

ANNEE 2021

2021 TOU3 3070

THESE

POUR LE DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement

par

Manon AMPEZZAN

le 13 décembre 2021

**DEVELOPPEMENT ET EVALUATION D'UN MODELE DE TRAVAIL
IMPRIME EN 3D POUR LES TRAVAUX PRATIQUES D'ENDODONTIE
PEDIATRIQUE**

Directeur de thèse : Dr Mathieu MARTY
Co-directeur de thèse : Pr Franck DIEMER

JURY

Président :	Pr Frédéric VAYSSE
1er assesseur :	Pr Franck DIEMER
2ème assesseur :	Dr Mathieu MARTY
3ème assesseur :	Dr Alice BROUTIN



Faculté de Chirurgie Dentaire

→ DIRECTION

DOYEN

M. Philippe POMAR

ASSESSEUR DU DOYEN

Mme Sabine JONOT

Mme Sara DALICIEUX-LAURENCIN

DIRECTRICE ADMINISTRATIVE

Mme Muriel VERDAGUER

PRÉSIDENTE DU COMITÉ SCIENTIFIQUE

Mme Cathy NABET

→ HONORARIAT

DOYENS HONORAIRES

M. Jean LAGARRIGUE +

M. Jean-Philippe LODTER +

M. Gérard PALOUDIER

M. Michel SIXOU

M. Henri SOULET

CHARGÉS DE MISSION

M. Karim NASR (*Innovation Pédagogique*)

M. Olivier HAMEL (*Maillage Territorial*)

M. Franck DIEMER (*Formation Continue*)

M. Philippe KEMOUN (*Stratégie Immobilière*)

M. Paul MONSARRAT (*Intelligence Artificielle*)

→ PERSONNEL ENSEIGNANT

Section CNU 56 : Développement, Croissance et Prévention

56.01 ODONTOLOGIE PEDIATRIQUE et ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE (Mme Isabelle BAILLEUL-FORESTIER)

ODONTOLOGIE PEDIATRIQUE

Professeurs d'Université : Mme Isabelle BAILLEUL-FORESTIER, M. Frédéric VAYSSE

Maîtres de Conférences : Mme Emmanuelle NOIRRI-ESCLASSAN, Mme Marie- Cécile VALERA, M. Mathieu MARTY

Assistants : Mme Marion GUY-VERGER, Mme Alice BROUTIN

(associée) Adjoints d'Enseignement : M. Sébastien DOMINE, M. Robin BENETAH, M. Mathieu TESTE,

ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE

Maîtres de Conférences : M. Pascal BARON, Mme Christiane LODTER, M. Maxime

ROTENBERG Assistants : Mme Isabelle ARAGON, Mme Anaïs DIVOL,

56.02 PRÉVENTION, ÉPIDÉMIOLOGIE, ÉCONOMIE DE LA SANTÉ, ODONTOLOGIE LÉGALE (Mme NABET Catherine)

Professeurs d'Université : M. Michel SIXOU, Mme Catherine NABET, M. Olivier HAMEL, M. Jean-Noël

VERGNES Assistant : Mme Géromine FOURNIER

Adjoints d'Enseignement : M. Alain DURAND, Mlle. Sacha BARON, M. Romain LAGARD, M. Fabien BERLIOZ
M. Jean-Philippe GATIGNOL, Mme Carole KANJ

Section CNU 57 : Chirurgie Orale, Parodontologie, Biologie Orale

57.01 CHIRURGIE ORALE, PARODONTOLOGIE, BIOLOGIE ORALE (M. Philippe KEMOUN)

PARODONTOLOGIE

Maîtres de Conférences	Mme Sara DALICIEUX-LAURENCIN, Mme Alexia VINEL
Assistants :	Mme. Charlotte THOMAS, M. Joffrey DURAN
Adjoints d'Enseignement :	M. Loïc CALVO, M. Christophe LAFFORGUE, M. Antoine SANCIER, M.
Ronan BARRE ,	Mme Myriam KADDECH, M. Matthieu RIMBERT,

CHIRURGIE ORALE

Professeur d'Université :	Mme Sarah COUSTY
Maîtres de Conférences :	M. Philippe CAMPAN, M. Bruno COURTOIS
Assistants :	Mme Léonore COSTA-MENDES, M. Clément CAMBRONNE
Adjoints d'Enseignement :	M. Gabriel FAUXPOINT, M. Arnaud L'HOMME, Mme Marie-Pierre LABADIE, M. Luc RAYNALDY,
	M. Jérôme SALEFRANQUE,

BIOLOGIE ORALE

Professeur d'Université :	M. Philippe KEMOUN
Maîtres de Conférences :	M. Pierre-Pascal POULET, M. Vincent BLASCO-BAQUE
Assistants :	Mme Inessa TIMOFEEVA, M. Matthieu MINTY, Mme Chiara CECCHIN-ALBERTONI,
M. Maxime LUIS Adjoints d'Enseignement :	M. Mathieu FRANC, M. Hugo BARRAGUE, M. Olivier DENY

Section CNU 58 : Réhabilitation Orale

58.01 DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE, PROTHESES, FONCTIONS-DYSFONCTIONS, IMAGERIE, BIOMATERIAUX (M. Franck DIEMER)

DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE

Professeur d'Université :	M. Franck DIEMER
Maîtres de Conférences :	M. Philippe GUIGNES, Mme Marie GURGEL-GEORGELIN, Mme Delphine MARET-COMTESSE
Assistants :	M. Jérôme FISSE, M. Sylvain GAILLAC, Mme Sophie BARRERE, Mme. Manon SAUCOURT
Adjoints d'Enseignement :	M. Ludovic PELLETIER, M. Nicolas ALAUX
DUCASSE	M. Eric BALGUERIE, M. Jean- Philippe MALLET, M. Rami HAMDAN, M. Romain

PROTHÈSES

Professeurs d'Université :	M. Philippe POMAR
Maîtres de Conférences :	M. Jean CHAMPION, M. Rémi ESCLASSAN, M. Florent DESTRUHAUT, M. Antoine GALIBOURG,
Assistants :	M. Antonin HENNEQUIN, M. Bertrand CHAMPION, Mme Margaux BROUTIN, Mme Coralie BATAILLE
Adjoints d'Enseignement :	M. Christophe GHRENASSIA, Mme Marie-Hélène LACOSTE-FERRE, M. Olivier LE GAC, M. JeanClaude COMBADAZOU, M. Bertrand ARCAUTE, M. Fabien LEMAGNER,
EMONET-DENAND	M. Eric SOLYOM, M. Michel KNAFO, M. Alexandre HEGO DEVEZA, M. Victor
	M. Thierry DENIS, M. Thibault YAGUE

FONCTIONS-DYSFONCTIONS, IMAGERIE, BIOMATERIAUX

Maîtres de Conférences : Mme Sabine JONJOT, M. Karim NASR, M. Paul MONSARRAT, M. Thibault CANCEILL
Assistants : M. Julien DELRIEU, M. Paul PAGES, Mme Julie FRANKEL
Adjoints d'Enseignement : Mme Sylvie MAGNE, M. Thierry VERGÉ, Mme Josiane BOUSQUET, M. Damien OSTROWSKI

Mise à jour pour le 01 novembre 2021

Remerciements

A ma famille, ma grand-mère, ma mère, mon père, et ma sœur.

A mes amies de la fac devenues des sœurs, Carla, Noor, Clara et Vy.

A mes amis d'enfance, Morgane, Carla, Maximilien, Jeanne et Maureen.

Merci pour votre soutien, merci d'être à mes côtés.

A notre président du jury de thèse,

A Monsieur le Professeur Frédéric VAYSSE

- Professeur des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie,
- Lauréat de l'Université Paul Sabatier,

*Je vous remercie d'avoir accepté spontanément de bien vouloir
présider mon jury de thèse.*

*Veillez trouver dans cette thèse l'expression de ma reconnaissance
la plus sincère.*

A notre co-directeur de thèse,

A Monsieur le Professeur Franck DIEMER,

- Professeur des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- D.E.A. de Pédagogie (Education, Formation et Insertion) Toulouse Le Mirail,
- Docteur de l'Université Paul Sabatier,
- Responsable du comité scientifique de la Société Française d'Endodontie,
- Responsable du Diplôme Inter Universitaire d'Endodontie à Toulouse,
- Responsable du Diplôme Universitaire d'Hypnose,
- Co-responsable du diplôme Inter Universitaire d'Odontologie du Sport,
- Lauréat de l'Université Paul Sabatier

*Je vous remercie d'avoir accepté de participer à l'élaboration de
cette thèse.*

Merci pour votre disponibilité et vos conseils.

