

**UNIVERSITE DE LILLE
FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE**

[Année de soutenance : 2023]

N° :

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

Présentée et soutenue publiquement le 18 DECEMBRE 2023

Par Axel, BRACKE

Né le 24 SEPTEMBRE 1997 à Poissy – France

**MODELISATION ET IMPRESSION DE DENTS EN 3D
POUR L'ENTRAINEMENT AUX CAVITES D'ACCES
LORS DES TRAVAUX PRATIQUES D'ENDODONTIE DE
TROISIEME ANNEE**

JURY

Président : Monsieur le Professeur Etienne DEVEAUX

Assesseurs : Monsieur le Docteur Corentin DENIS

Monsieur le Docteur Thibault BECAVIN

Monsieur le Docteur Florian DE CONINCK

| | |
|--|-----------------|
| Président de l'Université : | Pr. R. BORDET |
| Directrice Générale des Services de l'Université : | M-D. SAVINA |
| Doyen UFR3S : | Pr. D. LACROIX |
| Directrice des Services d'Appui UFR3S : | G. PIERSON |
| Doyen de la faculté d'Odontologie – UFR3S : | Pr. C. DELFOSSE |
| Responsable des Services : | N. RICHARD |
| Responsable de la Scolarité : | G. DUPONT |

PERSONNEL ENSEIGNANT DE LA FACULTE.

PROFESSEURS DES UNIVERSITES :

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

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

| | |
|----------------------|---|
| T. BECAVIN | Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux |
| M. BEDEZ | Chirurgie Orale, Parodontologie, Biologie Orale |
| 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. COUDEL | Biologie Orale |
| A. de BROUCKER | Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux |
| M. DEHURTEVENT | Prothèses |
| T. DELCAMBRE | 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 |

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

Monsieur le Docteur Corentin DENIS

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier

Section de Réhabilitation Orale

Département Prothèse

Docteur en Chirurgie Dentaire

Master II « Sciences du médicament » - Parcours « Dispositifs Médicaux –
Biomatériaux » - Université Lille2

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

Monsieur le Docteur Thibault BÉCAVIN

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier

Section de Réhabilitation Orale

Département Sciences Anatomiques

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur de l'Université de Lille

Master II Biologie et Santé – Lille2

Monsieur le Docteur Florian DE CONINCK

Assistant Hospitalo-Universitaire des CSERD

Section de Réhabilitation Orale

Département de Dentisterie Restauratrice Endodontie

Docteur en Chirurgie Dentaire

A ma famille, à mes amis...

Tables des abréviations

TP : Travaux Pratiques

ED : Enseignement dirigé

DFGSO : Diplôme de Formation Générale en Sciences Odontologiques

DASRI : Déchets d'Activités de Soins à Risque Infectieux et assimilés

CBCT : Cone Beam Computed Tomography

Table des matières

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Etat des lieux des pratiques actuelles..... | 17 |
| 1.1 | Présentation du programme actuel | 17 |
| 1.2 | Avantages | 19 |
| 1.2.1 | Qualité de la formation | 19 |
| 1.2.2 | Faible coût d'acquisition | 19 |
| 1.3 | Inconvénients et limites des dents naturelles | 20 |
| 1.3.1 | Difficultés pour trouver des dents | 20 |
| 1.3.2 | Evaluations inégales | 20 |
| 1.3.3 | Risques infectieux | 21 |
| 1.3.4 | Réglementation légale..... | 21 |
| 2 | Alternatives possibles à l'enseignement actuel..... | 22 |
| 2.1 | Achat par la faculté de dents en résine | 22 |
| 2.1.1 | Frasaco®..... | 22 |
| 2.1.2 | RightNao®..... | 24 |
| 2.2 | Avantages | 26 |
| 2.3 | Inconvénients | 26 |
| 2.4 | Impression de dents..... | 27 |
| 3 | Conception et réalisation des modèles imprimables..... | 28 |
| 3.1 | Matériels et méthodes | 28 |
| 3.1.1 | Matériels :..... | 29 |
| 3.1.2 | Méthodes : illustration avec le cas de la première molaire maxillaire | 30 |
| 3.2 | Résultats | 49 |
| 3.2.1 | Incisive centrale maxillaire..... | 49 |
| 3.2.2 | Incisive latérale maxillaire | 51 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.2.3 | Canine maxillaire..... | 53 |
| 3.2.4 | Première prémolaire maxillaire..... | 55 |
| 3.2.5 | Canine mandibulaire | 58 |
| 3.2.6 | Première prémolaire mandibulaire | 60 |
| 3.2.7 | Première molaire mandibulaire..... | 62 |
| 4 | Analyse et discussion | 65 |
| 4.1 | Difficultés et échecs lors du processus | 65 |
| 4.2 | Avantages de cette méthode..... | 66 |
| 4.3 | Limites de cette méthode | 66 |

Introduction

L'endodontie est une discipline particulière de la dentisterie puisqu'elle aborde le traitement d'un tissu non visible dans son intégralité. Cette discipline requiert une bonne visualisation dans l'espace ainsi qu'une bonne compréhension et connaissance de l'anatomie dentaire. Le futur chirurgien-dentiste y est confronté dès la troisième année d'études odontologiques. Cet apprentissage commence avec des enseignements théoriques qui sont suivis de travaux pratiques, d'abord centrés sur la réalisation des cavités d'accès, puis sur la préparation canalaire jusqu'à l'obturation. Ces travaux pratiques sont réalisés sur des dents naturelles, récupérées par les étudiants eux-mêmes auprès des cabinets dentaires.

Les travaux pratiques des autres disciplines sont réalisés pour certains sur des modèles artificiels avec des dents en résine. Or, la complexité de l'anatomie pulpaire d'une dent, ainsi que ses variations courantes sont difficiles à retranscrire de manière industrielle. L'utilisation des dents naturelles permet donc une très bonne formation mais soulèvent des problèmes sanitaires et réglementaires pour les étudiants et la faculté de chirurgie dentaire.

Des alternatives coûteuses, plus ou moins réalistes, existent avec des modèles pédagogiques créés par différents fabricants.

Ainsi pour pallier aux problèmes apportés par les dents naturelles, et pour réduire les coûts pour la faculté de chirurgie dentaire, il a été trouvé une solution pour les premiers travaux pratiques d'endodontie centrés sur la réalisation des cavités d'accès, via l'impression 3D par stéréolithographie.

1 Etat des lieux des pratiques actuelles

1.1 Présentation du programme actuel

Les travaux pratiques (TP) d'endodontie débutent à partir de la troisième année d'études odontologiques. Ils sont précédés de cours magistraux et d'enseignements dirigés (ED) pendant les 2^e et 3^e années du Diplôme de Formation Générale aux Sciences Odontologiques (DFGSO) afin d'assimiler l'ensemble des connaissances théoriques nécessaires avant leur mise en pratique. Plusieurs outils pédagogiques existent et ont été développés au cours de travaux précédents tels que des vidéos [13], des fiches [11] ou des modèles pédagogiques [8,9,12].

Les ED et TP de la DFGSO 2 dans la discipline de dentisterie restauratrice endodontie (DRE) étant principalement centrés sur l'éviction carieuse et la pose de composite, seul le programme de la DFGSO 3 du premier et deuxième semestre en endodontie est détaillé dans le tableau suivant. (**Tableau 1**)

Au cours de cette 3^e année et dans la discipline d'endodontie les étudiants devront réaliser le traitement endodontique initial complet sur les dents suivantes :

- une incisive centrale maxillaire,
- une incisive latérale maxillaire,
- une canine maxillaire,
- une première prémolaire maxillaire à 2 canaux,
- une première molaire maxillaire à 4 canaux,
- une canine mandibulaire,
- une première prémolaire mandibulaire monocanalaire,
- une première molaire mandibulaire à 3 canaux.

**Tableau 1 : Programme des ED et TP d'endodontie au cours de la DFGSO 3
(Exemple avec l'année de 2022/2023)**

| Semestre | Sujet de la séance | Date | Groupe ou promotion complète | ED ou TP | Durée |
|---|--|----------------------|------------------------------|----------|----------|
| Premier semestre | Présentation du programme et matériel | | Promotion complète | TP | 2 heures |
| | Endodontie : Les enjeux | 05/09/22 | Promotion complète | ED | 1 heure |
| | Endodontie : Les enjeux 2 | 12/09/22 | Promotion complète | ED | 1 heure |
| | Deux cavités d'accès incisive ou canine (sauf incisive mandibulaire) | 19/09/22 26/09/22 | En groupe | TP | 2 heures |
| | Anatomie et radiographie en endodontie | 19/09/22 | Promotion complète | ED | 1 heure |
| | Anatomie et radiographie en endodontie 2 | 26/09/22 | Promotion complète | ED | 1 heure |
| | Etapas pré-endodontiques et cavités d'accès | | Promotion complète | ED | 2 heures |
| | Cavités d'accès | | Promotion complète | ED | 2 heures |
| | Deux cavités d'accès prémolaires | 03/10/22 10/10/22 | En groupe | TP | 2 heures |
| | Instrumentation – Mise en forme et nettoyage du système canalaire | 03/10/22 | Promotion complète | ED | 1 heure |
| | Instrumentation – Mise en forme et nettoyage du système canalaire 2 | 10/10/22 | Promotion complète | ED | 1 heure |
| | Limites apicales | 11/10/22 | Promotion complète | ED | 3 heures |
| | Deux cavités d'accès molaires : maxillaire et mandibulaire | 17/10/22 24/10/22 | En groupe | TP | 2 heures |
| | Instrumentation – Mise en forme et nettoyage du système canalaire 3 | 17/10/22 | Promotion complète | ED | 1 heure |
| | Instrumentation – Mise en forme et nettoyage du système canalaire 4 | 24/10/22 | Promotion complète | ED | 1 heure |
| | Instrumentation – Mise en forme et nettoyage du système canalaire 5 | 07/11/22 | Promotion complète | ED | 1 heure |
| | Irrigation en endodontie | 08/11/22 | Promotion complète | ED | 3 heures |
| | Instrumentation – Mise en forme et nettoyage du système canalaire 6 | 14/11/22 | Promotion complète | ED | 1 heure |
| | Les onlays | | Promotion complète | ED | 2 heures |
| Préparation canalaire monoradiculée du TP 2 | 21/11/22 28/11/22 | En groupe | TP | 2 heures | |
| Deuxième semestre | Obturation | | Promotion complète | ED | 2 heures |
| | Obturation 2 | | Promotion complète | ED | 2 heures |
| | Reconstitution de la dent dépulpée | | Promotion complète | ED | 3 heures |
| | Biologie pulpaire | | Promotion complète | ED | 2 heures |
| | Pathologies pulpaire | | Promotion complète | ED | 2 heures |
| | Retraitement orthograde | | Promotion complète | ED | 3 heures |
| | Retraitement orthograde 2 | | Promotion complète | ED | 3 heures |
| | Urgences endodontiques | | Promotion complète | ED | 3 heures |
| | Lésions d'usures : diagnostic | | Promotion complète | ED | 2 heures |
| | Temporisation en endodontie | | Promotion complète | ED | 2 heures |
| | Préparation canalaire prémolaire du TP 3 | 02/01/23 09/01/23 | En groupe | TP | 2 heures |
| | Obturation dents monoradiculées et prémolaire maxillaire des 2 TP | 16/01/23 23/01/23 | En groupe | TP | 2 heures |
| | Préparation canalaire molaire maxillaire du TP 4 | 30/01/23 06/02/23 | En groupe | TP | 2 heures |
| | Préparation canalaire molaire mandibulaire du TP 4 | 13/02/23 27/02/23 | En groupe | TP | 2 heures |
| | Fin préparation canalaire molaire mandibulaire du TP 4 et obturation | 06/03/23 13/03/23 | En groupe | TP | 2 heures |

Les TP du premier semestre de la DFGSO3 en endodontie sont orientés sur les cavités d'accès. Les étudiants ont à leur charge la récupération de dents naturelles auprès de chirurgiens-dentistes libéraux en amont de ces premiers TP. Ils utiliseront ensuite ces dents pour les TP du premier et du second semestre, de la cavité d'accès à l'obturation canalaire.

1.2 Avantages

1.2.1 Qualité de la formation

Le principal avantage de l'utilisation des dents naturelles est évidemment le réalisme dans la pratique des gestes techniques lors des TP. La complexité anatomique d'une dent nécessite d'être étudiée en amont à de multiples reprises pour en apprécier les variations courantes et apprendre à s'adapter aux différents cas possibles. Ainsi l'entraînement sur les dents naturelles ne pourra que difficilement être égalé par des productions industrielles dans leur complexité et variations.

1.2.2 Faible coût d'acquisition

Cette organisation a pour autre avantage le fait que ces dents ne représentent aucun coût financier pour les étudiants ou la faculté pour les acquérir, puisque les dents sont des organes humains et que leur vente est interdite par l'article 16-6 du Code Civil⁽¹⁾. [22]

Il ne reste à la charge de l'étudiant que les coûts de décontamination et de stockage.

1. Légifrance. Article 16-6 - Code civil [Internet]. [consulté le 25 Juin 2023] : https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000006419301

1.3 Inconvénients et limites des dents naturelles

1.3.1 Difficultés pour trouver des dents

Il est très difficile pour les étudiants de se procurer des dents naturelles qui soient exploitables. En effet le dogme actuel visant à l'économie tissulaire, comme décrit selon un gradient thérapeutique par Tirlet et Attal [10], les dents avulsées sont bien souvent des dents délabrées, fracturées, présentant des lésions carieuses importantes et donc des minéralisations pulpaire ne facilitant pas, voir empêchant, l'apprentissage dans de bonnes conditions des fondamentaux pour les étudiants..

De plus, un canal radiculaire possède 3 dimensions et les radiographies types « rétro-alvéolaires » réalisées par les étudiants en amont de leurs travaux pratiques ne leur apportent pas suffisamment d'informations pour le choix des dents.

Ces paramètres rendent difficiles l'obtention de dents exploitables, d'autant plus que chaque dent est utilisée tout au long de l'année dans les TP successifs pour aboutir à la fin du traitement endodontique initial. Ainsi si un étudiant parvient à acquérir une dent naturelle de bonne qualité mais qu'il réalise une cavité d'accès inadéquate dès son premier TP, il se met en difficulté pour toute la suite du programme.

1.3.2 Evaluations inégales

Les évaluations des TP ont également lieu avec des dents naturelles que les étudiants doivent récupérer. Chaque dent possède une anatomie pulpaire différente mais également des variations anatomiques telles que des isthmes, des pulpolithes ou des formes de canaux variables. Toutes ces variabilités mènent à des traitements de difficultés différentes et donc des évaluations inégales et injustes.

1.3.3 Risques infectieux

Une dent est un tissu vivant colonisé par des bactéries qui, dès son avulsion, appartient aux Déchets d'Activités de Soins à Risques Infectieux et Assimilés (DASRI) selon l'article R1335-1 du Code de la Santé Publique⁽²⁾.

Elles sont récupérées dans les cabinets dentaires sans traçabilité vers le donneur. Cela représente un risque non négligeable pour les étudiants qui les manipulent avant, pendant et après les travaux pratiques.

De plus les étudiants gardent les dents après les TP et ont la responsabilité de les éliminer correctement. Ces dents appartenant aux DASRI cela représente une difficulté supplémentaire pour les étudiants.

1.3.4 Réglementation légale

L'article L1245-2 du Code de la Santé Publique⁽³⁾ précise : « Les tissus, les cellules et les produits du corps humain, prélevés à l'occasion d'une intervention chirurgicale pratiquée dans l'intérêt de la personne opérée [...] peuvent être utilisées à des fins thérapeutiques ou scientifiques, sauf opposition exprimée par elle après qu'elle a été informée des finalités de cette utilisation. ».

L'autorisation d'utiliser ces produits du corps humain s'applique donc dans un cadre thérapeutique ou scientifique, mais il n'est pas autorisé dans un cadre pédagogique. De plus ces dents sont prélevées et utilisées sans consentement écrit des patients, qui ne peuvent donc pas s'y opposer.

Ainsi pour pallier ces difficultés plusieurs possibilités sont envisagées.

2. Légifrance. Section 1 : Déchets d'activités de soins à risques infectieux et assimilés. (Articles R1335-1 à R1335-8-7) [Internet]. [consulté le 15 Sep 2022] : https://www.legifrance.gouv.fr/codes/section_lc/LEGITEXT000006072665/LEGISCTA000006190977/#LEGISCTA000006190977

3. Légifrance. Article L1245-2 - Code de la santé publique [Internet]. [consulté le 3 Juin 2022] : https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000041721161

2 Alternatives possibles à l'enseignement actuel

2.1 Achat par la faculté de dents en résine

Les autres séances de travaux pratiques, hors ceux d'endodontie, sont réalisées sur des modèles ANA-4 V du fabricant Frasaco® [22] en salle de simulation. Plusieurs fabricants proposent dans leur catalogue des modèles de dents en résine spécifiques à l'endodontie.

Parmi ces propositions présentes sur le marché il existe notamment les marques comme Frasaco® et RightNAO®.

