44
3.3 Inconvénients du modèle en impression 3D	45
3.4 Limites au travail réalisé	46
3.5 Analyse d'une enquête à destination des 2 ^e années	47

3.5.1	Description de l'enquête	47
3.5.2	Description de l'échantillon	47
3.5.3	Questionnaire	47
3.5.4	Résultats aux différentes questions de l'enquête	48
3.5.4.1	Première question	48
3.5.4.2	Deuxième question	49
3.5.4.3	Troisième question	50
3.5.4.4	Quatrième question	51
3.5.4.5	Cinquième question	51
3.5.4.6	Sixième question	52
3.6	Perspectives	53
	Conclusion	55
	Références bibliographiques.....	56
	Webographie	59
	Table des figures.....	60

Tables des abréviations

CAO : Conception assistée par ordinateur

CBCT : Cone Beam Computed Tomography (tomographie par ordinateur à faisceau conique)

CFAO : Conception et fabrication assistée par ordinateur

DFGSO2 : Diplôme de formation général en sciences odontologiques 2^e année

DLP : Digital Light Processing

DRE : Dentisterie restauratrice endodontie

LCD : Liquid Crystal Display

MPU : Modèle prothétique unitaire

SLA : Stéréolithographie apparatus

STL : Stéréolithographie

TP : Travaux pratiques

Introduction

En dentisterie restauratrice et endodontie (DRE), l'enseignement est dispensé par des cours théoriques, des enseignements dirigés et des travaux pratiques. A la faculté de chirurgie dentaire de Lille, ces travaux pratiques ont lieu dans une salle avec simulateurs permettant l'apprentissage et l'acquisition d'une dextérité manuelle et de compétences pré-cliniques indispensables à l'exercice futur de la chirurgie dentaire.

Durant la DFGSO2, plus communément appelée deuxième année, cet enseignement pratique comporte la réalisation de cavités sur dents postérieures, sur dents antérieures et la mise en place de matériau de restauration sur ces mêmes cavités.

L'apprentissage de la réalisation de cavités antérieures fait ainsi appel à plusieurs supports pédagogiques tels que des dessins réalisés au tableau, des diaporamas, photographies ou vidéos de réalisation de cavités, couplés à des explications orales des professeurs.

Grâce à l'essor de la conception et fabrication assistée par ordinateur (CFAO) et ses multiples indications, il est possible d'inclure un nouveau support à l'arsenal pédagogique. Il s'agit d'un modèle en impression 3D comportant les cavités-types sur dents antérieures attendues pour la validation de cet enseignement. Ce modèle, modifiable et répliquable, sera à destination des étudiants et leur permettra d'apprécier pendant les travaux pratiques les notions de réalisations des cavités comme la profondeur, l'axe, les limites et le volume.

Dans un premier temps, un rappel et un état des lieux sur les classifications des dents antérieures et le déroulé des travaux pratique en 2^e année sont effectués puis l'intérêt de la mise en œuvre d'un modèle en impression 3D est exposé.

Vient ensuite dans un second temps, la partie d'élaboration du modèle avec la réalisation des cavités sur dents en résine puis les étapes de la chaîne de CFAO avec la numérisation, la modélisation et la fabrication du modèle en impression 3D.

Enfin, une partie discussion et perspectives permettra d'aborder les difficultés rencontrées, de discuter des limites et perspectives du travail de cette thèse et d'effectuer une enquête à destination de la promotion de 2^e année.

1 Rappels et état des lieux

La maladie carieuse est une maladie multifactorielle touchant l'organe dentaire dont le principal facteur étiologique est la plaque dentaire et dont la manifestation buccale est le développement de pertes de substances dentaires qualifiées de lésions carieuses [14].

Une lésion carieuse se crée par la dissolution lente et localisée des tissus dentaires minéralisés que sont l'émail, la dentine et le cément, sous l'action des acides bactériens produits par la plaque dentaire. Ce processus de dissolution peut prendre différentes formes, d'une simple déminéralisation à la formation d'une lésion cavitaire franche [6].

Selon le contexte clinique (par exemple : étendue de la perte de substance, activité de la lésion), le praticien peut procéder à une intervention mécanique aboutissant à l'élimination du tissu carié. La cavité ainsi formée est destinée à être obturée par un biomatériau. La décision thérapeutique dépend du diagnostic clinique et du volume de la perte de substance.

De nombreuses classifications ont permis de simplifier les procédures diagnostiques et cliniques, les deux classifications les plus utilisées à l'heure actuelle en dentisterie restauratrice et adhésive étant la classification de Black et la classification Si/Sta [2].

1.1 La classification de Black

Éditée au début du XX^e siècle par Black, cette classification est purement topographique et s'intéresse à la localisation de la lésion carieuse. Elle permet de décrire la taille et la forme de la cavité. Elle est qualifiée de « chirurgicale » [34].

Sa simplicité en fait la classification de référence pour les étudiants en deuxième année pour les travaux pratiques de Dentisterie Restauratrice et Endodontie (DRE).

Les différentes classes se définissent comme suivants :

- classe I : lésion carieuse située au niveau des dépressions anatomiques (puits et sillons) sur les faces occlusales des prémolaires et molaires,
- classe II : lésion carieuse des faces proximales des prémolaires et molaires,
- classe III : lésion carieuse des faces proximales des incisives et canines sans atteinte des bords incisifs,
- classe IV : lésion carieuse des faces proximales des incisives et canines avec atteinte des bords incisifs,
- classe V : lésion carieuse des collets dentaires, sur les faces vestibulaires ou buccales des dents antérieures et postérieures,
- classe VI (ajoutée ultérieurement) lésion carieuse des bords incisifs des incisives et canines et des pointes cuspidiennes des prémolaires et molaires.

Toutefois, ce concept ancien est purement topographique et ne préjuge pas de l'étendue de la lésion carieuse [20].

1.2 Le concept Si/Sta

L'évolution des techniques d'obturation par l'apparition des protocoles de collage et l'utilisation de matériaux adhésifs encourage à une approche conservatrice des soins. La réalisation de cavités invasives issues des concepts de Black a laissé place à la prévention et à la réalisation de cavités *a minima*. Le concept Si/Sta est issu des travaux et de la classification de Mount et Hume qui répond à ces impératifs par une approche topographique *via* le site et par une approche biologique *via* le stade d'évolution de la lésion. Cette classification permet ainsi d'employer la restauration la plus appropriée en fonction du site de cario-susceptibilité concerné et du stade évolutif de la lésion carieuse [3,21].

C'est un outil pour le praticien lui permettant de classer les lésions diagnostiquées et de les associer à une décision thérapeutique tout en respectant le principe d'économie tissulaire.

Ce concept définit 3 sites et 5 stades.

1.2.1 Les sites

Les différents sites sont les suivants :

- site 1 ou occlusal : lésions carieuses situées au niveau des puits et sillons de la face occlusale,
- site 2 ou proximal : lésions carieuses situées au niveau des aires de contact proximal entre dents adjacentes,
- site 3 ou cervical : lésions carieuses situées au niveau des aires cervicales sur le périmètre coronaire ou radiculaire.

1.2.2 Les stades

Les différents stades sont les suivants :

- stade 0 : absence de cavité, stade initial de déminéralisation, appelé tâche blanche ou « white spot » et désigne une atteinte réversible amélaire sans cavité visible.

Traitement : reminéralisation à l'aide de topiques fluorés,

- stade 1 : cavité minimale, micro-cavitations en surface pouvant atteindre le tiers externe de la dentine.
Traitement : cavité *a minima* et restauration adhésive par composite,
- stade 2 : cavité de taille moyenne atteignant le tiers médian de la dentine sans affaiblissement cuspidien.
Traitement : cavité *a minima* et restauration adhésive par composite,
- stade 3 : cavité de taille importante atteignant le tiers profond de la dentine et fragilisant les cuspides.
Traitement : curetage et restauration adhésive par composite,
- stade 4 : cavité pouvant atteindre la zone para-pulpaire avec destruction cuspidienne.
Traitement : traitement endodontique si atteinte pulpaire et restauration par curetage et restauration adhésive par composite ou facette ou couronne en antérieur ; curetage puis inlay/onlay/overlay ou couronne périphérique en postérieur.

1.3 Les travaux pratiques en DFGSO2

La réalisation de cavités pour composite représente une part importante du programme des travaux pratiques (TP) de DRE pour les étudiants de deuxième année en odontologie à Lille. La pratique sur des simulateurs permet la répétition de l'exercice, nécessaire à l'acquisition de la dextérité manuelle et de positions de travail optimales [23].

S'entraîner sur des dents artificielles aide en outre à réduire le stress et l'anxiété avant l'entrée en clinique lors du début de l'externat en 4^e année [29].

1.3.1 Programme des travaux pratiques

Lors des travaux pratiques de dentisterie restauratrice et adhésive, le programme comprend la réalisation de cavités types sur dents postérieures et antérieures. Le second semestre permet la mise en œuvre des protocoles de collage par composite sur les cavités préalablement réalisées [15].

1.3.2 Les supports pédagogiques

La mise en application du travail demandé est facilitée par la multitude de supports pédagogiques à destination des étudiants :

- supports oraux : les cours magistraux, les topos réalisés en début de séance et les explications individuelles au simulateur,
- supports iconographiques : les dessins réalisés au tableau par les enseignants, les photographies projetées à l'écran,
- support vidéo : permet d'exposer aux étudiants de manière dynamique ce qu'ils devront réaliser lors de la séance de TP. Ce support permet d'explorer les différentes étapes de réalisation ainsi que la gestuelle à adopter [19],
- **supports physiques 3D** : cavités sur modèle Frasaco®, cavités sur modèles en plâtre, modèle en impression 3D avec cavités postérieures.

Le support physique en trois dimensions présente l'avantage de pouvoir être observé en direct par l'étudiant. Cela permet d'apprécier la forme de la cavité, les axes de réalisation, les notions de profondeur et de volume [4].

Les premiers supports physiques mis à disposition des étudiants étaient des modèles en plâtre. Bien qu'étant réalisés avec un matériau économique, facilement disponible et retouchable, les modèles en plâtre présentent plusieurs inconvénients. Ses propriétés en font un matériau peu résistant à l'usure, à l'humidité et aux chocs. Sa durée de vie est donc assez courte [13].

Par ailleurs, les modèles peuvent être perdus, égarés ou brisés sans la possibilité de les reproduire.

