

UNIVERSITE DE LILLE
FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année de soutenance : 2022

N°:

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

Présentée et soutenue publiquement le 09 JUIN 2022

Par Quang-Minh, TRINH

Né le 25 Octobre 1991 à Lille – France

La cavité d'accès sur première prémolaire mandibulaire :
réalisation de modèles pédagogiques imprimés en 3D

JURY

Président : Professeur Thomas COLARD

Assesseurs : Docteur Jérôme VANDOMME
Docteur Thibault BÉCAVIN
Docteur Rémy KABBARA

Président de l'Université	:	Pr. J-C. CAMART
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	:	M. DROPSIT
Responsable de la Scolarité	:	G. DUPONT

PERSONNEL ENSEIGNANT DE LA FACULTE.

PROFESSEURS DES UNIVERSITES :

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

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

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

Réglementation de présentation du mémoire de Thèse

Par délibération en date du 29 octobre 1998, le Conseil de la Faculté de Chirurgie Dentaire de l'Université de Lille 2 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

Aux membres du jury,

Monsieur le Professeur Thomas COLARD

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier des CSERD

Section Réhabilitation Orale

Département Sciences Anatomiques

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur au Muséum National d'Histoire Naturelle en Anthropologie Biologique

Habilitation à Diriger des Recherches

Assesseur à la Recherche

*Vous me faites l'honneur de présider ce jury et je vous en remercie.
Je vous remercie également pour la grande qualité et la rigueur de votre enseignement
tout au long de mon cursus universitaire.
Veuillez trouver par ce travail l'expression de mon profond respect.*

Monsieur le Docteur Jérôme VANDOMME

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier des CSERD

Section Réhabilitation Orale

Département Prothèses

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur en Biologie Cellulaire de l'Université de Lille2

Master II Biologie Santé

Master I des Sciences Biologiques et Médicales

Responsable du Département de Prothèses

Assesseur aux Nouvelles Technologies

*Je suis très honoré de vous compter parmi les membres de ce jury.
Vous avez grandement participé à la réalisation des modèles et je vous remercie
pour la disponibilité dont vous avez fait preuve.
C'est un honneur que d'avoir été votre étudiant et je vous prie d'accepter par ce
travail l'expression de mes remerciements pour votre enseignement.*

Monsieur le Docteur Thibault BÉCAVIN

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier des CSERD

Section Réhabilitation Orale

Département Dentisterie Restauratrice Endodontie

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur de l'Université de Lille

Master II Biologie et Santé – Lille2

*Je suis honoré de la confiance que vous m'avez accordé en acceptant d'être mon
directeur de thèse et en me proposant ce sujet.
Vous m'avez accueilli à bras ouverts lors de ma réorientation des études de
médecine et je vous remercie pour cela ainsi que pour la bienveillance dont vous
avez fait preuve durant mon cursus.
Je vous prie de trouver dans ce travail l'expression de mes remerciements les plus
sincères.*

Monsieur le Docteur Rémy KABBARA

Assistant Hospitalo-Universitaire des CSERD

Section Réhabilitation Orale

Département Prothèses

Docteur en Chirurgie Dentaire

*Vous avez accepté de siéger à ce jury et je vous en remercie grandement.
Je vous remercie également pour votre pédagogie ainsi que vos conseils lors de
l'encadrement clinique.
Je vous prie de trouver dans ce travail l'expression de ma gratitude.*

Je dédie cette thèse à . . .

Table des matières

1. Introduction.....	15
1.1 Généralités sur l'endodontie.....	16
1.1.1 La cavité d'accès.....	16
1.1.2.1 Élimination du contenu de la chambre pulpaire.....	16
1.1.2.2 Réservoir pour la solution d'irrigation.....	17
1.1.2.3 Accès des instruments aux canaux sans interférences	17
1.1.2.4 Obturation provisoire étanche.....	17
1.1.2.5 Respect du principe d'économie tissulaire.....	18
1.2 Étapes de réalisation de la cavité d'accès.....	18
1.2.1 Pose du champ opératoire.....	18
1.2.2 Cavité de délimitation	18
1.2.3 Trépanation.....	19
1.2.4 Mise en forme.....	19
1.2.5 Cavité de contour et convenance.....	19
1.3 La première prémolaire mandibulaire.....	20
1.3.1 Anatomie	20
1.3.2 Variations anatomiques.....	20
1.3.3 Axes.....	21
1.3.3.1 Axe dans le plan frontal.....	21
1.3.3.2 Axe dans le plan sagittal.....	21-22
1.4 Conditions de réussite du traitement.....	22
1.4.1 Radiographies préopératoire.....	22
1.4.2 Pose de la digue.....	23
1.4.3 Axe de préparation.....	24
1.4.4 Suppression totale du plafond pulpaire.....	24
1.4.5 Utilisation du matériel adéquat.....	24-25
1.5. Erreurs à éviter.....	25
1.5.1. Délabrement insuffisant.....	25
1.5.2 Perforations.....	26
1.6 Les modèles pédagogiques en 3 Dimensions	26
1.6.1. Contexte universitaire.....	26
1.6.2. Intérêt des modèles.....	27
1.7 Conception des modèles pédagogiques en 3D.....	28
1.7.1. Le Cone-beam	28

1.7.2. Les logiciels relais.....	29
1.7.3. L'impression 3D	29
1.7.4 Le dépôt de matière fondue.....	29
1.7.5 La stéréolithographie.....	30
2. Matériels et méthode.....	32
2.1.Prérequis.....	32
2.1.1 Choix des dents.....	32
2.1.2 Préparation des dents	32
2.2 Finalité des dents sélectionnées.....	33
2.3 Photographies et radiographies.....	34
2.4. Les différents modèles pédagogiques	37
2.4.1. La première prémolaire mandibulaire intacte.....	37
2.4.2. La cavité de délinéation.....	37
2.4.3. L'effraction pulpaire avec persistance du plafond	38
2.4.4. L'effraction pulpaire avec plafond effondré.....	39
2.4.5 La cavité de contour et de convenance.....	39
2.4.6. La perforation vestibulaire.....	39
2.4.7 La marche proximale.....	40
2.5 Réalisation des modèles sur dents naturelles	40
2.5.1 Lieu de réalisation	40
2.5.2 Instruments.....	40
2.5.3 Etapes.....	41
2.5.3.1 La perforation vestibulaire.....	41
2.5.3.2 Les étapes de la cavité d'accès.....	42
2.5.3.3 La marche proximale.....	44
2.5.4. Acquisition cone-beam.....	44
2.5.5. Logiciels relais.....	46
2.5.5.1. 3D Slicer.....	46
2.5.5.2. Meshmixer.....	47
2.5.6. Imprimante 3D.....	48
3. Résultats.....	50
3.1 Modèles unitaires.....	50
3.1.1 Les étapes de la cavité d'accès.....	50
3.1.2 Les modèles avec erreurs.....	52
3.2 Modèle avec socle.....	53

4. Discussion.....54

1. Introduction

L'endodontie est une discipline complexe. Ce domaine est en constante évolution que ce soit dans les instruments utilisés pour la préparation canalaire, les solutions d'irrigation ou encore les matériaux d'obturation.

Cependant la méthode d'accès au parenchyme pulpaire de la dent reste inchangée. En effet, cela nécessitera toujours une étape de trépanation de l'émail puis de la dentine grâce à des instruments rotatifs permettant de créer la cavité d'accès.

Cette cavité qui est donc le début du traitement endodontique suit un protocole précis où chaque étape nécessite des outils spécifiques. De la qualité de réalisation de cette cavité dépend donc la suite des soins. La précipitation ou l'insuffisance de préparation à chacune de ces étapes pouvant entraîner l'échec du traitement voir la perte de la dent à terme.

La première prémolaire mandibulaire est une dent qui semble de prime abord simple. Monoradiculée et, le plus souvent, monocanalaire, elle présente toutefois des caractéristiques qui sont nécessaires à prendre en compte afin de réaliser un traitement optimal. En effet, elle présente des subtilités qui doivent être connues afin de minimiser le risque d'erreur.

L'endodontie pour l'étudiant en 2^{ème} et 3^{ème} année peut paraître comme étant une discipline abstraite, y compris avec des iconographies. Invisible depuis l'extérieur, il peut être compliqué de se représenter la morphologie interne de la dent ainsi que les modifications à apporter afin de réaliser la cavité nécessaire au passage d'instruments de préparation canalaire. L'objectif de ces modèles imprimés en 3 dimensions est de fournir un support pédagogique aux étudiants qui soit manipulable et qui permet de visualiser ce qui est attendu d'eux lors de la réalisation de la cavité d'accès. Le but est donc de permettre à des futurs chirurgiens-dentistes de visualiser les différentes étapes initiales du traitement endodontique, ainsi que les différentes erreurs à éviter.

Dans cette thèse nous ferons donc un rappel sur cette discipline ainsi que

sur la première prémolaire mandibulaire avant de nous intéresser à la conception des modèles.

1.1 Généralités sur l'endodontie

L'endodontie est la discipline spécialisée dans l'étude et le traitement des maladies de la pulpe dentaire.

Afin de réaliser de manière adéquate ce traitement, il est nécessaire de prendre en compte la partie radiculaire, mais également la partie coronaire de la dent.

1.1.1 La cavité d'accès

La cavité d'accès est la première étape du traitement endodontique. Celle-ci permet l'accès au parenchyme pulpaire et donc à son éviction dans la partie camérale de la dent, mais également dans sa partie radiculaire.

De la bonne réalisation de cette cavité dépend donc le succès ou l'échec de la thérapeutique endodontique.(1)

1.1.2 Objectifs de la cavité d'accès

1.1.2.1 Élimination du contenu de la chambre pulpaire

La cavité d'accès doit permettre l'élimination de la pulpe camérale, de l'intégralité du plafond pulpaire, mais également des matériaux d'obturation mis lors de thérapeutiques précédentes.

Si cette élimination est incomplète, nous nous exposons alors à un risque d'infection secondaire.

1.1.2.2 Réservoir pour la solution d'irrigation

Afin d'assurer l'élimination totale du tissu dentaire organique, mais également des micro-organismes, l'action mécanique des différents instruments manuels et rotatifs n'est pas suffisante. Nous avons également besoin de l'action chimique de la solution d'irrigation qui est l'hypochlorite de sodium à 2,5%.

Ainsi la cavité d'accès doit constituer un réservoir à quatre parois afin de permettre la conservation d'une solution fraîche en contact avec l'endodonte et d'en assurer son renouvellement. Si besoin une reconstitution pré-endodontique sera réalisée afin de créer ce réservoir. (2)

1.1.2.3 Accès des instruments aux canaux sans interférences

La cavité d'accès doit permettre la visualisation des entrées canalaires et permettre le passage des instruments dans les canaux sans contraintes avec les parois coronaire.