*Veuillez trouver dans cette thèse le témoignage de mon profond
respect et de ma reconnaissance.*

A notre directeur de thèse,

A Monsieur le Docteur Mathieu MARTY,

- Maître de Conférences des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- CES de Chirurgie Dentaire Odontologie Pédiatrique et Prévention,
- CES de Physiopathologie et diagnostic des dysmorphies cranio-faciales,
- Master 2 Sciences de l'éducation Université Paul VALERY Montpellier 3,
- Doctorat en Sciences de l'éducation Université Paul VALERY Montpellier 3

*Je vous remercie d'avoir accepté de participer à l'élaboration de
cette thèse.*

*Merci pour votre encadrement et votre disponibilité pour la rédaction
de cette thèse.*

*Merci pour vos conseils et votre aide pendant ces années
théoriques et cliniques.*

*Veuillez trouver dans cette thèse le témoignage de mon profond
respect et de ma reconnaissance.*

A notre jury de thèse,

A Madame le Docteur Alice BROUTIN,

- Assistante associée Hospitalo-Universitaire d'Odontologie,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- Diplôme d'Université d'anesthésie générale et sédation en odontologie clinique,
- Certificat d'études Supérieures de Chirurgie Dentaire en Odontologie Pédiatrique et Prévention

*Je vous remercie d'avoir accepté de faire partie de mon jury.
Merci pour votre encadrement pendant ces années cliniques.
Veuillez trouver dans ce travail l'expression de ma reconnaissance.*

Table des matières

Introduction.....	12
1. Impression 3D	14
1.1. Acquisition de l'image	14
1.1.1. Empreinte optique	14
1.1.2. Radiologie 3D.....	15
1.2. Traitement de l'image	15
1.3. Impression 3D.....	15
1.3.1. Technique soustractive.....	15
1.3.2. Technique additive	16
1.3.2.1. Dépôt de fil fondu (FDM)	16
1.3.2.2. Frittage sélectif par laser (SLS).....	17
1.3.2.3. Stéréolithographie (SLA)	18
2. Impression 3D à visée pédagogique	20
2.1. Prothèse conjointe	20
2.2. Endodontie.....	21
2.3. Pédiatrie.....	21
3. Phase expérimentale.....	22
3.1. Développement du modèle	22
3.1.1. Sélection du CBCT	22
3.1.2. Conception assistée par ordinateur (CAO).....	22
3.1.3. Fabrication assistée par ordinateur (FAO).....	25
3.1.3.1. Imprimante	25
3.1.3.2. Résines	26
3.2. Evaluation du modèle	28
3.2.1. Recrutement des participants.....	28
3.2.2. Réalisation du TP	28
3.2.3. Recueil des données	30
3.2.4. Analyse des données	30
4. Discussion	34
Conclusion.....	37

Annexes	37
Bibliographie.....	40
Table des illustrations.....	42

Introduction

L'impression en trois dimensions (3D) est une technique qui s'est beaucoup développée ces dernières années et qui a trouvé dans le domaine de la santé, et notamment de la dentisterie, de nombreuses applications.

Parmi les différentes branches de la médecine orale, l'utilisation de l'impression 3D dans la Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur (CFAO) a permis certaines innovations(1) :

- En orthodontie, elle a facilité l'étape de set-up en la rendant plus rapide et précise
- En prothèse fixe et amovible, elle a permis de gagner en précision pour l'impression des modèles primaires
- En chirurgie orale, et plus particulièrement en implantologie, elle a aidé à la réalisation de guides chirurgicaux et à la planification chirurgicale de cas complexes.

Aussi, depuis 2003, l'impression 3D a servi à l'enseignement, notamment dans la réalisation de modèles pour les travaux pratiques (TP) précliniques(2).

Depuis des années, les étudiants s'entraînent en TP sur des modèles avec des dents en résine qui sont en parfait état ; modèles avantageux pour apprendre le geste technique mais ne reflétant pas la réalité clinique, en particulier les variations anatomiques.

En 2019, à Toulouse, pour la première fois en pédodontie, un modèle 3D a été imprimé à partir d'un CBCT (Cone Beam Computed Tomography) d'une dent temporaire cariée et a servi d'outil à la réalisation d'un TP innovant pour les étudiants en 5^{ème} année de chirurgie dentaire. Ils ont pu s'entraîner à réaliser une pulpotomie sur une dent lactéale avant de débiter leurs vacances pédiatriques et ainsi réduire leur stress pré-clinique(3). Par ailleurs, les étudiants se sont montrés très enthousiastes face à ces nouveaux modèles plus réalistes, ce qui nous a poussés à aller plus loin en proposant un TP d'une pulpectomie sur dent temporaire. Effectivement cet acte est enseigné dans les cours théoriques de pédodontie mais n'a jamais fait le sujet d'un TP.

La récupération des dents lactéales avec des racines n'ayant pas commencé leur rhizalyse étant impossible, nous avons donc créé un modèle d'endodontie pédiatrique à partir d'un CBCT et mis en place un TP afin d'évaluer la perception des étudiants face à ce modèle.

Dans une première partie nous nous intéresserons au fonctionnement de l'impression 3D, de l'acquisition de l'image jusqu'à la production d'un objet. Puis, dans une deuxième partie, nous allons nous intéresser aux impressions 3D à visée pédagogique en odontologie, plus précisément en odontologie pédiatrique. Nous passerons ensuite à la partie expérimentale du développement et de l'évaluation du modèle d'endodontie pédiatrique réaliser à la faculté de Toulouse.

1. Impression 3D

L'impression 3D est entrée dans le domaine de la dentisterie à la fin du XX^e siècle et n'a cessé de s'améliorer au fil des années. Celle-ci est devenue plus abordable et plus facile d'utilisation. Son principe consiste à acquérir une image 3D et à l'imprimer.

Pour acquérir une image tridimensionnelle de l'arcade dentaire il existe plusieurs moyens que nous allons brièvement décrire.

1.1. Acquisition de l'image

1.1.1. Empreinte optique

L'empreinte optique se fait directement au fauteuil sans rayon ionisant, et se fait à l'aide d'une caméra optique. Elle enregistre grâce à une source lumineuse tous les tissus de surface de la bouche, dont les tissus mous, en 3D.

Pour mieux comprendre son fonctionnement, prenons l'exemple d'une dent. Cette dent est éclairée par une source lumineuse et va renvoyer une partie de ces rayons. Ces derniers sont captés par la caméra intra-buccale et sont convertis en données numériques. La dent est enfin reconstituée en trois dimensions par l'ordinateur à partir de ces données(4).

Elle ne permet pas l'enregistrement d'image de l'endodonte.



Figure 1 : Scanner intra-oral Primescan de Dentsply

1.1.2. Radiologie 3D

La tomographie volumique à faisceau conique ou CBCT, est un examen tridimensionnel qui permet d'acquérir des images précises des tissus durs et de l'endodonte.

Il y a 2 phases pour obtenir l'image 3D d'un objet :

- La première étant l'acquisition d'une image qui permet d'obtenir un nuage de point.
- La deuxième étant une étape de rétro-conception permettant de reconstituer l'image en 3D à partir de ce nuage de point.

C'est une technique qui a beaucoup été utilisée dans les protocoles d'impression tridimensionnelle en scannant une dent extraite ou en récupérant directement un cliché 3D dans le dossier radiologique d'un patient.

1.2. Traitement de l'image

Une fois que l'acquisition est faite, il faut passer au traitement de l'image via des logiciels de conception 3D. Il est possible de modifier l'image précédemment acquise pour en faciliter l'impression ou pour améliorer certaines caractéristiques.

Cette étape constitue la partie conception assistée par ordinateur (CAO) de la CFAO.

1.3. Impression 3D

L'impression en trois dimensions constitue la partie fabrication assistée par ordinateur (FAO) de la CFAO.

Il existe plusieurs techniques d'impression : soustractive et additive. Nous allons les décrire brièvement.

1.3.1. Technique soustractive

La technique soustractive utilise un bloc de matériau unique qui va être usiné pour obtenir un objet final homogène. L'usinage est possible grâce à des bras axés de différentes manières et munis de fraise à leur extrémité. Plus il y a de bras, plus il est possible de réaliser des pièces précises et complexes.

Cette technique est beaucoup utilisée dans les cabinets dentaires, notamment pour les couronnes unitaires, les inlays, les onlays etc.



Figure 2 : CEREC (Chairside-Economical-Restoration-Esthetic-Ceramic)

1.3.2. Technique additive

1.3.2.1. Dépôt de fil fondu (FDM)

La fabrication de la pièce se fait en déposant couche par couche un filament de matériau thermoplastique sur un plateau qui va être fondu et extrudé. Cette technique présente la précision et la qualité la plus faible et n'est pas indiquée en cas de réalisation d'objet complexe ou trop détaillé(5).

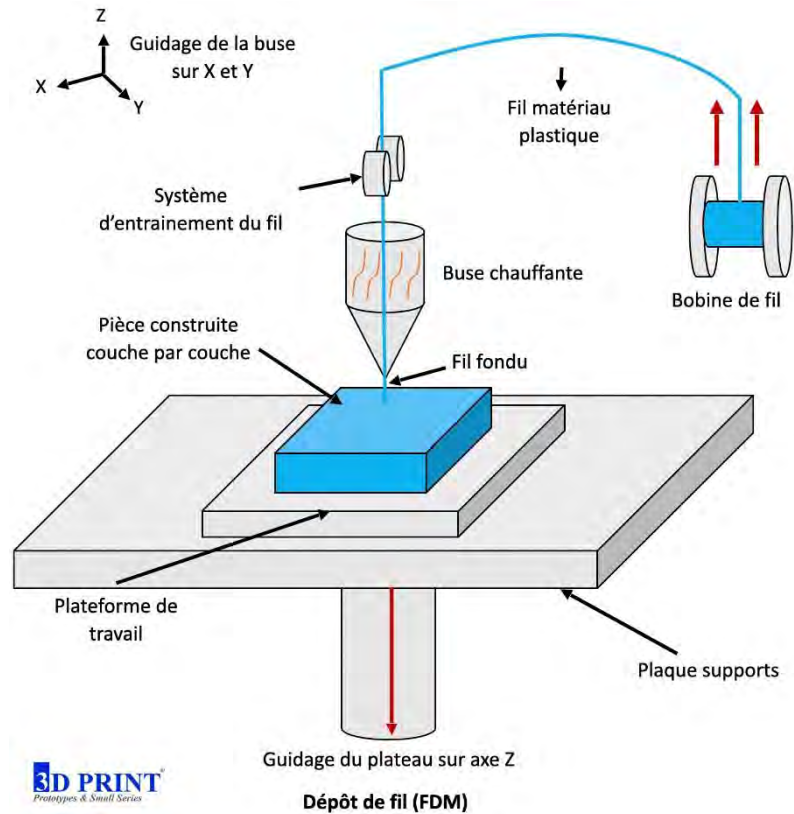


Figure 3 : Schéma du fonctionnement de l'impression 3D par dépôt de fil fondu (FDM)

1.3.2.2. Frittage sélectif par laser (SLS)

C'est la technique la plus utilisée dans l'industrie. Elle repose sur le principe de fusion d'un matériau, qui est à la base sous forme de poudre polymère, grâce à un laser haute puissance couche par couche. Le SLS convient parfaitement aux pièces à géométrie complexe(5).