Les modèles Frasaco® quant à eux sont destinés à une utilisation en TP pour la réalisation des cavités.

1.4 Intérêt de la réalisation des modèles en impression 3D

Ainsi se pose l'intérêt de la réalisation d'un modèle en impression 3D en résine. L'objectif est de fournir une représentation anatomique précise de la dent et de la cavité « idéale ». L'information délivrée sera la même d'un groupe d'étudiants à un autre, pour une uniformisation de l'enseignement et une égalité des chances [17].

Un matériau polymère est plus stable dans le temps et plus résistant à l'usure ou aux chocs que le plâtre et présente de plus, l'avantage d'être reproductible à l'infini et à l'identique en cas de perte ou de casse grâce aux caractéristiques de l'impression 3D [8].

Il existe à ce jour un modèle pédagogique pour dents postérieures (cavité de site 1 et de site 2) à disposition des étudiants depuis la rentrée de l'année universitaire 2022/2023 issu des travaux de thèse pour le diplôme d'État de Docteur en Chirurgie-Dentaire d'Emmanuelle Assouan à Lille en 2022 (figure 1).



Figure 1 : modèles en impression 3D sur dents postérieures (source personnelle)

L'objectif est, par l'intermédiaire de ce travail, de compléter le programme des travaux pratiques de 2^e année portant sur la réalisation des cavités en réalisant un modèle en impression 3D avec les cavités types pour dents antérieures.

2 Outils et méthodes

L'objectif de ce travail est d'élaborer un modèle en impression 3D sur les cavités antérieures.

Pour cela, plusieurs étapes pratiques seront nécessaires. Dans un premier temps, l'élaboration manuelle des cavités de classe III et IV sera réalisée au simulateur sur des dents en résine. Dans un second temps, l'utilisation de la CFAO sera mise en œuvre avec des étapes successives de numérisation, de conception et de fabrication.

2.1 Élaboration des cavités antérieures sur modèles Frasaco®

2.1.1 Matériel

Les travaux pratiques ont lieu en salle de simulation (figure 2A). Cette salle est équipée de simulateurs individuels avec arrivée d'eau pour turbine et contre-angle, un spray air-eau, une pédale de fonctionnement, un siège réglable, un scialyrique, une tablette, un mannequin avec hauteur réglable (figure 2B).

Ce mannequin est équipé de mâchoires articulées sur lesquelles sont fixés des modèles Frasaco®, simulant les arcades dentaires. Les joues en silicones permettent de compléter la simulation d'une cavité orale (figure 2C).

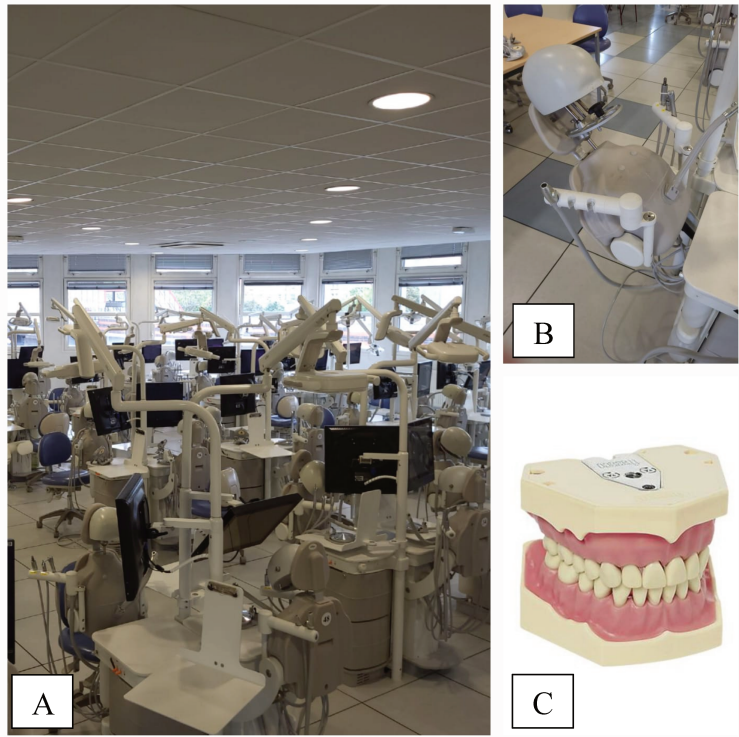


Figure 2 : salle de simulation (A), simulateur (B) et modèles Frasaco®(C (source personnelle)

Pour la réalisation de « cavités-types », le plateau de base comprend :

- les instruments manuels : sonde, miroir, précelles,
- les instruments rotatifs : turbine et contre angle sur lesquels sont montées respectivement des fraises diamantées et des fraises carbure de tungstène provenant d'un séquenceur de la marque Komet®,
- une pompe à salive reliée à l'aspiration du simulateur (figure 3).

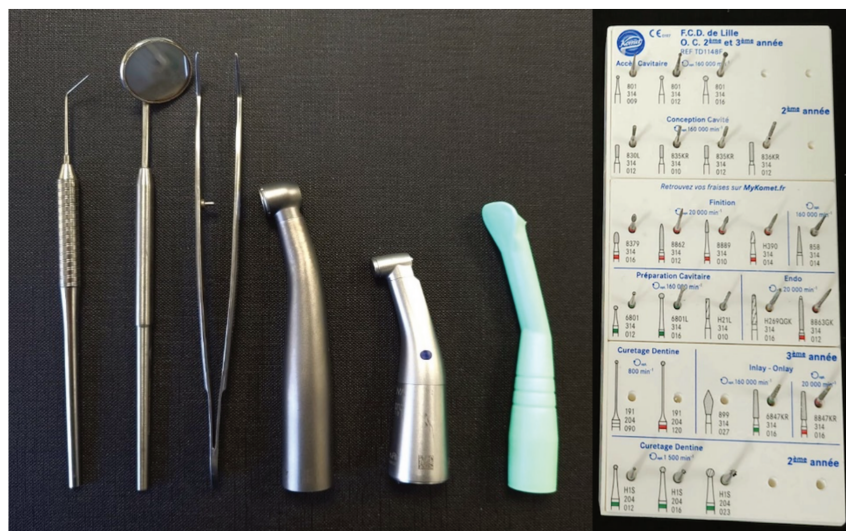


Figure 3 : plateau de base avec coffret de fraises de DRE (source personnelle)

La réalisation des cavités maxillaires se fait en vision indirecte. Les étapes diffèrent sensiblement entre les cavités de site 2 stade 2 (classe III) et les cavités de site 2 stade 3 (classe IV).

Dans la cadre de la réalisation du modèle pédagogique, des cavités de site 2 stade 2 ont été réalisées sur l'incisive centrale maxillaire droite (11), l'incisive latérale maxillaire droite (12) et la canine maxillaire droite (13) et les cavités de site 2 stade 3 ont été réalisées sur l'incisive centrale maxillaire gauche (21), l'incisive latérale maxillaire gauche (22) et la canine maxillaire gauche (23).

2.1.2 Réalisation des cavités antérieures de site 2 stade 2 (classe III)

2.1.2.1 Trépanation

La trépanation correspond à l'effraction tissulaire au centre de l'atteinte carieuse. Elle est réalisée en palatin au niveau du tiers proximal de l'axe mésio-distal et tiers médian de l'axe vertical avec une fraise boule diamantée montée sur turbine [16].

2.1.2.2 Ouverture

L'ouverture permet de donner du volume à la cavité. Elle correspond à l'élimination du tissu carié. Un mouvement de rotation est nécessaire afin d'éliminer le point de contact en progressant en direction vestibulaire d'une part, et en donnant de la profondeur en direction pulpaire d'autre part. L'objectif est d'obtenir un volume homogène, à prédominance pulpaire.

L'ouverture vestibulaire doit être subtile, la limite correspondant généralement à la ligne de transition entre la face proximale et la face vestibulaire.

La limite occlusale est en regard du point de contact, la limite cervicale reste en regard du 1/3 cervical.

2.1.2.3 Finitions

Les finitions des bords de la cavité sont réalisées avec une fraise flamme bague rouge. Un passage d'une fraise carbure de tungstène sur contre-angle peut permettre de lisser le fond de la cavité [26].

2.1.3 Réalisation des cavités antérieures de site 2 Stade 3 (classe IV)

2.1.3.1 Trépanation

La trépanation est la même que pour les cavités de stade 2. Il est possible d'étendre la cavité en occlusal dès cette étape de trépanation afin d'anticiper la rupture d'angle.

2.1.3.2 Ouverture

Le volume cavitaire est plus important. Il est essentiel de garder cette notion de volume cavitaire arrondi, permettant de donner davantage de volume dans toutes les directions de l'espace. Ainsi, le volume obtenu implique une perte de substance supérieure aux cavités de stade 2, que ce soit en direction pulpaire, sur la face palatine ou en direction cervicale.

Par ailleurs, l'ouverture vestibulaire est franche et visible. Cette perte de substance a pour conséquence de laisser l'angle sans soutien tissulaire. Afin de prévenir tout risque de fracture, il est nécessaire de l'éliminer en réalisant un biseau selon un angle de 45° avec une fraise flamme bague rouge 012 montée sur turbine.

2.1.3.3 Finitions

Réalisation d'un biseau périphérique total de 1mm avec une fraise flamme bague rouge avec un axe de 45 degrés, il s'avère très important étant donné le volume à restaurer. Le biseau permet ainsi une augmentation de la surface de collage [35] (figure 4).



Figure 4 : modèle Frasaco® comportant les cavités types (source personnelle)

2.2 Réalisation des modèles en CFAO

2.2.1 Rappels sur la CFAO

La conception et fabrication assistée par ordinateur souvent désignée par l'abréviation CFAO ou CAD/CAM en anglais est un procédé développé dans l'industrie puis appliqué en odontologie sous l'impulsion de François Duret dont le travail de recherche consiste à utiliser l'empreinte optique afin de s'affranchir des matériaux d'empreinte classiques tels que l'alginat ou le silicone [12].

Les différentes étapes de la CFAO lors d'une utilisation classique en chirurgie dentaire sont :

- la numérisation *via* scanner intra-oral, CBCT ou scanner facial,
- la conception assistée par ordinateur *via* un logiciel informatique,
- la fabrication de la restauration par une unité de mise en forme soustractive (usinage) ou additive (impression 3D) [13].