Dans le cas contraire, le praticien s'expose à un risque de :

- butée apicale
- création d'un faux canal
- déplacement du foramen apical
- perforation
- nettoyage incomplet de l'endodonte
- mise en forme inadaptée du canal

1.1.2.4 Obturation provisoire étanche

La pose d'un pansement provisoire étanche et résistant entre deux séances doit être possible, ceci afin d'éliminer le risque de contamination bactérienne avant la fin du traitement.

1.1.2.5 Respect du principe d'économie tissulaire

Quelque soit la dent, ce principe doit être respecté tout le long des différentes étapes de la cavité d'accès. Il faut chercher à préserver le maximum de tissu dentaire afin de ne pas mutiler inutilement la dent et de diminuer ainsi sa résistance. Ceci afin d'éviter le risque de fracture coronaire ou radiculaire.

1.2 Étapes de réalisation de la cavité d'accès

1.2.1 Pose du champ opératoire

La pose de la digue est un prérequis indispensable avant tout traitement endodontique. En effet, ce champ permet de travailler dans des conditions optimales d'hygiène. (3)

Elle garantit la pérennité de l'asepsie en isolant la dent du reste de la cavité buccale tout en protégeant le patient des différents instruments et solutions utilisés au cours du traitement. (4)

Grâce à celle-ci, le praticien est également à l'abri de la salive du patient et peut réaliser son acte avec un confort ainsi qu'une visibilité accrue.

1.2.2 Cavité de délinéation

Les cornes pulpaire doivent être visualisées et projetées sur la face occlusale, formant ainsi un ovale de grand axe vestibulo-lingual.

L'émail est éliminé grâce à une fraise boule diamantée standard ou long col montée sur turbine. Cette première attaque de l'émail doit se faire dans l'axe coronaire de la dent. Le but étant de réaliser une cavité superficielle ayant la forme idéale de la cavité d'accès.

1.2.3 Trépanation

La cavité de délinéation est ensuite approfondie grâce à des fraises boules en carbure de tungstène montées sur contre-angle. Toujours en suivant l'axe de la couronne, la trépanation se termine lorsqu'une corne pulpaire est atteinte. L'effraction pulpaire est alors réalisée.

1.2.4 Mise en forme

Le plafond pulpaire est supprimé et les parois de la cavité mises de dépouille grâce à une fraise zékria endodontique à bout mousse afin d'éliminer tout risque de perforation. Cette forme d'entonnoir, plus large en occlusal, permet en outre un meilleur accès visuel.

La suppression totale du plafond pulpaire se fait toujours avec la même fraise boule montée sur contre-angle et sans irrigation. La bonne réalisation de cette étape est contrôlée grâce à une sonde 17 et une sonde 19.

1.2.5 Cavité de contour et convenance

Une fois les entrées localisées, il convient de supprimer les zones de contraintes entre les instruments et les parois de la cavité à l'aide de forets de Gates ou d'Orifice Opener.

Ces derniers permettent d'élargir les entrées canalaires afin de diminuer les contraintes instrumentales responsables de fractures et donc d'échecs de traitement.

Si le traitement concerne une dent monoradiculée alors ces mêmes forets peuvent être utilisés afin de supprimer les contraintes au niveau des parois de la cavité d'accès.

1.3 La première prémolaire mandibulaire

1.3.1 Anatomie

La première prémolaire mandibulaire est une dent monoradiculée ayant deux cuspides : une volumineuse vestibulaire et une plus petite linguale. La partie coronaire présente un axe différent de la racine avec une inclinaison linguale de 10°. En vue vestibulaire elle présente une ressemblance avec la canine qui la précède mais est moins volumineuse. (5)

Il est important de prendre en compte le fait que le diamètre mésio-distal au collet est inférieur au diamètre mésio-distal coronaire. Cela entraîne des conséquences qui seront abordées ultérieurement.

La pulpe présente deux cornes, sur le même modèle que les cuspidés, c'est-à-dire une corne vestibulaire plus développée que la linguale. Cette chambre pulpaire présente un volume qui décroît en direction apicale.

1.3.2 Variations anatomiques

Rarement biradiculée voire dans les cas les plus rares triradiculée, la première prémolaire mandibulaire est une dent ayant un taux d'échec élevé en raison des nombreuses variations anatomiques de son système canalaire.

En effet, le canal principal peut se diviser à n'importe quel étage dans sa portion radiculaire en deux canaux, généralement un vestibulaire et un lingual.
(6) Une radiographie préopératoire en incidence décalée sera donc d'autant plus importante afin de réaliser une désinfection optimale.

1.3.3 Axes

1.3.3.1 Axe dans le plan frontal



Illustration 1: Cliché radiographique de cone-beam centré sur la 34 dont le grand axe est représenté en rouge

Dans le plan frontal la première prémolaire mandibulaire présente un axe rectiligne sur la majorité de ses portions. La seule exception étant le tiers apical qui est légèrement courbé en direction distale.

1.3.3.2 Axe dans le plan sagittal

Dans le plan sagittal deux axes différents sont observés. Le premier correspond à l'axe de la couronne qui est fortement incliné en direction lingual. Le second correspond à la portion radiculaire, plus vertical que le précédent.



Illustration 2: Cliché radiographique de cone-beam centré sur la 34. A noter l'axe coronaire (rouge) différent de l'axe radiculaire (bleu)

1.4 Conditions de réussite du traitement

1.4.1 Radiographies préopératoire

La radiographie rétro-alvéolaire sera celle à utiliser en préopératoire lors de ce type d'acte et ce pour plusieurs raisons :

- Celle-ci permet de visualiser les tissus durs de la dent dans son intégralité, aussi bien dans sa portion coronaire que radiculaire.
- Sa précision permet d'obtenir des informations fiables sur la forme ainsi que la position de la pulpe.

- Elle permet d'objectiver différentes difficultés telles que les éventuelles calcifications dans la chambre, ramifications canalaire dans le sens vestibulo-linguale visibles avec une incidence décalée. . . Détails que d'autres types d'examens radiographiques moins précis tels que la panoramique dentaire ne permettent pas d'obtenir
- Enfin elle permet de réaliser des mesures fiables lors du cathétérisme et de l'obturation canalaire lorsqu'elle est réalisée avec un angulateur selon la technique des plans parallèles

Cependant, la radiographie rétro-alvéolaire est celle à réaliser en première intention et est suffisante dans la majeure partie des cas. C'est pourquoi uniquement ce type de cliché sera développé dans ce travail.

Seule la radiographie préopératoire permet de savoir avec précision la position ainsi que le volume de la pulpe dentaire. Il ne faut jamais commencer la cavité d'accès si celle-ci n'a pas été réalisée selon la technique orthogonale, mais également en incidence décalée et analysée au préalable.

1.4.2 Pose de la digue

Comme nous l'avons vu plus haut, la pose de la digue est un prérequis essentiel pour le bon déroulement ainsi que le succès du traitement endodontique. Cela nécessite un plateau technique approprié composé :

- d'une digue
- d'un cadre à digue
- d'une pince-emporte pièce
- d'une pince à crampons
- de crampons adaptés à la dent
- de fils inter dentaire
- de wedjet

Ce champ opératoire assure une protection contre les micro-organismes en empêchant l'infection primaire lors du traitement endodontique initial ou l'absence de réinfection lors d'un retraitement.

1.4.3 Axe de préparation

L'abord de la cavité se fait par la face occlusale, au centre du sillon médian et avec un axe vestibulo-lingual légèrement lingualé en raison de l'orientation de la couronne. Il faudra se méfier de l'étranglement marqué au niveau du collet de ces dents pouvant conduire à une perforation vestibulaire en cas d'inattention.

1.4.4 Suppression totale du plafond pulpaire

Une fois l'effraction pulpaire réalisée, il convient d'effondrer la totalité du plafond pulpaire. L'effraction pulpaire intervient la plupart du temps au niveau de la partie centrale de la chambre et donne accès au canal assez facilement. Cependant, il ne faut pas oublier d'effondrer la partie occlusale du plafond pulpaire correspondant aux cornes pulpaires.

1.4.5 Utilisation du matériel adéquat

Chaque instrument doit être utilisé au bon moment. La réalisation de la cavité d'accès nécessite de multiples fraises chacune servant lors d'une étape spécifique du traitement.

Ainsi une fraise boule diamantée de diamètre 10 sert à la réalisation de la cavité de délinéation, sa faible circonférence permettant de respecter le principe d'économie tissulaire. Elle ne pourra cependant pas être utilisée pour la trépanation où une fraise en carbure de tungstène sera plus appropriée et encore moins pour la cavité de contour et convenance. En effet cette dernière nécessite l'utilisation d'une fraise zekrya à bout mousse permettant de mettre les parois de dépouilles tout en minimisant le risque de perforations.

De ce fait, chercher à réduire le matériel afin de diminuer le coût du traitement ne peut conduire qu'à des difficultés opératoires voire des échecs.



Illustration 3: De gauche à droite: fraise boule diamantée, fraise carbure de tungstène, zekrya et Oneflare

1.5. Erreurs à éviter

1.5.1. Délabrement insuffisant

Le principe d'économie tissulaire doit être respecté. Cependant, cela ne doit pas amener à une sous-préparation de la dent qui serait source de nombreux problèmes :

- Persistance de tissu pulpaire organique ainsi que de micro-organismes responsables d'une réinfection ou d'une coloration secondaire de la dent
- Non suppression du plafond pulpaire dans sa totalité
- Persistance de triangles dentinaires sources de frictions avec les instruments et donc de fractures instrumentales
- Mauvaise irrigation à la solution d'hypochlorite de sodium

1.5.2 Perforations

Cette erreur est souvent due à une analyse préopératoire insuffisante, notamment de la radiographie, amenant à une méconnaissance de la morphologie interne de la dent. Certaines chambres pulpaires peuvent être rétractées voir décalées en distal ou en mésial de la dent. Ce type d'information ne peut être obtenu qu'après un examen radiographique réalisé dans des conditions rigoureuses, idéalement avec un angulateur et selon la technique des plans parallèles.

Une particularité responsable de ces incidents est la différence d'angulation entre l'axe de la racine et celle de la couronne. Pouvant aller de 10 à 30 degrés, cette divergence d'axe doit être prise en compte afin de ne pas réaliser un délabrement trop important lors de la trépanation pouvant conduire à une perforation vestibulaire ou proximale.

Un autre facteur en responsable de cette erreur sur la première prémolaire mandibulaire est la constriction cervicale marquée. Ce rétrécissement au collet est à prendre en compte lors de l'instrumentation de la dent.