2.1.1 Frasaco®

La marque Frasaco® présente dans son catalogue plusieurs gammes de modèles de dents en résine spéciales pour l'endodontie. [22]

2.1.1.1 Gamme ANA-4 ZPUK

La gamme ANA-4 ZPUK compatibles avec les modèles Frasaco utilisés par les étudiants ne comporte que 4 dents à savoir les 21, 24, 26 et 46 avec la partie radiculaire transparente et les canaux teintés en rouge permettant de visualiser leurs trajets. (**Figure 1**)

Les dents de cette gamme sont à 14,20 € HT chacune, soit 56,80 € HT pour le lot de 4 dents. Si la faculté de chirurgie dentaire de Lille devait prendre en charge ces frais pour des promotions d'environ 130 étudiants, le coût reviendrait à 7.384,00 € HT chaque année.


| | | |
|--------------------|--|---|
| ANA-4 ZPUK | Dents pour modèle avec canal de la racine convenant au modèle ANA-4 (V) avec racine transparente et canaux de racines creux, teintés en rouge et avec couronnes dures de couleur ivoire. MS 21, 24, 26 MI 46 |  |
| ANKA-4 ZPUK | Dents pour modèle avec canal radiculaire simulé comme ci-dessus, compatibles cependant avec les modèles système clic ANKA-4 (V). MS 21, 24, 26 MI 46 | |

Figure 1 : Gamme ANA-4 ZPUK pour l'endodontie, issue du catalogue Frasaco®

2.1.1.2 Gamme ANA-4 ZPUR

La gamme ANA-4 ZPUR également compatible avec les modèles Frasaco des étudiants présente les 4 mêmes dents mais avec des racines pleines et non transparentes. (**Figure 2**)

Ces dents sont vendues à 17,70 € HT chacune, soit 70,80 € HT pour le lot de 4. Le financement de ces dents pour une promotion d'environ 130 étudiants reviendrait à un coût de 9.204,00 € HT chaque année.


| | | |
|--------------------|---|---|
| ANA-4 ZPUR | Dents pour modèle avec canal radiculaire convenant aux modèles ANA-4 (V) avec racines et couronnes de couleur ivoire et canaux de racines creux teintés en rouge. Convenant pour les radiographies. MS 21, 24, 26 MI 46 |  |
| ANKA-4 ZPUR | Dents pour modèle avec canal radiculaire simulé comme ci-dessus, compatibles cependant avec les modèles système clic ANKA-4 (V). MS 21, 24, 26 MI 46 | |

Figure 2 : Gamme ANA-4 ZPUR pour l'endodontie, issue du catalogue Frasaco®

2.1.1.3 Gamme ANA-4 ZPUKN

Enfin une troisième gamme ANA-4 ZPUKN existe avec 5 des 8 dents vues au programme. Les dents possèdent aussi une partie radiculaire transparente mais elles ne sont pas toutes directement compatibles avec les modèles ANA-4

V des étudiants et nécessitent pour certaines des dispositifs de maintiens supplémentaires. Cela engendrerait donc une logistique et des coûts supplémentaires.

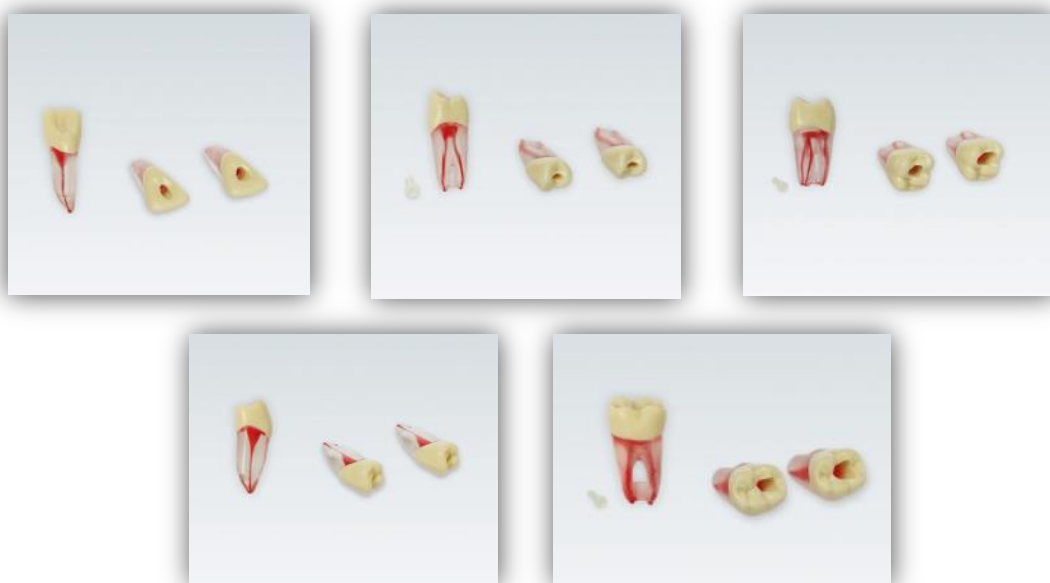


Figure 3 : Visuels de la gamme ANA-4 ZPUKN, issus du catalogue Frasaco®

2.1.2 RightNao®

Parmi les autres marques présentes sur le marché il existe par exemple la marque RightNAO®⁽⁴⁾. Cette marque propose plusieurs gammes dont la gamme Simply Endo et la gamme Reality.

2.1.2.1 *Simply Endo*

Cette gamme comporte les homologues des 8 dents que les étudiants doivent posséder. Elles sont en résine blanche avec les caractéristiques des anatomies canalaire voulues. (**Figure 4**)

Chaque dent est proposée pour 12,90 € HT, soit un coût total de 103,20 € HT par étudiant pour l'ensemble des 8 dents du programme. Le coût annuel pour une promotion complète reviendrait à 13.416,00 € HT à la faculté.

4. RightNao. RightNao [Internet]. [consulté le 12 Sep 2023] : <https://www.right-nao.com/>

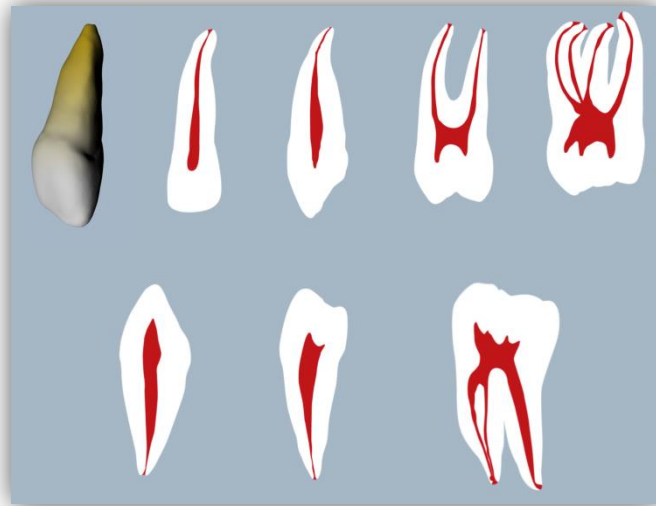


Figure 4 : Exemple de visuels de la gamme « Simply Endo » présentés sur le site internet de RightNAO®

2.1.2.2 Reality

Cette gamme comporte un modèle pour les 21, 24, 26 et 46, ainsi que leurs homologues du secteur 1. Ce sont des dents en résine pleine, avec une simulation de lésion carieuse importante et une pulpe réaliste. (**Figure 5**)

Chaque dent est vendue à 34,50€ HT, soit 138,00 € pour le lot complet par étudiant. Le coût annuel pour une promotion complète reviendrait à 17.940,00 € HT.

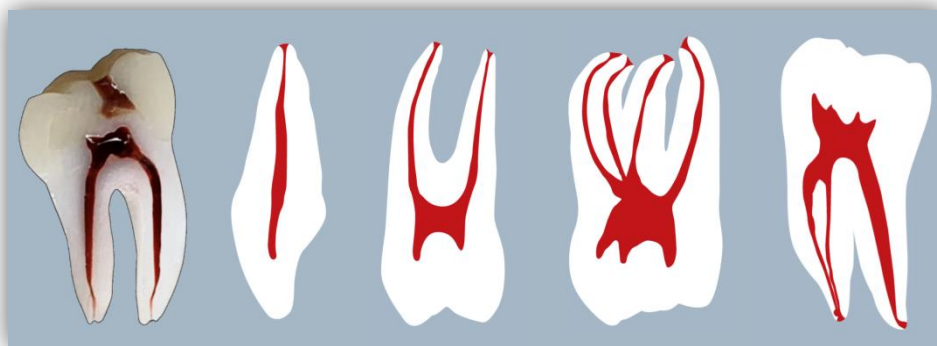


Figure 5 : Exemple de visuels de la gamme « Reality » présentés sur le site internet de RightNAO®

2.2 Avantages

Cette solution a pour avantages de faciliter l'acquisition d'une grande quantité de dents de très bonne qualité, ainsi que l'égalité et la qualité d'enseignement entre les étudiants par la reproductibilité de ces dents. Elles permettent aussi une meilleure visualisation dans l'espace des canaux radiculaires pour les étudiants dans le cas des modèles transparents.

Elles permettent pour certaines de poursuivre les TP sur simulateur dans les conditions les plus réalistes possibles.

Enfin ces dents sont réalisées en résine et cela permettrait d'éviter l'exposition des étudiants aux risques infectieux que représentent les dents naturelles.

2.3 Inconvénients

Les dents vendues par les fabricants représentent des frais conséquents pour la faculté. En effet, en plus du coût d'achat, il y aurait des frais supplémentaires pour l'organisation logistique.

De plus, toutes les gammes ne possèdent pas un modèle de dent pour l'ensemble des 8 dents vues au programme de DFGSO 3.

Enfin tous les modèles présentés précédemment sont édités en série et cette méthode de fabrication ne permet pas d'avoir des variations anatomiques lors des entraînements, qui sont pourtant une réalité clinique.

Pour pallier ces coûts d'achat tout en conservant les avantages que pourraient avoir des dents artificielles, une autre solution a été trouvée avec l'impression 3D.

2.4 Impression de dents

La faculté de chirurgie dentaire possède un plateau technique d'imprimantes 3D parmi lesquelles se trouve la Form 2, une imprimante fonctionnant par stéréolithographie.

La stéréolithographie est un principe de photopolymérisation en cuve où un laser vient photopolymériser par couche de quelques microns de la résine liquide⁽⁵⁾. Il s'agit d'une technologie permettant une très grande précision nécessaire pour ce travail. Néanmoins la photopolymérisation en cuve se fait dans la résine liquide qui présente une forte toxicité à l'état liquide.[23]

Le but de ce projet étant la création de cavité pulpaire au sein d'un modèle de dent, il ne faut pas enfermer de résine liquide dans la cavité. Cela imposera alors la création d'un dispositif d'évacuation supplémentaire sur les modèles.

5. Formlabs. Impression 3D par Stéréolithographie: le Guide Ultime [Internet]. [consulté le 14 Nov 2023] : <https://formlabs.com/fr/blog/guide-ultime-impression-3D-stereolithographie-sla/>

3 Conception et réalisation des modèles imprimables

3.1 Matériels et méthodes

Il sera expliqué dans cette partie le déroulement précis des étapes menant au modèle final et imprimé avec pour exemple la première molaire maxillaire puisque c'est elle qui présente l'anatomie la plus complexe.

Les autres résultats seront présentés dans la partie suivante avec pour chacun une explication de l'anatomie choisie.



Ce travail consiste en l'impression d'une dent d'entraînement à la cavité d'accès, montable sur modèle de travaux pratiques. Ainsi l'étude précise du trajet canalaire radiculaire n'est pas nécessaire.

Néanmoins l'objectif principal de la cavité d'accès étant la localisation des entrées canalaires, il est important d'étudier les variations anatomiques de ces canaux pour les placer au plus proche possible de la réalité clinique dans le modèle de dent choisi.

3.1.1 Matériels :

- Modèles Frasaco® ANA-4 V haut et bas dentés complets [22],



- Caméra d'empreinte numérique,
- Logiciel Meshmixer®⁽⁶⁾, 
- Logiciel Preform®⁽⁷⁾, 
- Plateau technique d'impression : imprimante 3D Form 2⁽⁸⁾, FormWash et FormCure⁽⁹⁾ de Formlabs®.

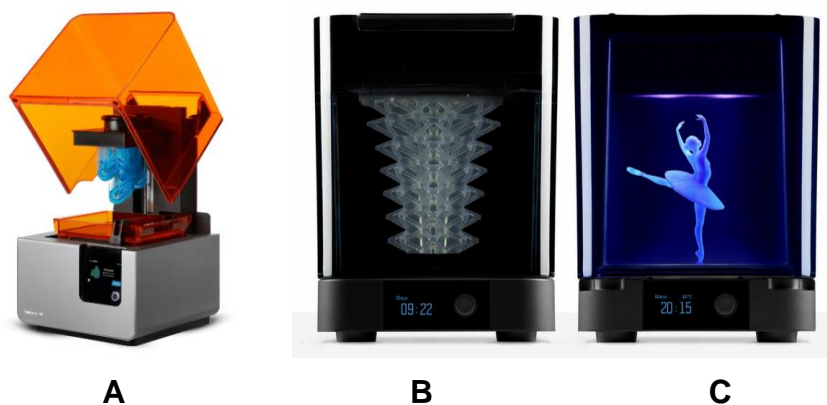


Figure 6 : A. Imprimante 3D Form2. B. FormWash. C. FormCure

-
6. Meshmixer [Internet]. [consulté le 9 Mai 2022] : <https://www.meshmixer.com/>
 7. Formlabs. PreForm | Logiciel de préparation à l'impression 3D [Internet]. [consulté le 16 Mai 2022] : <https://formlabs.com/fr/software/>
 8. Formlabs. Imprimantes 3D professionnelles [Internet]. [consulté le 16 Mai 2022] : <https://formlabs.com/fr/>
 9. Formlabs. Form Wash et Form Cure : post-traitement automatisé [Internet]. [consulté le 10 Oct 2023] : <https://formlabs.com/fr/post-processing/wash-cure/>

3.1.2 Méthodes : illustration avec le cas de la première molaire maxillaire

3.1.2.1 Numérisation des modèles Frasaco® au format .STL

A la faculté de chirurgie dentaire de Lille les étudiants réalisent leurs travaux pratiques sur des modèles d'entraînement Frasaco® montés sur simulateur. Il est important de conserver ce montage sur simulateur dans chaque discipline pour que les étudiants apprennent les gestes techniques dans des conditions cliniques. Pour cela il a été choisi de réaliser ces dents d'entraînement sur la base des dents en résine Frasaco®. (**Figure 7**)



Figure 7 : Photographie d'une première molaire maxillaire gauche (26) du fabricant Frasaco® (Source personnelle)

La première étape a donc été la prise d'une empreinte numérique de chaque dent, maintenue grâce à un stick adhésif pour permettre de scanner chaque face. Ceci permet l'obtention d'un fichier au format .STL utilisable pour toute la suite des étapes. Ce fichier est importé dans le logiciel de traitement Meshmixer®⁶ :

- Ouvrir Meshmixer®.
- Importer le fichier issu de l'empreinte numérique à l'aide de l'icône « IMPORT ». (**Figure 8**)

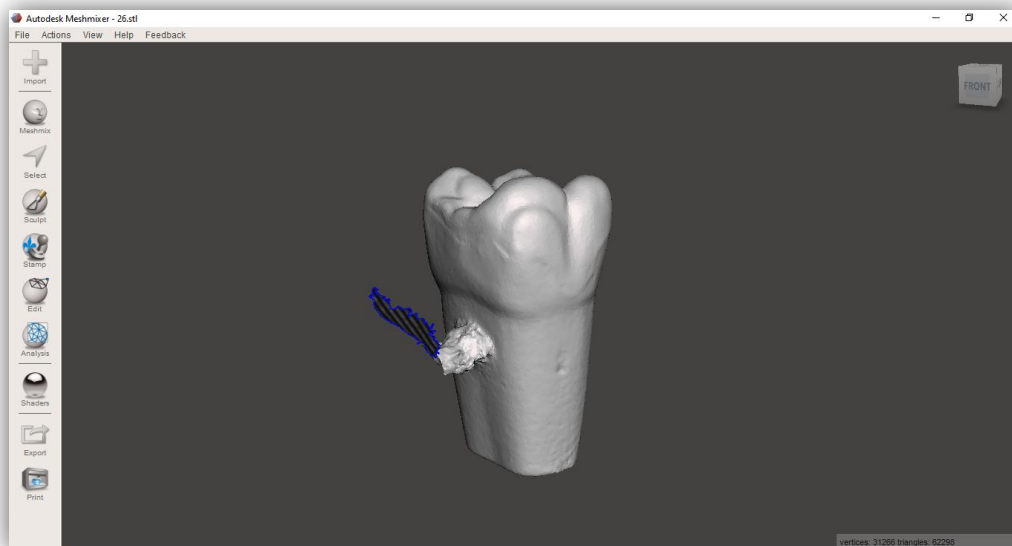


Figure 8 : Première molaire maxillaire gauche numérisée au format .STL et importée dans le logiciel Meshmixer® (Source personnelle)

3.1.2.2 Elimination des artefacts dus à la méthode d’empreinte numérique

Il faut désormais supprimer de la numérisation le stick adhésif pour recréer une forme compatible avec l’alvéole de l’arcade :

- Cliquer sur l’icône « SELECT » : à l’aide de l’outil « Brush » délimiter le contour de la zone d’enregistrement du stick adhésif à éliminer de l’empreinte.
- Ouvrir le menu déroulant de « Modify » et cliquer sur « Smooth Boundary », raccourci sur la touche [B] du clavier, pour redéfinir des limites douces à la sélection, puis cliquer sur « Accept ». (**Figure 9**)