Il existe, de plus, différents types de CFAO à savoir :

- la CFAO directe : toutes les étapes aboutissant à la réalisation d'une pièce de prothèse sont réalisées au cabinet sans que le praticien ne doive passer par un laboratoire [7],
- la CFAO semi-directe : la numérisation est réalisée *via* empreinte optique au cabinet puis transférée au laboratoire de prothèse pour la modélisation et la fabrication,
- la CFAO indirecte : le praticien réalise une empreinte physique qu'il transfère au laboratoire qui pourra par la suite réaliser les trois étapes de CFAO.

La CFAO est devenue un outil majeur pour la réalisation de supports pédagogiques en impression 3D en détournant son utilisation classique à des fins pédagogiques. En effet, il est possible d'utiliser les systèmes d'acquisition numérique extra/intra oraux, les logiciels de conception et de fabrication ainsi qu'une imprimante 3D pour obtenir un modèle pédagogique. La finalité consiste en l'obtention non pas d'une pièce prothétique de restauration mais d'un modèle en résine en impression 3D.

2.2.1.1 La numérisation

Il existe plusieurs possibilités pour obtenir un modèle numérique en trois dimensions :

- l'acquisition radiologique par tomographie volumique à faisceau conique (CBCT) : transformation des données du CBCT en modèle numérique,
- la photogrammétrie : c'est une modélisation à partir de photographies conventionnelles pour recréer un modèle numérique en trois dimensions [28],

- scanner extra-oral de laboratoire : utilisé dans la chaîne de conception et fabrication assistée par ordinateur indirecte par les laboratoires de prothèse dentaire pour numériser des empreintes dentaires physiques, modèles en cire ou en plâtre,
- scanner intra-oral : utilisé dans la chaîne de conception et fabrication assistée par ordinateur directe ou semi-directe. C'est un appareil utilisé pour numériser la cavité buccale du patient par le chirurgien-dentiste : bien souvent il s'agit d'une caméra optique. La caméra optique est composée d'une source lumineuse dirigée vers la surface à acquérir et d'un capteur qui reçoit le faisceau réfléchi. Le tout est couplé à un ordinateur qui va interpréter les données numériques nécessaires à la reconstruction de la surface en trois dimensions par le logiciel de Conception Assistée par ordinateur (C.A.O) [25].

Dans le cadre de cette thèse, le scanner extra-oral de laboratoire et le scanner intra-oral ont été utilisés pour la numérisation.

2.2.1.2 La conception assistée par ordinateur CAO :

Les données numériques acquises à l'étape précédente sont appelées nuage de points. Le nuage de points est une géométrie discrète, c'est-à-dire la transposition d'une géométrie supposée continue (la dent ou le modèle) à une succession de points après échantillonnage.

Ce nuage de points n'est pas exploitable immédiatement et nécessite un post-traitement des données par un logiciel afin d'éliminer des points aberrants et trop denses non conformes ou de diminuer le nombre de points à certains endroits.

A partir de ce nuage de points, le logiciel de CAO va réaliser un filtrage et une approximation par triangulation de ces points afin d'obtenir une géométrie approximée : un modèle 3D dit modèle au format STL (stéréolithographie) [5].

Le format STL est un format informatique qui est utilisé dans les domaines de la modélisation et impression en trois dimensions. Ce format est conçu pour représenter des objets en trois dimensions par maillage triangulaire. La résolution du format STL augmente proportionnellement à l'augmentation du nombre de ces triangles.

Ce format est devenu essentiel en chirurgie dentaire pour la conception et fabrication de modèles pédagogiques ou physiques à visée clinique [32].

2.2.1.3 La fabrication assistée par ordinateur FAO

Il s'agit des paramètres d'impression qui vont matérialiser le fichier virtuel STL en objet *via* une commande numérique.

La commande numérique est une ligne de code qui va donner des instructions à un outil afin qu'il réalise une pièce prothétique selon un parcours bien défini dans plusieurs axes de l'espace.

Le logiciel de FAO est associé au logiciel de CAO dans le cas de la CFAO directe ou indépendant dans le cas de la CFAO indirecte.

Il existe 2 procédés de fabrication par FAO :

- la fabrication soustractive par usinage ou soustraction LASER d'une pièce de départ ;
- la fabrication additive par des systèmes de mise en forme couche par couche (photopolymérisation en cuve, frittage, dépôt de matière) [11].

Dans le cadre de cette thèse, le procédé utilisé pour obtenir l'impression du modèle est une méthode additive de polymérisation en cuve LCD. Cette méthode consiste en l'ajout de strates successives gérées informatiquement. La polymérisation de ces différentes strates se fait par l'impact, sur de la résine liquide photosensible soit d'un faisceau laser (stéréolithographie, SLA), soit d'un motif lumineux à micromiroirs (Digital Light Processing, DLP) soit d'un motif lumineux issu d'un écran à cristaux liquides (Liquid Crystal Display, LCD). La résine impactée se solidifie, créant ainsi les différentes strates de la polymérisation, couche par couche. La superposition et solidarisation des différentes couches s'effectuent grâce au mouvement d'un plateau support et la régularité des différentes couches de résine est assurée par le mouvement d'une lame de balayage. Il est ainsi obtenu la pièce en trois dimensions [11,24].

2.2.2 Numérisation du modèle

Pour la réalisation du modèle portant sur les cavités pour dents antérieures, la méthode initiale choisie est la technique de CFAO indirecte. Le modèle Frasaco[®] est directement destiné à être numérisé par un scanner extra-oral de laboratoire comme si un modèle issu d'une empreinte physique était numérisé.

La numérisation est réalisée grâce au scanner de laboratoire extra oral 7 SERIES[®] et son logiciel associé DWOS[®] de la société DENTAL WINGS présents dans la salle de CFAO de la faculté de Chirurgie Dentaire de Lille.

7 SERIES[®] est un scanner avec dispositif de balayage optique 3D qui combine une technologie de triangulation laser avec un mouvement libre du socle du modèle selon plusieurs axes pour numériser des modèles en positif et négatif (figure 5A). Le logiciel DWOS[®] associé au scanner reproduit ensuite sur l'écran d'ordinateur les données recueillies.

Ce logiciel DWOS[®] Software permet la planification dentaire et la conception de restaurations comme des piliers, couronnes, armatures. Le logiciel importe et visualise les données de la numérisation 3D pour la conception de pièces prothétiques et permet d'exporter les résultats de conception vers un système d'usinage 3D.

Ce matériel est habituellement utilisé en CFAO indirecte au laboratoire [30]. Bien que principalement indiqué pour la prothèse, cette méthode reste adaptable à l'acquisition des cavités réalisées ou à l'étude de modèles.

Ainsi, pour effectuer la numérisation, le modèle Frasaco[®] est placé sur un socle vissé dans le scanner 7 SERIES[®] (figure 5B). Ensuite, sur le logiciel DWOS[®], il faut sélectionner la fonctionnalité « *numérisation d'arcade* » puis sélectionner le support de modèle (support standard dans ce cas) et amorcer la numérisation (figure 5C).

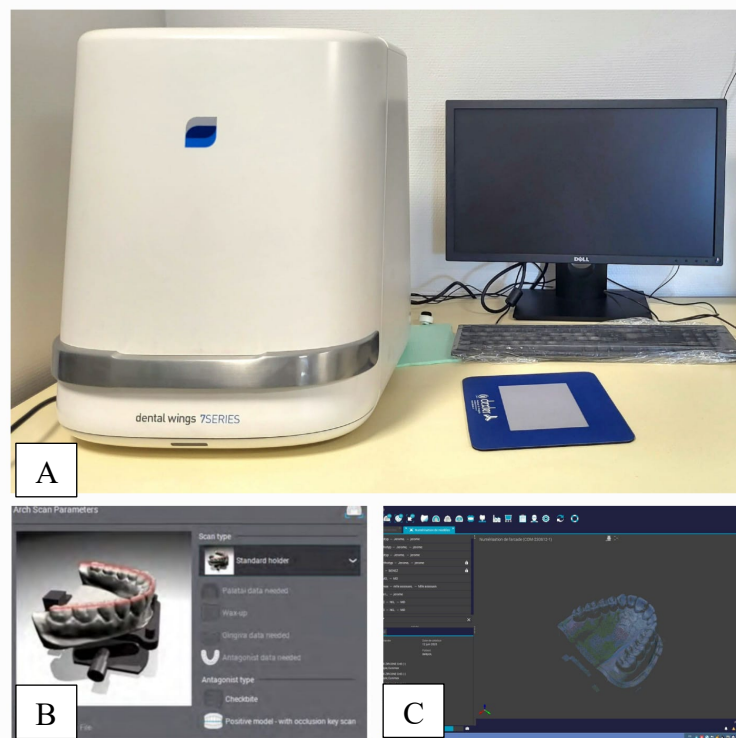


Figure 5 : scanner 7 series® (A), choix du socle (B) et post-numérisation *via* DWOS® (C) (source personnelle)

Un fichier STL est ainsi obtenu sur le logiciel après numérisation pouvant être exporté sur clé USB.

A ce stade, un problème survient : le scanner extra-oral ne permet pas un enregistrement précis de cavités en volume. Les zones de contre-dépouilles ne pouvant pas être enregistrées très précisément, le rendu manque de précision au niveau des cavités.

Il devient alors nécessaire de réaliser une empreinte de chaque dent comportant une cavité à l'aide d'une caméra optique intra-orale détournée de son utilisation de base dans le but de réaliser une fusion entre les fichiers STL de ces dents et le fichier STL obtenu par le scanner extra-oral en gardant tous les éléments du modèle autre que les dents comportant une cavité [18].

La caméra intra-orale utilisée est la caméra TRIOS 2® de la société 3SHAPE utilisée dans le service de Prothèses au centre d'Odontologie Abel Caumartin du CHU de Lille.

Il faut donc numériser chaque dent individuellement avec une prise manuelle en simulant l'enregistrement d'une dent pilier maxillaire et d'une dent pilier mandibulaire et répéter l'opération pour les autres couples de dents (figure 6). Il n'était pas possible d'effectuer la numérisation des 6 dents sur une seule fenêtre patient.