1.6 Les modèles pédagogiques en 3 Dimensions

1.6.1. Contexte universitaire

La faculté de chirurgie dentaire de Lille est celle qui accueille le plus grand nombre d'étudiants en France à l'issue du concours de PACES (87 places en 2021). Ce fort effectif n'est cependant pas contrebalancé par un nombre d'enseignants adéquat.

La problématique qui se pose devient alors vite claire, notamment lors des travaux pratiques. Il devient compliqué d'assurer un suivi personnalisé de chaque étudiant afin qu'il surmonte ses lacunes en

raison d'un manque de personnel.

1.6.2. Intérêt des modèles

Les modèles pédagogiques imprimés en 3 dimensions seront idéalement laissés en libre accès aux étudiants. Ils pourront alors les manipuler et ainsi observer sous différents angles le travail qui est attendu d'eux à l'issue des différentes étapes de réalisation de la cavité d'accès.

Ces modèles doivent être mis en relation avec des radiographies ainsi que des schémas. Cela permet alors à l'étudiant d'associer certaines notions qui n'étaient jusqu'alors abordées que par le biais d'images à une réalité en 3 dimensions.

Ainsi ceux-ci pourront voir étape par étape la réalisation de la cavité d'accès et également les erreurs à éviter tout en gagnant en autonomie.

Bien entendu, ces modèles n'ont pas pour vocation à se substituer à l'aide apportée par le corps enseignant, mais en sont complémentaires. L'objectif étant de permettre aux étudiants d'acquérir dès le début de leurs apprentissages les bases nécessaires à la bonne réalisation d'un traitement endodontique, sans avoir à multiplier les essais ainsi que les échecs sources de frustration.

1.7 Conception des modèles pédagogiques en 3D

1.7.1. Le Cone-beam

Le « Cone Beam Computed Tomography » ou Tomographie Volumique à Faisceau Conique en français est une technique radiographique d'imagerie médicale extra-orale.

L'appareil est constitué d'un générateur émettant un faisceau de rayons X coniques pulsés ou continus qui seront atténués par la tête du patient et recueillis sur un capteur. Ces trois éléments, générateur tête du patient et capteur, sont alignés.

Le couple générateur-capteur va effectuer une rotation d'au moins 180 degrés autour de la zone d'intérêt voir plus en fonction de la résolution choisie. Tout le long de ce balayage un faisceau conique de rayons X est émis, permettant ainsi l'acquisition de 150 à 600 coupes en 2 dimensions de l'objet à analyser.

Ces séries d'images vont permettre de réaliser une reconstitution en 3 dimensions en faisant appel à des calculs mathématiques basés sur le théorème de Radon. Ce mathématicien autrichien a prouvé qu'à partir d'un échantillon d'images en 2 dimensions il était possible de reconstituer un volume en 3 dimensions. Ainsi, après une étape de traitement des données, une reconstruction 3D de la cible est obtenue et l'unité élémentaire de cette reconstitution est le voxel.

Ce voxel est l'équivalent 3D du pixel et, dans le cas d'un cone beam, est isométrique. Ce qui signifie que ses côtés ont tous la même taille, il est donc de forme cubique. C'est en cela que la Tomographie Volumique à Faisceau Conique diffère de son grand frère, le scanner médical. Ce dernier a l'inconvénient d'être davantage irradiant en raison de l'émission de rayons sur tout le corps humain, et, contrairement au cone-beam, il permet l'acquisition de voxels de forme parallélépipédique.

Cependant, ils se comportent de la même manière dans les deux techniques. Le terme d'hyperdensité est alors utilisé lorsque sa colorimétrie se rapproche du blanc, preuve que les photons ont été absorbés par des structures minéralisées, et celui d'hypodensité lorsque les voxels sont foncés. Cela signifie alors que les photons ont traversé des tissus mous en étant peu

ou pas absorbés. (10)

1.7.2. Les logiciels relais

Les logiciels relais sont l'interface entre les clichés radiographiques obtenus par tomographie et l'imprimante 3D. Ils permettent la conversion des fichiers DICOM obtenus après l'acquisition cone-beam en fichier STL. Seul ce dernier format permet l'exploitation des données par l'imprimante 3D et donc, la réalisation des modèles pédagogiques.

Ainsi seront utilisés le logiciel 3D Slicer pour la conversion des fichiers suivi de Meshmixer qui servira à lisser l'état de surface des modèles avant impression.

1.7.3. L'impression 3D

Ne seront abordés dans cette thèse uniquement les 2 techniques d'impression 3D réalisables à la faculté de Lille : le dépôt de matière fondue et la stéréolithographie.

1.7.4 Le dépôt de matière fondue

Il s'agit de la plus répandue des techniques d'impression 3D, créée par S.CRUMP en 1988. L'imprimante est composée de 3 éléments essentiels : un plateau d'impression, une bobine de filaments du matériau d'impression et d'une tête d'impression aussi appelé buse d'extrusion ou extrudeur.

Le matériau est porté à haute température afin d'être fondu et déposé point par point par la buse en suivant les informations fournies par le fichier de Conception Assisté par Ordinateur (CAO). Ce fichier au format STL guidera le moteur afin de réaliser l'objet couche par couche. C'est pour cela que le dépôt de matière fondue fait partie des systèmes d'impression par technique additive.
(11)

Cette technique par dépôt de matière fondue présente l'avantage d'être peu onéreuse, mais également polyvalente du fait de la diversité des matériaux d'impression utilisables allant de la résine polymère au métal.

Cependant, elle présente le désavantage non négligeable d'être moins précise que ses alternatives et c'est pour cela que cette technologie ne sera pas utilisée afin de réaliser les modèles pédagogiques. (12)



Illustration 4: Imprimante Prusa i3 MK3S+ utilisant le dépôt de matières fondues

1.7.5 La stéréolithographie

Inventé par Charles Hull en 1986, la stéréolithographie est également une technique d'impression 3D par addition et nécessite de la même manière un fichier STL afin de guider le processus d'impression. Cependant son système utilise une technologie différente de celle de dépôt par matière fondue.

En effet cette imprimante utilise un laser qui, dirigé à l'aide de miroirs, va photopolymériser une résine liquide située dans une cuve. Ce matériau va alors se solidifier et la pièce sera fabriquée ainsi couche par couche. Une fois le processus terminé un passage dans un bain de solvant, usuellement de l'alcool, ainsi qu'une exposition à une lumière UV permet à la résine d'obtenir sa résistance finale. (13)

Plus onéreuse que la technique précédente, la stéréolithographie présente néanmoins l'avantage crucial d'être plus précise, permettant donc d'obtenir des pièces de plus grandes qualités. C'est donc pour cela que cette technique sera utilisée afin de réaliser les modèles pédagogiques de cavités d'accès.



Illustration 5: Imprimante de stéréolithographie Formlabs disponible à la faculté

2. Matériels et méthode

2.1.Prérequis

2.1.1 Choix des dents

Les premières prémolaires mandibulaires choisies l'ont été en se basant sur des critères anatomiques. Cela signifie que ces dents ne doivent pas présenter de caries cavitaires ni d'altérations marquées de leurs portions coronaires dues à l'abrasion. De plus, et bien qu'elle ne sera pas travaillée jusqu'à l'apex ici, ces dents doivent présenter une racine morphologiquement intacte et ayant un apex fermé.

Radiographiquement ces dents doivent présenter un parenchyme pulpaire de dimensions physiologiques, non réduit par d'éventuelles minéralisations ou formations excessives de dentine tertiaire.

2.1.2 Préparation des dents

Une fois les dents sélectionnées, les spicules de tartre ont été retirés par le biais d'une pièce à main à ultrasons.

Une fois cette étape réalisée, les dents ont baigné dans une solution d'hypochlorite à 5% dans le but d'éliminer les éventuels pathogènes ainsi que les autres résidus organiques. Enfin celles-ci ont été conservées dans une solution d'alcool à 35% afin de garantir la pérennité de la désinfection.

2.2 Finalité des dents sélectionnées

Pour ce travail quatre dents seront utilisées :

- La première est la dent test où seront réalisées les différentes étapes de la cavité d'accès, validées par un enseignant d'endodontie mais non scannées en raison du risque d'erreur lors de la procédure.
- La deuxième servira également de support pour les différentes étapes mais, à contrario de la première, ces différentes étapes seront scannées successivement au cone-beam afin de réaliser des modèles pédagogiques.
- La troisième sur laquelle sera réalisée un échec de traitement: une perforation vestibulaire et sera scannée afin de matérialiser cette erreur.
- Enfin la dernière mettra en évidence une autre erreur plus subtile : la marche proximale qui servira également de support pour un modèle pédagogique.

Ainsi l'objectif de ce travail est double : mettre en évidence les différentes étapes menant à la réalisation adéquate d'une cavité d'accès ; mais également les erreurs possibles et comment il est facile de passer d'une bonne réalisation à un échec de traitement.