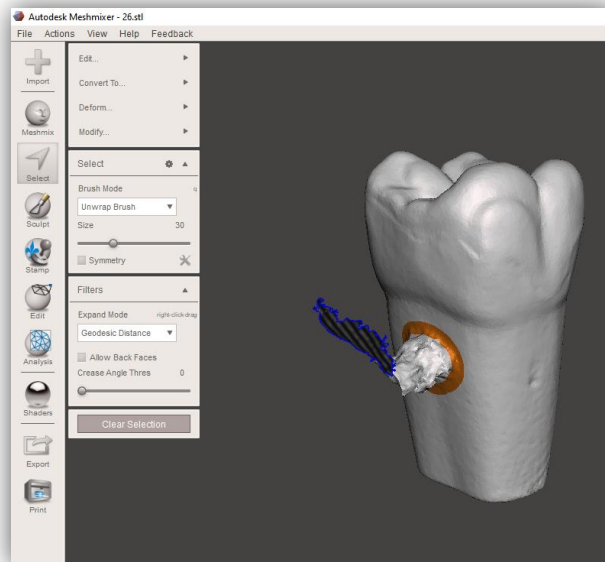


Figure 9 : Visualisation de la sélection après utilisation de l'outil « Smooth Boundary » du logiciel Meshmixer® (Source personnelle)

- Ouvrir le menu déroulant de « Edit » puis cliquer sur « Discard », raccourci sur la touche [X] du clavier, pour supprimer la sélection.
- Double-cliquer sur le reste de l'artefact à éliminer pour le sélectionner entièrement puis le supprimer. (**Figure 10**)

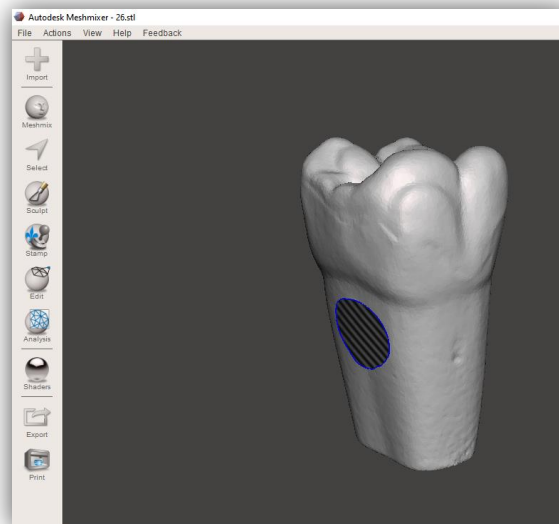


Figure 10 : Visualisation de la 26 après suppression des artefacts liés à la prise d'empreinte numérique (Source personnelle)

3.1.2.3 Reconstruction de l'intégrité de la dent

- Cliquer sur l'icône « ANALYSIS » : cliquer sur « Inspector » pour identifier les surfaces anormales et discontinues. (**Figure 11**)
- Sélectionner « Smooth Fill » dans le choix du « Hole Fill Mode » puis cliquer sur l'icône « ● » présente à côté de la dent pour recréer l'intégrité de la forme, puis « Done » pour valider.
- Cliquer sur l'icône « SCULPT » : Sélectionner le mode « Surface » puis dans l'outil « Brushes » utiliser l'outil « Inflate » pour ajouter du volume si besoin, puis utiliser l'outil « SkrinkSmooth » pour adoucir les limites.

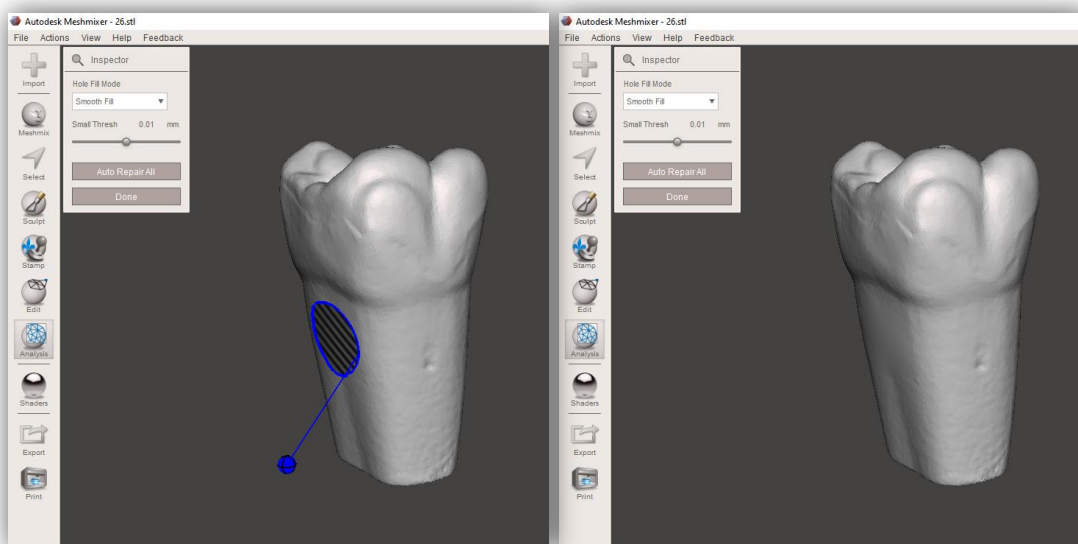


Figure 11 : Utilisation de l'outil « Inspector » dans le logiciel Meshmixer® (Source personnelle)

3.1.2.4 Homogénéisation de la surface

- Dans la barre de menu, dans « VIEW » cliquer sur « Show Wireframe », raccourci sur la touche [W] du clavier, pour faire apparaître le maillage. (Figure 12)

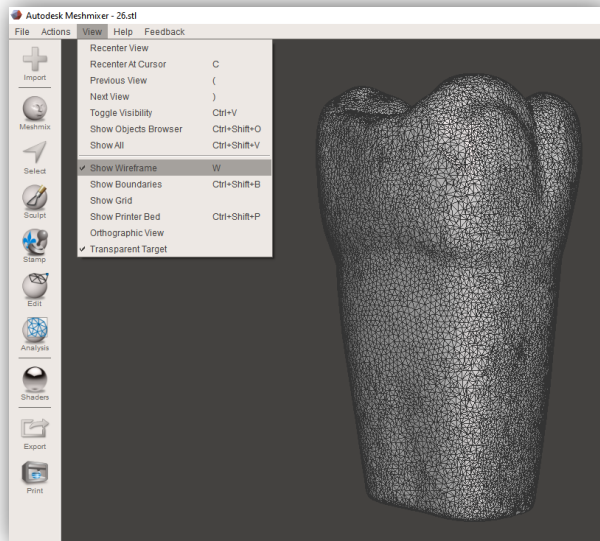


Figure 12 : Visualisation de la précision de l'état de surface avec l'outil « Show Wireframe » (Source personnelle)

- Si le maillage de la zone qui vient d'être remodelisée grâce à l'outil « Inspector » a un niveau de précision plus élevé : dans « SELECT » avec l'outil « Brush », sélectionner à nouveau la zone qui vient d'être ajoutée puis dans « Edit » cliquer sur « Reduce » puis « Accept » jusqu'à obtenir une homogénéisation de la précision du maillage.

Ces étapes de pré-traitement du fichier permettent de le nettoyer pour retrouver la forme originale de la dent Frasaco®, et permettre au futur modèle imprimé de s'adapter convenablement dans l'alvéole du modèle d'arcade Frasaco®. (**Figure 13**)

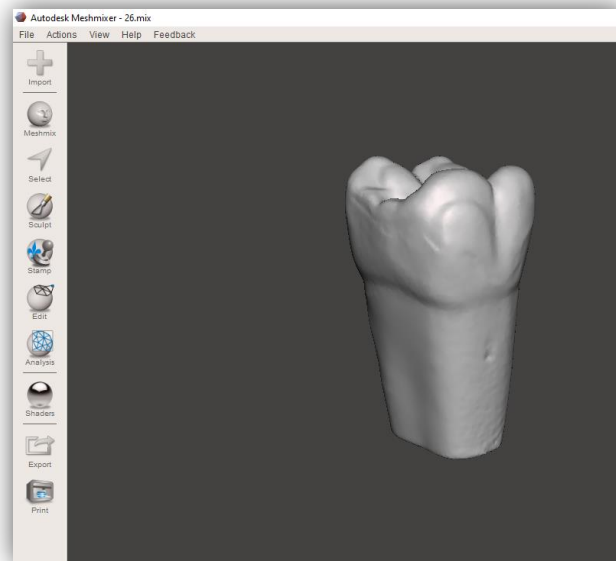


Figure 13 : Première molaire maxillaire gauche nettoyée et remise en forme
(Source personnelle)

3.1.2.5 Choix de l'anatomie pulpaire à intégrer au modèle

Vertucci a proposé en 1984 une classification des variations anatomiques pulpaires basée sur l'étude de 2400 dents permanentes obtenues chez des adultes :

- Type I (1-1) : un seul canal unique de la chambre pulpaire jusqu'à l'apex ;
- Type II (2-1) : deux canaux séparés dans la partie coronaire se regroupent à l'apex en un seul canal ;
- Type III (1-2-1) : un canal unique part de la chambre pulpaire puis se divise en deux canaux dans la partie médiane qui se rejoignent en un seul canal dans la partie apicale ;
- Type IV (2-2) : deux canaux séparés de la chambre pulpaire jusqu'à l'apex ;
- Type V (1-2) : un seul canal part de la chambre pulpaire et se divise en deux canaux jusqu'à l'apex ;
- Type VI (2-1-2) : deux canaux séparés de la chambre pulpaire se regroupent dans la partie médiane puis se séparent dans la partie apicale ;
- Type VII (1-2-1-2) : un canal part de la chambre pulpaire se sépare en deux canaux qui se rejoignent et se séparent à nouveau en deux canaux jusqu'à l'apex ;
- Type VIII (3-3) : trois canaux séparés de la chambre pulpaire jusqu'à l'apex.

Selon cette étude il a décrit l'anatomie de la première molaire maxillaire :

- Canal mésio-vestibulaire : majoritairement de type I dans 45 % des cas, mais également présent en type II dans 37 % des cas et de type IV dans 18 % des cas. Ce résultat cumulé présenterait donc la prévalence d'une deuxième entrée canalaire mésio-vestibulaire à 55 % ;
- Canal disto-vestibulaire : exclusivement de type I dans 100 % des cas ;
- Canal palatin : exclusivement de type I dans 100 % des cas. [17]

Cependant plusieurs études plus récentes ont démontré la prévalence d'un deuxième canal mésio-vestibulaire plus importante que celle décrite par Vertucci.

Un travail paru en 2014 dans le Journal of endodontics, mené sur une population nord-américaine, décrit l'étude de l'anatomie des canaux radiculaires de 628 premières molaires maxillaires à 3 racines par Cone Beam Computed Tomography (CBCT). Elle décrit la prévalence du canal mésio-vestibulaire de type IV selon la classification de Vertucci à 41,9 %, et de type II à 26,3 %. La présence d'une deuxième entrée canalaire mésio-vestibulaire est donc décrite dans 68,2 % des cas. [5]

Une autre étude publiée en 2018 dans le Journal of endodontics sur les CBCT de 476 premières molaires maxillaires d'une population thaïlandaise décrit la présence d'un second canal mésio-vestibulaire dans 63,6 % des cas. En cumulant les résultats de type II, type IV et type VI la présence d'une deuxième entrée canalaire est décrite dans 55,2 % des cas dans cette étude. [1]

Une autre étude parue en 2020 dans le Journal of endodontics décrit la forme des canaux pulpaire par tiers radiculaire de 1400 dents par CBCT. Les canaux de la première molaire maxillaire y sont décrits :

- Canal mésio-vestibulaire :
 - tiers coronaire aplati dans 44 % des cas (ovalaire dans 37 % des cas) ;
 - tiers médian aplati dans 50 % des cas (ovalaire dans 30 % des cas) ;
 - tiers apical rond dans 52 % des cas (aplatis dans 33 % des cas) ;
- Canal mésio-palatin (= deuxième canal mésio-vestibulaire)
 - tiers coronaire aplati dans 70,7 % des cas (rond dans 10,56 % des cas et ovale dans 10,65 % des cas) ;
 - tiers médian aplati dans 69,4 % des cas (rond dans 12 % des cas) ;

- tiers apical aplati dans 49,3 % des cas (rond dans 40 % des cas) ;
 - Canal disto-vestibulaire
 - tiers coronaire ovalaire dans 81 % des cas (aplatis dans 13 % des cas) ;
 - tiers médian ovalaire dans 53 % des cas (rond 32 % des cas) ;
 - tiers apical rond dans 71 % des cas (aplatis dans 16 % des cas et ovalaire dans 12 % des cas) ;
 - Canal palatin
 - tiers coronaire ovalaire dans 85 % des cas (rond dans 9 % des cas) ;
 - tiers médian ovalaire dans 75 % des cas (rond dans 22 % des cas) ;
 - tiers apical ovalaire dans 49 % des cas et rond dans 46 % des cas.
- [20]

Une revue systématique publiée en 2022 dans le International journal of environment research and public health précise que 25 études sur les 35 retenues décrivent la présence d'un deuxième canal mésio-vestibulaire avec une prévalence de 68,2 %.[4]

Les études réalisées plus récemment que celle de Vertucci et en utilisant des technologies plus précises telle que le CBCT confirment la présence d'une deuxième entrée canalaire du canal mésio-vestibulaire dans la majorité des cas. Ainsi au sein d'une banque de données de dents naturelles numérisées par CBCT, une dent est choisie selon son anatomie pulpaire en fonction des résultats de ces différentes études.

Le but de ces recherches est de faire ressortir la forme pulpaire la plus couramment rencontrée cliniquement pour l'intégrer dans notre modèle. Les étudiants de troisième année pourront s'exercer dès leurs premiers travaux pratiques sur un modèle le plus fidèle possible à leurs futurs cas cliniques.

Cependant le niveau de précision d'un CBCT ne permet pas toujours de visualiser le canal jusqu'à sa sortie apicale. De plus ces différentes études démontrent la présence d'une deuxième entrée canalaire mais pas nécessairement de deux sorties apicales. Le travail de cette thèse étant la création de dents pour l'entraînement aux cavités d'accès, il n'est pas nécessaire d'utiliser une pulpe numérisée présentant un deuxième canal mésio-vestibulaire sur toute sa longueur. Ainsi il a été choisie cette pulpe avec un isthme entre les canaux mésio-vestibulaires visible avec précision et permettant une impression 3D de qualité. **(Figure 14)**

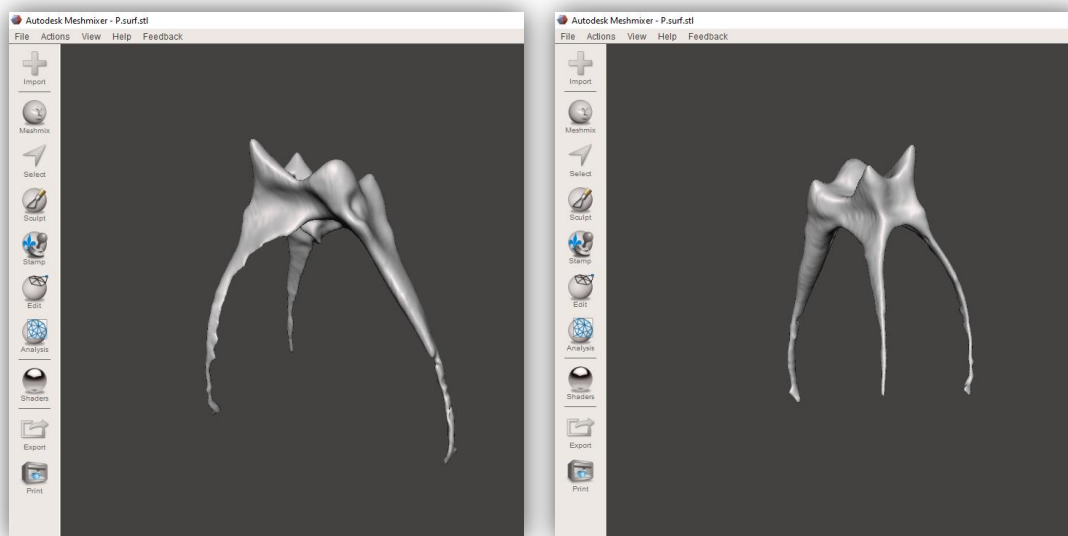


Figure 14 : Pulpe de 26 numérisée par CBCT et présentant un isthme au niveau des canaux mésio-vestibulaires (Source personnelle)

3.1.2.6 Extraction de la pulpe au sein de la dent numérisée

Avant d'intégrer la pulpe au modèle de dent Frasaco® choisi, il faut l'isoler au sein du fichier numérisé par CBCT.

3.1.2.6.1 Cas d'une pulpe isolée au sein de la dent

- Cliquer sur l'icône « IMPORT » puis sur « Append » pour choisir le fichier avec la dent sélectionnée.
- Cliquer sur l'icône « SHADERS » : Sélectionner l'effet transparence et le faire glisser sur la surface de la dent pour visualiser la cavité pulpaire.