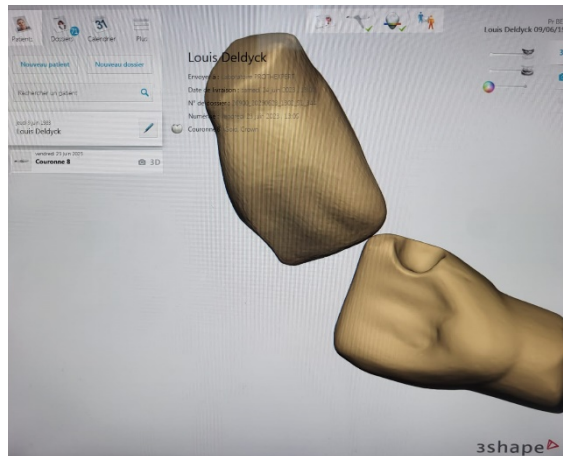


Figure 6 : numérisation dents 11 et 21 via la TRIOS 2® de 3SHAPE® (source personnelle)

Après la numérisation effectuée, il faut lancer le post traitement des données puis procéder à l'exportation des fichiers STL dent par dent sur clé USB.

2.2.3 Modélisation du modèle

La modélisation de ce modèle consiste en une fusion du premier fichier STL obtenu par le scanner extra-oral et des six fichiers STL obtenus par la caméra intra-orale à l'aide du logiciel gratuit Meshmixer® de la société Autodesk. C'est un logiciel de modélisation 3D qui permet de manipuler, modifier, réparer et combiner des modèles 3D via maillage triangulaire comme des fichiers au format STL par exemple. Ainsi, la modélisation a nécessité trois grandes étapes :

- la création d'un socle,
- le remplacement des dents issues du scan extra-oral par celles issues du scan intra-oral,
- l'évidement du socle.

2.2.3.1 Création d'un socle

La première étape de modélisation consiste en la création d'un socle :

- ouverture du logiciel Meshmixer®,
- importation du fichier STL *via* la fonction « *import* »,
- fonction « *view* » puis « *show grid* » pour faire apparaître un plan de référence en trois dimensions XYZ (figure 7),

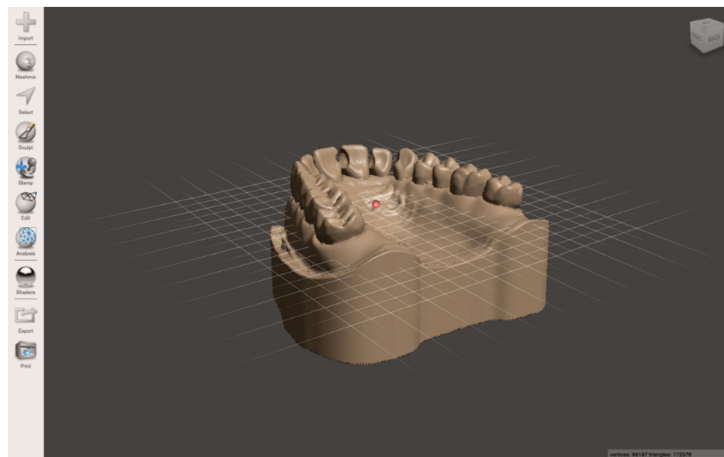


Figure 7 : symétrisation au plan de référence (source personnelle)

- paralléliser l'arcade avec le plan de référence en utilisant les fonctions « *edit* » puis « *transform* »,
- utiliser la fonction « *edit* » puis « *plan cut* » pour faire apparaître un plan de coupe qui permettra de supprimer les zones superflues et inutiles,
- adoucir ensuite les bords du modèle avec la fonction « *sculpt* » puis « *brushes* » puis « *bubble smooth* » (figure 8),



Figure 8 : inventaire des fonctions de sculptage Meshmixer® (source personnelle)

- sélectionner « *deform* » puis « *transform* » pour jouer sur la hauteur du socle selon convenance,
- sélectionner ensuite « *deform* » puis « *smooth* » pour adoucir les bords du socle (figure 9).

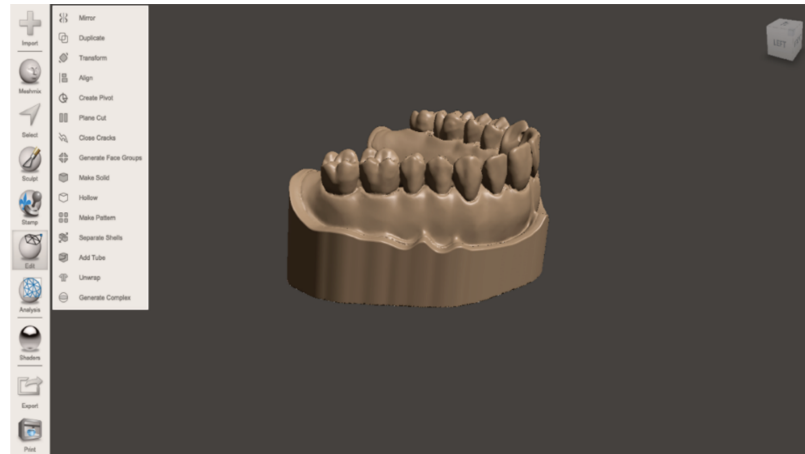


Figure 9 : modèle numérique après création du socle (source personnelle)

2.2.3.2 Le remplacement des dents issues du scan extra-oral par celles issues du scan intra-oral

La deuxième étape de modélisation consiste en le remplacement des dents issues du scan extra-oral par celles issues du scan intra-oral :

- importation des fichiers STL des dents individuelles *via* la fonction « *import* »,
- la fonction « *hide/show object* » permet de faire apparaître ou disparaître l'un des fichiers. Dans ce cas-ci, il faut faire apparaître les dents une par une afin de ne pas être embêté visuellement durant le processus de fusion,
- utiliser la fonction « *transform* » pour aligner la dent individuelle avec sa correspondante du modèle (figure 10A),
- sélectionner le modèle global comme cible avec la fonction « *set as target* » puis utiliser les fonctions « *select* » et « *spheric brush* » pour marquer la dent individuelle avant alignement (figure 10B),
- utiliser ensuite la fonction « *edit* » puis « *align to target* » pour aligner la dent individuelle à sa correspondante sur le modèle. Il est possible d'augmenter la précision de l'alignement en jouant sur la tolérance d'erreurs (figure 10C),

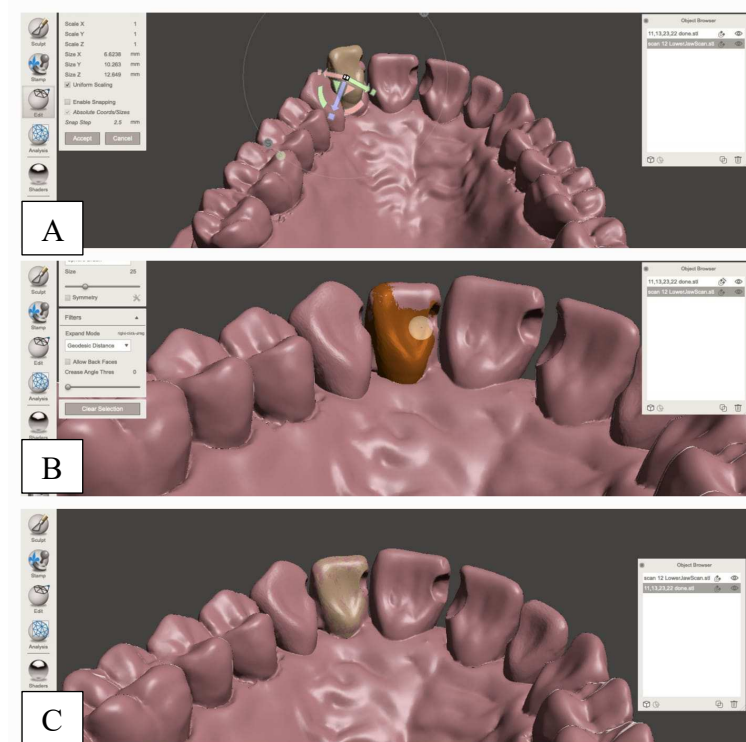


Figure 10 : symétrisation à la cible (A), sélection de la cible (B) et alignement à la cible (C) (source personnelle)

- une fois les deux fichiers alignés, cacher la dent individuelle puis marquer la dent du modèle destinée à être remplacée *via* la fonction « *select* ». Il est possible d'utiliser la fonction « *show wireframe* » pour visualiser le maillage triangulaire et ainsi sélectionner la zone à supprimer avec une plus grande précision,
- une fois la zone marquée, utiliser la fonction « *modify* » puis « *remove* » pour supprimer toute la zone marquée (figure 11A),
- un vide apparaissant dans le modèle, il faut utiliser la fonction « *analysis* » puis « *inspector* » et « *smooth fill* » afin que le logiciel comble automatiquement ce vide par un maillage triangulaire,
- sélectionner « *sculpt* » puis « *brushes* » puis « *bubble smooth* » pour harmoniser la zone édentée et créer une jonction dent-gencive cohérente,
- utiliser la fonction « *boolean union* » afin d'unir les deux fichiers STL (figure 11B),
- enfin, il ne reste plus qu'à gommer les défauts apparents de gencive avec la fonction « *bubble smooth* » et répéter toutes ces étapes pour les dents suivantes (figure 11C, 11D).

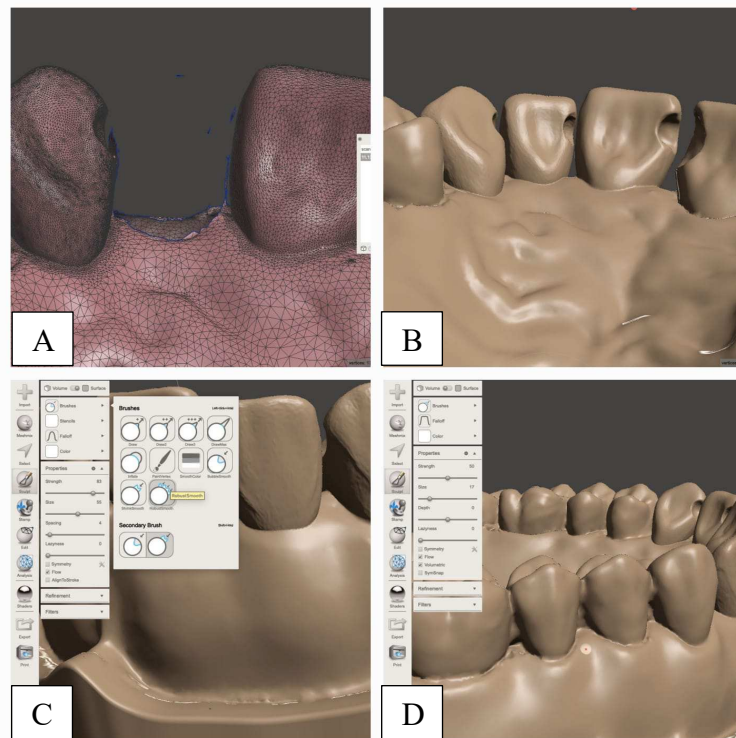


Figure 11 : suppression de la zone marquée (A), union booléenne (B), sculptage (C) et résultat final (D) (source personnelle)

2.2.3.3 L'évidement du modèle

Enfin, la troisième étape de la modélisation consiste en l'évidement du modèle :

- aligner le modèle par rapport au plan de référence,
- sélectionner le modèle puis la fonction « *hollow* » pour obtenir un modèle évidé (figure 11A),
- choisir la fonction « *plane cut* » pour régler la hauteur finale du socle et contrôler l'évidement interne du modèle (figure 11B),
- l'évidement et la hauteur du socle sont visibles sur une vue inférieure après symétrisation avec le plan de référence (figure 11C).