2.3 Photographies et radiographies

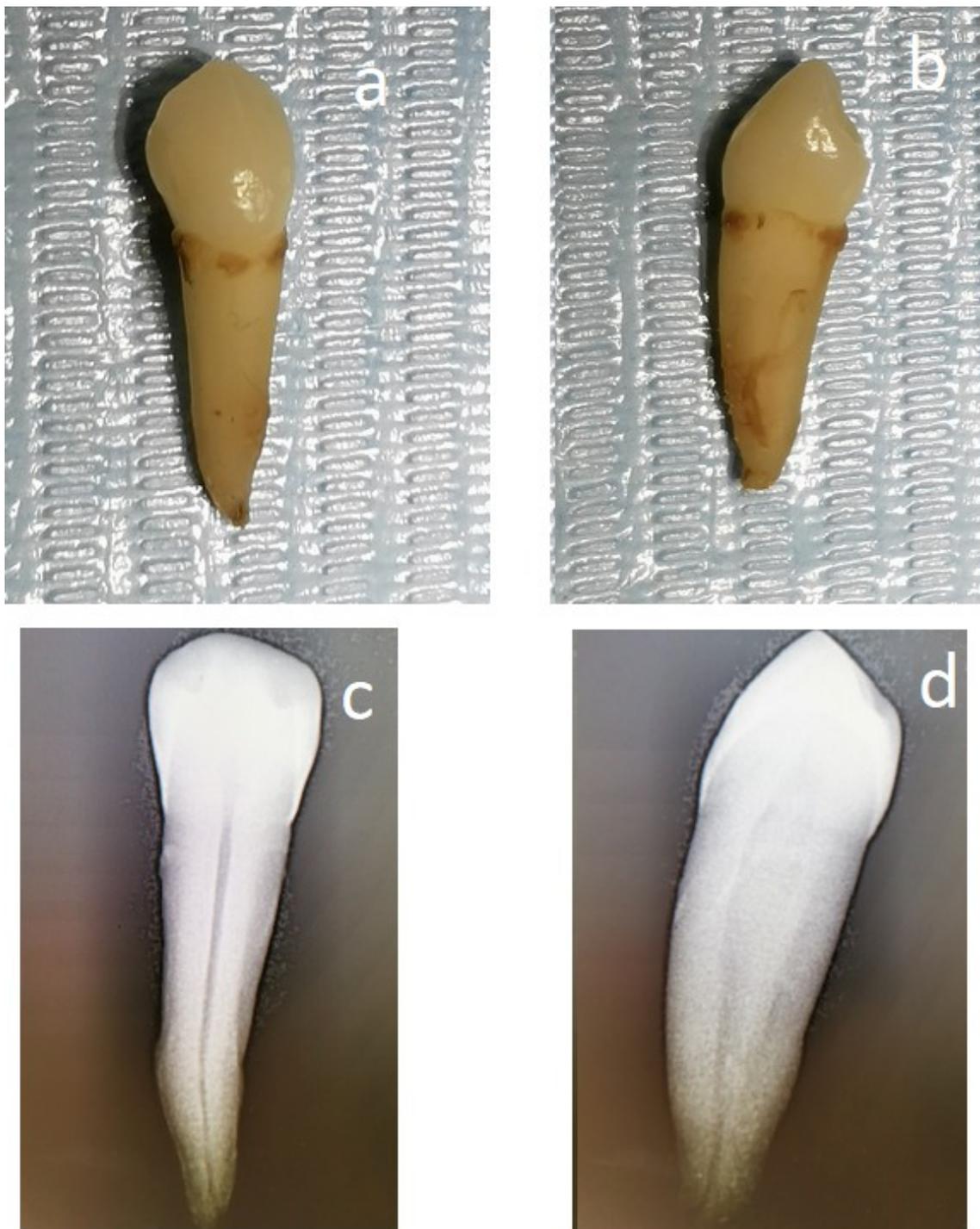


Illustration 6: Dent 1 sur laquelle seront réalisées les étapes de la cavité d'accès

a: Vue mésio-distale

b: Vue vestibulo-linguale

c: Radiographie mésio-distale

d: Radiographie vestibulo-linguale

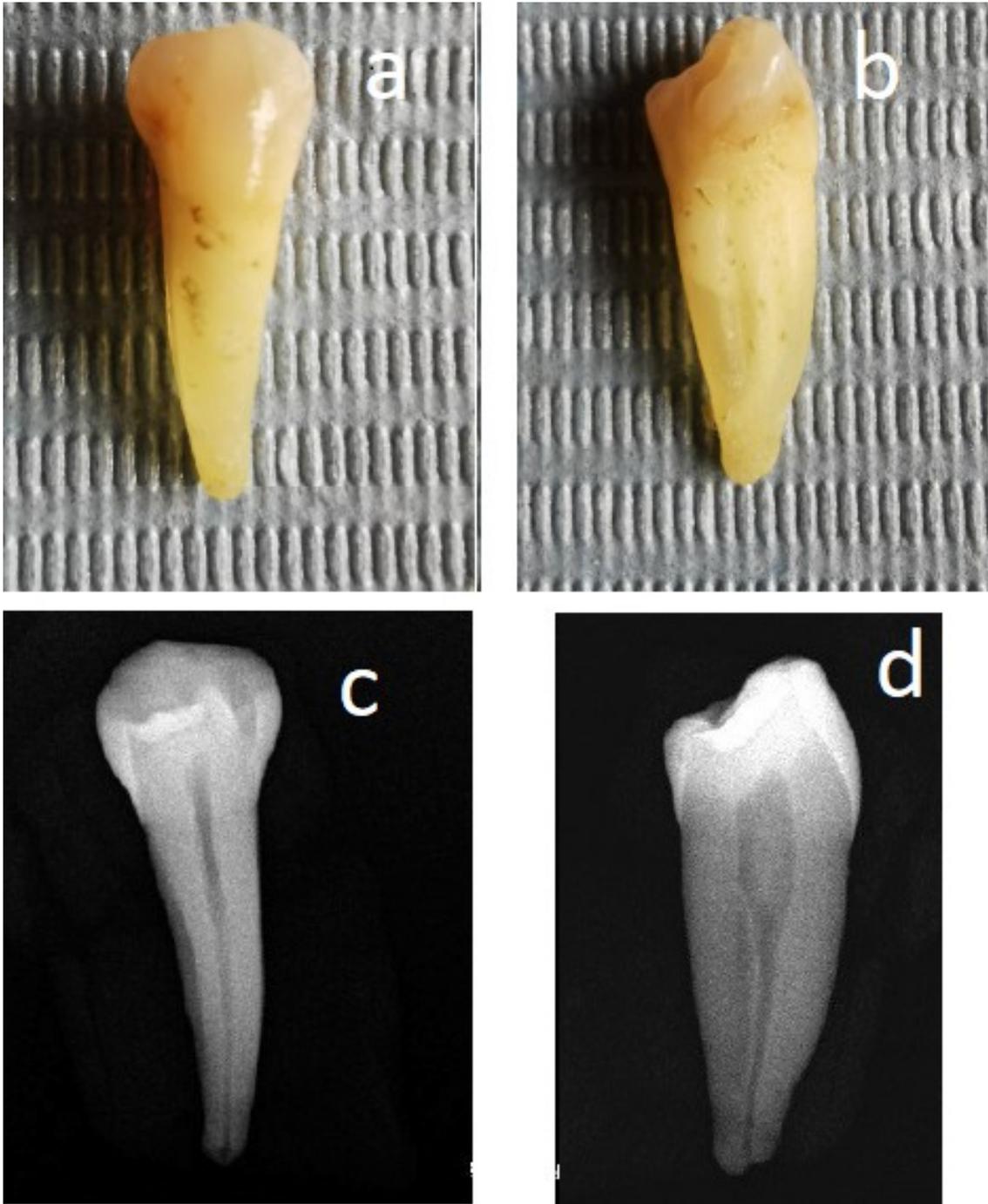


Illustration 7: Dent 2 sur laquelle sera réalisée la perforation vestibulaire

a: Vue mésio-distale

b: Vue vestibulo-linguale

c: Radiographie mésio-distale

d: Radiographie vestibulo-linguale

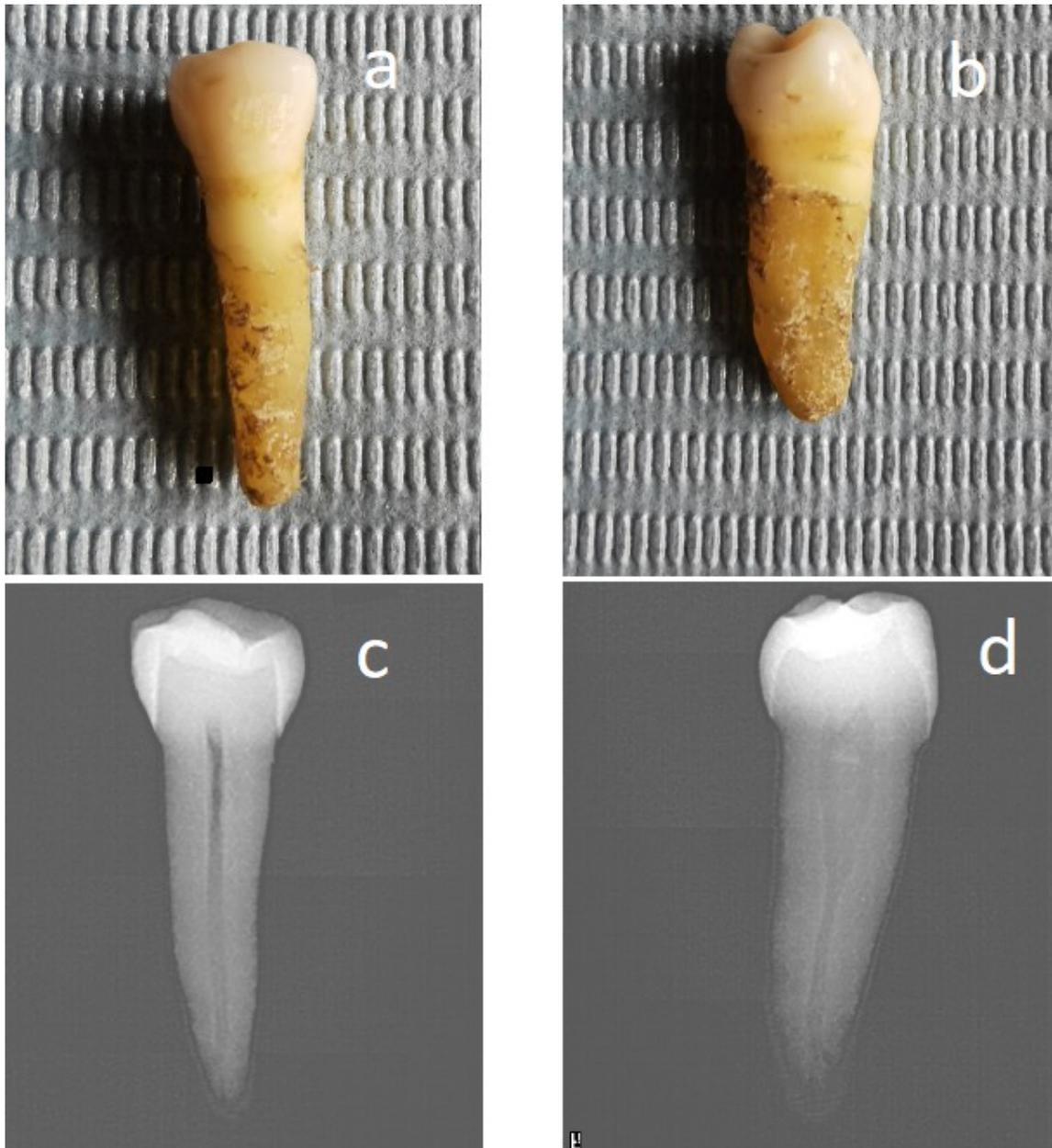


Illustration 8: Dent 3 sur laquelle sera réalisée la marche proximale

a: Vue mésio-distale

b: Vue vestibulo-linguale

c: Radiographie mésio-distale

d: Radiographie vestibulo-linguale

2.4. Les différents modèles pédagogiques

2.4.1. La première prémolaire mandibulaire intacte

Il est important pour l'étudiant de connaître l'anatomie de la dent intacte, vierge de tout délabrement que ce soit carieux ou mécanique.

L'objectif de ce modèle est de permettre la visualisation de l'axe coronaire, l'axe radiculaire et ainsi de l'angulation entre ces différents éléments anatomiques. Cela afin de permettre à l'étudiant de comprendre que contrairement aux dents antérieures, il n'y a pas de continuité rectiligne entre ces structures.