- Cliquer sur l'icône « EDIT » puis sur la fonction « Separate shells » : le logiciel isole en plusieurs calques toutes les parties indépendantes, séparées par des limites individuelles. (Figure 15)

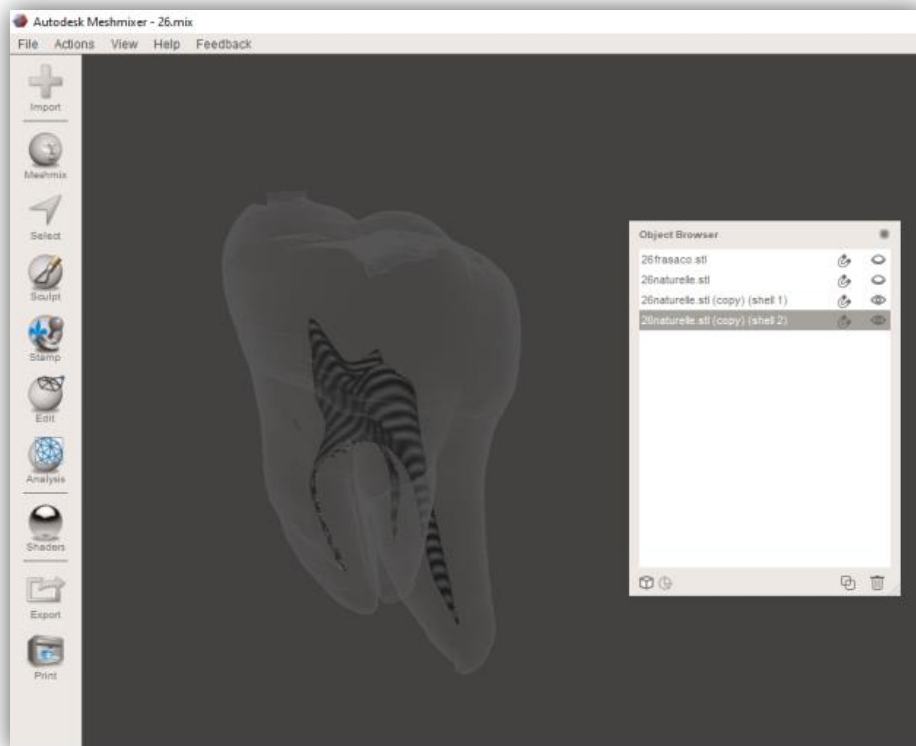


Figure 15 : Résultat après utilisation de l'outil « Separate Shells » sur une 26 numérisée par CBCT (Source personnelle)

- Identifier et sélectionner le calque propre à la forme pulpaire dans la fenêtre « Object Browser » puis masquer les autres calques.

Appuyer sur [Ctrl + A] puis dans la fonction « Edit » cliquer sur « Flip Normals » pour permettre des modifications de la forme pulpaire.

3.1.2.6.2 Cas d'une pulpe visible jusqu'au foramen apical : exemple avec la 23

Si le taux de précision permet de visualiser un des canaux radiculaires jusqu'à son foramen apical il faudra réaliser les étapes supplémentaires suivantes :

- Appuyer sur les touches du clavier [Ctrl + A] pour sélectionner l'ensemble du fichier, cela ouvre la boîte de dialogue de l'icône « SELECT ».
- Aller dans l'outil « Edit » puis cliquer sur « Plane cut » : Sélectionner le « Fill type » en « No fill ».
- Abaisser le plan de coupe jusqu'au foramen apical, puis remonter petit à petit jusqu'à visualiser une distinction entre le canal radiculaire et la racine puis cliquer sur « Accept ». (**Figure 16**)

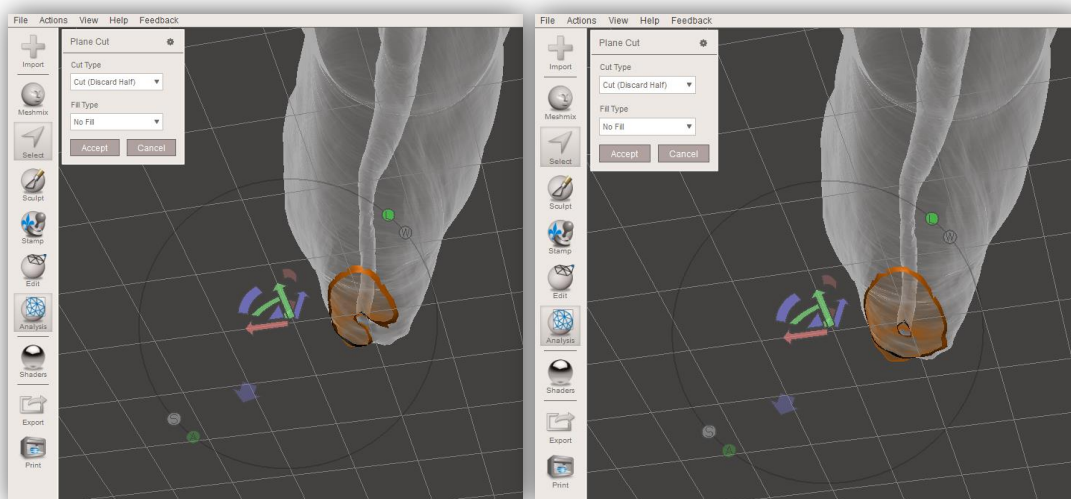


Figure 16 : Visualisation de la bonne position de la ligne de coupe (à droite) permettant une bonne séparation de la pulpe par la suite (Source personnelle)

- Effectuer les mêmes étapes à partir de la fonction « Separate shells » pour isoler la pulpe.

3.1.2.7 Intégration de la forme pulpaire choisie au modèle

- Faire apparaître le calque de la pulpe et de la dent Frasaco® dans la fenêtre « Object Browser » et masquer tous les autres calques.
- Mettre la dent Frasaco® en transparence avec l'option « SHADERS ».
- Sélectionner le calque de la pulpe, appuyer sur la touche [T] du clavier pour ouvrir l'outil « Transform ». **(Figure 17)**

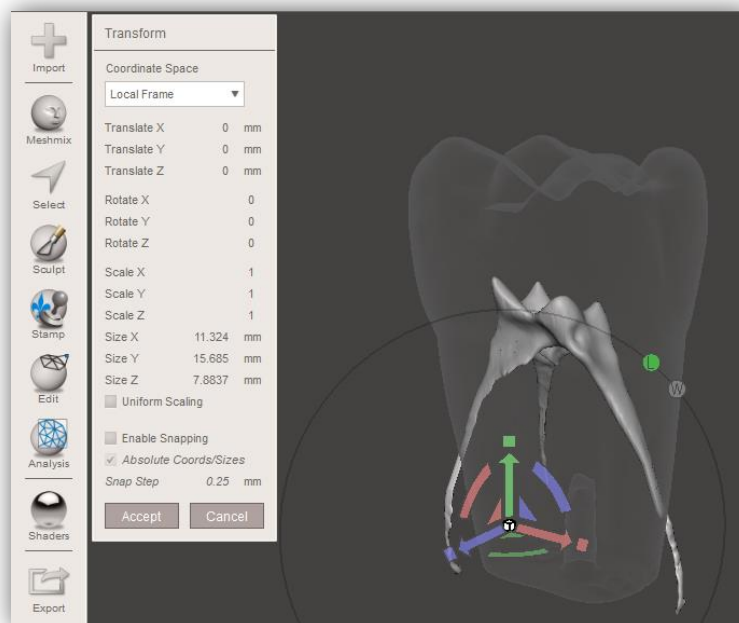


Figure 17 : Utilisation de l'outil « Transform » (Source personnelle)

- Positionner la pulpe dans le modèle de dent Frasaco® à l'aide des flèches de déplacement et de rotation.
- Cliquer sur « Accept »

3.1.2.8 Intégration d'un logement pour le vissage de la dent imprimée sur le modèle Frasaco®

- Cliquer sur l'icône « SHADERS » et sélectionner le mode de visualisation en transparence
- Cliquez sur l'icône « MESHMIX » puis cliquer sur la forme de cylindre pour la sélectionner puis la faire glisser pour l'insérer
- Rentrer les dimensions voulues du cylindre dans le menu : « Size X 1.43mm » ; « Size Z 1.43mm » ; « Size Y » environ 8 mm.
- Cliquer sur « Accept ». Cela ajoute un nouveau calque dans la fenêtre « Object Browser ».
- Appuyer sur [Ctrl + A] pour sélectionner le cylindre puis dans « Deform » cliquer sur « Transform », Raccourci [T], pour déplacer le cylindre.
- Déplacer le cylindre à l'aide des flèches de l'outil « Transform » et le positionner dans le modèle de dent à la position de l'ancien logement de vis, cliquer sur « Accept ». (**Figure 18**)

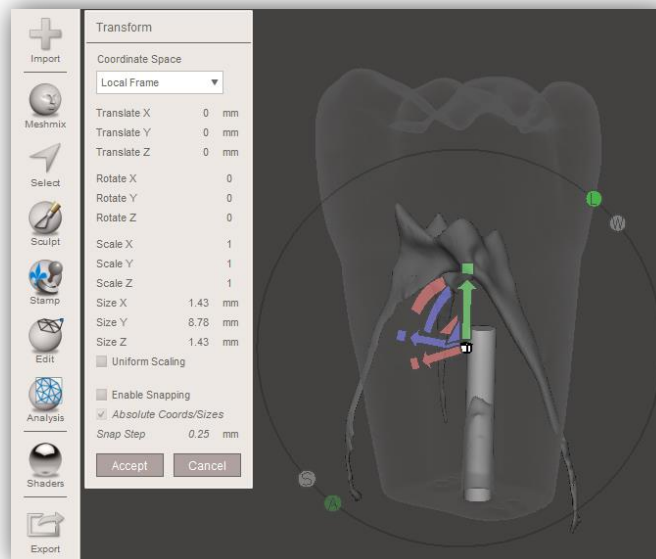


Figure 18 : Positionnement du logement de vis à l'emplacement du logement initial (Source personnelle)

3.1.2.9 Intégration des événements

En suivant les mêmes étapes que dans la partie [3.1.2.8](#), il est nécessaire d'ajouter des canaux de fuite le long des cavités créées. Ces événements empêcheront la stagnation de résine liquide, qui présente une forte toxicité, au sein de la cavité du modèle. [23]

Les événements peuvent avoir un diamètre inférieur à celui du logement de vis, de l'ordre de 0.6mm. Afin, d'optimiser l'évacuation de la résine liquide, l'événement principal est positionné au niveau de la corne pulpaire la plus haute.

Des canaux de fuite supplémentaires sont nécessaires si le logement pour la vis de fixation ne croise pas la forme pulpaire. (**Figure 19**)

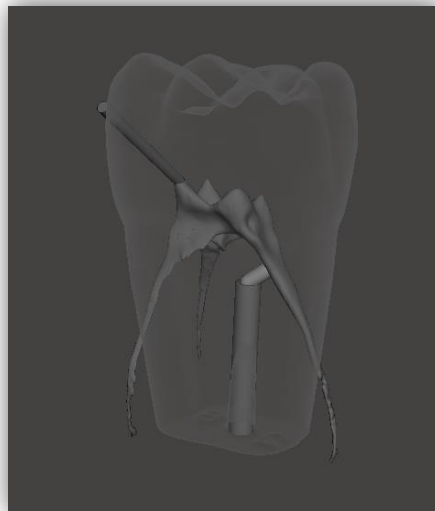


Figure 19 : Visualisation de la position finale de tous les éléments du modèle
(Source personnelle)

3.1.2.10 Fusion des différents calques avant l'impression 3D

- Sélectionner deux calques adjacents dans la fenêtre « Object Browser » en appuyant sur la touche [Ctrl] du clavier.
- Ouvrir la boîte de dialogue de l'icône « EDIT ».
- Sélectionner l'outil « Boolean Union ». Dans la fenêtre de dialogue : cocher la fonction « Preserve Group Borders » et décocher l'option

« Auto-reduce Result » afin d'éviter toute déformation des éléments. (Figure 20)

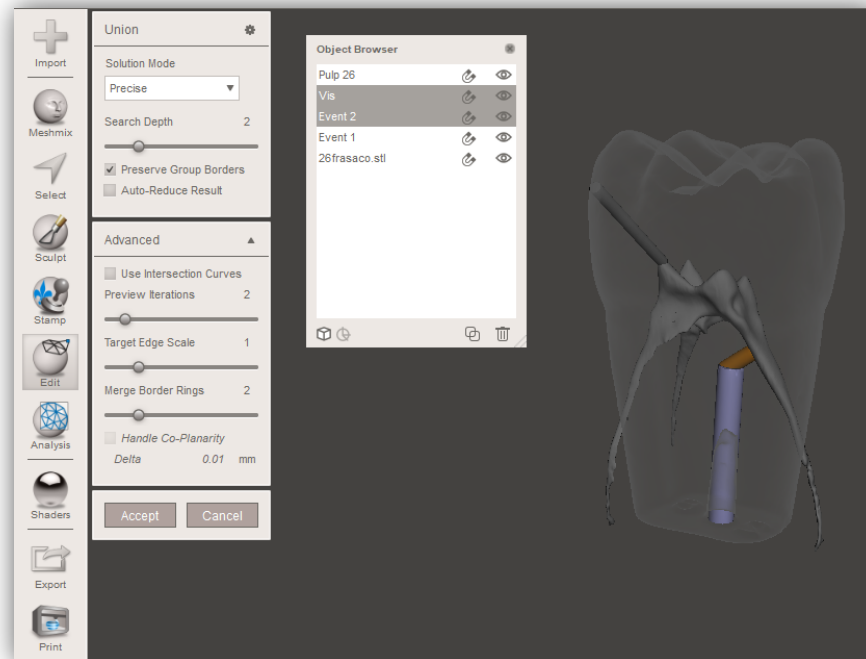


Figure 20 : Utilisation de l'outil « Boolean Union » de la fonction « EDIT » (Source personnelle)

- Répéter la fonction « Boolean Union » avec les calques de la forme pulpaire, du logement de vis et des événements. Ces étapes permettent d'obtenir un seul calque qui sera soustrait à la dent Frasco pour créer la cavité.
- Adoucir les transitions entre les anciens calques avec l'outil « ShrinkSmooth » de l'icône « SCULPT ».
- Sélectionner le calque de la dent Frasco, puis le deuxième calque restant et choisir l'outil « Boolean Difference ». Dans la fenêtre de dialogue : cocher l'option « Preserve Group Borders » et décocher l'option « Auto-reduce Result ».
- Cliquer sur « Accept » pour obtenir le fichier terminé.

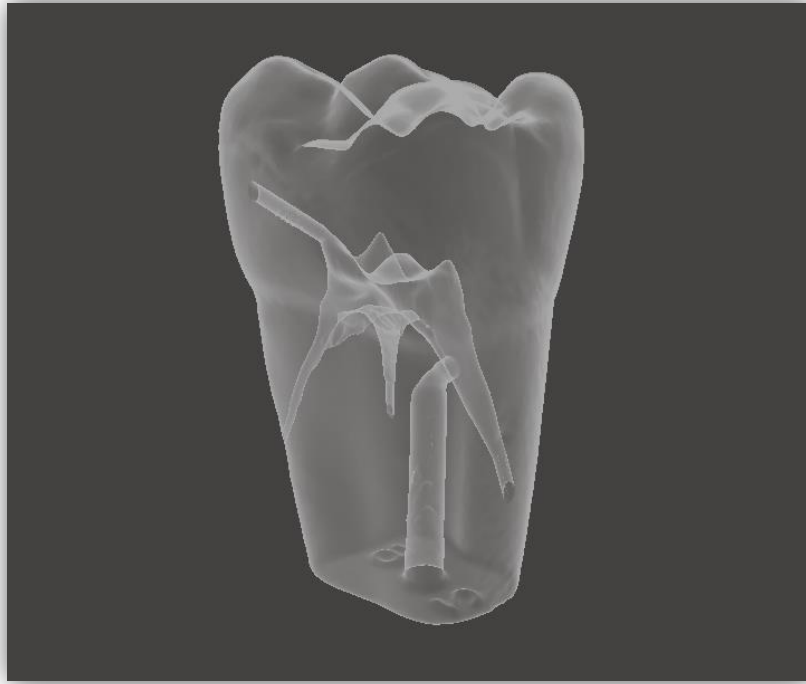


Figure 21 : Visualisation du modèle terminé (Source personnelle)

3.1.2.11 Impression du modèle terminé

Une fois toutes les étapes de modélisation terminées, l'impression peut être lancée. Il faut dans un premier temps exporter les fichiers au format .STL depuis le logiciel Meshixer pour qu'ils soient pris en charge par l'imprimante.

Ensuite le fichier .STL est ouvert dans le logiciel Preform pour dialoguer avec l'imprimante Form 2. Le modèle est positionné en faisant attention au sens d'impression de la stéréolithographie et des supports d'impression sont créés automatiquement. La résine d'impression Clear V4 [24] est sélectionnée, ainsi que l'imprimante Form 2 et le niveau de précision est sélectionné à 0,100mm. **(Figure 22)**

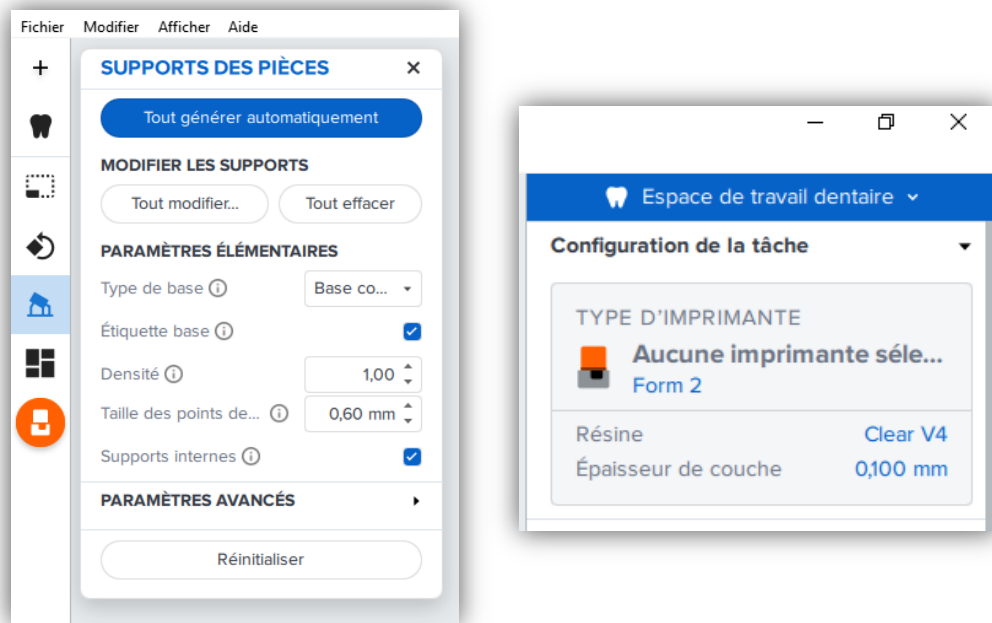


Figure 22 : Sélection des paramètres d'impressions dans le logiciel Preform® (Source personnelle)

3.1.2.12 Etapes post-traitement

Une fois l'impression terminée, le modèle doit subir un bain d'alcool isopropylique pendant 10 min. Cette étape permet d'éliminer le maximum de résine non polymérisée restée sur et au sein du modèle.