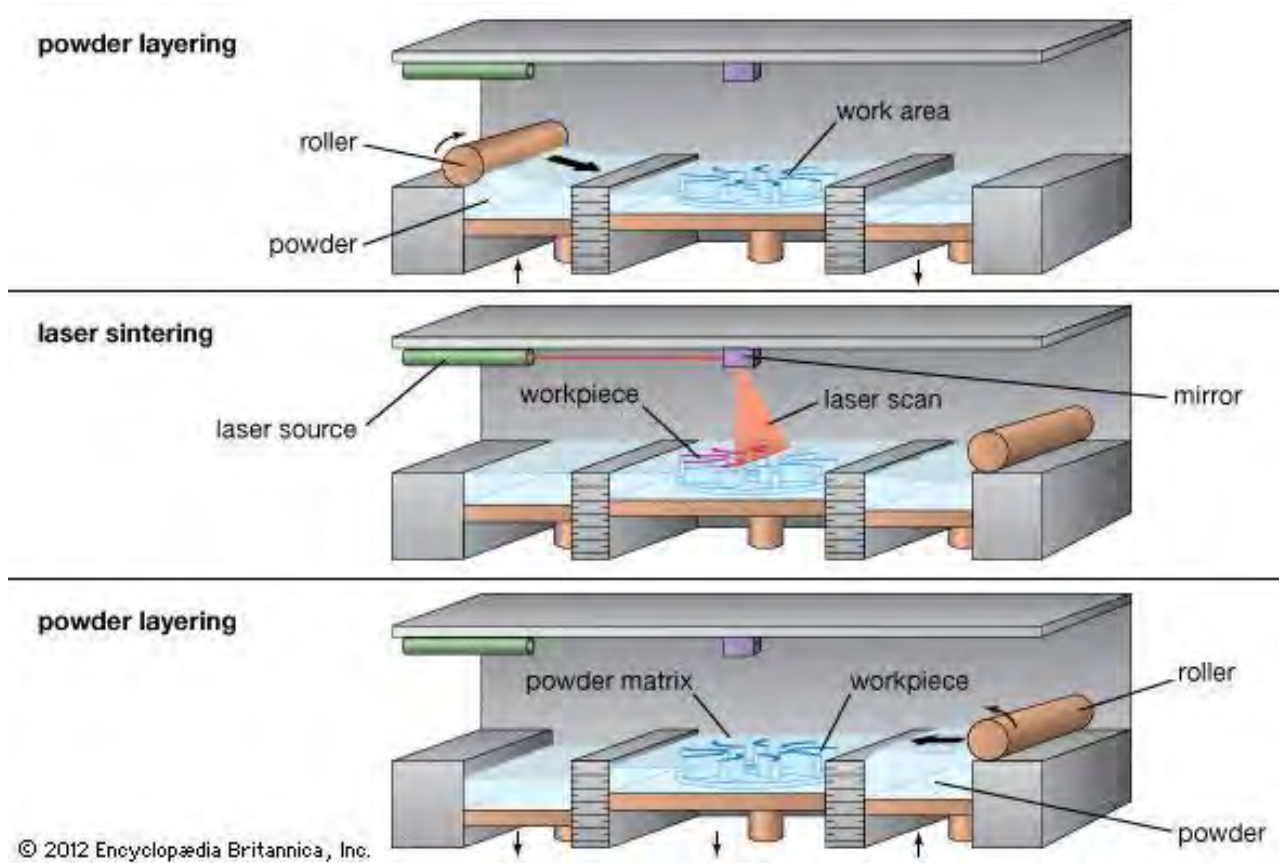


Figure 4 : Schéma de l'impression 3D par frittage sélectif par laser (SLS)

1.3.2.3. Stéréolithographie (SLA)

C'est une technique qui existe depuis les années 80 et qui est prisée par les professionnels. Elle utilise un laser afin de polymériser une résine liquide en une résine solide couche par couche. C'est cette technique qui présente la résolution et la précision la plus haute. Elle est particulièrement adaptée aux modèles et a un état de surface très lisse(5).

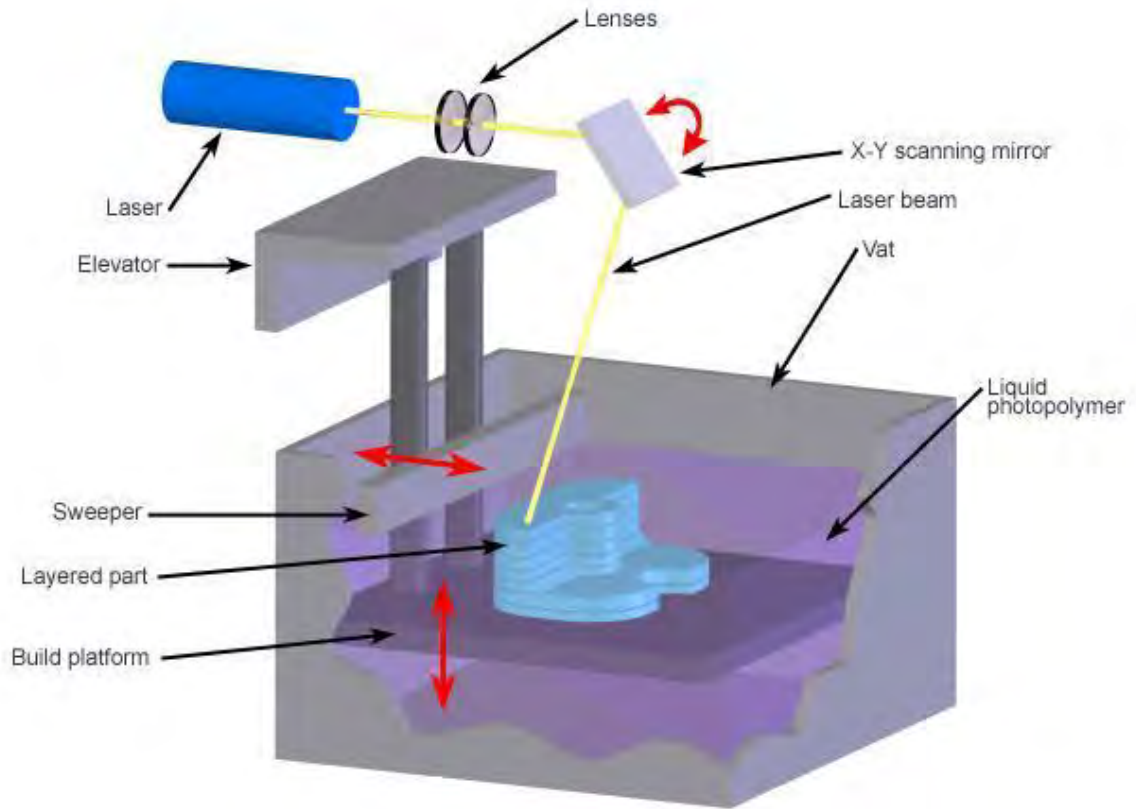


Figure 5 : Schéma de l'impression 3D par stéréolithographie (SLA)

La diversification des techniques d'impression en trois dimensions permet de rendre plus précis leurs indications et d'avoir de meilleurs objets finaux. Cela permet aussi d'agrandir le nombre d'utilisateur et de diversifier les milieux dans lesquels l'impression 3D peut être utilisée.

Depuis les années 2000, elle a été introduite dans l'enseignement médical, notamment dans l'enseignement de la médecine orale.

2. Impression 3D à visée pédagogique

L'impression 3D à visée pédagogique s'est beaucoup développée dans l'enseignement de prothèse conjointe, d'endodontie et dernièrement en pédiatrie.

2.1. Prothèse conjointe

En 2020, Höhne et coll. ont travaillé sur une dent en 3D imprimée à partir d'un CBCT d'une première molaire permanente extraite(6). Elle a été modifiée informatiquement pour que la pulpe soit imprimée en rouge (B) et la zone de préparation idéale en noire (D), le tout recouvert d'une résine blanche. La taille de la dent a été standardisée pour qu'elle puisse rentrer dans les modèles standards.

Il a été demandé à 38 étudiants de 4^{ème} année de préparer 4 dents imprimées en 3D et 4 dents du modèle standard. Les étudiants ont ensuite répondu à un questionnaire concluant majoritairement à l'inclusion de la dent imprimée en 3D dans leur TP pré-clinique.

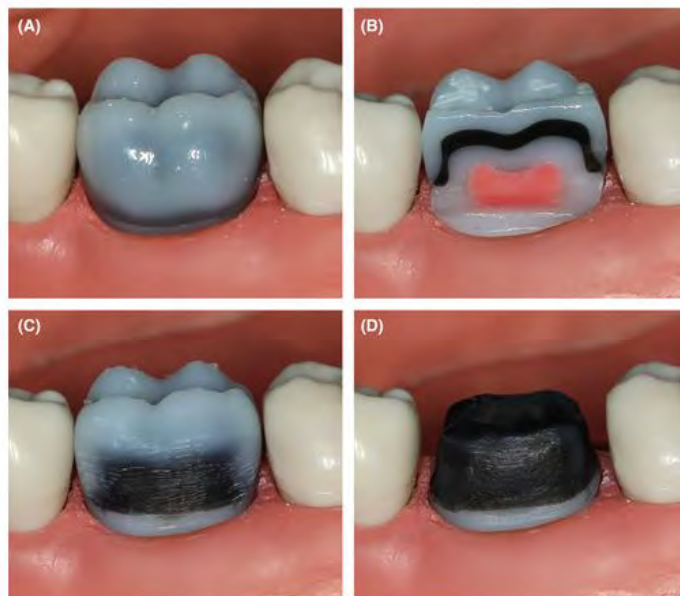


Figure 6 : Molaire imprimée par Höhne et coll. en vue d'un TP pour les étudiants de 4^{ème} année

2.2. Endodontie

Des modèles 3D d'endodontie ont été imprimés afin d'étudier les erreurs commises par les étudiants lors de l'étape de la cavité d'accès et ont permis d'évaluer leur progression(7). Les étudiants ont pu s'entraîner à faire des cavités d'accès sur 10 dents identiques. Les dents ont ensuite été évaluées, montrant une progression significative dans la technique pour la réalisation des cavités d'accès sur les incisives et les prémolaires.