Qui plus est, ce modèle surdimensionné a également la prétention de représenter de manière précise les reliefs de la face occlusale pouvant servir de repères lors de la réalisation de la cavité d'accès à savoir : la cuspide vestibulaire, la cuspide linguale ainsi que les crêtes marginales. En effet, dans la majorité des cas, la cavité devra être réalisée au centre de ces différents éléments.

2.4.2. La cavité de délinéation

Elle représente la première étape du traitement endodontique et ne peut être débutée qu'après analyse minutieuse des radiographies préopératoire.

Cette attaque de l'émail doit se faire dans l'axe de la couronne, après avoir projeté sur la face occlusale les cornes pulpaire. Cette projection permet d'une part de respecter le principe d'économie tissulaire en éliminant uniquement la quantité d'émail nécessaire. D'autre part il permet de débiter l'éviction des tissus durs de la dent dans le bon axe, limitant ainsi le risque de fausses routes ou de perforations.

Ainsi, la forme idéale de la cavité d'accès est déjà prévisualisée, à savoir un ovale de grand axe vestibulo-lingual.

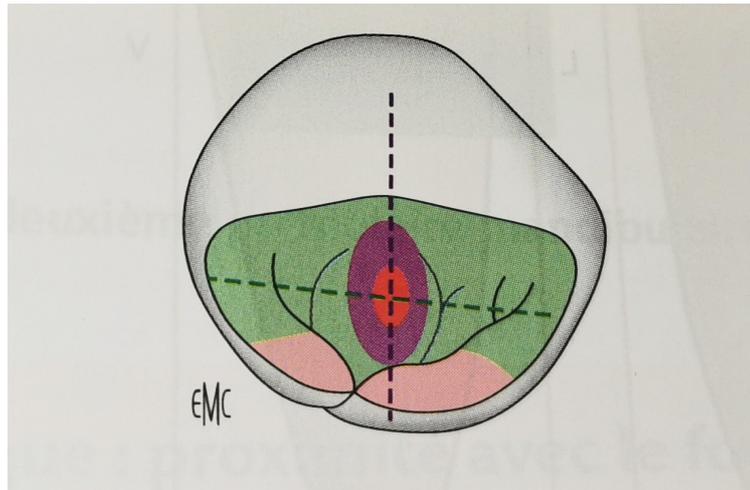


Illustration 9: Contours de la cavité d'accès (Anatomie dentaire; Elsevier Masson p107)

2.4.3. L'effraction pulpaire avec persistance du plafond

L'approfondissement de la cavité de délimitation doit permettre d'accéder à la pulpe camérale. Pour cela une étape de trépanation est nécessaire. Toujours en respectant l'axe de la couronne, la dentine est éliminée jusqu'à permettre l'accès au parenchyme au niveau d'une corne. L'effraction pulpaire est alors réalisée.

Il peut être intéressant de permettre la visualisation de la pulpe camérale, mais également canalaire afin de permettre le passage d'instruments. Cette cavité n'ayant pas encore mise en forme, elle mettra en évidence les forces de friction lors du passage des limes dans une cavité insuffisamment préparée et donc, les risques de fractures instrumentales.

Le plafond pulpaire sera effondré dans sa majorité. Cependant, une partie sera préservée afin de permettre aux étudiants d'utiliser leurs sonde 17 et sonde 19. En effet l'élimination incomplète du plafond représente un risque d'infection secondaire et de ce fait d'échec du traitement. Il est donc primordial de vérifier que la totalité du plafond a été retiré grâce aux instruments dédiés à cela.

2.4.4. L'effraction pulpaire avec plafond effondré

La suite logique de l'étape précédente consiste à éliminer totalement le plafond pulpaire par le biais d'une fraise boule en carbure de tungstène montée sur contre-angle. Ensuite, l'utilisation à nouveau d'une sonde 17 ainsi que d'une sonde 19 permet de mettre en évidence l'absence de ressauts, contrairement au modèle précédent, confirmant ainsi la réalisation adéquate de cette étape.

2.4.5 La cavité de contour et de convenance

Les parois ont été mises de dépouille grâce à une fraise zekria, de plus, la totalité du plafond pulpaire a été éliminée au préalable. Ce modèle représente le stade final de la cavité d'accès avec les entrées canales accessibles.

Il peut être pertinent de mettre ce modèle à côté du précédent afin de permettre la réalisation d'une comparaison entre une cavité terminée et une autre en cours. En effet les contraintes instrumentales sont inexistantes une fois les finitions réalisées et par conséquent, le risque de fracture instrumentale réduit.

2.4.6. La perforation vestibulaire

C'est une des erreurs les plus craintes par les chirurgiens-dentistes. Elle peut avoir de multiples origines telles qu'une insuffisance de préparation, l'absence de radiographie préopératoire ou encore l'utilisation délétère d'une fraise. L'axe coronaire différent de l'axe radiculaire de la première prémolaire mandibulaire renforce d'autant plus le risque de réaliser une perforation au collet.

Une perforation vestibulaire au collet sera représentée ici, causée par un usage délabrant de la fraise boule en carbure de tungstène montée sur contre-angle. Celle-ci a réalisé une trépanation en ne prenant en compte que l'axe lingual de la couronne dentaire entraînant ainsi un délabrement conséquent de la face vestibulaire de la chambre et donc à terme, une perforation.

Il est donc important de prendre en considération les différents axes de la dent et de réaliser si nécessaire une radiographie de contrôle avec une incidence décalée.

2.4.7 La marche proximale

Lorsque l'ouverture coronaire présente un diamètre mésio-distal supérieur à celui de la chambre pulpaire, il se crée alors une marche proximale.

Se présentant comme un ressaut pouvant être mis en évidence grâce à une sonde droite, ce défaut porte atteinte au principe d'économie tissulaire.

Le moyen le plus efficace pour éviter cette erreur consiste à réaliser une radiographie retro-alvéolaire préopératoire selon la technique des plans parallèles, permettant ainsi une visualisation du volume pulpaire, et donc, des dimensions idéales de la cavité d'accès.

2.5 Réalisation des modèles sur dents naturelles

2.5.1 Lieu de réalisation

Les différentes étapes de la cavité d'accès ainsi que des modèles présentant une perforation et une marche proximale ont été réalisées dans la salle de simulation de la faculté de chirurgie dentaire de Lille sous la supervision du Dr. Thibault Bécavin.

2.5.2 Instruments

Un contre-angle bague bleue ainsi qu'une turbine ont été prêtés par l'appareteur de la faculté afin de réaliser les différents modèles. Parmi les instruments utilisés sont également retrouvés une sonde droite ainsi qu'une sonde 17 et une sonde 19.



Illustration 10: De gauche à droite: sonde droite, 19 et 17

Concernant les fraises utilisées il s'agit :

- d'une diamanté de diamètre 12
- d'une en carbure de tungstène de diamètre 12
- d'une fraise zekrya endodontique
- d'un oneflare

2.5.3 Étapes

2.5.3.1 La perforation vestibulaire

Le modèle avec la perforation vestibulaire a d'abord été réalisée sur la dent 1 à l'aide d'une fraise boule diamantée montée sur turbine puis d'une en carbure de tungstène sur contre-angle. La phase de trépanation a été volontairement exacerbée en direction vestibulaire afin de matérialiser une perforation fréquente sur ce type de dents.

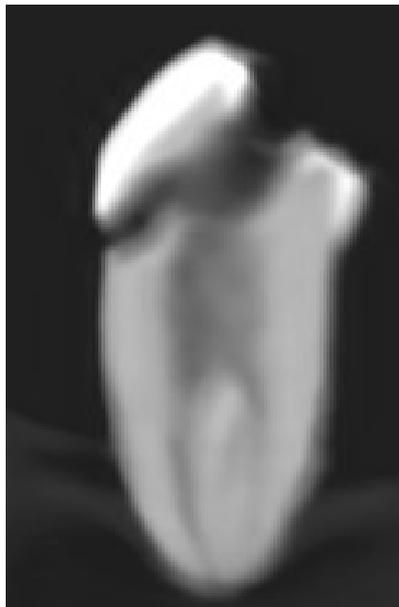


Illustration 11
Cliché cone-beam d'une
perforation vestibulaire

2.5.3.2 Les étapes de la cavité d'accès

Les différentes étapes de la cavité d'accès ont ensuite été effectuées sur la dent 2.

Une éviction de l'émail a été réalisée grâce à la fraise boule diamantée 10 jusqu'à réaliser la cavité de délimitation. Celle-ci est de forme ovale, centrée sur la couronne et de grand axe vestibulo-lingual.

Ensuite, vient l'étape de trépanation. Une fraise boule en carbure de tungstène de diamètre 12 permet d'éliminer la dentine jusqu'à accéder à une corne pulpaire.

Une fois cette corne atteinte, la totalité du plafond est éliminée avec cette même fraise. Une sonde 17 et une sonde 19 permettent de confirmer l'absence de ressaut et donc, la bonne réalisation de cette étape.

Les contours de la cavité sont ensuite mis de dépouille par le biais d'une fraise zekrya endodontique sur turbine. Concernant l'orifice canalaire, ce dernier est élargi par le passage d'un oneflare. La bonne réalisation de ces étapes permet donc d'obtenir la cavité de contour et de convenance.