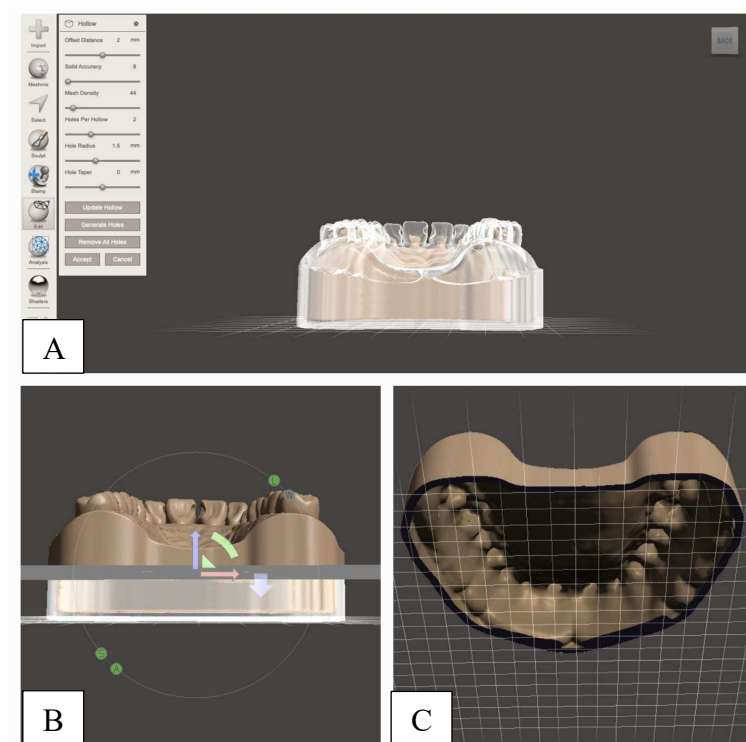


Figure 12 : modèle évidé (A), réglage de la hauteur du socle (B) et évidement en vue inférieure (C) (source personnelle)

L'ensemble de ces étapes sur Meshmixer® aboutit à la modélisation finale d'un modèle dentaire global comportant les cavités de classe III et IV avec la plus grande précision possible.



Figure 13 : modèle final après modélisation (source personnelle)

Les épaisseurs habituellement utilisées par le laboratoire pour la réalisation de modèle 3D sont de 50, 100 et 170 μ . L'épaisseur utilisée pour ce travail étant de 50 μ .

De plus, afin de fournir la meilleure qualité d'impression possible, le laboratoire imprime régulièrement un cube de résine de 1cm de côté qui est ensuite mesuré à l'aide d'un pied à coulisses afin de calibrer l'imprimante.

Le matériau d'impression utilisé est la résine Liqcreate® premium Model de couleur beige (figure 15). C'est un photopolymère opaque utilisé dans l'industrie médicale et plus particulièrement dentaire mais également pour l'impression après modélisation chez les concepteurs ou artistes. Cette résine d'impression 3D réagit à une longueur d'onde comprise entre 385 et 420 nm.

Ainsi la résine liquide est versée dans le bac dans l'imprimante 3D puis la résine impactée par le faisceau se solidifie couche par couche. La superposition et la solidarisation des différentes couches s'effectuent grâce aux mouvements des axes de guidage selon l'axe Z.



Figure 15 : imprimante 3D Halot-sky Creality® (à gauche) et résine Liqcreate® (à droite)¹

¹ <https://www.creality.com/fr/products/halot-sky-3d-printer>

2.2.4.3 Post traitement

Après le cycle d'impression, la résine nécessite plusieurs étapes de post-traitement :

- nettoyage à l'alcool isopropylique 10 minutes dans la Formwash® de Formlabs® (figure 16),
- trempage 10 minutes dans un second bain bien propre aux ultrasons,
- soufflage et séchage,
- post-polymérisation dans la Formcure® de Formlabs® pendant 30 minutes à 65 degrés (figure 16),
- découpe du socle et des tiges de support à la pince coupante puis léger passage au taille plâtre pour lisser la surface du modèle et enlever les aspérités liées à la coupe du socle.

Il faut prendre des précautions (port de gants et lunettes) lors de la manipulation du modèle en résine entre les différentes machines, la résine relarguant des monomères avant polymérisation complète potentiellement dangereux en cas de contact avec la peau et les muqueuses².



Figure 16 : Formwash® (à gauche) et résine Formcure® (à droite)³

² PHILIPPE F, ATTAL JP. Impression 3D, Législation, Environnement Biocompatibilité : un message de prudence ... Disponible sur : <https://www.lefildentaire.com/articles/impression-3d-legislation-environnement-biocompatibilite-message-de-prudence/>

³ <https://formlabs.com/fr/post-processing/wash-cure/>

Ainsi, le modèle en impression 3D contenant les cavités antérieures de type III et de type IV est prêt à l'utilisation pour les élèves de deuxième année (figures 17 et 18).



Figure 17 : modèle post impression en vue supérieure (à gauche) et inférieure (à droite) (source personnelle)



Figure 18 : modèle post impression en vue frontale décalée à gauche (à gauche) et vue frontale décalée à droite (à droite) (source personnelle)

3 Discussion et perspectives

3.1 Problèmes rencontrés

3.1.1 Lors de la numérisation

Le logiciel Dental Wings® associé au scanner extra-oral a présenté de nombreux bugs au lancement et problèmes de mises à jour ce qui a nécessité de recommencer la procédure de scan par deux fois avant de pouvoir enregistrer le fichier STL.

Ensuite, le problème majeur rencontré lors de la numérisation du modèle, est le manque de précision du scanner extra-oral pour l'enregistrement des cavités en volume. En effet, ce scanner est destiné à une utilisation en prothèse fixée pour l'élaboration de pièces prothétiques, c'est à dire l'enregistrement de dents piliers exemptes de contre-dépouilles. Une utilisation de la caméra intra-orale TRIOS 2 3SHAPE® a permis de remédier à ce problème de numérisation.

Une autre difficulté s'est présentée lors de l'utilisation de la caméra intra-orale 3SHAPE® pour scanner les dents Frasaco®. En effet, il a fallu scanner les dents une par une avec une prise manuelle et non le modèle dans son intégralité afin de mieux mixer les futurs fichiers STL par la suite. L'indication de cette caméra étant une numérisation intra-orale, les conditions étaient différentes d'une situation clinique, il a fallu reprendre plusieurs fois la numérisation afin d'obtenir un rendu acceptable, la caméra étant souvent bloquée et n'arrivant pas à reproduire l'anatomie de la dent.

3.1.2 Lors de la modélisation

Le logiciel Meshmixer® est un logiciel généraliste gratuit peu puissant et moins pratique d'utilisation par rapport à des logiciels concurrents dont la licence est payante ce qui a engendré des bugs et la perte de l'avancée de certains travaux. Cependant, une récente étude a démontré qu'il n'y avait pas de différence significative de précision à l'impression entre l'utilisation de logiciels de modélisation spécifiques à la dentisterie et d'autres plus généralistes [1].

Le temps d'importation des fichiers était de plus en plus long au fur et à mesure de la fusion des différents fichiers STL et donc d'un accroissement de la taille de ce fichier. Des sauvegardes sur clé USB régulières étaient nécessaires pour éviter de perdre les données. De plus, le logiciel est uniquement disponible en anglais et japonais, sa compréhension et prise en main nécessitent une certaine adaptation.

Une autre difficulté rencontrée était la précision à atteindre pour effacer certaines parties des dents du modèle en particulier les zones des points de contacts. Pour pallier cela l'utilisation d'une souris assez puissante et précise est préférable.

La fonction « *align to target* » est perfectible et manque de précision pour l'alignement d'une des dents par rapport à la correspondante sur le modèle ce qui a conduit à un réajustement manuel.

La fonction « *boolean union* » ne fonctionne pas si les deux fichiers ne sont pas assez lisses ce qui a nécessité un adoucissement préalable avec la fonction « *bubble smooth* » avant de réaliser la fusion.

3.1.3 Lors de la fabrication

Le port de gants est recommandé pour éviter le contact entre les muqueuses et les monomères de résine toxiques avant polymérisation complète et s'assurer de la bonne ventilation de la pièce afin d'éviter toute inhalation.

Des imprécisions de résine au niveau des cavités de classe III en regard des points de contacts ont nécessité une légère retouche à l'aide d'une sonde droite et de strips abrasifs.

3.2 Pertinence et avantages du modèle en impression 3D

La réalisation de ce modèle est un très bon complément aux outils et au modèle déjà mis à disposition pour l'apprentissage des travaux pratiques en DRE.

Le but est ensuite de constituer des petits groupes d'étudiants qui se verront remettre un modèle en impression 3D au début du TP sur les cavités antérieures. Ils pourront alors, en s'aidant de leurs connaissances théoriques nouvellement acquises, observer et analyser le travail attendu lors de ce module de TP.

L'observation de ce modèle peut être couplée avec des explications orales des enseignants. De plus, *via* la caméra disponible dans la salle de simulation, les enseignants peuvent expliquer la méthodologie et les étapes de réalisation des cavités en sondant le modèle en direct.