2.3. Pédiatrie

En 2018, Marty et coll. ont mis au point un modèle pédiatrique à partir d'un CBCT d'un patient simulant une lésion carieuse proche de la pulpe d'une dent temporaire(3). Lors d'un TP réalisé à la Faculté de chirurgie dentaire de Toulouse, un groupe d'étudiants de 5^{ème} année a comparé l'utilisation de ces modèles 3D et des modèles Frasaco®. Ainsi, les résultats de cette étude ont montré une nette préférence de l'utilisation des modèles 3D, se rapprochant davantage de la réalité clinique.

Une étude menée sur les facultés de chirurgie dentaire de France en 2016(8) a montré que l'enseignement de la pulpectomie sur dent de lait se fait essentiellement lors des vacances cliniques et que seulement 11% des facultés proposent un TP aux étudiants. Parmi ces 11%, 80% utilisent des dents de lait extraites, les 20% restants s'entraînent sur des dents temporaires synthétiques.

Nous avons ainsi cherché à développer un modèle 3D afin de faciliter l'enseignement de la pulpectomie sur dent lactéale et diminuer considérablement le stress des étudiants vis-à-vis des vacances pédiatriques.

3. Phase expérimentale

3.1. Développement du modèle

3.1.1. Sélection du CBCT

Pour réaliser un modèle, la première étape est de choisir la bonne image 3D au format DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine).

Le CBCT a été choisi à partir de la base de données radiologique du service odontologie du CHU de Toulouse. Les critères d'inclusion retenus pour cette étude étaient « une deuxième molaire de lait mandibulaire dont les racines se trouvent au stade 2 (maturité)(9) qui n'a pas commencé sa rhizalyse ». En revanche, toutes les dents de lait fracturées, ayant une résorption interne ou externe, ou une lésion atteignant la furcation constituaient les critères d'exclusion.

Une série de 18 CBCT pédiatriques a été observée et 2 CBCT répondaient aux critères d'inclusions.

Le CBCT retenu contenait une 84, une 85, une 46, les germes de 44 et 45 et l'arcade maxillaire opposée. Le fichier DICOM a été récupéré sur une clé USB et a dû être converti en fichier STL (Surface Tessellation Language).

3.1.2. Conception assistée par ordinateur (CAO)

Le logiciel AVIZO a été utilisé dans un premier temps pour convertir le fichier DICOM en format STL. Ce logiciel permet une visualisation et une analyse 3D pour les données scientifiques et industrielles. Il a permis d'apporter quelques modifications au futur modèle.

Pour commencer, la région du CBCT qui nous intéresse a été sélectionnée, dans notre cas la zone en question ne doit contenir que l'arcade mandibulaire avec les dents 46-85-84. Cette sélection permet de créer le fichier « _85 » qui apparaît en bleu sur l'image ci-dessous.

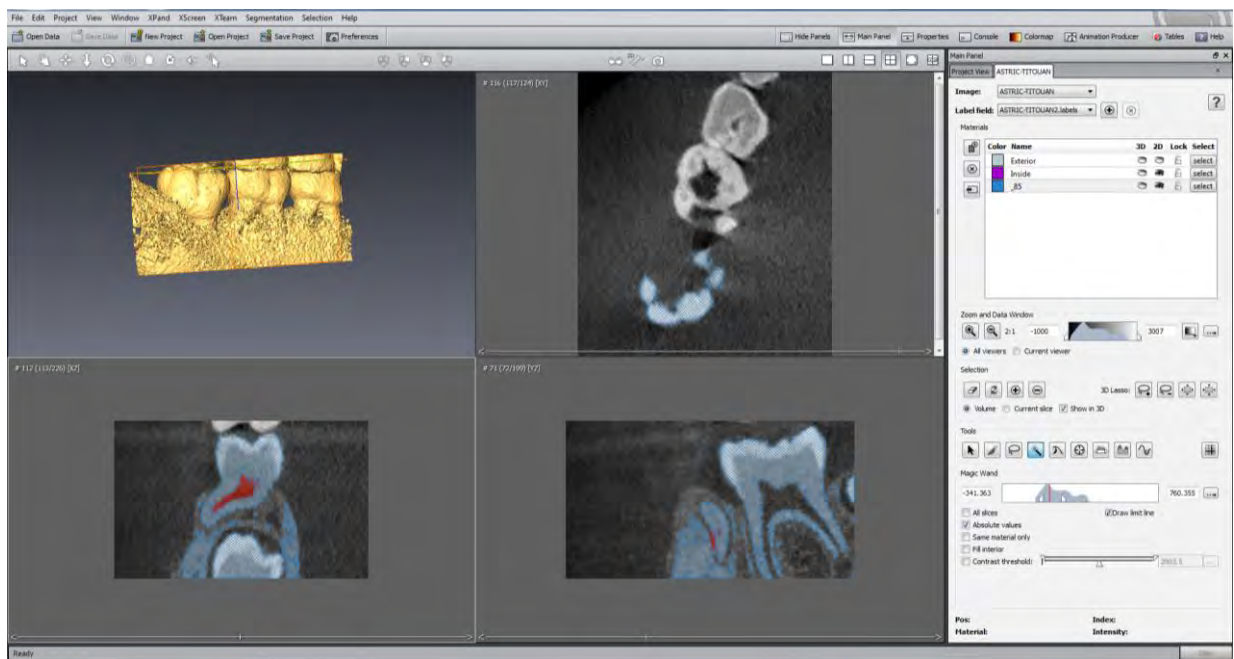


Figure 7 : Image 3D de l'arcade mandibulaire dans le logiciel AVIZO lors de l'étape de suppression des coupes de l'arcade maxillaire

Dans ce nouveau fichier, il reste quelques coupes qui contiennent l'arcade maxillaire qui ne nous intéressent pas. Pour les enlever du fichier, il faut sélectionner la coupe en question et la supprimer. Lorsque sur une même coupe on retrouve des éléments de l'arcade mandibulaire et maxillaire, il faut alors utiliser l'outil « *brush* » et désélectionner de la coupe toutes les images qui vont être conservées (clic droit + ctrl). Le reste de la coupe est alors supprimé.

Une fois que les trois dents mandibulaires ont été isolées du reste du CBCT, l'endodonte de chaque dent doit être élargi et uniformisé pour faciliter l'impression. Pour cela, la zone en question est sélectionnée et est affiliée à un matériau dans le logiciel. L'outil « *magic wand* » est utilisé et permet, pour un point choisi, de sélectionner l'ensemble des points de même densité et ainsi de sélectionner un seul et même tissu dans son entièreté sur l'ensemble du CBCT. Ici, l'échantillonnage de gris va de -662 à 682. Au-delà de ces valeurs, trop de tissus sont sélectionnés.

L'échelle de gris d'un conebeam n'est pas calibrée contrairement à celle d'un scanner. En effet, on ne retrouve pas la même valeur de densité d'un tissu d'un patient à l'autre voire chez un même patient. C'est pourquoi, sur chaque coupe, il faut sélectionner manuellement chaque point qui représente l'endodonte, en plus de la sélection qui a été

faite par le logiciel. Cette technique nous permet aussi d'agrandir les canaux pour faciliter l'impression 3D du modèle et pour faciliter la lecture de l'endodonte.

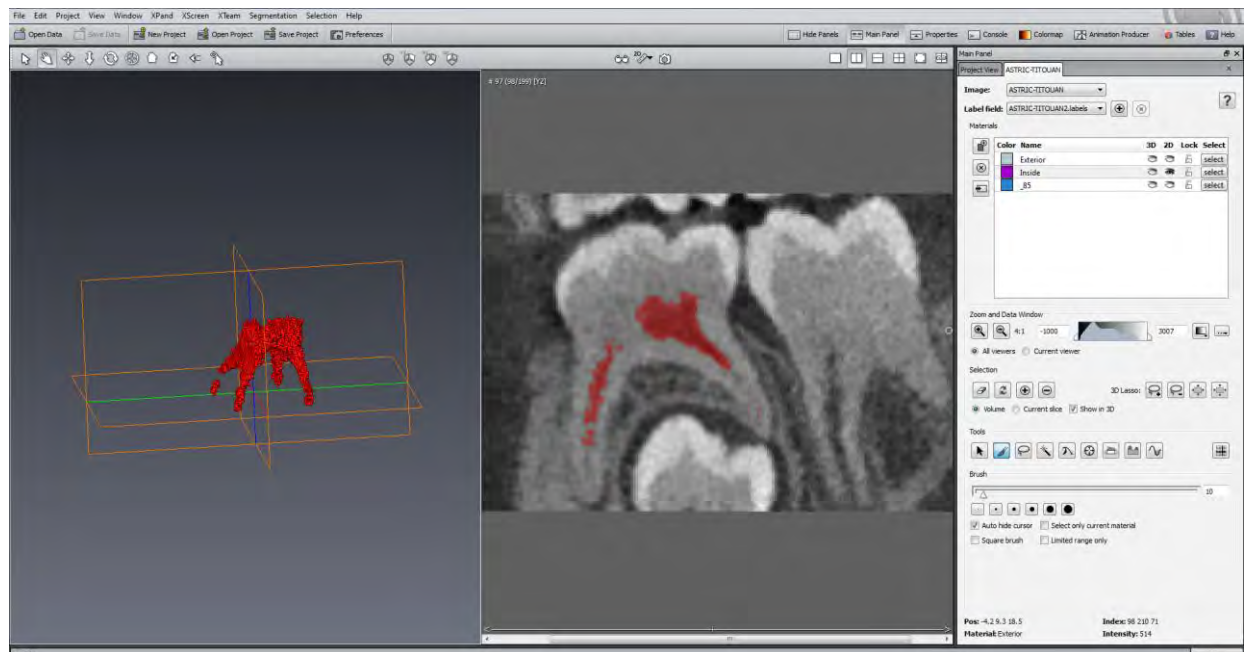


Figure 8 : Image 3D de l'arcade mandibulaire dans le logiciel AVIZO lors de la sélection de l'endodonte

Une fois que la sélection est terminée, on l'ajoute à un matériau puis on l'ouvre sur MESMIXER.