Le modèle est sorti du bain d'alcool isopropylique et, à l'aide d'un compresseur, de l'air est envoyé dans les canaux et les évènements pour évacuer le reste de résine encore liquide stagnante dans les cavités créées. Ces étapes doivent être effectuées avec des protections adéquates, à savoir une paire de lunettes, une paire de gants et une blouse, puisque l'alcool isopropylique et la résine non polymérisée présentent une toxicité élevée.

Enfin, le modèle est passé dans un four à UV à 60°C pendant 15 min afin de terminer la polymérisation en profondeur puis les supports d'impression sont supprimés.

3.1.2.13 *Résultat*

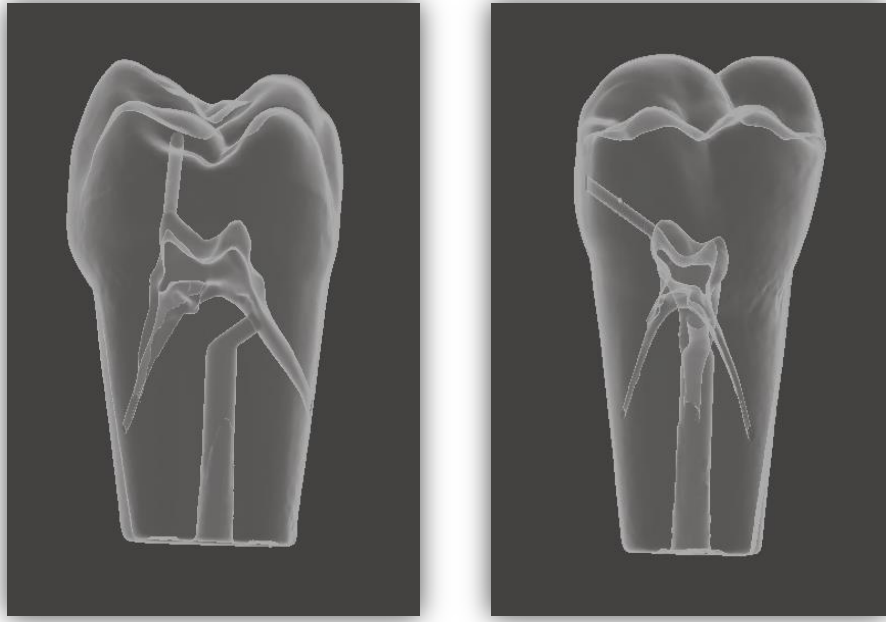


Figure 23 : Visualisation de la modélisation terminée de la première molaire maxillaire gauche depuis une vue mésiale à gauche et une vue palatine à droite (Source personnelle)

3.2 Résultats

3.2.1 Incisive centrale maxillaire



Figure 24 : Photographie d'une incisive centrale maxillaire gauche (21) en résine du fabricant Frasaco® (Source personnelle)

3.2.1.1 *Choix de l'anatomie pulpaire*

L'incisive centrale maxillaire est une dent monoradiculée qui possède une anatomie pulpaire radiculaire exclusivement monocanalaire d'après Vertucci.[17]

L'étude parue en 2020 dans le Journal of endodontics décrit par l'étude de 1400 dents par CBCT la forme des canaux pulpaire par tiers radiculaire. Le canal radiculaire de l'incisive centrale maxillaire y est décrit :

- tiers coronaire pyramidal dans 56 % des cas (ovalaire dans 32 % des cas) ;
- tiers médian rond dans 65 % des cas (ovalaire dans 34 % des cas) ;
- tiers apical rond dans 83 % des cas (ovalaire dans 15 % des cas).[20]

Une revue systématique parue en 2021 dans le Journal of oral biosciences, centrée sur l'analyse des variations de l'anatomie pulpaire des dents antérieures dans la population asiatique, décrit la prévalence d'un seul canal radiculaire de l'incisive centrale maxillaire à 99,7 %.[21]

Une autre étude par CBCT publiée en 2022 dans le BMC Oral health et menée sur 570 incisives centrales d'une population majoritairement saoudienne a décrit la prévalence d'un seul canal radiculaire dans 97,8 %.[7]

Une autre étude par CBCT publiée en 2022 dans le Journal of oral science centrée sur les dents antérieures d'une population sud-africaine a décrit la prévalence d'un seul canal radiculaire dans un échantillon de 387 incisives centrales maxillaires à 100%. [16]

3.2.1.2 Résultat

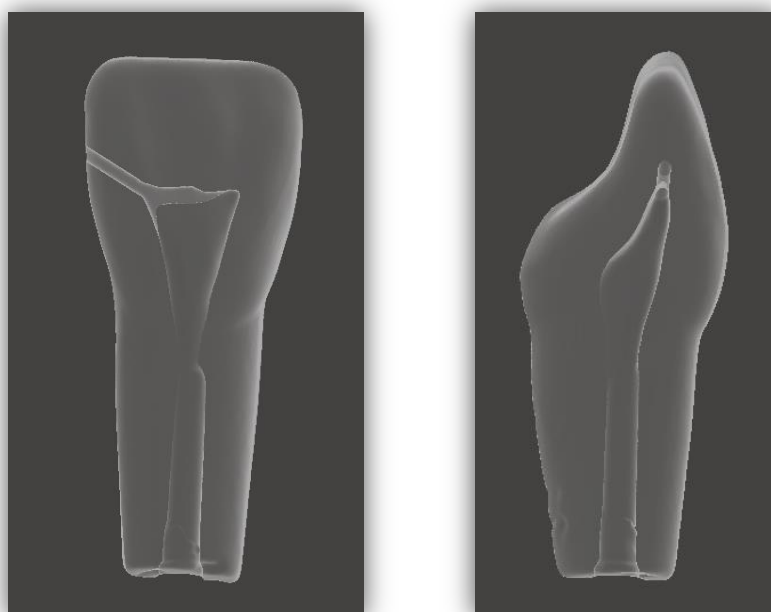


Figure 25 : Visualisation de la modélisation terminée de l'incisive centrale maxillaire gauche depuis une vue palatine à gauche et une vue distale à droite (Source personnelle)

3.2.2 Incisive latérale maxillaire



Figure 26 : Photographie d'une incisive latérale maxillaire gauche (22) en résine du fabricant Frasaco® (Source personnelle)

3.2.2.1 *Choix de l'anatomie pulpaire*

L'incisive latérale maxillaire est une dent monoradiculée qui possède une anatomie pulpaire exclusivement monocanalaire d'après Vertucci.[17]

L'étude par CBCT de 1400 dents parue en 2020 dans le Journal of endodontics décrit le canal radiculaire de l'incisive latérale maxillaire :

- tiers coronaire ovalaire dans 77 % des cas (pyramidal dans 13 % des cas) ;
- tiers médian ovalaire dans 61 % des cas (rond dans 35 % des cas) ;
- tiers apical rond dans 57 % des cas (ovalaire dans 40 % des cas).[20]

La revue systématique parue en 2021 dans le Journal of oral biosciences, centrée sur l'analyse des variations anatomiques pulpaires des dents antérieures dans la population asiatique, décrit la prévalence d'une anatomie monocanalaire de l'incisive latérale maxillaire à 99 %.[21]

L'étude par CBCT publiée en 2022 dans le BMC Oral health et menée sur 570 incisives latérales d'une population majoritairement saoudienne a décrit la prévalence d'un seul canal radicaire dans 97,7 %.[7]

L'étude par CBCT publiée en 2022 dans le Journal of oral science centrée sur les dents antérieures d'une population sud-africaine a décrit la prévalence d'un seul canal radicaire dans un échantillon de 403 incisives latérales maxillaires à 99,5 %.[16]

3.2.2.2 Résultat

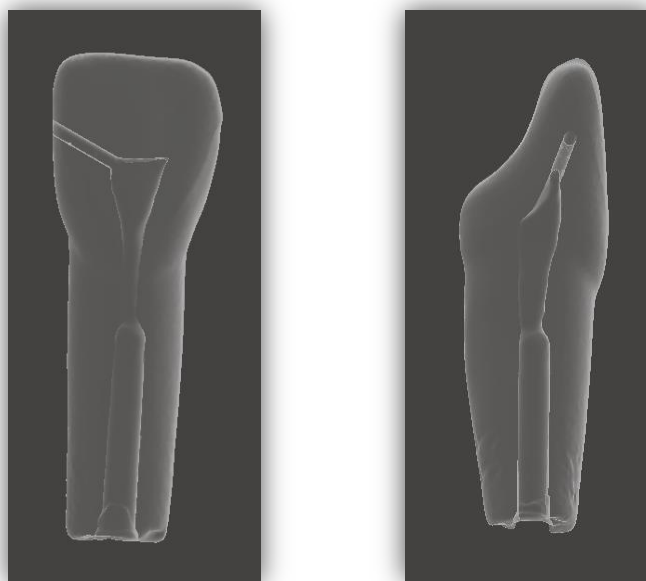


Figure 27 : Visualisation de la modélisation terminée sur l'incisive latérale maxillaire gauche depuis une vue palatine à gauche et une vue distale à droite (Source personnelle)

3.2.3 Canine maxillaire



Figure 28 : Photographie d'une canine maxillaire gauche (23) en résine du fabricant Frasaco® (Source personnelle)

3.2.3.1 Choix de l'anatomie pulpaire

La canine maxillaire est une dent monoradiculée qui possède une anatomie pulpaire exclusivement monocanalaire d'après Vertucci.[17]

La revue systématique parue en 2021 dans le Journal of oral biosciences, centrée sur l'analyse des variations anatomiques pulpaires des dents antérieures dans la population asiatique, décrit la prévalence d'une anatomie monocanalaire de la canine maxillaire à 97,8 %.[21]

L'étude par CBCT publiée en 2022 dans le BMC Oral health et menée sur 570 canines maxillaires d'une population majoritairement saoudienne a décrit la prévalence d'un seul canal radiculaire dans 98 %.[7]

L'étude par CBCT de 1400 dents parue en 2020 dans le Journal of endodontics décrit le canal radiculaire de la canine maxillaire :

- tiers coronaire ovalaire dans 90 % des cas ;
- tiers médian ovalaire dans 58 % des cas (rond dans 38 % des cas) ;
- tiers apical rond dans 63 % des cas (ovalaire dans 28 % des cas).[20]

L'étude par CBCT publiée en 2022 dans le Journal of oral science centrée sur les dents antérieures d'une population sud-africaine a décrit la prévalence d'un seul canal radiculaire dans un échantillon de 393 canines maxillaires à 94,9 %.[16]

3.2.3.2 Résultat

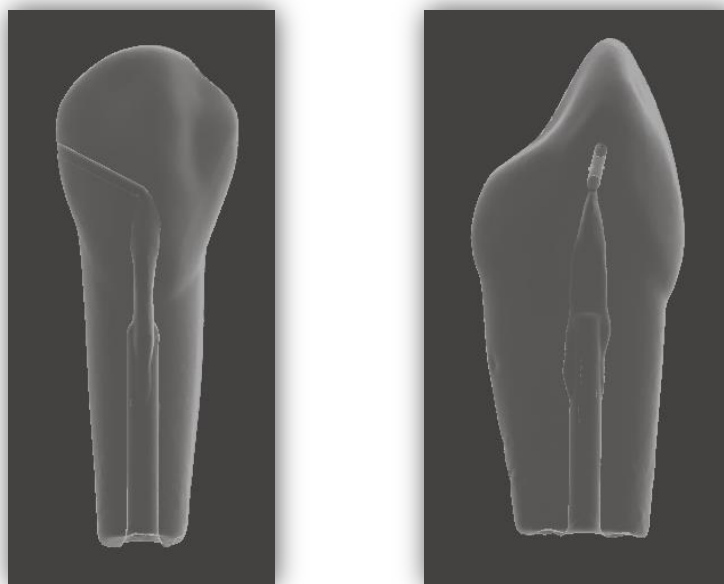


Figure 29 : Visualisation de la modélisation terminée de la canine maxillaire gauche depuis une vue palatine à gauche et une vue distale à droite (Source personnelle)

3.2.4 Première prémolaire maxillaire



Figure 30 : Photographie d'une première prémolaire maxillaire gauche (24) en résine du fabricant Frasaco® (Source personnelle)

3.2.4.1 Choix de l'anatomie pulpaire

La première prémolaire maxillaire est une dent biradiculée qui possède une anatomie pulpaire majoritairement à deux canaux séparés de la chambre pulpaire jusqu'à l'apex (62%) d'après Vertucci. Selon cette étude la deuxième forme la plus courante à 18 % est celle de deux canaux séparés dans la partie coronaire qui se regroupent en un seul canal.[17]

Une étude par CBCT sur 1268 premières prémolaires maxillaires publiée en 2020 dans *Medicine* décrit la prévalence de deux canaux radiculaires à 83.7%.[19]

L'étude par CBCT de 1400 dents parue en 2020 dans le *Journal of endodontics* décrit les canaux radiculaires de la première prémolaire maxillaire :

- Canal vestibulaire :
 - tiers coronaire en 8 dans 60 % des cas (aplati dans 24 % des cas) ;
 - tiers médian rond dans 69 % des cas (ovalaire dans 19 % des cas) ;
 - tiers apical rond dans 71 % des cas (calcifié dans 13 % des cas).

- Canal palatin :
 - tiers coronaire en 8 dans 60,2 % des cas (aplati dans 24,5 % des cas) ;
 - tiers médian rond dans 72,45 % des cas (ovalaire dans 19,39 % des cas) ;
 - tiers apical rond dans 74,5 % des cas (aplati dans 10,2 % des cas).
[20]

Une autre étude par CBCT de 500 individus publiée en 2021 dans BMC Oral health décrit la prévalence de deux entrées canalaire au sein de la première prémolaire maxillaire à 90,6%. [3]

Une autre étude par CBCT centrée sur 133 premières prémolaires maxillaires publiée en 2022 dans le Journal of oral biosciences décrit la prévalence de deux canaux radiculaires au sein de la première prémolaire maxillaire à 93,9 %. [15]

Ces différentes études présentent le même résultat commun sur la présence de deux entrées canalaire dans la chambre pulpaire dans la majorité des cas.

