

**UNIVERSITE DE LILLE**

**FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE**

Année de soutenance : 2019

N° :

THESE POUR LE

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

Présentée et soutenue publiquement le 9 Septembre 2019

Par Maximilien LECOEUR

Né le 4 Novembre 1993 à Rouen – France

**RÉALISATION D'UNE CAVITÉ D'ACCÈS SUR UNE PREMIÈRE  
MOLAIRE MAXILLAIRE : APPORT PÉDAGOGIQUE DE MODÈLES  
DENTAIRE ARTIFICIELS**

**JURY**

Président : Monsieur le Professeur DEVEAUX

Assesseurs : Monsieur le Docteur Lieven ROBBERECHT  
Monsieur le Docteur Alexandre DEMETRIOU  
Monsieur le Docteur Thibault BÉCAVIN

Président de l'Université	:	Pr. J-C. CAMART
Directeur Général des Services de l'Université	:	P-M. ROBERT
Doyen	:	Pr. E. DEVEAUX
Vice-Doyens	:	Dr. C.DELFOSSE, Dr. L. NAWROCKI et Pr. G.PENEL
Responsable des Services	:	S. NEDELEC
Responsable de la Scolarité	:	M. DROPSIT

## **PERSONNEL ENSEIGNANT DE L'U.F.R.**

### **PROFESSEURS DES UNIVERSITES :**

P. BEHIN	Prothèses
T. COLARD	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
E. DELCOURT-DEBRUYNE	Professeur Emérite Parodontologie
<b>E. DEVEAUX</b>	Dentisterie Restauratrice Endodontie <b>Doyen de la Faculté</b>
<b>G. PENEL</b>	Responsable du Département de <b>Biologie Orale</b>
<b>C. DELFOSSE</b>	Responsable du Département d' <b>Odontologie Pédiatrique</b>

## 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
<b>F. BOSCHIN</b>	Responsable du Département de <b>Parodontologie</b>
<b>E. BOCQUET</b>	Responsable du Département d' <b>Orthopédie Dento-Faciale</b>
<b>C. CATTEAU</b>	Responsable du Département de <b>Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie Légale.</b>
A. de BROUCKER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
M. DEHURTEVENT	Prothèses
T. DELCAMBRE	Prothèses
<b>C. DELFOSSE</b>	Responsable du Département d' <b>Odontologie Pédiatrique</b>
F. DESCAMP	Prothèses
A. GAMBIEZ	Dentisterie Restauratrice Endodontie
F. GRAUX	Prothèses
<b>P. HILDELBERT</b>	Responsable du Département de <b>Dentisterie Restauratrice Endodontie</b>
C. LEFEVRE	Prothèses
J.L. LEGER	Orthopédie Dento-Faciale
M. LINEZ	Dentisterie Restauratrice Endodontie
G. MAYER	Prothèses
<b>L. NAWROCKI</b>	Responsable du Département de <b>Chirurgie Orale</b> Chef du Service d'Odontologie A. Caumartin - CHRU Lille
C. OLEJNIK	Biologie Orale
P. ROCHER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
L. ROBBERECHT	Dentisterie Restauratrice Endodontie
<b>M. SAVIGNAT</b>	Responsable du Département des <b>Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux</b>
T. TRENTESAUX	Odontologie Pédiatrique
<b>J. VANDOMME</b>	Responsable du Département de <b>Prothèses</b>

### ***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.

# REMERCIEMENTS

*Aux membres du jury,*

## **Monsieur le Professeur Etienne DEVEAUX**

**Professeur des universités – Praticien hospitalier des CSERD**

*Section réhabilitation orale*

*Département de dentisterie restauratrice endodontie*

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur en Sciences Odontologiques

Docteur en Odontologie de l'Université de Lille 2

Habilité à Diriger des Recherches

Doyen de la Faculté de Chirurgie Dentaire de Lille

Membre associé national de l'Académie Nationale de Chirurgie Dentaire

Personne Compétente en Radioprotection

Ancien Président de la Société Française d'Endodontie

Chevalier dans l'ordre des palmes académiques

*Vous me faites l'honneur d'accepter la présidence de ma thèse malgré vos  
responsabilités et je vous en remercie.*