Un autre avantage pédagogique est de permettre aux étudiants d'avoir une comparaison entre leur travail et celui attendu. Les cavités présentes sur le modèle en impression 3D ayant été validées par les enseignants de DRE, cela simplifie la comparaison avec le travail de l'étudiant et permet d'expliquer point par point les critères ne pouvant être validés et comment les améliorer.

Il pourrait également être intéressant de mettre les cavités numérisées au format STL en ligne *via* Moodle pour que les étudiants puissent les visualiser dans tous les plans de l'espace sur ordinateur, tablette ou smartphone.

Une fiche d'évaluation étant disponible depuis le début de l'année 2023-2024, le modèle permet en outre de se rendre compte de ses erreurs en suivant les critères qui constituent cette fiche et en comparant une fois de plus le modèle pédagogique au travail réalisé lors du TP ou de l'évaluation. Le modèle en impression 3D permet une marche à suivre, une représentation du travail attendu mais n'a cependant pas vocation à être utilisé en tant que barème de notation.

Les modèles en impression 3D présentent ainsi plusieurs avantages :

- la sauvegarde des données numériques grâce aux fichiers STL permet une reproductivité du modèle en réponse à une perte ou un besoin d'un plus grand nombre de modèles,
- la mise à disposition des fichiers numériques à la faculté et plus particulièrement au service de DRE,
- intégration des concepts théoriques dans la formation pratique
- solidité du modèle qui présente une résistance accrue aux chocs par rapport aux modèles en plâtre notamment,
- la visualisation directe du travail attendu,
- la comparaison avec son travail personnel,
- possibilité de mise à jour du modèle selon l'évolution des concepts de préparation cavitaire.

3.3 Inconvénients du modèle en impression 3D

Les modèles en impression 3D présentent plusieurs inconvénients comme :

- le coût de la réalisation importante en lien avec les prix des matériaux, scanners, logiciels et machines d'impression ou de post traitement,
- les produits chimiques (résine) toxiques,
- les problématiques environnementales liées au recyclage compliqué de l'isopropanol utilisé lors des étapes de post traitement [36],
- le temps de fabrication élevé, qui nécessite de nombreuses étapes de numérisation, modélisation et un temps d'impression non négligeable même si les étapes de numérisation et modélisation peuvent être évitées grâce à la sauvegarde du fichier STL et donc grâce à la possibilité de réimprimer directement le modèle à tout moment.

3.4 Limites au travail réalisé

Contrairement au modèle sur cavités postérieures, les dents ne sont pas sous forme de modèle prothétique unitaire M.P.U. Ainsi, il n'est pas possible d'extraire la dent du modèle afin d'apprécier les axes, volumes et formes de contour. Ce choix a été fait dans le but de mieux estimer l'ouverture vestibulaire, limiter la réalisation de cavités tunnels trop délabrantes et garder une cohérence avec une pratique clinique. Cela dit, la réalisation de ces M.P.U n'est pas irréalisable et reste envisageable.

Les classifications de Black et Si/Sta sont assez théoriques. En effet, si radiologiquement la lésion carieuse paraît profonde ou que le patient présente une symptomatologie pulpaire associée, le traitement est plus invasif qu'une cavité de classe III (2.2) ou IV (2.3).

De plus, avec l'utilisation des matériaux adhésifs, la tendance est au « *prep less* » où seul le tissu carié est éliminé. La dentine affectée et les structures tissulaires sont préservées sans tenir compte des principes d'ouverture buccale ou d'homogénéisation du fond de la cavité [31].

Ces principes tendent ainsi à respecter l'économie tissulaire, point crucial quant au respect du gradient thérapeutique et au devenir au long terme des dents affectées, ce qui n'est pas le cas des cavités des modèles [33].

En outre, les dents types Frasaco® utilisées comme support de cavités mais aussi par les étudiants pour leurs travaux pratiques sont des dents en résine donc l'aspect et la densité ne représentent pas la réalité clinique, l'anatomie étant standardisée.

Ainsi, un changement de programme rend le modèle caduc : en effet, si demain le programme des TP abandonne la réalisation des cavités de Black au profit de réalisations de cavités selon des principes d'économie tissulaire, « *prep less* », les modèles deviennent inutiles pour la réalisation des TP bien qu'ils puissent toujours servir pour se donner l'idée d'une cavité étendue ou de certains principes de réalisation que les étudiants seront amenés à rencontrer en clinique.

3.5 Analyse d'une enquête à destination des 2^e années

3.5.1 Description de l'enquête

L'enquête a été réalisée à l'UFR3S odontologie de Lille en mai 2023 auprès de la promotion de 2^e année de l'année 2022-2023. Cette population présente comme intérêt d'avoir déjà été en contact avec les modèles en impression 3D sur dents postérieures et d'avoir terminé l'entièreté du programme pratique et théorique de DRE ce qui lui permet un esprit critique et une bonne analyse des questions posées.

L'enquête leur a été délivrée sous forme de questionnaire anonyme Google form® *via* une publication sur les réseaux sociaux afin de toucher un maximum de personnes ; le mois de mai étant une période d'examen où les étudiants de la promotion ne sont pas tous présents sur le site de la faculté hormis pour des examens, période pendant laquelle une distribution papier semblait être compliquée.

3.5.2 Description de l'échantillon

Sur une promotion de 130 étudiants, la participation est de 58 personnes soit 45% de la promotion de 2^e année.

3.5.3 Questionnaire

Le questionnaire comprenait les questions suivantes :

- 1) Êtes-vous ? :
 - primant,
 - doublant.

- 2) Concernant les travaux pratiques sur la réalisation des cavités, estimez-vous avoir mieux compris et mieux mis en application :
- les cavités postérieures,
 - les cavités antérieures,
 - les deux tout autant ?
- 3) Selon vous, le moyen le plus simple de comprendre le travail à réaliser est :
- le topo de l'enseignant,
 - les dessins du tableau,
 - les croquis sur l'écran de l'ordinateur,
 - en observant les modèles physiques en impression 3D (dents postérieures),
 - quand l'enseignant vous donne des explications au tableau ?
- 4) Jugez-vous utile de réaliser un modèle en impression 3D pour visualiser le travail attendu sur les cavités antérieures ?
- oui, j'ai absolument besoin de visualiser ce que je dois réaliser,
 - non, les explications orales et dessins me suffisent,
 - pourquoi pas, afin de valider visuellement ce que j'ai compris lors du topo.
- 5) Êtes-vous globalement satisfaits par les moyens pédagogiques mis à votre disposition dans les apprentissages des travaux pratiques de DRE ?
- oui,
 - non.
- 6) Que proposez-vous afin de les améliorer ?

3.5.4 Résultats aux différentes questions de l'enquête

3.5.4.1 Première question

Pour la première question « Êtes-vous primant ou doublant ? », une personne ayant répondu à la fois primant et doublant a été exclue, il y a ainsi 49 primants soit 84% de l'effectif et 8 doublants soit 16% de l'effectif.

La représentation de l'échantillon est cohérente avec la promotion globale, le taux de primants et doublants étant respectivement de 82% et 18%.

3.5.4.2 Deuxième question

Pour la 2^e question intitulée « concernant les travaux pratiques sur la réalisation des cavités, estimez-vous avoir mieux compris et mieux mis en application : les cavités postérieures, les cavités antérieures ou les deux tout autant ? », 18 personnes soit 31% de l'effectif ont répondu « les cavités postérieures », 24 personnes soit 41,4% de l'effectif « les cavités antérieures » et 16 personnes soit 27,6% « les deux tout autant ».

Concernant les travaux pratiques sur la réalisation des cavités, estimez vous avoir mieux compris et mieux mis en application

58 réponses

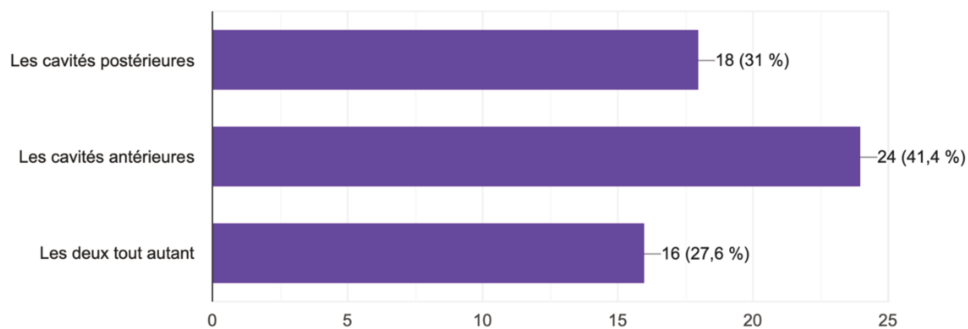


Figure 19 : diagramme en barre représentant les réponses à la 2^e question (source : Google Forms)

Les cavités antérieures semblent ainsi avoir été un peu mieux comprises et mieux mises en application par la promotion de DFGSO2 malgré l'absence de modèle 3D à leur disposition pour le moment.

Une première hypothèse peut être que l'enseignement des cavités antérieures intervient après celui sur les cavités postérieures. Les étudiants ont ainsi développé plus de capacités pratiques et techniques et sont mieux préparés à l'exercice d'une préparation cavitaire qu'à la rentrée.

Une seconde hypothèse est que la cavité antérieure est moins délabrante et moins importante en volume qu'une cavité postérieure ce qui suppose une appréciation plus facile et une difficulté moindre.

Après comparaison des réponses entre étudiants primants et doublants, ces derniers ont globalement mieux compris les cavités antérieures (50%) et légèrement moins les cavités postérieures (25%) ce qui conforte cette tendance.

3.5.4.3 Troisième question

Pour la troisième question « selon vous, le moyen le plus simple de comprendre le travail à réaliser est », il fallait sélectionner 2 réponses parmi :

- le topo de l'enseignant,
- les dessins du tableau,
- les croquis sur l'écran de l'ordinateur,
- en observant les modèles physiques en impression 3D (dents postérieures),
- quand l'enseignant vous donne des explications au tableau.

Les différentes réponses apparaissent sous forme de camembert (figure 20).

Selon vous, le moyen le plus simple de comprendre le travail à réaliser est (sélectionner 2 réponses)
58 réponses



Figure 20 : camembert représentant les réponses à la 3^e question (source : Google Forms)

Ainsi, 39 personnes, soit 67,2% des participants sélectionnent le modèle physique en impression 3D comme étant le moyen le plus simple de comprendre le travail à effectuer lors des TP. Cette réponse très positive en faveur du modèle en impression 3D renforce la pertinence du travail effectué lors de cette thèse et l'importance de tels supports dans l'apprentissage des travaux pratiques en chirurgie dentaire.