3.2.4.2 Résultat

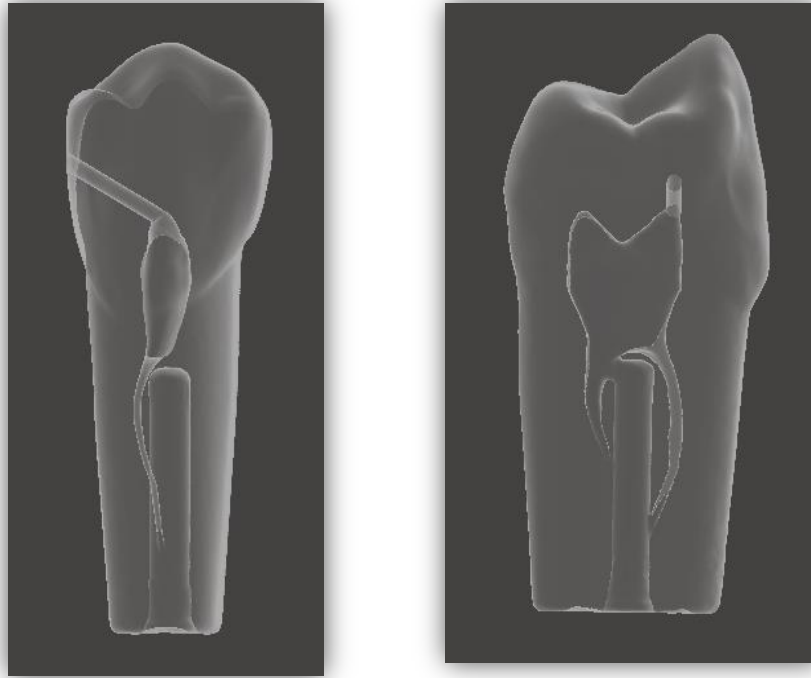


Figure 31 : Visualisation de la modélisation terminée de la première prémolaire maxillaire gauche depuis une vue en coupe mésio-distale à gauche et une vue en coupe vestibulo-palatine à droite (Source personnelle)

3.2.5 Canine mandibulaire



Figure 32 : Photographie d'une canine mandibulaire droite (43) en résine du fabricant Frasaco® (Source personnelle)

3.2.5.1 Choix de l'anatomie pulpaire

La canine mandibulaire est une dent monoradiculée qui possède une anatomie pulpaire majoritairement monocanalaire dans 78% des cas selon Vertucci. La deuxième forme la plus courante présentée dans 14% des cas est celle à deux canaux dans le tiers coronaire qui se rejoignent avant l'apex.[17]

L'étude par CBCT de 1400 dents parue en 2020 dans le Journal of endodontics décrit le canal radiculaire de la canine mandibulaire :

- tiers coronaire ovalaire dans 76 % des cas (aplatis dans 20 % des cas) ;
- tiers médian ovalaire dans 67 % des cas (rond dans 16 % des cas et en 8 dans 15 % des cas) ;
- tiers apical rond dans 77 % des cas (ovalaire dans 17 % des cas).[20]

La revue systématique parue en 2021 dans le Journal of oral biosciences, centrée sur l'analyse des variations anatomiques pulpaire des dents antérieures dans une population asiatique, décrit la prévalence d'une anatomie monocanalaire de la canine mandibulaire à 91,1 %.[21]

Une revue systématique publiée en 2021 dans le International Journal of environmental research and public health décrit la prévalence d'un seul canal radiculaire au sein de la canine mandibulaire entre 76 % et 96,4 %.[18]

L'étude par CBCT publiée en 2022 dans le BMC oral health et menée sur 570 canines mandibulaires d'une population majoritairement saoudienne a décrit la prévalence d'un seul canal radiculaire dans 90,3 %.[7]

L'étude par CBCT publiée en 2022 dans le Journal of oral science centrée sur les dents antérieures d'une population sud-africaine a décrit la prévalence d'un seul canal radiculaire dans un échantillon de 386 canines mandibulaires à 93,8%.[16]

Une revue systématique publiée en 2022 dans le BioMed research international décrit sur un total de 1558 canines mandibulaires la prévalence d'un seul canal radiculaire à 91,8 %.[2]

3.2.5.2 Résultat

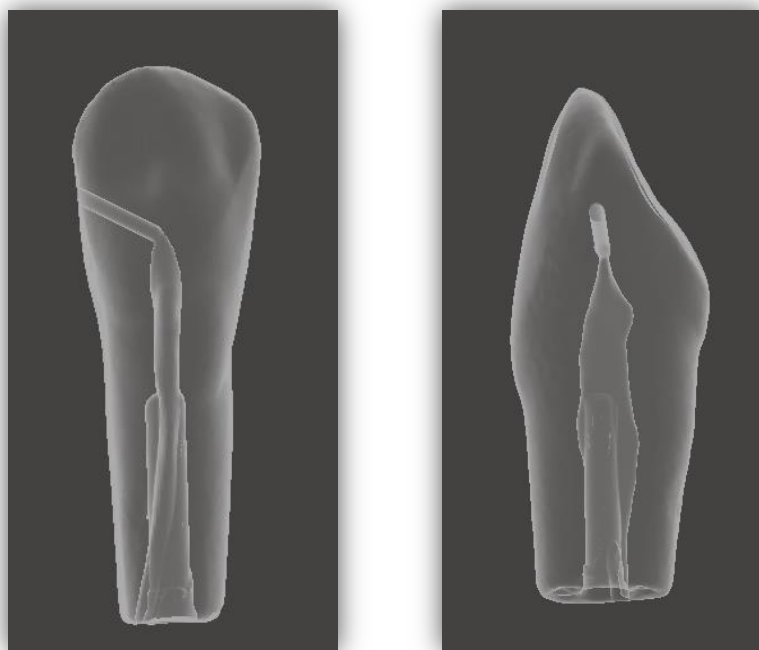


Figure 33 : Visualisation de la modélisation terminée de la canine mandibulaire droite depuis une vue linguale à gauche et une vue mésiale à droite (Source personnelle)

3.2.6 Première prémolaire mandibulaire



Figure 34 : Photographie d'une première prémolaire mandibulaire droite (44) en résine du fabricant Frasaco® (Source personnelle)

3.2.6.1 Choix de l'anatomie pulpaire

La première prémolaire mandibulaire est une dent monoradiculée qui possède une anatomie pulpaire majoritairement monocanalaire à 70% d'après Vertucci. La forme la plus représentée ensuite à 24 % est celle à un seul canal partant de la chambre pulpaire et se séparant en deux canaux avant l'apex.[17]

Une étude par CBCT sur 1296 premières prémolaires mandibulaires publiée en 2020 dans *Medicine* décrit la prévalence d'un seul canal radiculaire à 81 %.[19]

L'étude par CBCT de 1400 dents parue en 2020 dans le *Journal of endodontics* décrit le canal radiculaire de la deuxième prémolaire mandibulaire :

- tiers coronaire ovalaire dans 45 % des cas (en 8 dans 43 % des cas) ;
- tiers médian ovalaire dans 50 % des cas (rond dans 43 % des cas) ;
- tiers apical rond dans 87 % des cas (ovalaire dans 8 % des cas).[20]

La revue systématique publiée en 2022 dans le *BioMed research international* décrit sur un total de 1459 premières prémolaires mandibulaires la prévalence d'un seul canal radiculaire à 75,3 %.[2]

Une étude par CBCT de 507 premières prémolaires mandibulaires d'une population saoudienne publiée en 2022 dans le *International journal of dentistry* décrit la prévalence d'un seul canal radiculaire à 70 %.[14]

3.2.6.2 Résultat

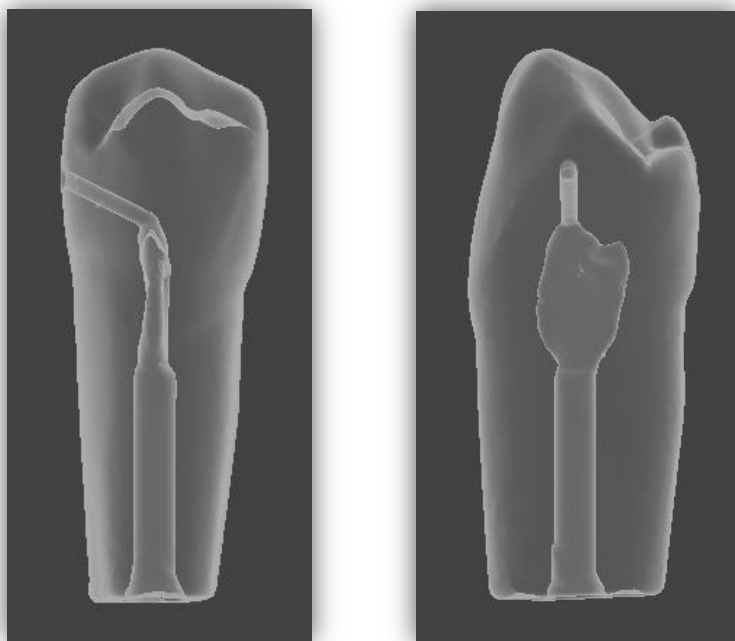


Figure 35 : Visualisation de la modélisation terminée de la première prémolaire mandibulaire droite depuis une vue linguale à gauche et une vue mésiale à droite (Source personnelle)

3.2.7 Première molaire mandibulaire



Figure 36 : Photographie d'une première molaire mandibulaire droite (46) en résine du fabricant Frasaco® (Source personnelle)

3.2.7.1 Choix de l'anatomie pulpaire

La première molaire mandibulaire est une dent possédant 2 ou 3 racines avec une anatomie pulpaire variable. Dans son étude, Vertucci la décrit avec des canaux mésiaux majoritairement séparés en deux de la chambre pulpaire jusqu'à l'apex dans 43% des cas, mais aussi séparés en deux canaux qui se rejoignent en un seul canal avant l'apex dans 28 % des cas.

Le canal distal est décrit dans cette étude majoritairement monocanalaire (70%) mais retrouvé également en deux canaux qui se regroupent avant l'apex dans 15 % des cas.[17]

L'étude par CBCT de 1400 dents parue en 2020 dans le Journal of endodontics décrit les canaux radiculaires de la première molaire mandibulaire :

- Canal mésio-vestibulaire :
 - tiers coronaire ovalaire dans 47 % des cas (rond dans 26 % des cas) ;
 - tiers médian rond dans 42 % des cas (aplatis dans 27 % des cas) ;
 - tiers apical rond dans 49 % des cas (aplatis dans 38 % des cas).
- Canal mésio-lingual :
 - tiers coronaire ovalaire dans 39 % des cas (rond dans 26 % des cas) ;
 - tiers médian rond dans 43 % des cas (aplatis dans 35 % des cas) ;
 - tiers apical retrouvé rond (43 % des cas) ou ovalaire (43 % des cas) ;
- Canal distal :
 - tiers coronaire aplatis dans 76 % des cas (ovalaire dans 14 % des cas) ;
 - tiers médian aplatis dans 48 % des cas (ovalaire dans 12 % des cas) ;
 - tiers apical aplatis dans 41 % des cas (rond dans 31 % des cas et ovalaire dans 25 % des cas).

- Un deuxième canal distal est retrouvé beaucoup moins souvent sur cette dent dans cette étude. Etant moins courant il ne fait pas partie du programme des premiers travaux pratiques d'endodontie donc il ne sera pas décrit ici.[20]

Une revue systématique publiée en 2022 dans le BioMed research international décrit sur un total de 715 premières molaires mandibulaires la prévalence de trois canaux radiculaires à 58,7 %.[2]

Une étude par CBCT de 123 premières molaires mandibulaires publiée en 2022 dans Diagnostics décrit la prévalence de 3 canaux radiculaires à 73,2 % et de quatre canaux radiculaires à 25,2 %. [6]

3.2.7.2 Résultat

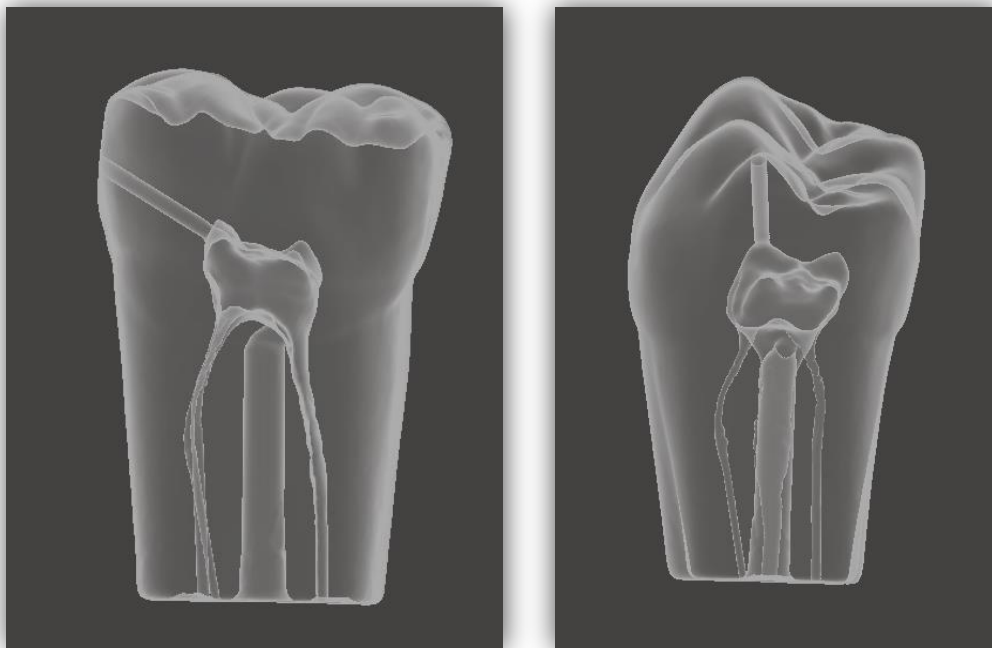


Figure 37 : Visualisation de la modélisation terminée de la première molaire mandibulaire droite depuis une vue linguale à gauche et une vue mésiale à droite (Source personnelle)

4 Analyse et discussion

4.1 Difficultés et échecs lors du processus

La première difficulté a été l'accès à des modèles pulpaire numérisés de bonne qualité selon les caractéristiques recherchées. L'objectif des dents imprimées est de permettre une première approche de l'endodontie lors des premiers TP des étudiants. Il fallait ainsi trouver des modèles pulpaire simples, avec des chambres pulpaire non minéralisées et des entrées canalaire facilement localisables.

Les autres difficultés ont été principalement relevées aux étapes d'impression. En effet, la faculté de chirurgie dentaire possède une seule imprimante fonctionnant par stéréolithographie. Celle-ci est déjà utilisée par d'autres disciplines pour l'impression de modèles pédagogiques comme par exemple pour certains TP de pédodontie. De plus, l'utilisation de cette imprimante nécessite une attention particulière pour respecter plusieurs règles de sécurité dues à la toxicité des produits utilisés. L'accès y est donc restreint et tous les enseignants n'ont pas les compétences requises. Ainsi la disponibilité est faible et les créneaux pour réaliser des essais rares.

Les premiers tests d'impressions se sont aussi soldés par un échec, avec des modèles pleins exempts de toutes cavités, à cause d'un mauvais traitement des fichiers informatiques.

Enfin, après vérification des fichiers et une autre tentative échouée, il s'est avéré qu'un défaut propre à l'imprimante empêchait l'impression normale, soit par bug informatique du logiciel de l'imprimante, soit par mauvais calibrage du plateau d'impression. Ainsi, les essais pour toutes les dents ont été suspendus pour limiter les coûts pour la faculté et ils n'ont été poursuivis que pour la première molaire maxillaire. Malgré d'autres tentatives, le défaut de l'imprimante n'a pas permis d'obtenir des modèles physiques exploitables et les essais ont été interrompus.

4.2 Avantages de cette méthode

Le résultat des modélisations est convaincant et réaliste. Les dents s'adaptent correctement sur les modèles d'arcade, mais l'absence de logement de vis n'a pas permis de vérifier leur fixation sur l'arcade. Les tests ont été réalisés avec la résine Clear V4 afin de visualiser les cavités modélisées. Si les prochains essais s'avéraient concluants, les modèles pour les étudiants pourront être imprimés en résine pleine Model V2.[25]

L'impression d'un set complet de 8 dents consomme environ 10 mL de résine. La résine Model V2 est vendue à 140,00 € le litre, soit 1,40 € par étudiant pour l'ensemble des dents. Pour une promotion complète d'environ 130 étudiants le coût reviendrait à 182,00 € pour la faculté.

Enfin cette méthode offre de multiples possibilités. Les fichiers présentés peuvent être déclinés pour d'autres cas cliniques. Par exemple les pulpes peuvent être modifiées pour créer des variations anatomiques telles que des pulpolithes, des cavités carieuses volumineuses qui justifieraient un traitement endodontique ou encore des minéralisations importantes.

4.3 Limites de cette méthode

Les possibilités sont nombreuses mais restreintes par le format extérieur des modèles. En effet, dès les étapes de modélisation il était possible de voir les limites de certaines dents, notamment les dents monocanalaire. Les fichiers présentés dans ce travail ont pour objectif la réalisation de cavité d'accès. Le traitement endodontique complet serait possible pour certaines dents mais pour la plupart la vis de fixation étant dans l'axe général de la dent, elle rencontre la cavité pulpaire. Ainsi le canal est inexistant car obstrué sur son tiers médian et apical.

Enfin ces modèles sont réalisés sur la base des dents Frasaco® pour permettre leur fixation et leur utilisation sur les arcades détenues par les étudiants. Cependant ces produits sont la propriété de l'entreprise Frasaco® et leur copie n'est pas autorisée.

Conclusion

Les premières étapes d'un traitement endodontique conditionnent toute la suite du traitement. La bonne réalisation de la cavité d'accès permet de limiter au maximum les contraintes mécaniques sur les instruments lors de la préparation canalaire. Un échec de réalisation de la cavité d'accès peut ainsi conduire à un échec du traitement endodontique. Aussi il est primordial que les étudiants puissent apprendre ces différentes étapes dans de bonnes conditions.

Cependant l'organisation actuelle ne leur permet pas de se former en sécurité ni de manière équitable. A travers ce travail il a été démontré qu'il existait des alternatives possibles pour améliorer ces conditions d'apprentissage.

Ces alternatives sont variées et à des coûts différents. L'impression 3D semble en être une des meilleures actuellement, même s'il reste beaucoup de difficultés à gérer. Un premier pas a été fait par la création de modèle pour la réalisation des cavités d'accès. Il apparaît ainsi une suite possible à ce travail dans la réflexion de supports et modèles garantissant leur maintien sur simulateur tout en permettant la réalisation des traitements endodontiques complets.

Bibliographie

1. Ratanajirasut R, Panichuttra A, Panmekiate S. A Cone-beam computed tomographic study of root and canal morphology of maxillary first and second permanent molars in a thai population. *J Endod.* 2018;44:56–61.
2. Mashyakhy M, AlTuwaijri N, Alessa R, et al. Anatomical evaluation of root and root canal morphology of permanent mandibular dentition among the saudi arabian population : a systematic review. *BioMed Res Int.* 2022;2022.
3. Al-Zubaidi SM, Almansour MI, Al Mansour NN, et al. Assessment of root morphology and canal configuration of maxillary premolars in a saudi subpopulation : a cone-beam computed tomographic study. *BMC Oral Health.* 2021;21.
4. Barbhai S, Shetty R, Joshi P, et al. Evaluation of root anatomy and canal configuration of human permanent maxillary first molar using cone-beam computed tomography : a systematic review. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19.
5. Guo J, Vahidnia A, Sedghizadeh P, et al. Evaluation of root and canal morphology of maxillary permanent first molars in a north american population by cone-beam computed tomography. *J Endod.* 2014;40:635–9.
6. Alhujhuj RR, Jouhar R, Ahmed MA, et al. Evaluation of root canal configuration of maxillary and mandibular first molar by CBCT : a retrospective cross-sectional study. *Diagnostics.* 2022;12.
7. Iqbal A, Karobari MI, Alam MK, et al. Evaluation of root canal morphology in permanent maxillary and mandibular anterior teeth in Saudi subpopulation using two classification systems : a CBCT study. *BMC Oral Health.* 2022;22.
8. Vansteene Q. La cavité d'accès sur incisive centrale maxillaire : réalisation de modèles pédagogiques imprimés en 3D [Thèse de Doctorat en chirurgie dentaire]. Lille : Faculté d'odontologie; 2019.
9. Trinh Q-M. La cavité d'accès sur première prémolaire mandibulaire : réalisation de modèles pédagogiques imprimés en 3D [Thèse de Doctorat en chirurgie dentaire]. Lille : Faculté d'odontologie; 2022.
10. Tirllet G, Attal JP. Le gradient thérapeutique un concept médical pour les traitements esthétiques. *Inf Dent.* 2022;2561–8.
11. Dubosc R. Le retraitement endodontique orthograde : réalisation de fiches pédagogiques [Thèse de Doctorat en chirurgie dentaire]. Lille : Faculté d'odontologie; 2019.