MESHMIXER est un logiciel de manipulation de modèles 3D. Il est utile pour nettoyer des scans 3D, préparer un objet à l'impression, sculpter un modèle ou fusionner des éléments.

Une fois que le fichier est récupéré sur ce logiciel, l'endodonte est sélectionné pour agrandir la longueur des canaux afin de percer la racine et ainsi permettre le drainage au matériau lors de l'impression. Le volume entier de l'endodonte a été augmenté de 15% puis a été supprimé pour créer du vide à l'impression.

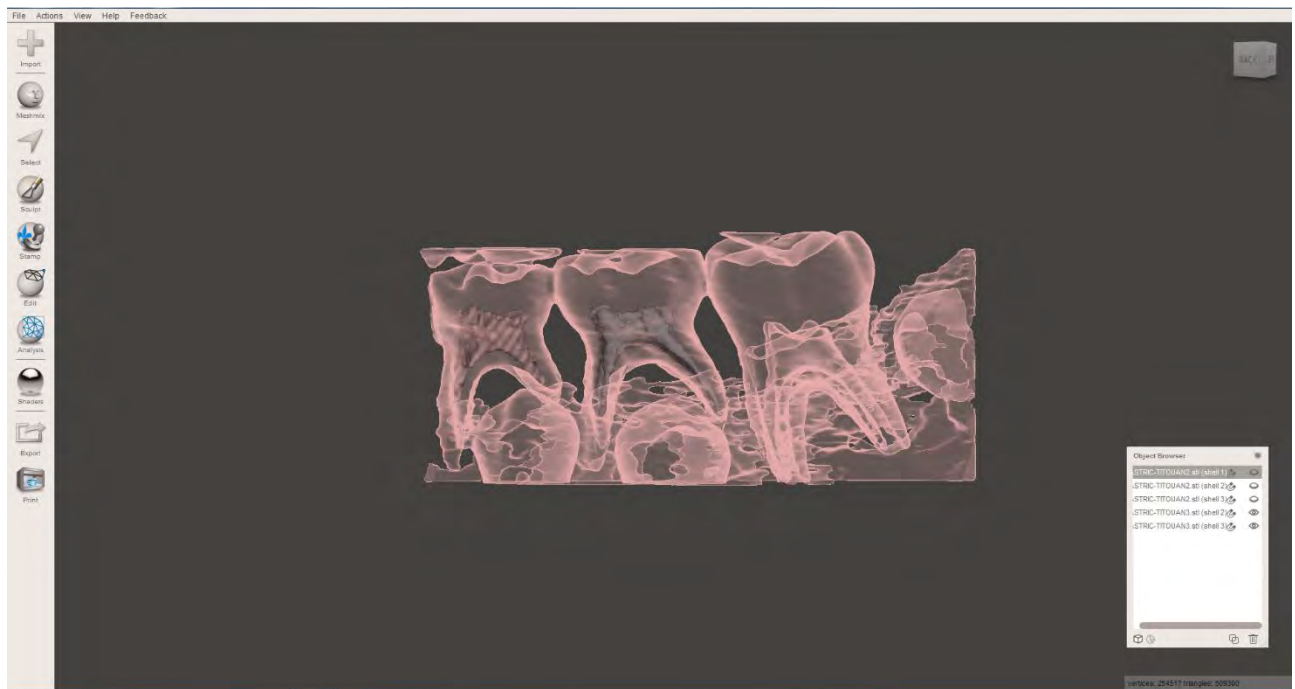


Figure 9 : Visualisation du futur modèle 3D dans le logiciel MESHMIXER

3.1.3. Fabrication assistée par ordinateur (FAO)

3.1.3.1. Imprimante

Nous avons ensuite utilisé le logiciel NETFABB pour lancer l'impression 3D. Les modèles ont été imprimés avec l'imprimante Form3 de Formlabs. C'est une imprimante 3D qui utilise la stéréolithographie.

Pour commencer la fabrication du modèle, une plateforme horizontale est déplacée verticalement et est plongée dans un réservoir de résine liquide. Plus cette plateforme descend, plus la couche de résine polymérisée sera épaisse. Le laser UV polymérise ensuite la résine selon la programmation faite sur le logiciel NETFABB. La plateforme plonge ensuite une nouvelle fois dans le bain de résine, une raclette passe horizontalement pour mettre à niveau la résine avant la polymérisation. Puis l'opération est renouvelée jusqu'à l'obtention du modèle final.

3.1.3.2. Résines

Plusieurs résines ont été testées pour la fabrication des 30 modèles :

- Grey-V4 de Formlabs
- V-print ortho de VOCO
- Model-V2 de Formlabs

❖ Grey-V4 de Formlabs

La première impression a été faite sur quelques modèles avec la résine Grey-V4 de Formlabs. Les chambres pulpaire des 85 et 46 ont été ouvertes et les quatre entrées canalaire de la 85 ont été trouvées. Cependant, la résine n'était pas assez rigide donc l'expérience du geste technique est biaisée, c'est pourquoi nous n'avons pas retenu cette résine.



Photo 1 : Modèle 3D imprimé avec la résine Grey-V4 de Formlabs

❖ V-print ortho de VOCO

Nous avons ensuite testé la résine V-print ortho de VOCO. C'est une résine transparente qui est intéressante d'un point de vue pédagogique puisque l'intérieur de la dent est visible et permet donc d'analyser l'étape de mise en forme. Cependant, la polymérisation des modèles étant trop forte, la chambre pulpaire n'était pas nette et l'entrée des canaux n'était pas lisible.



Photo 2 : Modèle 3D imprimé avec la résine V-print ortho de VOCO

❖ Model-V2 de Formlabs

Enfin, la résine model-V2 de Formlabs a été testée. Nous avons ouvert les chambres pulpaire et avons trouvé chaque entrée canalaire de la 85 et de la 46. La résine est plus rigide et chaque canal est perméable. Il a été décidé d'imprimer tous les modèles qui serviront pour les travaux pratiques des 5^{ème} et 6^{ème} années avec cette résine.



Photo 3 : Vue latérale du modèle imprimé avec la résine model-V2 de Formlabs

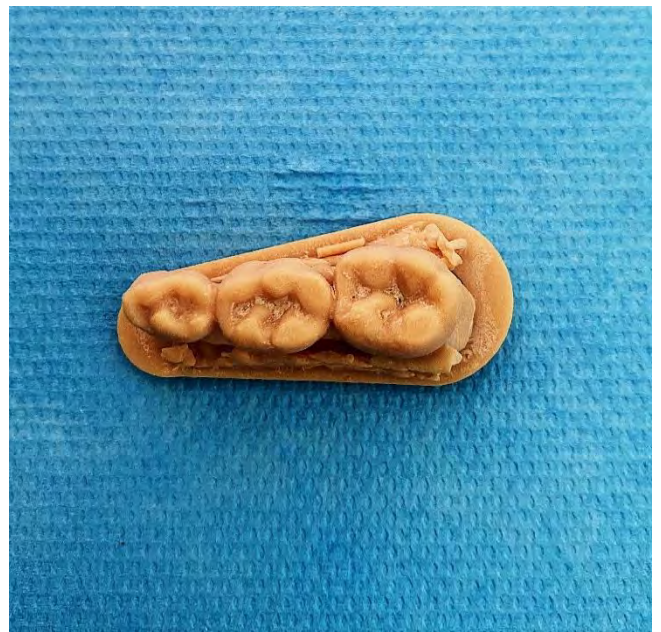


Photo 4 : Vue occlusale du modèle imprimé avec la résine model-V2 de Formlabs

3.2. Evaluation du modèle

3.2.1. Recrutement des participants

Pour le recrutement des participants au TP, un message a été envoyé aux 5^{ème} et 6^{ème} années sur les réseaux sociaux.

Le TP n'était pas noté, toute participation était anonyme, les étudiants étaient libres de partir du TP et de ne pas répondre au questionnaire.

Trente volontaires ont été ainsi recrutés dont vingt-deux en 5^{ème} année et huit en 6^{ème} année. Le TP a été fermé aux étudiants de 4^{ème} année car ils n'avaient pas encore eu l'enseignement théorique en odontologie pédiatrique.

3.2.2. Réalisation du TP

L'objectif du TP était d'entraîner les étudiants à faire une pulpectomie d'une molaire temporaire, de tester le modèle 3D mis au point à cet effet, et de voir si, selon eux, il était intéressant d'intégrer ce TP à l'enseignement pédiatrique.

Cet acte est indiqué lorsque l'hémostase n'est pas obtenue après une pulpotomie et lorsqu'il y a une nécrose pulpaire. De plus, l'état des racines doit être entre le stade de maturité et le début du stade de résorption (respectivement stade 2 et 3). La coopération du jeune patient est indispensable puisque c'est un acte qui se fait sous digne et qui peut être long.

Toutefois, si le patient présente une immunodépression, un risque oslérien ou si les racines sont à un stade de résorption trop avancé, si l'infection atteint le germe sous-jacent ou s'il y a une parulie, il est préférable de choisir l'avulsion comme solution thérapeutique.

Les objectifs d'un traitement canalaire d'une dent de lait sont(8) :

- L'élimination des bactéries intra-canales
- L'obturation des canaux avec un matériau qui ne gênera pas à la résorption des racines
- La potentielle densification de l'os inter-radiculaire
- Le maintien de la dent temporaire sur arcade

Une fois que les explications du TP ont été données aux étudiants, ils ont commencé par faire une pulpotomie de la 46 et une voix d'accès sur la 85. A l'aide de limes K15 ils ont pu trouver l'entrée de chaque canal de la 85 et déterminer les longueurs de travail. Ils sont allés les vérifier avec une radio rétro-alvéolaire.