Les deux autres propositions les plus choisies sont « les explications au tableau » et « les dessins au tableau ». Cela montre une importance des explications des enseignants lors des TP qui viennent souvent compléter les supports mis à disposition. Cela montre également une grande importance du support visuel en général, les dessins étant une représentation schématique en deux dimensions du travail attendu lors des TP.

En comparant une nouvelle fois les étudiants primants et doublants, les doublants préfèrent les dessins au tableau (25%) et cochent moins l'observation des modèles en impression 3D même s'il reste le support le plus plébiscité avec 50% des choix.

3.5.4.4 Quatrième question

Pour la quatrième question « Jugez-vous utile de réaliser un modèle en impression 3D pour visualiser le travail attendu sur les cavités antérieures ? », une personne a été retirée de l'analyse car elle a répondu à deux réponses ce qui donne 57 participants. 39 personnes soit 68% des participants ont répondu « oui, j'ai absolument besoin de visualiser ce que je dois réaliser », 18 personnes soit 32% ont répondu « pourquoi pas, afin de valider visuellement ce que j'ai compris lors du topo » et personne n'a répondu « non, les explications orales et dessins me suffisent ». Les choix de réponses sont quasi similaires entre primants et doublants.

Une fois encore, les réponses à cette question démontrent que les étudiants de la promotion de 2^e année dans son intégralité (primants et doublants) sont demandeurs d'un support en impression 3D pour les cavités antérieures.

3.5.4.5 Cinquième question

Pour la cinquième question « êtes-vous globalement satisfaits par les moyens pédagogiques mis à votre disposition dans les apprentissages des travaux pratiques de DRE », 44 personnes soit 75,9% ont répondu non et 14 personnes soit 24,1% ont répondu oui. Un seul des doublants a répondu « oui » à cette question.

Êtes vous globalement satisfaits par les moyens pédagogiques mis à votre disposition dans les apprentissages des travaux pratiques de DRE ?

58 réponses

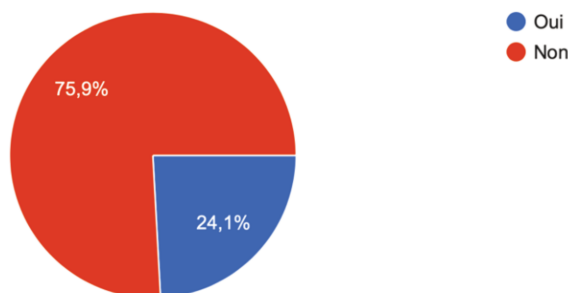


Figure 21 : diagramme circulaire représentant les réponses à la 5^e question (source : Google Forms)

L'interprétation de ce résultat est à corrélérer avec la sixième question ouverte, les motifs d'insatisfaction et/ou les axes d'amélioration pouvant y être évoqués.

3.5.4.6 Sixième question

La sixième et dernière question « que proposez-vous afin de les améliorer » est une question ouverte à réponse non obligatoire. 33 participants ont répondu à cette question soit 57% des participants au questionnaire.

En recoupant les différentes propositions, celle qui revient le plus avec 17 personnes sur les 33 ayant répondu à la question est la demande de critères d'évaluation/notation comme dans les autres UE pour comprendre les axes d'amélioration en vue des prochains TP et examens pratiques. Cependant cette proposition est à remettre dans son contexte. En effet, ce questionnaire a été effectué lors de l'année 2022-2023 et une fiche de critères de validation a été mise au point pour l'année 2023-2024 afin de répondre à la demande étudiante.

Ensuite 7 personnes ont demandé un accompagnement plus personnalisé et un retour sur les travaux effectués durant l'année. Ce point soulève la question d'un contrôle continu à chaque TP.

Six personnes sont en demande d'une capsule vidéo réalisée par les enseignants avant un nouveau TP.

Il est possible de répondre à cette demande. Une thèse sur la réalisation de vidéos pédagogiques est disponible depuis 2011 [10].

Des vidéos de réalisation de cavités sont également disponibles sur des plateformes en ligne gratuites telles que Youtube® ou Dailymotion®.

Cinq personnes sont en demande de modèles en impression 3D pour chaque TP.

Ces demandes semblent difficilement réalisables car le programme évolue régulièrement et les coûts engendrés par une telle demande semblent disproportionnés.

Enfin, 4 personnes demandent un nombre plus important de TP pendant l'année. Il existait, il y a quelques années, des travaux pratiques de perfectionnement. Il pourrait être intéressant d'en évoquer le retour avec le corps enseignant de DRE.

3.6 Perspectives

Ce travail consiste en une marche à suivre pour l'obtention d'un modèle pédagogique en impression 3D et peut être étendu à d'autres TP de DRE comme celui consacré aux préparations pour inlay/onlay, à d'autres disciplines comme la prothèse fixée ou d'autres facultés.

De plus, le modèle est évolutif en fonction des innovations des concepts théoriques et des données acquises de la science tels que des nouveaux principes de préparation, nouveaux logiciels, nouveaux outils numériques ou éléments de CFAO, nouveaux matériaux mais également évolutif en fonction de nouvelles méthodes d'apprentissage et peut donc être un allié au long terme des étudiants en chirurgie dentaire.

Dans le futur, l'apprentissage de la chirurgie dentaire se tournera très certainement vers l'utilisation de nouvelles technologies et innovations du numérique comme les unités de formation en réalité virtuelle où la simulation sera axée sur une prise en charge semblable à celle rencontrée en clinique et donc à des principes de

préparation respectant l'économie tissulaire rendant ce modèle caduc même s'il peut constituer un complément visuel appréciable.

Cependant, une autre évolution technologique à prendre en compte de nos jours est l'intelligence artificielle. Il peut être envisageable dans les années à venir d'utiliser l'intelligence artificielle pour la modélisation de caries ou cavités avant impression 3D en se basant sur des critères cliniques grâce à l'analyse de data rendant les possibilités infinies et permettant une diversification de l'apprentissage combinée à un gain de temps considérable [22,27].

Ainsi, le modèle en impression 3D pourrait être utilisé aussi bien comme support visuel que comme support pratique pour la réalisation de cavités ou de restaurations. La faculté pourrait également devenir indépendante et autonome vis-à-vis des industriels pour se fournir en modèles de travaux pratiques si le matériel d'impression est mis à sa disposition bien que les coûts engendrés constituent un frein à l'autonomie.

Conclusion

Les étudiants en chirurgie dentaire sollicitent un maximum d'outils dans le cadre de leur formation. Les modèles en impression 3D contribuent à l'amélioration de nos pratiques dans des disciplines telles que la dentisterie restauratrice, l'endodontie, la prothèse ou encore l'implantologie.

Bien que les concepts soient en inadéquation avec les données actuelles de préparation cavitaire, la mise à disposition d'un modèle en impression 3D reste tout à fait pertinente dès lors qu'elle reste en adéquation avec le programme de travaux pratiques proposé.

Ainsi, la mise à disposition d'un modèle pédagogique sur cavités antérieures permet de répondre à une demande étudiante dans un souci d'amélioration des compétences.

Références bibliographiques

- [1] ABAD-CORONEL C, PAZÁN DP, HIDALGO L, LARRIVA LOYOLA J. Comparative analysis between 3D-printed models designed with generic and dental-specific software. *Dentistry journal*. 2023 ; 11(9) : 216.
- [2] BADET, C, RICHARD, B. Étude clinique de la carie. *EMC - Dentisterie*. 2004 ; 1(1) : 40–48.
- [3] BALDISSERA R, CORRÊA M, SCHUCH, COLLARES K, NASCIMENTO G, JARDIM P, MORAES, R, OPDAM, N. Are there universal restorative composites for anterior and posterior teeth? *Journal of dentistry*. 2013 ; 41(11) : 1027–1035.
- [4] DE BOER IR, WESSELINK PR, VERVOORN JM. Student performance and appreciation using 3D vs. 2D vision in a virtual learning environment. *European journal of dental education*. 2016 ; 20(3) : 142–147.
- [5] BUDAK I, VUKELIĆ D, BRAČUN D, HODOLIČ J, SOKOVIĆ M. Pre-processing of point-data from contact and optical 3D digitization sensors. *Sensors*. 2012 ; 12(1) : 1100–1126.
- [6] BUXERAUD J. Prévention de la carie dentaire. *Actualités pharmaceutiques*. 2017 ; 56(568) : 51–54.
- [7] CAZIER S, MOUSSALLY C. Descriptif des différents systèmes d’empreinte optique. *Revue d’Odonto-Stomatologie*. 2013 ; 42(2) : 107–118.
- [8] CHAUDHARI PK, DHILLON H, DHINGRA K, ALAM MK. 3D printing for fostering better dental education. *Evidence-Based Dentistry*. 2021 ; 22(4) : 154–155.
- [9] Czajkowska M, Walejewska E, Zadrozny L, Wieczorek M, Swieszkowski W, Wagner L, Mijiritsky E, Markowski J. Comparison of dental stone models and their 3D printed acrylic replicas for the accuracy and mechanical properties. *Materials*. 2020 ; 13(18) : 4066.
- [10] CZARNECKI T. Réalisation de vidéos pédagogiques pour les travaux pratiques d’OCE. Thème abordé : les composites. Partie 1. Préparation cavitaire. Thèse pour le diplôme de chirurgie dentaire. Lille 2011, 108p.
- [11] DESCAMP F, FAGES M. La CFAO en odontologie: les bases, les principes et les systèmes. *Guide clinique*. Rueil-Malmaison : CDP ; 2016. 240p.
- [12] DURET F, BLOUIN JL, NAHMANI L, DURET B. Principe de fonctionnement et application technique de l’empreinte optique dans l’exercice de cabinet. *Cah Prothese* 1995 ; 13 : 73.