12. Lecoeur M. Réalisation d'une cavité d'accès sur une première molaire maxillaire : apport pédagogique de modèles dentaires artificiels [Thèse de Doctorat en chirurgie dentaire]. Lille : Faculté d'odontologie; 2019.
13. Auger M. Réalisation d'une vidéo pédagogique : Le traitement endodontique initial [Thèse de Doctorat en chirurgie dentaire]. Lille : Faculté d'odontologie; 2021.
14. Al-Zubaidi SM, Almansour MI, Alshammari AS, et al. Root and canal morphology of mandibular premolars in a saudi subpopulation : a cone-beam computed tomography study. *Int J Dent.* 2022;2022.
15. Peiris R, Arambawatta K, Pitakotuwage N. Root and canal morphology of maxillary premolars and their relationship with the crown morphology. *J Oral Biosci.* 2022;64:148–54.
16. Buchanan GD, Gamieldeen MY, Fabris-Rotelli I, et al. Root and canal morphology of the permanent anterior dentition in a black south african population using cone-beam computed tomography and two classification systems. *J Oral Sci.* 2022;64:218–23.
17. Vertucci FJ. Root canal anatomy of the human permanent teeth. *Oral surg oral med oral pathol.* 1984;58:589–99.
18. Wolf TG, Anderegg AL, Yilmaz B, et al. Root canal morphology and configuration of the mandibular canine : a systematic review. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18.
19. Wu D, Hu D, Xin B, et al. Root canal morphology of maxillary and mandibular first premolars analyzed using cone-beam computed tomography in a shandong chinese population. *Medicine (Baltimore).* 2020;99.
20. Bueno MR, Estrela C, Azevedo BC, Cintra Junqueira JL. Root canal shape of human permanent teeth determined by new cone-beam computed tomographic software. *J Endod.* 2020;46:1662–74.
21. Usha G, Muddappa SC, Venkitachalam R, et al. Variations in root canal morphology of permanent incisors and canines among asian population : a systematic review and meta-analysis. *J Oral Biosci.* 2021;63:337–50.
22. Frasaco. Liste de fournitures [Catalogue]. 2020.
23. Formlabs. FDS [Fiche de données de sécurité]. 2022.
24. Formlabs. Résine à application standard [Fiche technique]. 2016.
25. Formlabs. Model Resin [Fiche technique]. 2021.

Table des figures

| | |
|--|----|
| Figure 1 : Gamme ANA-4 ZPUK pour l'endodontie, issue du catalogue Frasaco® | 23 |
| Figure 2 : Gamme ANA-4 ZPUR pour l'endodontie, issue du catalogue Frasaco® | 23 |
| Figure 3 : Visuels de la gamme ANA-4 ZPUKN, issus du catalogue Frasaco® | 24 |
| Figure 4 : Exemple de visuels de la gamme « Simply Endo » présentés sur le site internet de RightNAO®..... | 25 |
| Figure 5 : Exemple de visuels de la gamme « Reality » présentés sur le site internet de RightNAO® | 25 |
| Figure 6 : A. Imprimante 3D Form2. B. FormWash. C. FormCure | 29 |
| Figure 7 : Photographie d'une première molaire maxillaire gauche (26) du fabricant Frasaco® (Source personnelle) | 30 |
| Figure 8 : Première molaire maxillaire gauche numérisée au format .STL et importée dans le logiciel Meshmixer® (Source personnelle) | 31 |
| Figure 9 : Visualisation de la sélection après utilisation de l'outil « Smooth Boundary » du logiciel Meshmixer® (Source personnelle) | 32 |
| Figure 10 : Visualisation de la 26 après suppression des artefacts liés à la prise d'empreinte numérique (Source personnelle) | 32 |
| Figure 11 : Utilisation de l'outil « Inspector » dans le logiciel Meshmixer® (Source personnelle)..... | 33 |
| Figure 12 : Visualisation de la précision de l'état de surface avec l'outil « Show Wireframe » (Source personnelle) | 34 |

| | |
|--|----|
| Figure 13 : Première molaire maxillaire gauche nettoyée et remise en forme (Source personnelle)..... | 35 |
| Figure 14 : Pulpe de 26 numérisée par CBCT et présentant un isthme au niveau des canaux mésio-vestibulaires (Source personnelle) | 39 |
| Figure 15 : Résultat après utilisation de l'outil « Separate Shells » sur une 26 numérisée par CBCT (Source personnelle) | 40 |
| Figure 16 : Visualisation de la bonne position de la ligne de coupe (à droite) permettant une bonne séparation de la pulpe par la suite (Source personnelle) | 41 |
| Figure 17 : Utilisation de l'outil « Transform » (Source personnelle) | 42 |
| Figure 18 : Positionnement du logement de vis à l'emplacement du logement initial (Source personnelle)..... | 43 |
| Figure 19 : Visualisation de la position finale de tous les éléments du modèle (Source personnelle)..... | 44 |
| Figure 20 : Utilisation de l'outil « Boolean Union » de la fonction « EDIT » (Source personnelle)..... | 45 |
| Figure 21 : Visualisation du modèle terminé (Source personnelle) | 46 |
| Figure 22 : Sélection des paramètres d'impressions dans le logiciel Preform® (Source personnelle)..... | 47 |
| Figure 23 : Visualisation de la modélisation terminée de la première molaire maxillaire gauche depuis une vue mésiale à gauche et une vue palatine à droite (Source personnelle)..... | 48 |
| Figure 24 : Photographie d'une incisive centrale maxillaire gauche (21) en résine du fabricant Frasaco® (Source personnelle)..... | 49 |

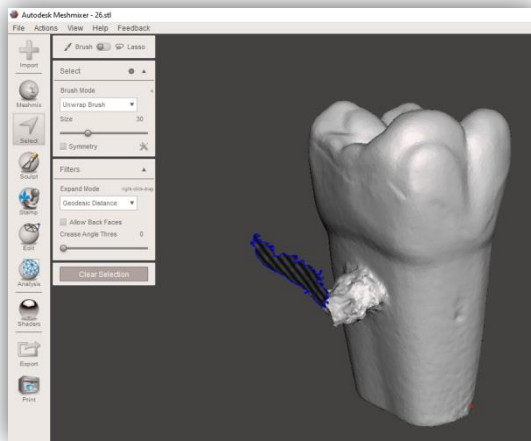
| | |
|---|----|
| Figure 25 : Visualisation de la modélisation terminée de l'incisive centrale maxillaire gauche depuis une vue palatine à gauche et une vue distale à droite (Source personnelle)..... | 50 |
| Figure 26 : Photographie d'une incisive latérale maxillaire gauche (22) en résine du fabricant Frasaco® (Source personnelle)..... | 51 |
| Figure 27 : Visualisation de la modélisation terminée sur l'incisive latérale maxillaire gauche depuis une vue palatine à gauche et une vue distale à droite (Source personnelle)..... | 52 |
| Figure 28 : Photographie d'une canine maxillaire gauche (23) en résine du fabricant Frasaco® (Source personnelle) | 53 |
| Figure 29 : Visualisation de la modélisation terminée de la canine maxillaire gauche depuis une vue palatine à gauche et une vue distale à droite (Source personnelle)..... | 54 |
| Figure 30 : Photographie d'une première prémolaire maxillaire gauche (24) en résine du fabricant Frasaco® (Source personnelle)..... | 55 |
| Figure 31 : Visualisation de la modélisation terminée de la première prémolaire maxillaire gauche depuis une vue en coupe mésio-distale à gauche et une vue en coupe vestibulo-palatine à droite (Source personnelle)..... | 57 |
| Figure 32 : Photographie d'une canine mandibulaire droite (43) en résine du fabricant Frasaco® (Source personnelle) | 58 |
| Figure 33 : Visualisation de la modélisation terminée de la canine mandibulaire droite depuis une vue linguale à gauche et une vue mésiale à droite (Source personnelle)..... | 60 |
| Figure 34 : Photographie d'une première prémolaire mandibulaire droite (44) en résine du fabricant Frasaco® (Source personnelle)..... | 60 |

| | |
|---|----|
| Figure 35 : Visualisation de la modélisation terminée de la première prémolaire mandibulaire droite depuis une vue linguale à gauche et une vue mésiale à droite (Source personnelle)..... | 62 |
| Figure 36 : Photographie d'une première molaire mandibulaire droite (46) en résine du fabricant Frasaco® (Source personnelle)..... | 62 |
| Figure 37 : Visualisation de la modélisation terminée de la première molaire mandibulaire droite depuis une vue linguale à gauche et une vue mésiale à droite (Source personnelle)..... | 64 |

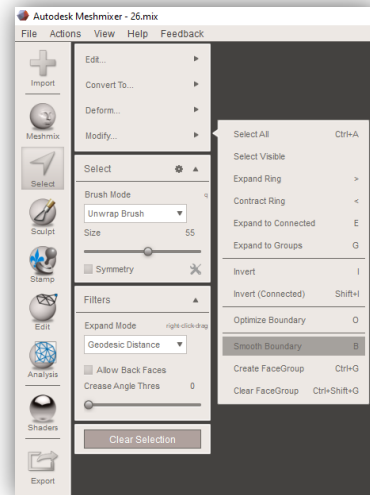
Table des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau 1 : Programme des ED et TP d'endodontie au cours de la DFGSO 3 (Exemple avec l'année de 2022/2023)..... | 18 |
|---|----|

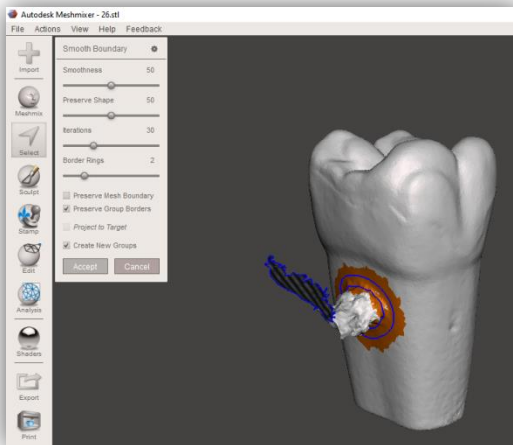
Annexes



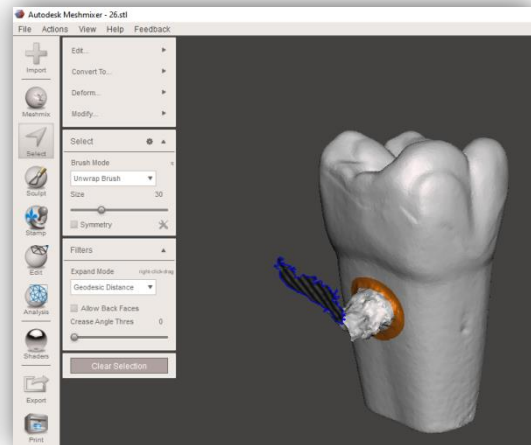
A



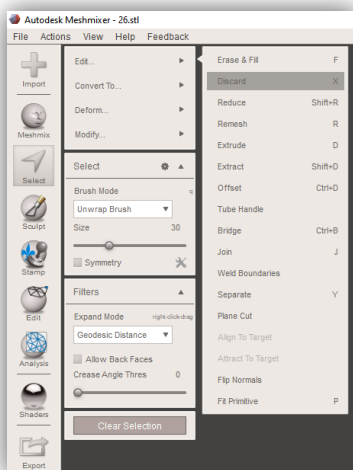
B



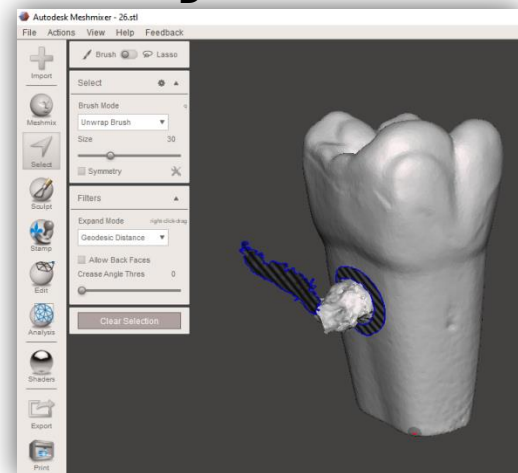
C



D

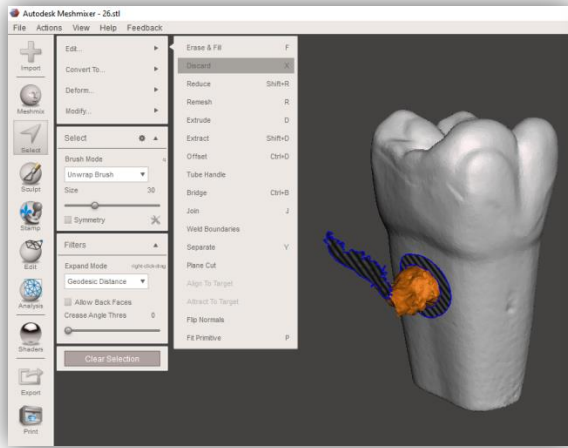


E

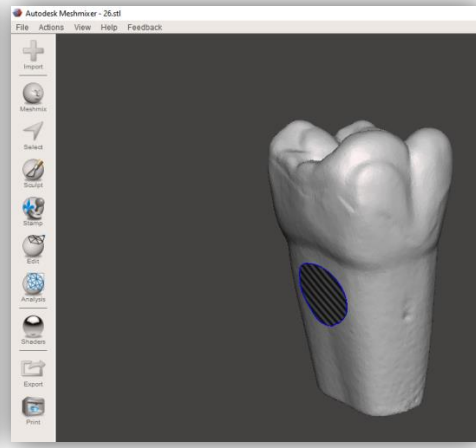


F

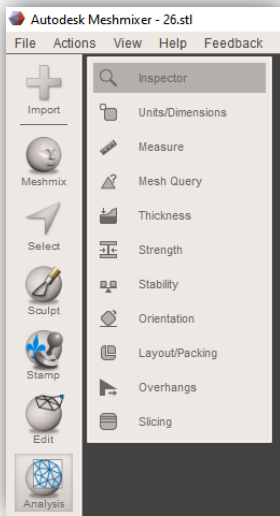
Annexe 1 : A. Utilisation de l'outil « Brush » de l'icône Select. B. Boîte de dialogue de l'outil « Modify » de la sélection. C. Prévisualisation de l'option « Smooth Boundary » de l'icône Select. D. Visualisation finale de la sélection après avoir accepté. E. Outil de suppression de la sélection « Discard ». F. Rendu final après suppression de la sélection. (Source Personnelle)