Figure 11 : Extrait du PowerPoint créé pour le TP

Figure 10 : Extrait du PowerPoint créé pour le TP

Des moteurs endodontiques et des limes de rotation continue TS2 21mm ont été mis à leur disposition. La préparation des canaux est obtenue en seulement 2-3 passages de la lime dans chaque canal et une irrigation à la Chlorhexidine à 2% entre chaque passage.

Une fois que la mise en forme est faite, les étudiants ont obturé les canaux avec de l'oxyde de zinc eugénol (ZOE) à l'aide d'un lentulo monté sur contre-angle à 2000 tours par minute pour limiter le dépassement du matériau. Ils ont enfin pris une radio rétro-alvéolaire après obturation afin de vérifier leur obturation et pouvoir la critiquer.



Figure 13 : Extrait du PowerPoint créé pour le TP

Figure 12 : Extrait du PowerPoint créé pour le TP

Les étudiants ont travaillé hors bouche et donc sans digne, puisque le modèle que nous avons imprimé ne permet pas de travailler sur fantôme.

3.2.3. Recueil des données

Afin de récolter l'avis des étudiants, nous avons utilisé 2 questionnaires (Annexe 1).

Le premier est un questionnaire tiré d'un article publié en mars 2020 qui demande aux étudiants de noter la difficulté des différentes étapes d'un traitement endodontique sur dent permanente, que nous avons légèrement adapté à notre TP. Ils avaient le choix entre 5 réponses possibles : pas du tout d'accord, pas d'accord, ne sais pas, d'accord et tout à fait d'accord.

Le deuxième est un questionnaire tiré d'un article publié en novembre 2018 concernant l'aspect général du modèle 3D que nous avons repris dans sa totalité. Les étudiants devaient répondre aux questions sur une échelle de 0 à 10 (0=pas du tout d'accord ; 10=tout à fait d'accord).

Enfin, 3 questions ouvertes ont été ajoutées concernant leurs remarques personnelles vis-à-vis de ce TP.

3.2.4. Analyse des données

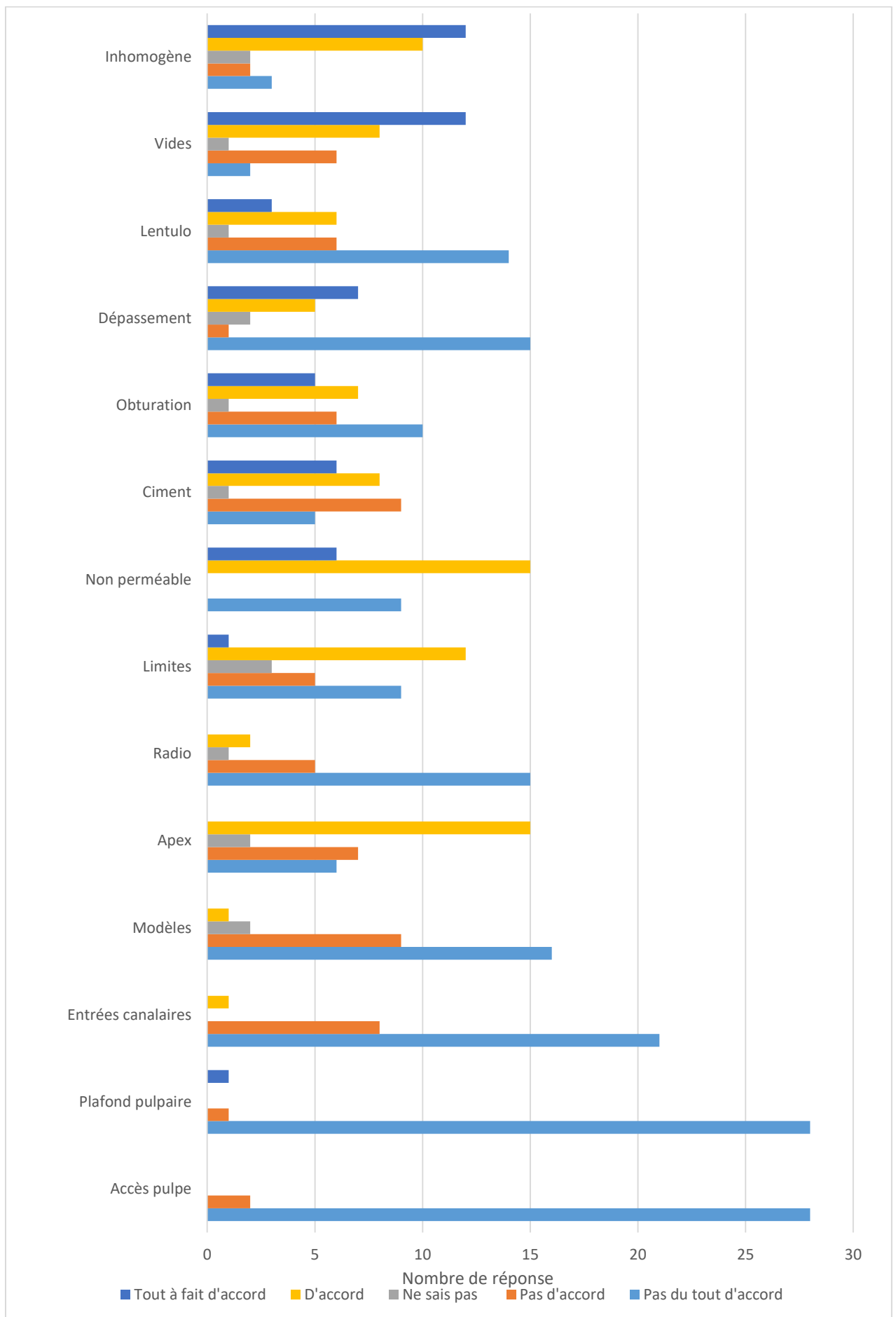


Tableau 1 : Ensemble des réponses des étudiants au premier questionnaire

Les 3 premières questions concernent l'aménagement de la voie d'accès de la dent temporaire sur le modèle. L'accès à la chambre pulpaire a été exécuté sans difficulté par 100% des étudiants. Concernant l'élimination du plafond pulpaire, seulement un participant s'est retrouvé en difficulté. De plus, 96% des étudiants sont parvenus à trouver les 4 entrées canalaire sans obstacle.

La similitude du modèle présenté avec les modèles imprimés a été jugée positivement pour 83% des étudiants.

La moitié des étudiants ont eu du mal à atteindre au moins un apex d'une des racines et 70% des étudiants ont fait face à au moins un apex non perméable.

Sur les 30 étudiants, 43% ont eu des difficultés à trouver la limite apicale d'au moins un canal et 2 étudiants ont eu des difficultés à analyser la radio lime en place.

On retrouve 30% des étudiants ayant eu des difficultés à placer le lentulo à LT-2mm et 46% ayant rencontré des difficultés avec la mise en place du ciment dans au moins un des canaux.

Au niveau de l'obturation, 40% des participants ont trouvé que leur obturation était plus courte que le niveau de l'apex sur au moins un canal et 40% ont dépassé le niveau de l'apex avec le ciment dans au moins un canal.

Enfin, 66% des étudiants ont trouvé qu'il y avait des vides dans leur obturation et 73% ont obtenu une obturation inhomogène.

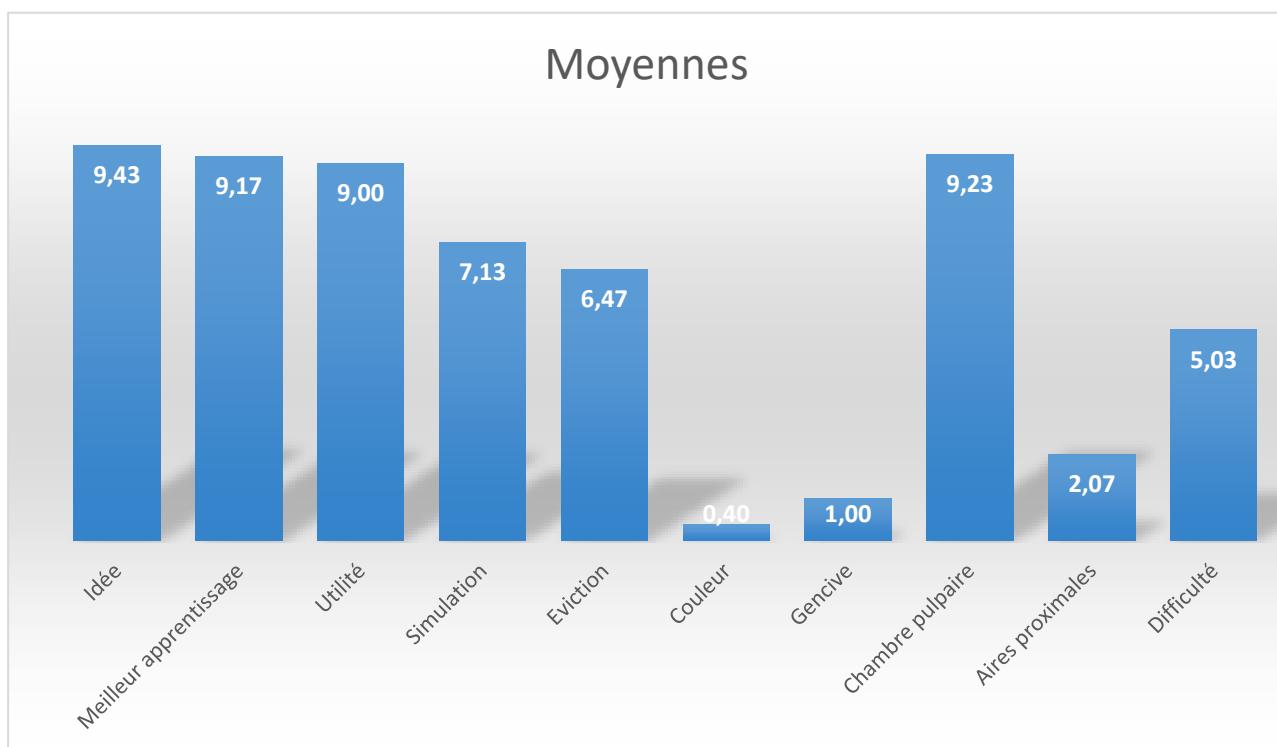


Tableau 2 : Ensemble des moyennes des réponses des étudiants au deuxième questionnaire

Nous constatons que les avis des étudiants sont plutôt positifs concernant l'initiative de ce TP et son intégration au programme pour les promotions futures. En effet, les questions portant sur les avantages de l'utilisation du modèle dans le but d'un meilleur apprentissage ainsi qu'une meilleure préparation aux vacances pédiatriques, ont montré un engouement certain (une moyenne de plus de 9/10), ce qui est très encourageant.