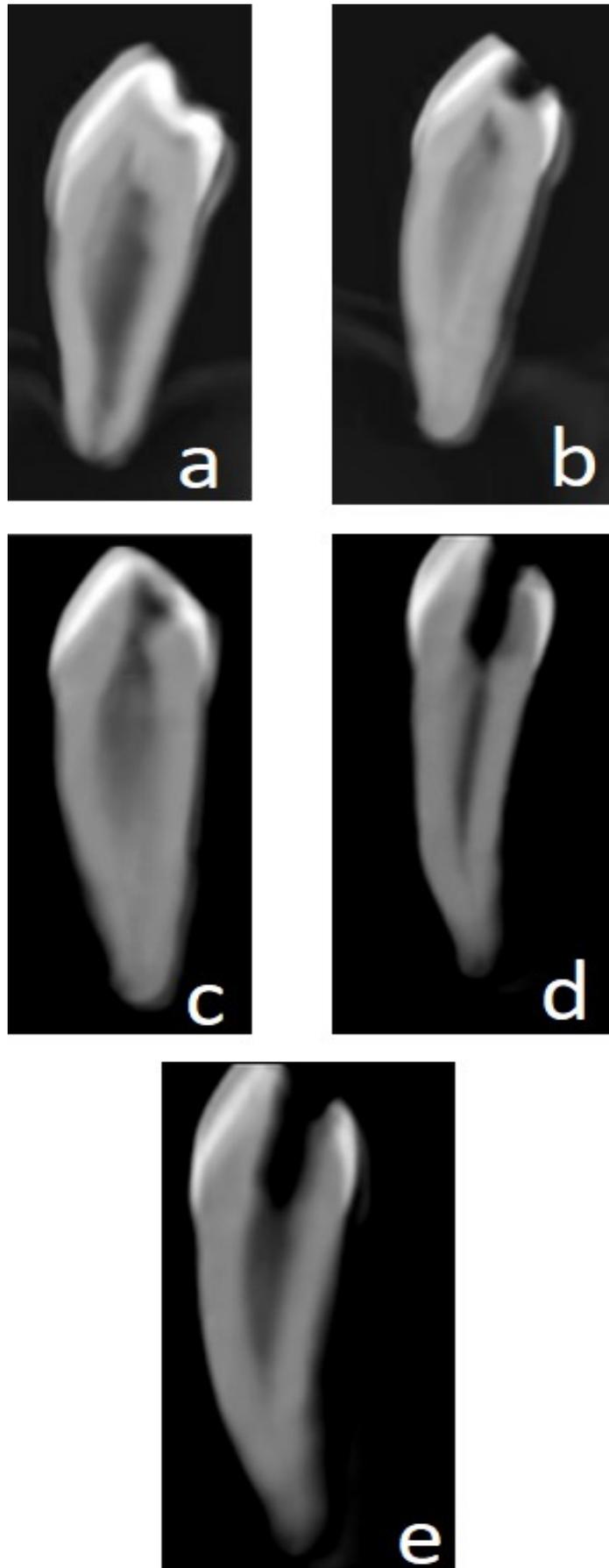


Illustration 12: Clichés CBCT des étapes de la cavité d'accès. a: dent intacte; b: cavité de délimitation; c: trépanation avec persistance du plafond; d: trépanation avec effondrement du plafond; e: cavité de contour et de convenance

2.5.3.3 La marche proximale

La réalisation de la marche proximale suit les mêmes étapes que celle d'une cavité d'accès classique et utilise les mêmes instruments. Cependant, cette erreur est due à un délabrement trop important lors de l'étape de trépanation. En voulant éliminer le plafond, la fraise boule en carbure de tungstène élargit excessivement la cavité dans le sens mésio-distal, aboutissant ainsi à la création d'une marche.

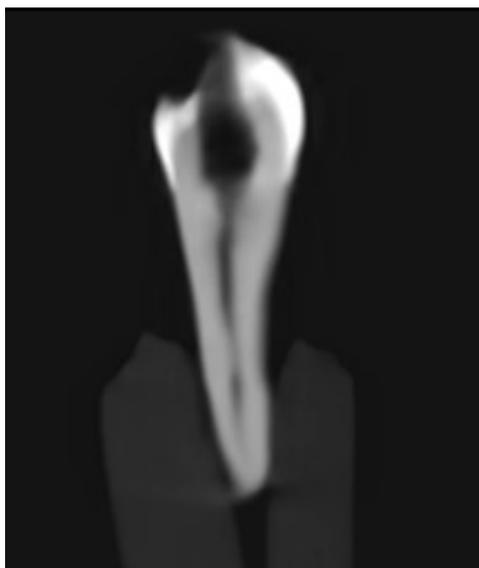


Illustration 13: Cliché CBCT d'une marche proximale

2.5.4. Acquisition cone-beam

Après réalisation des différents modèles et étapes sur dents naturelles, il est nécessaire d'accomplir l'acquisition au cone-beam dans le but d'obtenir un fichier informatique exploitable par l'imprimante 3D.

L'appareil utilisé est produit par la société VATECH et prêté à l'université de chirurgie dentaire de Lille, il s'agit du modèle PHT-65LHS.

Grâce à un support dédié ainsi qu'à une feuille de cire enroulée, la dent est positionnée de manière stable sur l'appareil. La cire n'étant que faiblement radio-opaque, cela permet de visualiser les différentes dents sans interférences du matériel de support. L'objet étant parfaitement immobile, il est alors possible

de régler grâce à des lasers la position de l'ensemble dans l'espace afin d'obtenir une acquisition parfaitement centrée sur la zone d'intérêt.



Illustration 14: Acquisition CBCT d'une dent sur son support en cire

Concernant les paramètres, il a été décidé d'utiliser une intensité de 4mA, une tension de 75kV, un champ de 5cm x 5 cm ainsi qu'une résolution de 90 microns afin d'avoir une résolution suffisamment précise pour la réalisation de modèles pédagogiques de qualité.

A l'issue de l'acquisition, les fichiers DICOM (.dcm) sont créés et permettent de visualiser les images du cone-beam sur ordinateur. Ils ne peuvent cependant pas être encore exploités pour l'impression 3D.

2.5.5. Logiciels relais

2.5.5.1. 3D Slicer

Le logiciel 3D Slicer permet de convertir les fichiers .dcm issus de

l'acquisition cone-beam en .stl, utilisables par l'imprimante. En outre, ce programme permet également d'isoler la dent de son support en cire afin que ce dernier ne soit pas imprimé.

Après avoir chargé les fichiers .dcm, il convient d'utiliser la fonction «*Volume rendering*» qui permet d'afficher le modèle en 3 dimensions dans la fenêtre supérieure droite.

Ensuite, la fonction «*Segment Editor*» permet, comme son nom l'indique, de segmenter le modèle. Ainsi, en réglant le seuil de détection de l'intensité, la dent est isolée de son support en cire.

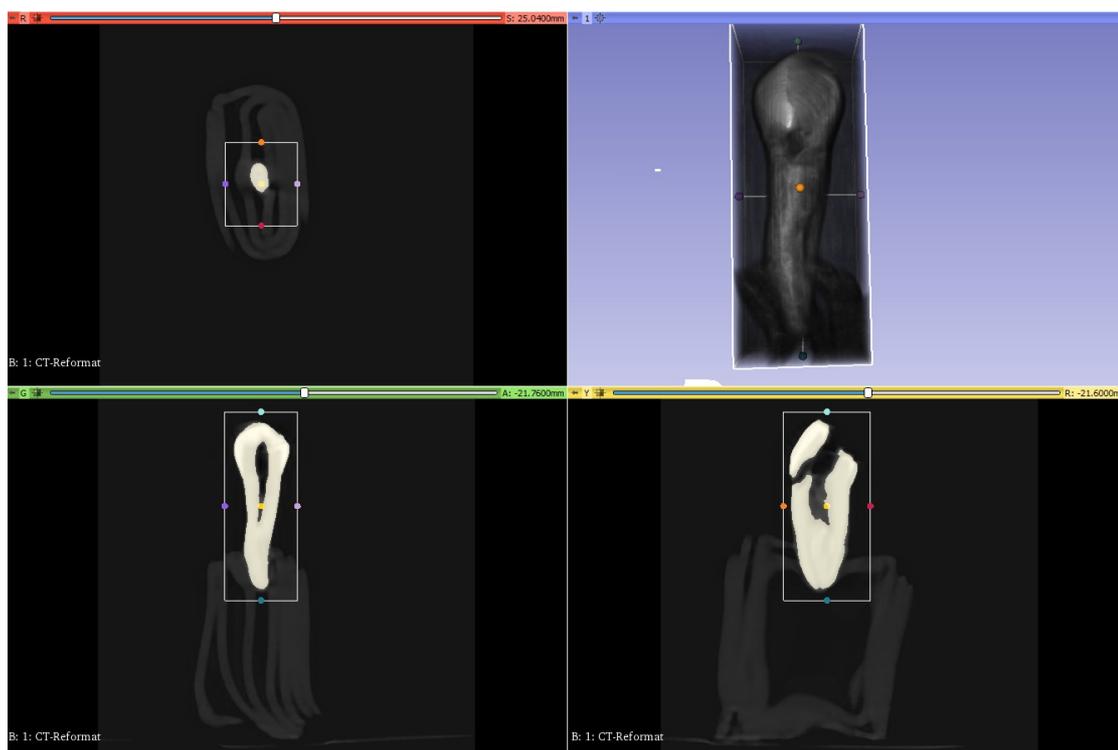


Illustration 15: Isolement de la dent de son support en cire avec la fonction Segment Editor

La conversion au format STL permet ensuite d'obtenir un fichier exploitable par l'imprimante.

2.5.5.2. Meshmixer

Le fichier converti par le logiciel précédent présente cependant un état de surface rugueux et imparfait. Ces défauts sont lissés dans le logiciel Meshmixer grâce à l'outil « *Volume reduce* ». À l'issue de cette manipulation, le fichier est alors prêt pour l'impression.

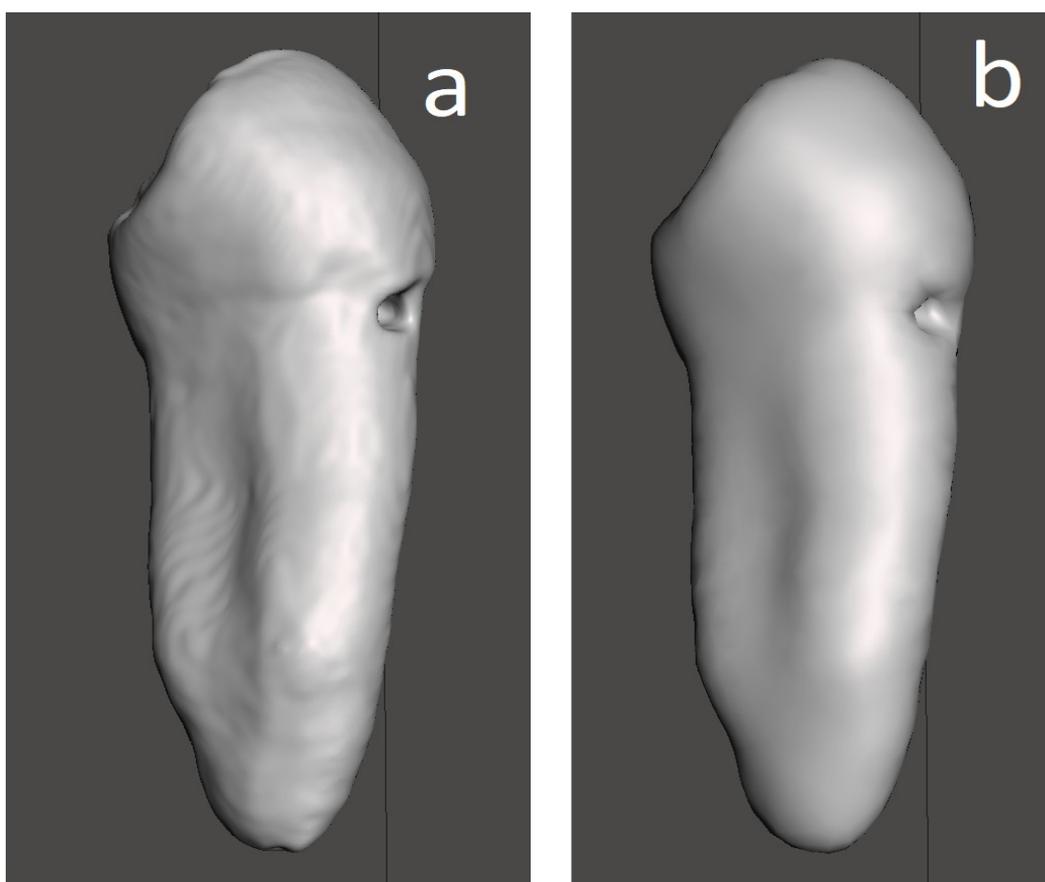


Illustration 16: Visualisation du fichier .stl dans Meshmixer

a: Avant utilisation de « Volume reduce »

b : Après utilisation de « Volume reduce »

Après discussion avec le Dr. Jérôme Vandomme, il a été décidé de créer également un modèle faisant figurer uniquement les portions coronaires des dents et relié par un socle. Ce type de modèle présente l'avantage de ne représenter que les parties concernées par la cavité d'accès tout en étant plus difficile à subtiliser du fait de sa taille.