- [13] ENDER A, MEHL, A. Full arch scans: conventional versus digital impressions--an in-vitro study. *International journal of computerized dentistry* 2011 ; 14(1) : 11–21.
- [14] FIORETTI F, HAÏKEL Y. Carie et sucres: Caries and sugars. *Médecine des Maladies Métaboliques*. 2010 ; 4(5) : 543–549.
- [15] FOLEY J, RICHARDSON G, DRUMMIE J. Agreement among dental students, peer assessors, and tutor in assessing students' competence in preclinical skills. *Journal of Dental Education* 2015 ; 79(11) : 1320–1324.
- [16] GRAY G, DAUD A. *A practical approach to operative dentistry*. Wiley Blackwell ; 2020. 272p.
- [17] HÖHNE C, SCHMITTER M. 3D printed teeth for the preclinical education of dental students. *Journal of Dental Education*. 2019 ; 83(9) : 1100–1106.
- [18] JÄGER K, VÖGTLIN C. Processus de travail numérique avec le lava chairside oral scanner C.O.S et la technique lava. *Schweizer monatschrift fur Zahnmedizin*. 2012 ; 122(4) : 316.
- [19] KHATTAK O, GANJI KK, IQBAL A, ALONAZI M, ALGARNI H, ALSHARARI T. Educational videos as an adjunct learning tool in pre-clinical operative dentistry-A randomized control trial. *Healthcare*. 2022 ; 10(2) : 178.
- [20] LASFARGUES JJ, LOUIS, JJ, KALEKA R. Classifications des lésions carieuses. De Black au concept actuel par sites et stades. *EMC—Médecine buccale*. 2008 : 1–19.
- [21] LASFARGUES JJ, COLON, P, LAMBRECHTS P. *Odontologie conservatrice et restauratrice: Une approche médicale globale*. Paris : Éditions CdP ; 2009. 480p.
- [22] LIN GSS, NG YS, GHANI N, CHUA KH. Revolutionising dental technologies: a qualitative study on dental technicians' perceptions of Artificial intelligence integration. *BMC oral health*. 2023 ; 23(1) : 690.
- [23] LUGASSY D, LEVANON Y, SHPACK N, LEVARTOVSKY S, PILO R, BROSH T. An interventional study for improving the manual dexterity of dentistry students. *Plos one*. 2019 ; 14(2).
- [24] MELE M, CAMPANA G. Advancing towards sustainability in liquid crystal display 3D printing via adaptive slicing. *Sustainable production and consumption*. 2022 ; 30 : 488–505.
- [25] MOSER N, SANTANDER P, QUAST A. From 3D imaging to 3D printing in dentistry - a practical guide. *International journal of computerized dentistry*. 2018 ; 21(4) : 345–356.

- [26] SCHNEPPER H, WOLCOTT R. A class III cavity preparation for direct gold: modified loma linda design. *Operative Dentistry*. 1976 ; 1 : 45–48.
- [27] SHAN T, TAY FR, GU L. Application of artificial intelligence in dentistry. *Journal of dental research*. 2021 ; 100(3) : 232–244.
- [28] STUANI VT, FERREIRA R, MANFREDI G, CARDOSO M, SANT'ANA A. Photogrammetry as an alternative for acquiring digital dental models: A proof of concept. *Medical Hypotheses*. 2019 ; 128 : 43–49.
- [29] SUKSUDAJ N, TOWNSEND GC, KAIDONIS J, LEKKAS D, WINNING TA. Acquiring psychomotor skills in operative dentistry: do innate ability and motivation matter? *European Journal of Dental Education: Official Journal of the Association for Dental Education in Europe*. 2012 ; 16(1) : 187-194.
- [30] TAPIE L, LEBON N, ATTAL, J. La chaîne numérique en CFAO dentaire - Structuration de la chaîne de production en prothèse conjointe. *Réalités cliniques*. 2015 ; 26(4) : 263–273.
- [31] THOMPSON V, WATSON T, MARSHALL G, BLACKMAN B, STANSBURY J, SCHADLER L, PEARSON R, LIBANORI R. Outside-the-(cavity-prep)-box thinking. *Advances in dental research*. 2013 ; 25(1) : 24–32.
- [32] TIAN Y, CHEN C, XU X, WANG J, HOU X, LI K, LU X, SHI H. A review of 3D printing in dentistry: technologies, affecting factors, and applications. *Scanning*. 2021.
- [33] TIRLET G, ATTAL JP. Le gradient thérapeutique. *Information dentaire*. 2009 ; 41(42) : 2561-2568.
- [34] TURPIN YL, VULCAIN JM. Principes généraux de préparation des dents en vue de leur restauration. *EMC-Odontologie*. 2005 ; 1(2) : 67–76.
- [35] XU H, JIANG Z, XIAO X, FU J, SU Q. Influence of cavity design on the biomechanics of direct composite resin restorations in Class IV preparations. *European Journal of Oral Sciences*. 2012 ; 120(2) : 161–167.

Webographie

1 : <https://www.creality.com/fr/products/halot-sky-3d-printer>
Consulté le 22/03/2024.

2 : PHILIPPE F, ATTAL JP. Impression 3D, Législation, Environnement
Biocompatibilité : un message de prudence ... Disponible sur :
<https://www.lefildentaire.com/articles/impression-3d-legislation-environnement-biocompatibilite-message-de-prudence/>
Consulté le 21/12/2023.

3 : <https://formlabs.com/fr/post-processing/wash-cure/>
Consulté le 22/03/2024.

Table des figures

FIGURE 1 : MODELES EN IMPRESSION 3D SUR DENTS POSTERIEURES (SOURCE PERSONNELLE)	21
FIGURE 2 : SALLE DE SIMULATION (A), SIMULATEUR (B) ET MODELES FRASACO®(C (SOURCE PERSONNELLE)	23
FIGURE 3 : PLATEAU DE BASE AVEC COFFRET DE FRAISES DE DRE (SOURCE PERSONNELLE).....	23
FIGURE 4 : MODELE FRASACO® COMPORTANT LES CAVITES TYPES (SOURCE PERSONNELLE).....	26
FIGURE 5 : SCANNER 7 SERIES® (A), CHOIX DU SOCLE (B) ET POST-NUMERISATION VIA DWOS® (C) (SOURCE PERSONNELLE).....	31
FIGURE 6 : NUMERISATION DENTS 11 ET 21 VIA LA TRIOS 2® DE 3SHAPE® (SOURCE PERSONNELLE)	32
FIGURE 7 : SYMETRISATION AU PLAN DE REFERENCE (SOURCE PERSONNELLE)	33
FIGURE 8 : INVENTAIRE DES FONCTIONS DE SCULPTAGE MESHMIXER® (SOURCE PERSONNELLE)	33
FIGURE 9 : MODELE NUMERIQUE APRES CREATION DU SOCLE (SOURCE PERSONNELLE).....	34
FIGURE 10 : SYMETRISATION A LA CIBLE (A), SELECTION DE LA CIBLE (B) ET ALIGNEMENT A LA CIBLE (C) (SOURCE PERSONNELLE).....	35
FIGURE 11 : SUPPRESSION DE LA ZONE MARQUEE (A), UNION BOOLEENNE (B), SCULPTAGE (C) ET RESULTAT FINAL (D) (SOURCE PERSONNELLE).....	36
FIGURE 12 : MODELE EVIDE (A), REGLAGE DE LA HAUTEUR DU SOCLE (B) ET EVIDEMENT EN VUE INFERIEURE (C) (SOURCE PERSONNELLE)	37
FIGURE 13 : MODELE FINAL APRES MODELISATION (SOURCE PERSONNELLE)	37
FIGURE 14 : IMPORTATION DU MODELE SUR CHITUBOX® (SOURCE PERSONNELLE).....	38
FIGURE 15 : IMPRIMANTE 3D HALOT-SKY CREALITY® (A GAUCHE) ET RESINE LIQCREATE® (A DROITE).....	39
FIGURE 16 : FORMWASH® (A GAUCHE) ET RESINE FORMCURE® (A DROITE).....	40
FIGURE 17 : MODELE POST IMPRESSION EN VUE SUPERIEURE (A GAUCHE) ET INFERIEURE (A DROITE) (SOURCE PERSONNELLE).....	41
FIGURE 18 : MODELE POST IMPRESSION EN VUE FRONTALE DECALEE A GAUCHE (A GAUCHE) ET VUE FRONTALE DECALEE A DROITE (A DROITE) (SOURCE PERSONNELLE)	41
FIGURE 19 : DIAGRAMME EN BARRE REPRESENTANT LES REPNSES A LA 2 ^E QUESTION (SOURCE : GOOGLE FORMS)	49
FIGURE 20 : DIAGRAMME CIRCULAIRE REPRESENTANT LES REPNSES A LA 3 ^E QUESTION (SOURCE : GOOGLE FORMS)	50
FIGURE 21 : DIAGRAMME CIRCULAIRE REPRESENTANT LES REPNSES A LA 5 ^E QUESTION (SOURCE : GOOGLE FORMS).....	52

Thèse d'exercice : Chir. Dent. : Lille : Année 2024 – N°:

Modèle en impression 3D et cavités types sur dents antérieures pour les travaux pratiques de DRE en DFGSO2 / **Deldyck Louis**.-
p. 62 : ill. 21 ; réf. 35.

Domaines : Dentisterie Restauratrice Endodontie - Enseignement

Mots clés Rameau: Dentisterie restauratrice, cavité dentaire, numérisation, pédagogie,

Mots clés FMeSH: Dentisterie restauratrice, cavité dentaire, modèle pédagogique, numérisation, modélisation, impression, pédagogie.

Résumé de la thèse :

Lors des travaux pratiques de DRE en deuxième année, les étudiants de l'UFR3S odontologie sont amenés à réaliser des cavités sur dents antérieures.

Lors de ces travaux pratiques, l'absence de modèle pédagogique permettant d'apprécier les notions de réalisations des cavités comme la profondeur, l'axe ou le volume a été constaté.

En parallèle, la conception et fabrication assistée par ordinateur (C.F.A.O) est devenue un outil majeur dans l'exercice de la chirurgie dentaire et peut être mise à profit pour la réalisation de supports pédagogiques en trois dimensions.

Ainsi, le but de cette thèse est de répondre à une demande étudiante en s'appuyant sur les outils modernes techniques et informatique de la CFAO.

Ce travail de thèse permet d'ouvrir des possibilités dans l'enseignement de la chirurgie dentaire à Lille et peut être étendu à d'autres disciplines telles que la prothèse ou l'implantologie.

JURY :

Président : **Mr le Professeur Etienne Deveaux**

Assesseurs : **Mr le Docteur Marc Linez**
Mr le Docteur Jérôme Vandomme
Mr le Docteur Corentin Denis

Membre invité : Mr le Docteur Maxime Beaurain