Concernant le questionnaire sur le modèle en lui-même, nous avons fait la moyenne des réponses des participants. Pour la moitié des étudiants le modèle apporte une simulation réelle à 7/10, et pour la moitié des étudiants l'éviction du tissu dentaire est seulement réaliste avec un score de 6/10.

La couleur du modèle (beige), l'absence de gencive et des aires proximales n'ont pas perturbé les étudiants.

La simulation de la chambre pulpaire a obtenu une très bonne note vis-à-vis des participants.

Le niveau de difficulté du TP a obtenu une moyenne de 5/10, sachant qu'un étudiant a noté la difficulté du TP à 8/10 et un autre à 2/10.

La totalité des participants pense que le modèle devrait être utilisé dans l'enseignement de pédodontie.

60% nous rapportent qu'ils auraient préféré travailler sur une arcade complète qui s'adapte sur fantôme pour apporter plus de réalisme. Nous avons eu quelques participants qui suggèrent de faire un premier TP comme celui que nous leur avons proposé, puis un deuxième avec arcade complète sur fantôme.

90% des participants se sentent mieux préparés à cette situation clinique grâce au modèle.

4. Discussion

L'intérêt principal de l'impression 3D de modèles pédagogiques est de pouvoir produire des modèles sur mesures qui seraient au plus proche de la réalité clinique. Ils permettraient ainsi de mieux former les étudiants.

D'après cette étude avec les étudiants en chirurgie dentaire de Toulouse, leur formation peut être améliorée grâce aux modèles pédagogiques 3D. Tout comme l'article de Reymus et coll. qui a montré que les étudiants avaient trouvé beaucoup d'avantages dans l'utilisation des dents répliquées et imprimées en 3D(10).

Il y a un besoin certain et une forte demande de formation au plus près de la réalité clinique afin de se préparer au mieux à la réalisation de ces actes techniques sur les patients, pour diminuer le stress des futurs praticiens.

En effet le métier de chirurgien-dentiste est placé comme l'un des métiers les plus stressants d'après une étude de l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) en 2011(11). Le praticien doit prendre en compte d'une part le stress du patient vis-à-vis du soin mais aussi l'angoisse et la peur de la douleur pendant le soin. Ces deux points s'ajoutent au stress du praticien lui-même face à l'acte technique qu'il doit réaliser.

En plus d'être un métier stressant, les études de chirurgie dentaire sont difficiles et stressantes car les étudiants doivent acquérir en 2 ans toutes les compétences académiques et surtout techniques nécessaires à l'entrée en clinique. La 4^{ème} année a été jugée comme l'année la plus stressante pour les étudiants en odontologie(12).

Les modèles 3D basés sur de vrais cas cliniques permettent de mieux préparer les étudiants à leur entrée en externat et donc de réduire leur stress. Ils doivent être aussi réalistes que possible pour permettre aux étudiants d'avoir le meilleur entraînement possible. Les modèles du commerce utilisés permettent un entraînement répétitif grâce aux dents qui sont échangeables mais ne permettent pas aux étudiants de travailler sur la réalité du terrain puisque ce sont des répliques de dents parfaitement saines.

Des études ont montré que les propriétés mécaniques des modèles du commerce sont assez différentes de la réalité malgré leur aspect réaliste(13)(14). De plus, dans l'étude de Marty et coll., il y a une différence significative entre la perception des étudiants dans la simulation avec le modèle du commerce et le modèle 3D. Les étudiants ont trouvé plus de

réalisme dans la simulation du modèle 3D(3). Les modèles 3D apportent donc une plus-value au TP et à la formation des étudiants.

Ce type de modèle semble apporter quelques limites. D'après les résultats de cette présente étude, il y a un manque de précision au niveau de l'impression des différents modèles puisque certains étudiants se sont retrouvés avec des canaux non perméables et ont eu des difficultés à atteindre l'apex d'au moins un canal, alors que d'autres au contraire n'ont eu aucune difficulté.

De plus, la dureté et l'opacité des modèles sont différentes de celle de la dent naturelle. Un article de Robberecht et coll. propose d'utiliser un matériau en céramique pour l'impression 3D. Cette céramique a obtenu des résultats très similaires à ceux de la dent naturelle, notamment concernant la dureté ainsi que la reproductibilité des détails des canaux de la dent(15).

Aussi, le modèle créé dans cette étude est un modèle qui ne peut pas se monter sur fantôme et qui ne permet pas de s'entraîner dans les vraies conditions cliniques, c'est-à-dire en bouche et sous digue.

Il est possible d'imprimer en 3D une plaque conçue sur MESHMIXER et adaptée à la taille du modèle, comme il a été fait dans l'article de Reymus et coll.(16). La plaque a été préparée en laissant un espace pour un adaptateur qui vient se fixer à la tête d'un mannequin de TP.

Tout établissement qui a accès à un CBCT et une imprimante 3D peut réaliser ce type d'outil pédagogique. L'imprimerie 3D ouvre les portes à de nouveaux modèles éducatifs, comme par exemple l'enseignement de l'utilisation du localisateur d'apex(17) ou encore l'enseignement de la traumatologie avec l'impression de modèles 3D basés sur de vrais patients(18,19).

On peut imaginer imprimer un modèle avec une dent définitive immature pour enseigner en travaux pratiques l'apexification, ou encore avec une arcade partiellement édentée, apprendre aux élèves le geste technique de l'empreinte primaire mais aussi l'analyse de celle-ci. En prothèse conjointe, partir d'un vrai cas clinique serait plus formateur pour la clinique.

Un modèle interdisciplinaire a été créé en 2020 et a permis aux étudiants de 3^{ème} année de réaliser une pulpectomie, aux étudiants de 4^{ème} année de réaliser un tenon fibré et aux étudiant de 5^{ème} année de réaliser un TP d'implantologie. Le modèle a été jugé comme réaliste et innovant pour les futurs travaux pratiques(16).

Le coût de l'impression 3D diminue avec les années et la rend beaucoup plus accessible qu'il y a 10 ans. Un large panel d'imprimante 3D est aujourd'hui disponible. De plus, il n'y a pas besoin de formation pour l'utilisation des imprimantes ou des logiciels puisqu'il existe des tutoriels gratuits pour apprendre à utiliser ces outils.

Pour étudier le coût total pour l'inclusion de ce TP, prenons l'exemple d'un établissement ne possédant pas d'imprimante 3D pour une promotion de 80 étudiants. La première année, l'investissement de l'imprimante et de la résine reviendrait environ à 4200€, sachant qu'un litre de résine à 137€ suffit à la réalisation de 80 modèles présentés dans cette étude. Ce prix peut être diminué par le choix de l'imprimante puisqu'il est possible d'en trouver dans le commerce pour moins de 1000€. Les années suivantes, le renouvellement de la résine est nécessaire, cependant à moindre coût, puisqu'un litre suffit par année et par promotion.

Tous ces éléments appuient le fait que l'imprimerie 3D est l'avenir de la pédagogie et qu'elle est à la portée de toutes les facultés. Les étudiants montrent un fort intérêt et une nette diminution de leur stress vis-à-vis de ce nouvel enseignement. De plus, il y a une possibilité de transférer les travaux fait par une faculté aux autres établissements qui possèdent une imprimante 3D et ainsi partager les innovations pédagogiques.

Conclusion

Ces recherches ont montré que les étudiants en chirurgie dentaire sont fortement intéressés pour inclure dans leur formation des modèles 3D, dans le but de se rapprocher de la réalité clinique. Leur stress vis-à-vis des vacations de pédiatrie et leur appréhension des gestes techniques se trouvent diminué grâce à ces modèles, et leur facilite l'entrée vers la clinique.

Cette technique d'enseignement pourrait s'appliquer à toutes les disciplines en odontologie, et pourrait permettre aux étudiants d'apprendre à élaborer des plans de traitements globaux et de les réaliser, pour ainsi mieux appréhender leur futur en cabinet.

On retrouve un inconvénient évident à l'utilisation de ces modèles 3D : ils ne nous permettent pas l'interaction avec les tissus mous de la bouche, contrairement à ceux retrouvés dans le commerce. Cette possible interaction permettrait de plus amples utilisations cliniques de ces modèles 3D, et doit faire l'objet de recherches futures dans le domaine de la pédagogie universitaire.

Vu, le Président du jury

Pr. F. Vaysse

A large, stylized handwritten signature in black ink, with the name 'F. Vaysse' written above it.

Vu, les Directeurs de thèse

Pr. F. Diemer

Dr. M. Marty

A small, stylized handwritten signature in black ink.A stylized handwritten signature in black ink, with the name 'M. Marty' written above it.

Annexes

Question	Pas du tout d'accord	Pas d'accord	Ne sait pas	D'accord	Complètement d'accord
Avez-vous rencontré des difficultés pour accéder à la chambre pulpaire ?					
Avez-vous eu du mal à éliminer le plafond pulpaire ?					
Avez-vous rencontré des difficultés pour localiser les entrées canalaire ?					
Avez-vous remarqué des différences par rapport au modèle du PowerPoint ?					
Avez-vous rencontré des difficultés pour atteindre l'apex ?					
Avez-vous rencontré des difficultés pour analyser la radio ?					
Avez-vous rencontré des difficultés pour trouver la limite apicale ?					
Avez-vous fait face à un canal non perméable pendant la mise en forme ?					
Avez-vous rencontré des difficultés avec la mise en place du ciment ?					
Le niveau d'obturation est-il plus court que le niveau de l'apex ?					
Le niveau d'obturation dépasse-t-il de l'apex ?					
Avez-vous rencontré des difficultés pour placer le lentulo à -2mm de l'apex ?					
Y-a-t-il des vides dans l'obturation ?					
L'obturation est-elle inhomogène ?					