La création de ce modèle est rendue possible grâce au logiciel Meshmixer également. Les portions radiculaires sont supprimées et les parties conservées sont reliées entre elles par un rectangle creux.

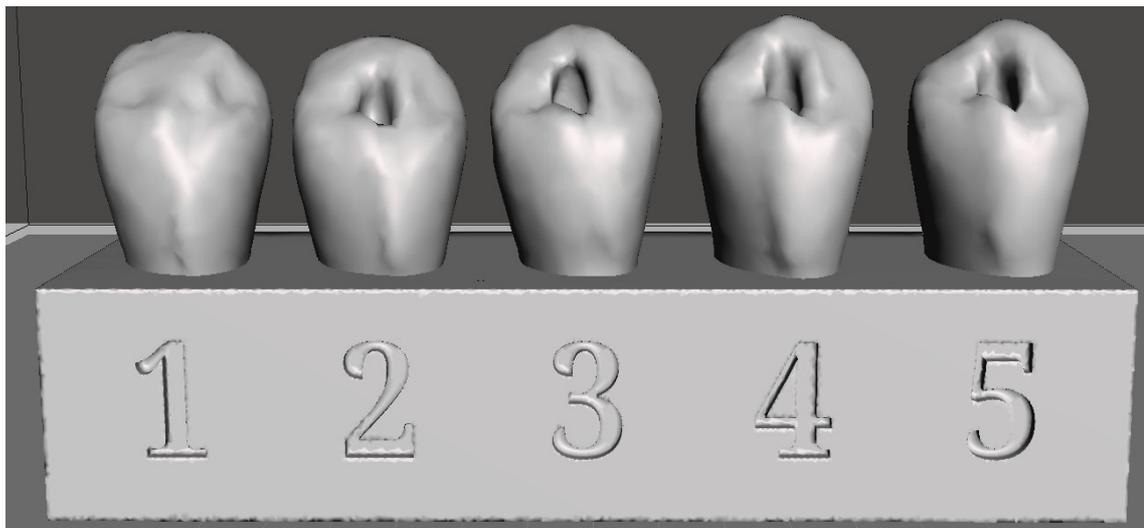


Illustration 17: Visualisation dans le logiciel Meshmixer du modèle avec socle

2.5.6. Imprimante 3D

L'imprimante utilisée est une Form 2 disponible à la faculté qui utilise la technique de la stéréolithographie détaillée précédemment. Celle-ci présente l'avantage d'être précise, mais nécessite un temps de travail assez long de 13h et 46 minutes afin d'imprimer les sept modèles individuels. Ce temps élevé est corrélé à la taille des modèles qui est à une échelle 3/1 afin de permettre une bonne visualisation des détails lors des différentes étapes

Une fois les modèles imprimés, ceux-ci sont placés dans une première cuve de nettoyage et dégraissage suivi d'une autre qui assurera la polymérisation finale de la résine.



Illustration 18: De gauche à droite: Cuve de nettoyage et dégraissage; cuve de polymérisation finale



Illustration 19: Cuve de polymérisation finale avec les modèles individuels

3. Résultats

3.1 Modèles unitaires

3.1.1 Les étapes de la cavité d'accès

7 modèles unitaires ont été imprimés et parmi ceux-ci 5 représentent les

différentes étapes de la cavité d'accès sur première prémolaire mandibulaire à savoir : la dent intacte, la trépanation avec persistance du plafond, la trépanation avec effondrement complet du plafond, la cavité de contour et de convenance.

Des polygones sont visibles à la surface des modèles et sont causés par le changement d'échelle.

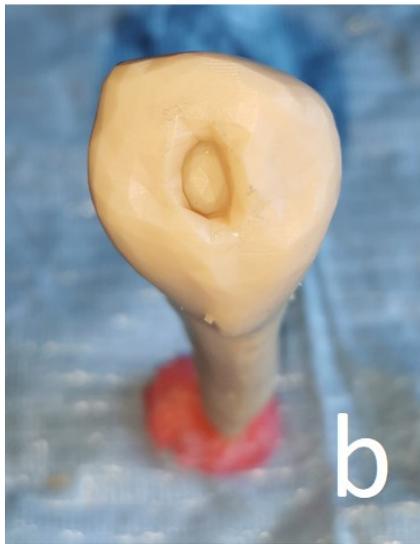


Illustration 20: Modèles pédagogiques: a: dent intacte; b: cavité de délimitation; c: trépanation avec persistance du plafond; d: trépanation avec effondrement du plafond; e: cavité de contour et de convenance

3.1.2 Les modèles avec erreurs

Les 2 modèles restant représentent respectivement une perforation vestibulaire ainsi qu'une marche proximale.

Contrairement aux autres, le modèle avec perforation a dû être imprimé de biais en raison d'un affaissement de la résine lorsque la dent est imprimée en position verticale.

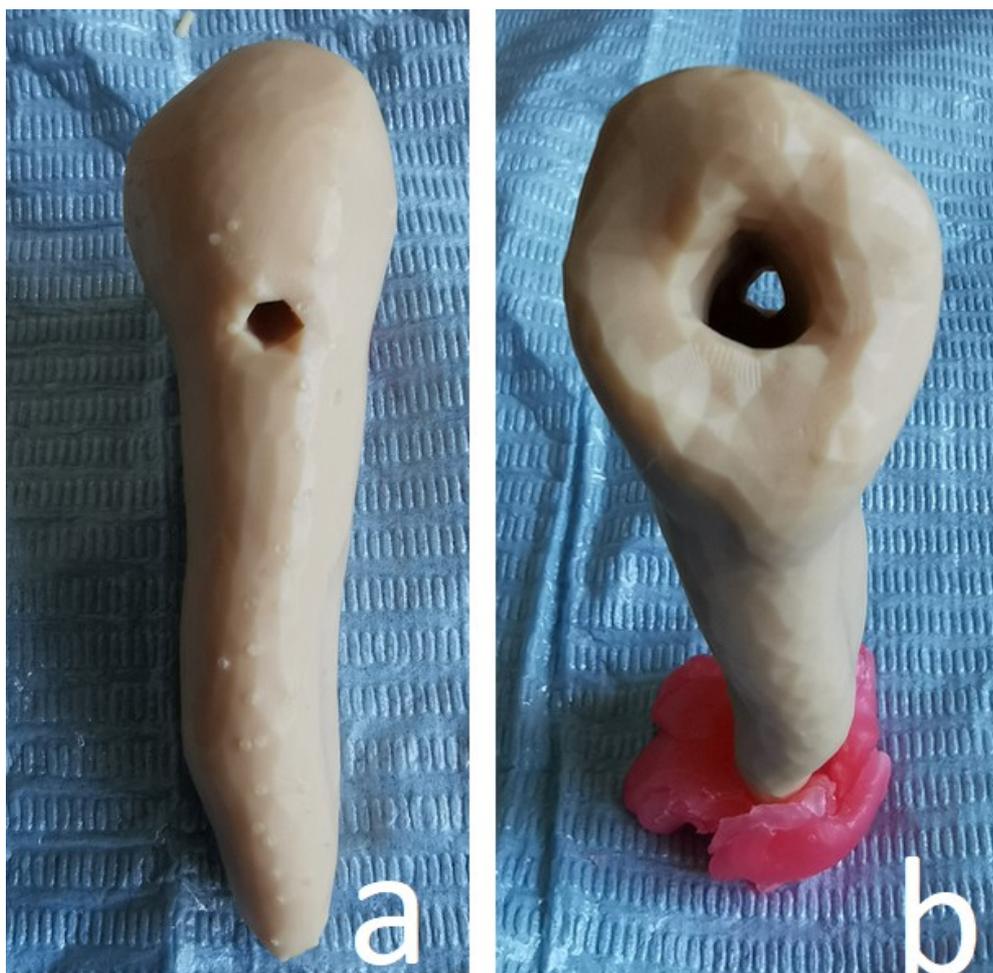


Illustration 21: Modèle pédagogique d'une perforation vestibulaire

a: Vue vestibulaire

b: Vue occlusale



Illustration 22: Modèle pédagogique d'une marche proximale

3.2 Modèle avec socle

2 modèles avec socle ont été également imprimés. La numérotation permet de bien visualiser les étapes successives de réalisation de la cavité d'accès.



*Illustration 23: Modèle pédagogique de cavité d'accès avec socle.
a:vue vestibulaire; b: vue linguale*

4. Discussion

Les modèles pédagogiques de cavité d'accès sont des sujets de thèse récents ayant débutés en 2019 à la faculté de chirurgie dentaire de Lille. Le thème de l'endodontie quant à lui est abordé en 2^{ème} année et les travaux pratiques dans cette discipline ne débutent qu'à partir de la 3^{ème} année. Il peut donc être intéressant d'obtenir le point de vue des étudiants sur l'aide apportée par ce type d'outils. Il peut également être intéressant de comparer les résultats d'étudiants ayant accès aux modèles pédagogiques par rapport aux étudiants des années précédentes n'en disposant pas afin d'évaluer l'impact de ces supports.

Un autre point à aborder est celui des modèles solidarités par un socle. En effet pour la cavité d'accès, l'anatomie canalaire ainsi que la portion radiculaire n'est que peu voire pas exploitée. Ce type de modèle présente donc l'avantage de ne représenter que la partie la plus pertinente de la dent, mais a le défaut d'être moins facilement manipulable que les modèles unitaires. Comme précédemment, un retour des étudiants sur le type de modèle qu'ils jugent le plus efficace dans l'aide apportée permettrait de ne fabriquer uniquement celui-ci.