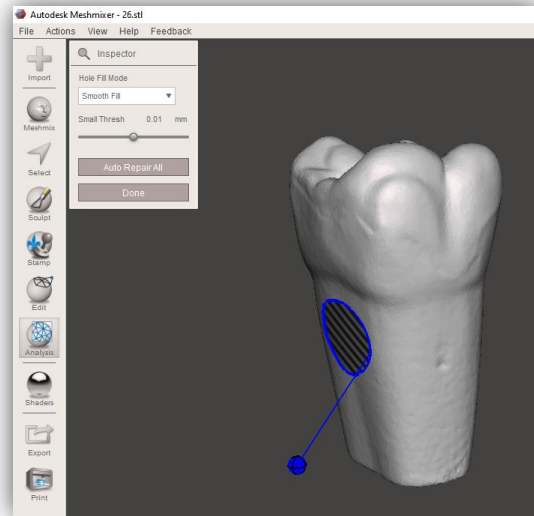
A



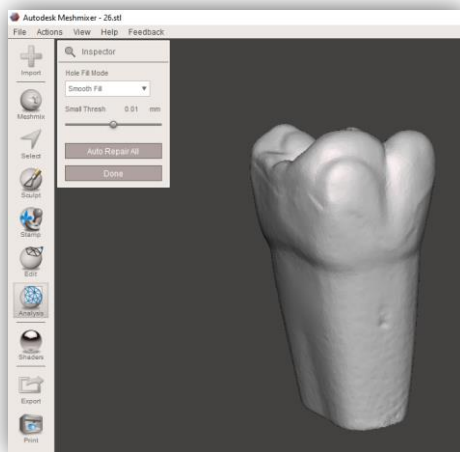
B



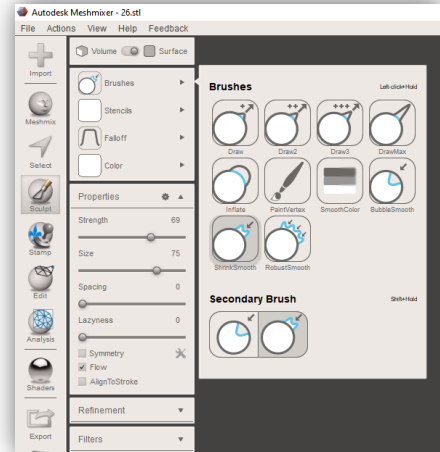
C



D

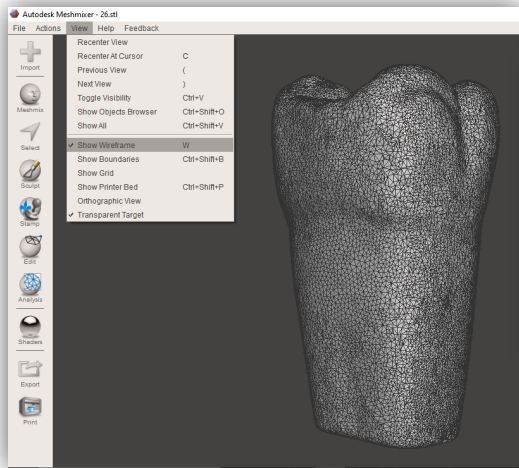


E

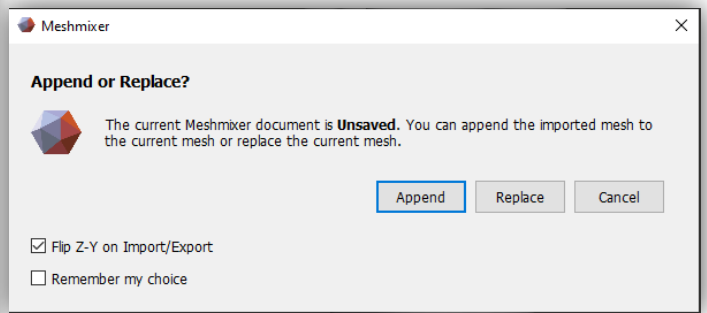


F

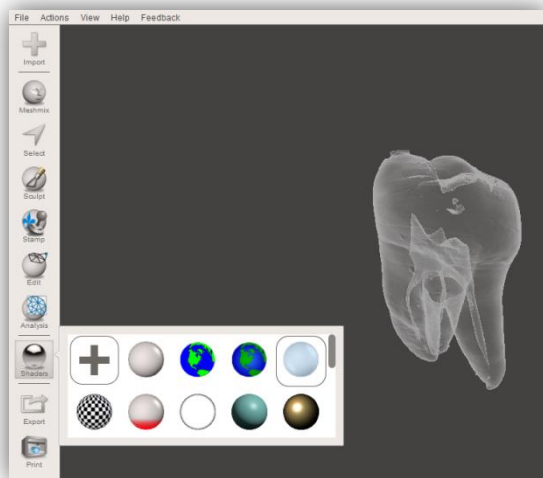
Annexe 2 : A. Sélection de la partie restante de l'artefact issu de l'empreinte. **B.** Visualisation après suppression complète de l'artefact. **C.** Boîte de dialogue de l'icône Analysis. **D.** Sélection des options de remplissage de l'outil « Inspector ». **E.** Prévisualisation avant acceptation du remplissage de l'outil « Inspector ». **F.** Boîte de dialogue des outils « Brushes » de l'icône Sculpt. **(Source personnelle)**



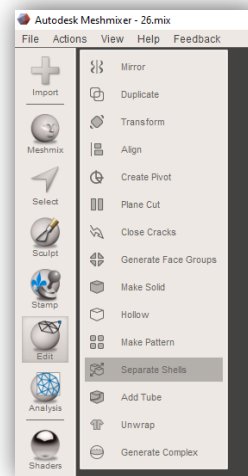
A



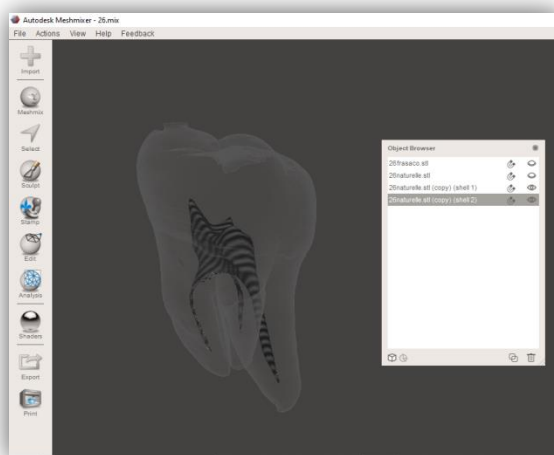
B



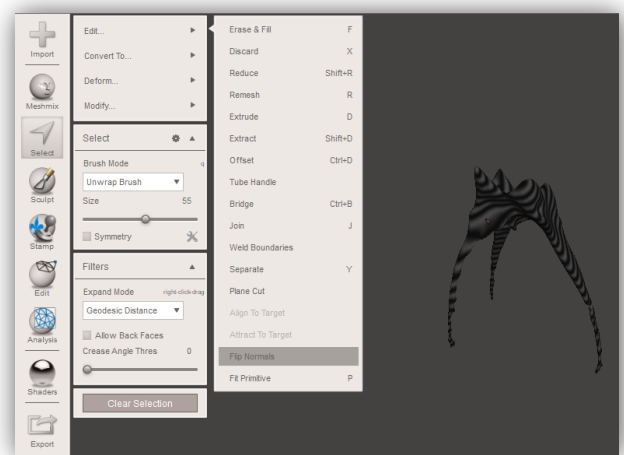
C



D

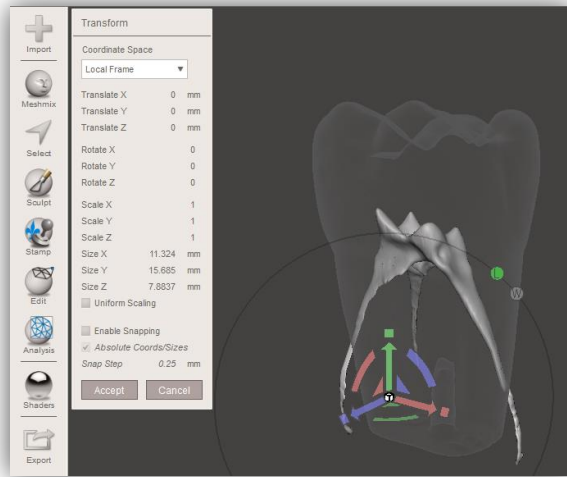


E

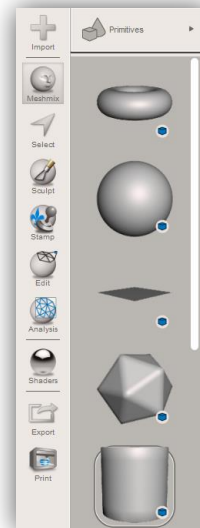


F

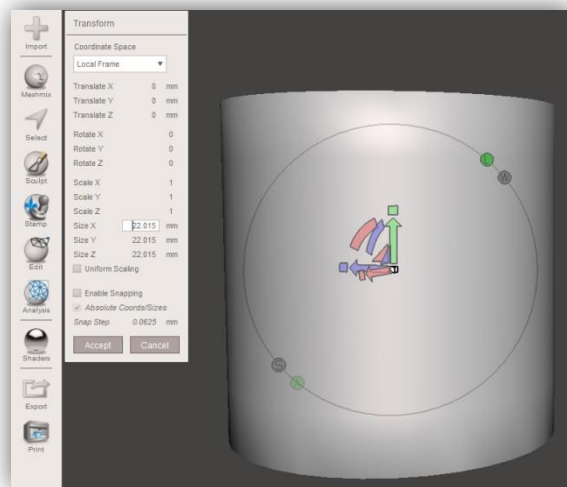
Annexe 3 : A. Menu déroulant de l'onglet View. B. Fenêtre de dialogue de l'icône Import. C. Visualisation en transparence avec l'icône Shaders D. Boite de dialogue de l'icône Edit et sélection de l'outil « Separate shells ». E. Visualisation après utilisation de l'outil « Separate shells ». F. Utilisation de l'outil « Flip Normals ». (Source personnelle)



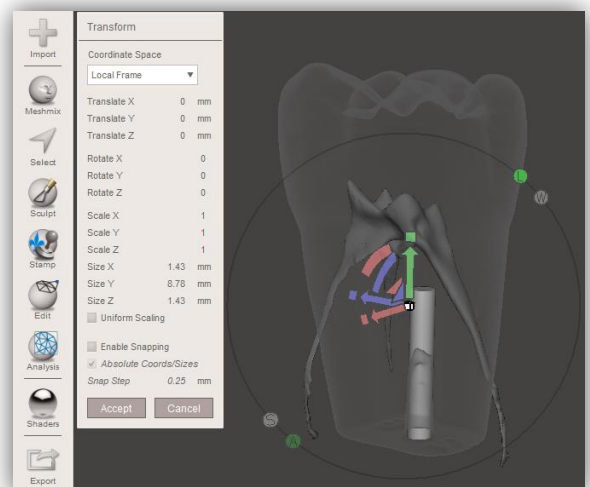
A



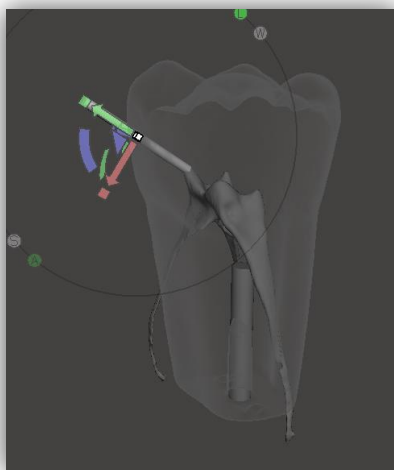
B



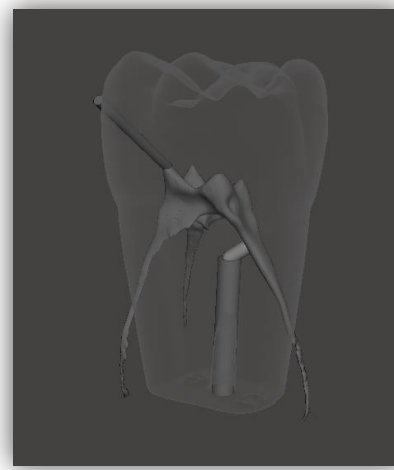
C



D

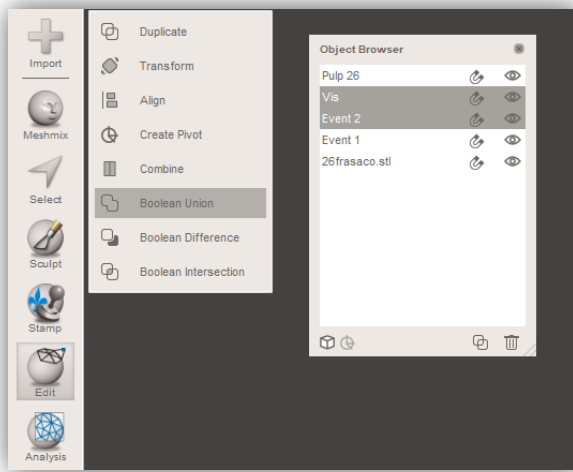


E

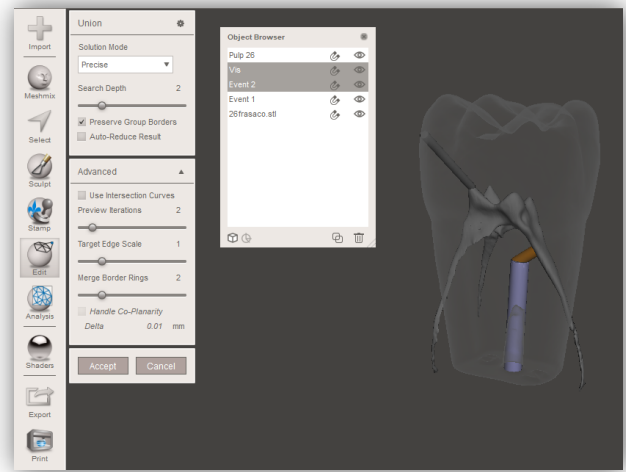


F

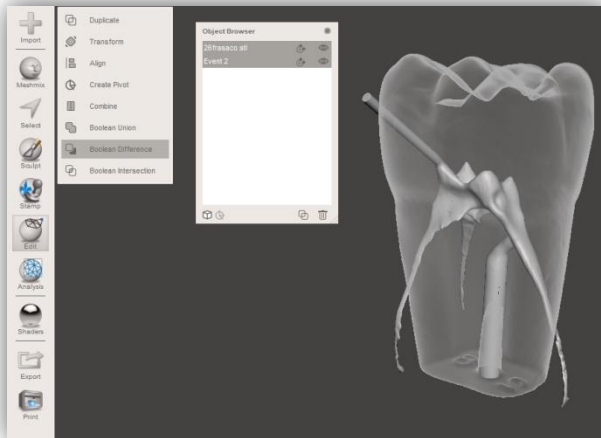
Annexe 4 : A. Utilisation de l'outil « Transform ». **B.** Fenêtre de dialogue de l'icône Meshmix. **C.** Intégration du cylindre avec l'icône Meshmix et choix des dimensions du cylindre. **D.** Positionnement du logement de vis à sa position initiale. **E.** Positionnement de l'évén principal. **F.** Positionnement d'un canal de fuite pour le logement de la vis. (**Source personnelle**)



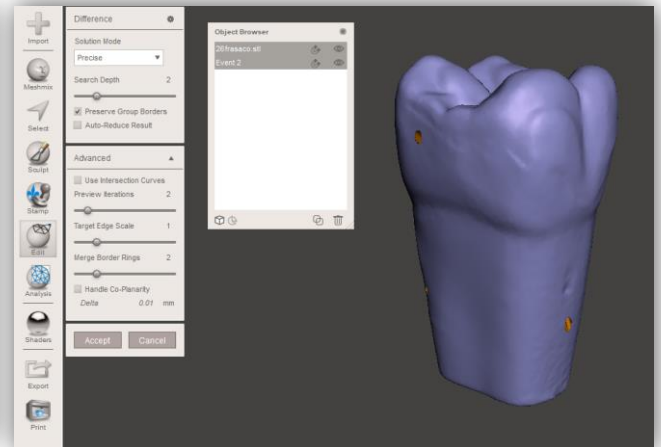
A



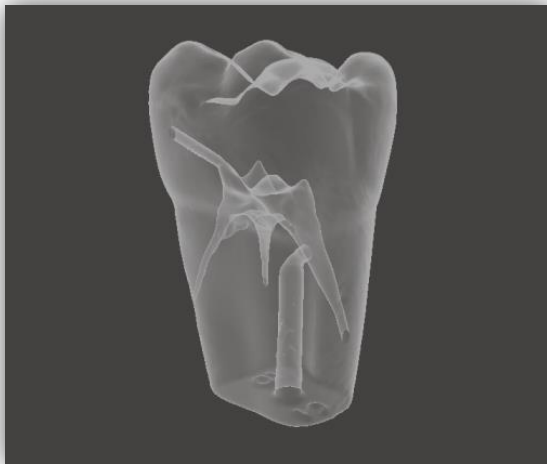
B



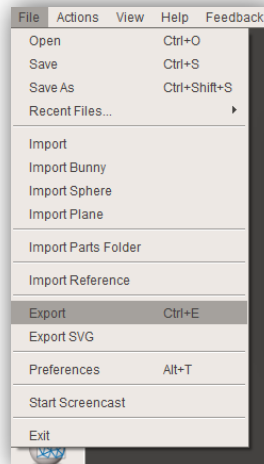
C



D



E



F

Annexe 5 : A. Sélection de l'outil « Boolean Union » de l'icône « EDIT » après sélection de plusieurs calques. **B.** Paramétrage de l'outil « Boolean Union ». **C.** Sélection de l'outil « Boolean Difference » de l'icône « EDIT ». **D.** Paramétrage de l'outil « Boolean Difference ». **E.** Visualisation finale du modèle en transparence après utilisation de l'outil « Boolean Difference ». **F.** Exportation du fichier final au format .STL pris en charge par l'imprimante. (Source personnelle)

Thèse d'exercice : Chir. Dent. : Lille : Année 2023 –

MODELISATION ET IMPRESSION DE DENTS EN 3D POUR L'ENTRAINEMENT AUX CAVITES D'ACCES LORS DES TRAVAUX PRATIQUES D'ENDODONTIE DE TROISIEME ANNEE /Axel BRACKE. - p. 82 : ill. 37 ; réf. 34

Domaines : Endodontie, Enseignement

Mots clés Libres : endodontie, cavité d'accès, pédagogie, modélisation 3D

Les différents supports pédagogiques conçus depuis plusieurs années améliorent les outils d'apprentissage que ce soit en endodontie ou dans les autres disciplines. L'essor de l'impression 3D en est un exemple marquant.

En endodontie les étudiants travaillent sur des dents naturelles, ce qui rend leur apprentissage inégal entre eux et les expose à des risques sanitaires et légaux. L'apport de la conception et l'impression de modèle en 3D dans cette discipline pourrait permettre d'améliorer cet apprentissage en complément des supports pédagogiques déjà existants.

Une première étape est réalisée dans ce travail avec la conception de modèle pour l'entraînement aux cavités d'accès.

JURY :

Président : Monsieur le Professeur Etienne DEVEAUX

Assesseurs : Monsieur le Docteur Corentin DENIS

Monsieur le Docteur Thibault BECAVIN

Monsieur le Docteur Florian DE CONINCK