Questions	Notes										
	(0 = Pas du tout d'accord ; 10 = tout à fait d'accord)										
Est-ce que l'idée de ce modèle est bonne ?	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Est-ce que le modèle permet un meilleur apprentissage ?	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Est-ce que le modèle est utile pour se préparer à la clinique ?	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Trouvez-vous que le modèle apporte une simulation réelle ?	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Est-ce que l'éviction du tissu dentaire vous paraît réaliste ?	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Est-ce que la couleur du modèle vous perturbe ?	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Est-ce que le manque de gencive vous perturbe ?	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Est-ce que la simulation de la chambre pulpaire vous paraît utile ?	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Est-ce que la simulation des aires proximales vous perturbe ?	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Niveau de difficulté :	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

- D'après vous, le modèle devrait-il être utilisé dans l'enseignement futur de la pédodontie ?
- Auriez-vous préféré une arcade complète qui peut être montée sur fantôme afin d'être plus réaliste ?
- Vous sentez-vous mieux préparé pour la pratique clinique grâce au modèle ?

Bibliographie

1. Palau J. L'impression 3D ou fabrication additive en odontologie, actualités et perspectives. 2017;47.
2. Gattoni C. Développement de modèles dentaires anatomiques numériques pour l'impression 3D en Odontologie Conservatrice. :64.
3. Marty M, Broutin A, Vergnes J-N, Vaysse F. Comparison of student's perceptions between 3D printed models versus series models in paediatric dentistry hands-on session. Eur J Dent Educ. 2019;23(1):68-72.
4. Delain D. Limites techniques et environnementales de l'empreinte optique et de la prothèse fixe usinée par CFAO en implantologie. :123.
5. Impression 3D : FDM, SLA ou SLS ? [Internet]. Formlabs. 2021 [cité 20 mai 2021]. Disponible sur: <https://formlabs.com/fr/blog/impression-3D-fdm-sla-sls/>
6. Höhne C, Schwarzbauer R, Schmitter M. Introduction of a new teaching concept for crown preparation with 3D printed teeth. Eur J Dent Educ. 2020;24(3):526-34.
7. Kustra P, Dobroś K, Zarzecka J. Making use of three-dimensional models of teeth, manufactured by stereolithographic technology, in practical teaching of endodontics. Eur J Dent Educ Off J Assoc Dent Educ Eur. mai 2021;25(2):299-304.
8. Deschodt PS. La pulpectomie du dent temporaire état des lieux actuel. :87.
9. Courson F, Landru MM. Odontologie pédiatrique au quotidien. 2e éd. Paris: Lavoisier; 2005.
10. Reymus M, Fotiadou C, Kessler A, Heck K, Hickel R, Diegritz C. 3D printed replicas for endodontic education. Int Endod J. janv 2019;52(1):123-30.
11. Enquête nationale sur le stress des chirurgiens-dentistes [Internet]. [cité 8 sept 2021]. Disponible sur: <https://www.editionscdp.fr/actualites/actualites/actualites-professionnelles/enquete-nationale-sur-le-stress-des-chirurgiens-dentistes.html>
12. Aishwarya AS, Gurunathan D. Stress level in dental students performing pedodontic procedure. J Adv Pharm Educ Res. 1 mars 2017;7:34-8.
13. Nassri MRG, Carlik J, da Silva CRN, Okagawa RE, Lin S. CRITICAL ANALYSIS OF ARTIFICIAL TEETH FOR ENDODONTIC TEACHING. J Appl Oral Sci. févr 2008;16(1):43-9.
14. Bitter K, Gruner D, Wolf O, Schwendicke F. Artificial Versus Natural Teeth for Preclinical Endodontic Training: A Randomized Controlled Trial. J Endod. 1 août 2016;42(8):1212-7.

15. Robberecht L, Chai F, Dehurtevent M, Marchandise P, Bécavin T, Hornez J-C, et al. A novel anatomical ceramic root canal simulator for endodontic training. *Eur J Dent Educ Off J Assoc Dent Educ Eur*. nov 2017;21(4):e1-6.
16. Reymus M, Liebermann A, Diegritz C, Keßler A. Development and evaluation of an interdisciplinary teaching model via 3D printing. *Clin Exp Dent Res*. 27 oct 2020;7(1):3-10.
17. Tchorz JP, Hellwig E, Altenburger MJ. Teaching model for artificial teeth and endodontic apex locators. *J Dent Educ*. mai 2013;77(5):626-9.
18. Kröger E, Dekiff M, Dirksen D. 3D printed simulation models based on real patient situations for hands-on practice. *Eur J Dent Educ*. 2017;21(4):e119-25.
19. Reymus M, Fotiadou C, Hickel R, Diegritz C. 3D-printed model for hands-on training in dental traumatology. *Int Endod J*. nov 2018;51(11):1313-9.
20. Primescan de Dentsply Sirona - Des empreintes optiques de précision [Internet]. dentaire365. 2019 [cité 31 oct 2021]. Disponible sur: <https://www.dentaire365.fr/actualites/produits-1/des-empreintes-optiques-de-precision/>
21. Cerec MC X [Internet]. ConnectDental. [cité 31 oct 2021]. Disponible sur: <http://connectdental.eu/oplossingen/cerec-mcx/>
22. Impression 3D par dépôt de fil fondu - FDM [Internet]. [cité 31 oct 2021]. Disponible sur: <https://www.3dprint.fr/prototypage/impression-3d-par-depot-de-fil-fondu-fdm/>
23. Le procédé de fabrication additive SLS [Internet]. A3DM Magazine. [cité 31 oct 2021]. Disponible sur: <https://www.a3dm-magazine.fr/news/fabrication-additive-polymeres/procede-de-fabrication-additive-sls>
24. L'impression 3D stéréolithographie (SLA) [Internet]. A3DM Magazine. [cité 31 oct 2021]. Disponible sur: <https://www.a3dm-magazine.fr/news/fabrication-additive-polymeres/limpression-3d-stereolithographie-sla>

Table des illustrations

Figure 1 : Scanner intra-oral Primescan de Dentsply(20).....	14
Figure 2 : CEREC (Chairside-Economical-Restoration-Esthetic-Ceramic)(21).....	16
Figure 3 : Schéma du fonctionnement de l'impression 3D par dépôt de fil fondu (FDM)(22)	17
Figure 4 : Schéma de l'impression 3D par frittage sélectif par laser (SLS)(23)	18
Figure 5 : Schéma de l'impression 3D par stéréolithographie (SLA)(24).....	19
Figure 6 : Molaire imprimée par Höhne et coll. en vue d'un TP pour les étudiants de 4ème année(6).....	20
Figure 7 : Image 3D de l'arcade mandibulaire dans le logiciel AVIZO lors de l'étape de suppression des coupes de l'arcade maxillaire	23
Figure 8 : Image 3D de l'arcade mandibulaire dans le logiciel AVIZO lors de la sélection de l'endodonte.....	24
Figure 9 : Visualisation du futur modèle 3D dans le logiciel MESHMIXER.....	25
Photo 1 : Modèle 3D imprimé avec la résine Grey-V4 de Formlabs	26
Photo 2 : Modèle 3D imprimé avec la résine V-print ortho de VOCO.....	27
Photo 3 : Vue latérale du modèle imprimé avec la résine model-V2 de Formlabs	27
Photo 4 : Vue occlusale du modèle imprimé avec la résine model-V2 de Formlabs	27
Figure 10 : Extrait du PowerPoint créé pour le TP	29
Figure 11 : Extrait du PowerPoint créé pour le TP	29
Figure 12 : Extrait du PowerPoint créé pour le TP	29
Figure 13 : Extrait du PowerPoint créé pour le TP	29
Tableau 1 : Ensemble des réponses des étudiants au premier questionnaire	31
Tableau 2 : Ensemble des moyennes des réponses des étudiants au deuxième questionnaire.....	32

DEVELOPPEMENT ET EVALUATION D'UN MODELE IMPRIME EN 3D POUR LES TRAVAUX PRATIQUES D'ENDODONTIE PEDIATRIQUE

RESUME EN FRANÇAIS :

L'impression 3D s'est beaucoup développée ces dernières années et a trouvé de nombreuses applications dans le domaine de la pédagogie universitaire, notamment en odontologie.

Objectif : Le but de notre thèse a été de développer et d'évaluer un modèle de travail imprimé en 3D pour les travaux pratiques d'endodontie pédiatrique.

Matériel et méthode : Des modèles ont été imprimés puis testés par 30 étudiants de 5^{ème} et 6^{ème} année d'odontologie de la Faculté de Toulouse lors d'un TP innovant. Les participants ont répondu à deux questionnaires qui ont été analysés.

Résultats : Ces résultats ont montré que les étudiants sont fortement intéressés pour inclure dans leur formation des modèles 3D pour diminuer leur stress et leur appréhension à l'entrée en clinique.

TITRE EN ANGLAIS : Development and assessment of 3D printed teaching model for endodontic paediatric hands-on course.

DISCIPLINE ADMINISTRATIVE : Chirurgie dentaire

MOTS-CLES : impression 3D, modèle 3D, endodontie pédiatrique, pulpectomie, dent lactéale, pédagogie.

INTITULE ET ADRESSE DE L'UFR OU DU LABORATOIRE :

Université Toulouse III-Paul Sabatier

Faculté de chirurgie dentaire 3 chemin des Maraîchers 31062 Toulouse Cedex

Directeurs de thèse : Pr Franck DIEMER et Dr Mathieu MARTY