*Veillez accepter ma plus sincère reconnaissance pour la disponibilité dont vous  
avez fait preuve.*

*Veillez trouver à travers ce travail l'expression de mon profond respect.*

**Monsieur le Docteur Lieven ROBBERECHT**

**Maître de conférences des universités – Praticien hospitalier des CSERD**

*Section réhabilitation orale*

*Département dentisterie restauratrice endodontie*

Docteur en Chirurgie Dentaire

*Vous me faites l'honneur d'accepter de siéger parmi les membres de ce jury. Vos travaux faisant partie intégrante de mon travail de thèse, j'espère les avoir utilisés et retranscrits de la façon la plus élogieuse possible, gage de mon profond respect aussi bien pour votre patience en clinique que pour la rigueur de vos cours.*

*Malgré un emploi du temps chargé et de nombreuses responsabilités vous êtes parvenu à vous libérer et je vous en suis très reconnaissant.*

**Monsieur le Docteur Alexandre DEMETRIOU**

**Assistant hospitalo-universitaire des CSERD**

*Section réhabilitation orale*

*Département dentisterie restauratrice endodontie*

Docteur en Chirurgie dentaire

Certificat d'Etudes Supérieures d'Odontologie Chirurgicale – Lille

*Je vous remercie d'avoir accepté de siéger parmi les membres de ce jury et d'avoir pu vous libérer malgré un emploi du temps chargé et de nombreuses responsabilités*



## **Monsieur le Docteur Thibault BÉCAVIN**

**Maître de conférence des universités – Praticien hospitalier des CSERD**

*Section réhabilitation orale*

*Département dentisterie restauratrice endodontie*

Docteur en Chirurgie Dentaire

Master II Biologie et Santé – Lille 2

Docteur de l'université de Lille

*Docteur Bécavin, vous me faites l'honneur et l'immense plaisir d'être mon directeur  
de thèse.*

*Vous m'avez accordé votre confiance, vous avez su me guider tout au long de ce  
travail et je vous en suis très reconnaissant.*

*J'espère que cette thèse sera à la hauteur de vos espérances.*

*Je dédie cette thèse ...*



## TABLE DES MATIÈRES

<b>1. Introduction</b> .....	<b>13</b>
<b>2. Revue de la littérature</b> .....	<b>15</b>
<b>2.1 Modèles créés par des auteurs</b> .....	<b>15</b>
<b>2.2 Modèles proposés par l'industrie</b> .....	<b>31</b>
<b>2.3 Création de modèles</b> .....	<b>36</b>
<b>3. Matériels et méthodes</b> .....	<b>38</b>
<b>3.1 Acquisition des données grâce au Cone Beam</b> .....	<b>38</b>
<b>3.2 Extraction des données dans 3D Slicer</b> .....	<b>39</b>
<b>3.3 Ajout d'un socle dans TinkerCad</b> .....	<b>41</b>
<b>3.4 Impression 3D</b> .....	<b>43</b>
<b>3.5 Préparation de la cavité d'accès</b> .....	<b>46</b>
<b>3.6 Nouveau protocole d'impression 3D de la dent avec cavité d'accès imparfaite</b> .	<b>49</b>
<b>3.7 Aménagement d'une cavité d'accès adéquate</b> .....	<b>51</b>
<b>3.8 Nouveau protocole d'impression pour la dent avec cavité d'accès adéquate</b> .....	<b>51</b>
<b>3.9 Impression 3D du système pulpaire de la dent sujet</b> .....	<b>53</b>
<b>4. Résultats</b> .....	<b>54</b>
<b>5. Discussion</b> .....	<b>55</b>
<b>5.1 Problèmes et solutions rencontrés</b> .....	<b>55</b>
<b>5.2 Limites de ces modèles pédagogiques</b> .....	<b>57</b>
<b>5.3 Perspectives</b> .....	<b>57</b>
<b>6. Conclusion</b> .....	<b>60</b>

# 1. Introduction

L'endodontie est souvent décrite par les professionnels de la santé bucco-dentaire comme un des actes thérapeutiques les plus complexes à réaliser chez un patient. En effet, plusieurs facteurs entrent en ligne de compte :

- la grande complexité de l'anatomie de certaines dents,
- un plateau technique très important,
- le rapport aux différents tissus vivants, et notamment la pulpe dentaire,
- le fait de devoir travailler en aveugle, contrairement à tous les autres actes thérapeutiques.