Concernant la fabrication de ces modèles, il a été décidé d'utiliser la technique de la stéréolithographie en raison de sa précision ainsi que de sa résolution supérieure par rapport au dépôt de matières fondues. Cependant, ce type de processus présente un coût financier plus élevé. Qui plus est, cela n'empêche pas l'apparition de défauts au niveau de l'état de surface sous forme de polygones dû à l'agrandissement des modèles. Ainsi, il pourrait être intéressant d'imprimer des modèles avec la technologie de dépôt de matières fondues afin de réaliser une comparaison entre eux.

Un autre problème a été rencontré lors de la conception du modèle individuel de perforation vestibulaire. En effet, et contrairement aux 6 autres modèles, la résine s'effondrait après la fabrication de la portion radiculaire de cette dent entraînant alors un modèle incomplet. Le problème a été résolu en

concevant la dent en position semi-allongée mais l'origine reste indéterminée.

Enfin, comme évoqué précédemment, l'agrandissement entraîne l'apparition de polygones à la surface de la dent imprimée, notamment sur la face occlusale des modèles individuels. En revanche, ce type de défauts n'est que peu voire pas présent sur les modèles avec socle imprimé à l'échelle 2/1. Un compromis doit donc être trouvé entre un agrandissement permettant d'observer les détails des cavités et la qualité de l'état de surface.

Les modèles réalisés dans le cadre de cette thèse sont des représentations de dents idéales, présentant une cavité pulpaire large ainsi qu'un orifice canalaire aisément accessible. Cependant, cette dent parfaite n'est pas représentative de la difficulté rencontrée au quotidien. Qui plus est, si dans ce travail le résultat attendu est matérialisé, il peut être tout aussi pertinent d'élaborer également des modèles pédagogiques sur lesquels il est possible de s'entraîner à réaliser des cavités d'accès.

En effet, bien que la résine utilisée ici présente une résistance et une structure différente de l'émail ou de la dentine naturelle, il est actuellement possible de reproduire une chambre pulpaire ainsi que des canaux avec de l'hydroxyapatite synthétique. Cela permet alors de reproduire les caractéristiques de la dentine, y compris les sensations tactiles lors du passage des instruments. (14)

En outre, le cone-beam permet d'obtenir des images fidèles d'une chambre pulpaire à partir d'une vraie dent. Ainsi il serait intéressant de créer différents modèles présentant une chambre de plus en plus étroite afin de doser la difficulté et donc, de pouvoir suivre la progression de l'étudiant dans le temps. (15)

Actuellement les évaluations d'endodontie reposent sur l'utilisation de dents naturelles. Or celles-ci présentent l'inconvénient d'être chacune différentes, entraînant de ce fait des inégalités entre les étudiants. Ainsi, créer un modèle standard permettrait de rendre ces examens plus impartiaux. (16)

Références bibliographiques

1. Simon S, Ctorza-Perez C. Cavité d'accès en endodontie. Dans : Encyclo Med Chir, Odontologie [Article 23-045-A-05], 2010
2. Simon S, Machtou P, Pertot WJ. Endodontie. Rueil-Malmaison: Editions CdP; 2012. 514 p.
3. Saint-Pierre F. Traitement endodontique, Rapport d'évaluation technologique. Haute Autorité de santé; 2008. 66 p. Disponible: https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2009-01/rapport_traitement_endodontique.pdf
4. Pérard M, Le Clerc J, Gautier T, Perez F, Vulcain J-M, Dautel A, Le Goff A . Asepsie-antisepsie en endodontie. Dans : Encyclo Med Chir, Odontologie [Article 23-050-C-08], 2014
5. Marseillier E, Les dents humaines : morphologie. Paris: Gauthier-Villars; 1937. 140 p.
6. Tilotta F. Anatomie dentaire. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson; 2018. 303 p.
7. Bodereau B. La cavité d'accès en endodontie: réalisation de vidéos de démonstration [Thèse d'exercice]. Nice, France : Université Nice-Sophia Antipolis ; 2016
8. Humbert E. Les perforations radiculaires: données actuelles [Thèse d'exercice]. Nancy, France : Université de Lorraine ; 2014
9. Fage-Moreel V. Ministère des solidarités et de la santé. Arrêté du 13 mai 2020 fixant le nombre d'étudiants autorisés selon les différentes modalités d'admission à poursuivre en deuxième ou troisième année leurs études en médecine, odontologie, pharmacie et maïeutique à la rentrée universitaire 2020-2021. République française journal officiel lois et décrets ; 2020 ; numéro 118. 204 p. Disponible : https://www.legifrance.gouv.fr/download/pdf?id=Tj64qws_MYWEC-6xcUokYYPCIFRafx3LLguySD-i24w=. Date de dernière consultation : Mai 2022
10. Felizardo R, Martin-Duverneuil N. Tomographie volumique à faisceau conique (cone beam computed tomography). Dans : Encyclo Med Chir, Chirurgie orale et maxillo-faciale [Article 22-010-D-35], 2018
11. Haryńska A, Gubanska I, Kucinska-Lipka J, Janik H. Fabrication and Characterization of Flexible Medical-Grade TPU Filament for Fused Deposition Modeling 3DP Technology. Polymers (Basel). 25 nov 2018;10(12):1304.
12. Anderson J, Wealleans J, Ray J. Endodontic applications of 3D printing. International Endodontic Journal. 2018;51(9):1005-18.
13. Dawood A, Marti BM, Sauret-Jackson V, Darwood A. 3D printing in dentistry. Br Dent J. déc 2015;219(11):521-9.
14. Robberecht L, Chai F, Dehurtevent M, Marchandise P, Bécavin T, Hornez JC, et al. A novel anatomical ceramic root canal simulator for endodontic training. European

Journal of Dental Education. 2017;21(4):e1-6.

15. Shah P, Chong BS. 3D imaging, 3D printing and 3D virtual planning in endodontics. Clin Oral Invest. 1 mars 2018;22(2):641-54.
16. Reymus M, Fotiadou C, Kessler A, Heck K, Hickel R, Diegritz C. 3D printed replicas for endodontic education. International Endodontic Journal. 2019;52(1):123-30.

Index des illustrations

Illustration 1: Cliché radiographique de cone-beam centré sur la 34 dont le grand axe est représenté en rouge.....	20
Illustration 2: Cliché radiographique de cone-beam centré sur la 34. A noter l'axe coronaire (rouge) différent de l'axe radiculaire (bleu).....	21
Illustration 3: De gauche à droite: fraise boule diamantée, fraise carbure de tungstène, zekrya et Oneflare.....	24
Illustration 4: Imprimante Prusa i3 MK3S+ utilisant le dépôt de matières fondues.....	29
Illustration 5: Imprimante de stéréolithographie Formlabs disponible à la faculté.....	30
Illustration 6: Dent 1 sur laquelle sera réalisée les étapes de la cavité d'accès.....	33
Illustration 7: Dent 2 sur laquelle sera réalisée la perforation vestibulaire.....	34
Illustration 8: Dent 3 sur laquelle sera réalisée la marche proximale.....	35
Illustration 9: Contours de la cavité d'accès (Anatomie dentaire; Elsevier Masson p107).....	37
Illustration 10: De gauche à droite: sonde droite, 19 et 17.....	40
Illustration 11.....	41
Illustration 12: Clichés CBCT des étapes de la cavité d'accès. a: dent intacte; b: cavité de délimitation; c: trépanation avec persistance du plafond; d: trépanation avec effondrement du plafond; e: cavité de contour et de convenance.....	42
Illustration 13: Cliché CBCT d'une marche proximale.....	43
Illustration 14: Acquisition CBCT d'une dent sur son support en cire.....	44
Illustration 15: Isolement de la dent de son support en cire avec la fonction Segment Editor.....	45
Illustration 16: Visualisation du fichier .stl dans Meshmixer.....	46
Illustration 17: Visualisation dans le logiciel Meshmixer du modèle avec socle.....	47
Illustration 18: De gauche à droite: Cuve de nettoyage et dégraissage; cuve de polymérisation finale.....	47
Illustration 19: Cuve de polymérisation finale avec les modèles individuels.....	48
Illustration 20: Modèles pédagogiques: a: dent intacte; b: cavité de délimitation; c: trépanation avec persistance du plafond; d: trépanation avec effondrement du plafond; e: cavité de contour et de convenance.....	50
Illustration 21: Modèle pédagogique d'une perforation vestibulaire.....	51
Illustration 22: Modèle pédagogique d'une marche proximale.....	52
Illustration 23: Modèle pédagogique de cavité d'accès avec socle. a:vue vestibulaire; b: vue linguale.....	52

Thèse d'exercice : Chir. Dent. : Lille : Année 2022 –

La cavité d'accès sur première prémolaire mandibulaire : réalisation de modèles pédagogiques imprimés en 3D / **Quang-Minh TRINH**. - p. 59 : ill. 23 ; réf. 16.

Domaines : Enseignement; Endodontie

Mots clés Libres : Première prémolaire mandibulaire ; Cavité d'accès ; Modèles pédagogiques

Résumé de la thèse en français

La première prémolaire mandibulaire est une dent dont la réalisation de la cavité d'accès semble simple de prime abord. Cependant des pré-requis, notamment des connaissances anatomiques, sont nécessaires afin de garantir le succès du traitement.

L'objectif de cette thèse consiste en la réalisation de modèles pédagogiques imprimés en 3-dimensions des différentes étapes de cette cavité. Ainsi seront abordés dans ce travail des rappels anatomiques sur la première prémolaire mandibulaire ainsi que sur les conditions de succès de cette étape initiale du traitement endodontique mais également les erreurs à éviter. Nous verrons ensuite brièvement les différentes possibilités d'impression de ces modèles et pourquoi la stéréolithographie a été choisie au lieu du dépôt de matières fondues.

Enfin nous discuterons des modèles individuels matérialisant les différentes étapes à savoir : la dent intacte, la cavité de délimitation, la trépanation avec persistance du plafond, la trépanation avec effondrement du plafond et la cavité de contour et de convenance. En outre, deux autres modèles supplémentaires représentant des erreurs fréquentes que sont la perforation vestibulaire ainsi que la marche proximale seront également réalisés.

La partie coronaire étant la seule concernée par la cavité d'accès, un modèle ne représentant que cette portion lors des différentes étapes et relié par un socle sera également conçu.

JURY :

Président : Pr. Thomas COLARD

Assesseurs : Dr Jérôme VANDOMME, Dr Thibault BÉCAVIN, Dr Rémy KABBARA