Il convient donc d'être en possession d'un savoir autant théorique que pratique pour mener à bien ces traitements. Depuis de nombreuses années, l'enseignement de l'endodontie passe par un apprentissage sur des dents naturelles extraites. L'utilisation de dents naturelles extraites pose cependant plusieurs problèmes :

- l'impossibilité de standardisation de l'enseignement du fait de la grande variabilité anatomique des dents extraites (anatomies particulières, dents immatures, état de délabrement, restaurations éventuelles),
- d'un point de vue légal, l'utilisation de dents naturelles est soumise aux mêmes règles que tout autre organe humain. En effet, en conformité avec le principe d'indisponibilité du corps humain, les lois sur la « bioéthique » du 29 Juillet 1994 ont renforcé cette interdiction en vigueur depuis le 22 Décembre 1976 (loi n°76-1181) : « *Aucun paiement, quelle qu'en soit la forme, ne peut être alloué à celui qui se prête au prélèvement d'éléments de son corps ou à la collecte de ses produits. Seul peut intervenir, le cas échéant, le remboursement des frais engagés selon des modalités fixées par décret en Conseil d'Etat. Le principe est donc l'interdiction de la vente, le corps humain et ses produits étant « hors commerce ».* Tout contrevenant risque sept ans de prison et plus de 100 000 € d'amende. » Les dents naturelles extraites sont ainsi considérées comme des dons d'organes. Toutefois, les organes n'ont

pas tous le même statut, et les dents appartiennent à la classe inférieure avec les ongles, les cheveux et les poils (art. L 665-16 du code de la Santé Publique, décret 95-904 du 4 Août 1995): **le consentement n'est plus obligatoire** ([www.legifrance-gouv.fr](http://www.legifrance-gouv.fr)) .

Afin de résoudre ces différents problèmes et de faciliter la compréhension des différentes étapes nécessaires au succès du traitement endodontique, l'utilisation de modèles pédagogiques peut s'avérer être une bonne solution alternative aux dents naturelles extraites.

Il convient de commencer ce travail par une revue de la littérature présentant ce qui a pu, par le passé, être proposé en terme de modèles pédagogiques à visée endodontique.

Un traitement endodontique commençant toujours par une bonne cavité d'accès, il a été décidé de réaliser des modèles d'étude montrant les étapes de réalisation d'une bonne cavité d'accès grâce à la technologie d'impression 3D.

Pour finir, une discussion sera menée quant à l'intérêt des modèles pédagogiques dans la pédagogie actuelle et future.

## 2. Revue de la littérature

### 2.1 Modèles créés par des auteurs

A l'heure actuelle, différentes études ont déjà été réalisées pour évaluer l'intérêt de l'utilisation de modèles pédagogiques dans l'apprentissage de l'endodontie.

Dès 1980, Peterson [10] présenta une étude sur l'utilisation d'une dent artificielle en cire pour enseigner les bonnes méthodes quant à l'aménagement d'une bonne cavité d'accès endodontique. En effet, selon lui, la grande variabilité des dents extraites et sur lesquelles les étudiants apprennent ne permettait pas une standardisation de l'enseignement. Il décida donc de créer un modèle unique d'une dent, afin de dispenser un apprentissage s'appuyant sur les mêmes bases pour chacun de ses étudiants. Il créa ainsi une dent avec un système pulpaire convaincant mais se heurta à un problème pour reproduire fidèlement l'aspect et la dureté de l'émail et de la dentine : la pierre blanche mélangée à un durcisseur de gypse, utilisée comme matériau pour son modèle, ne permettant pas d'imiter correctement les textures minérales d'une dent (Figure 1).

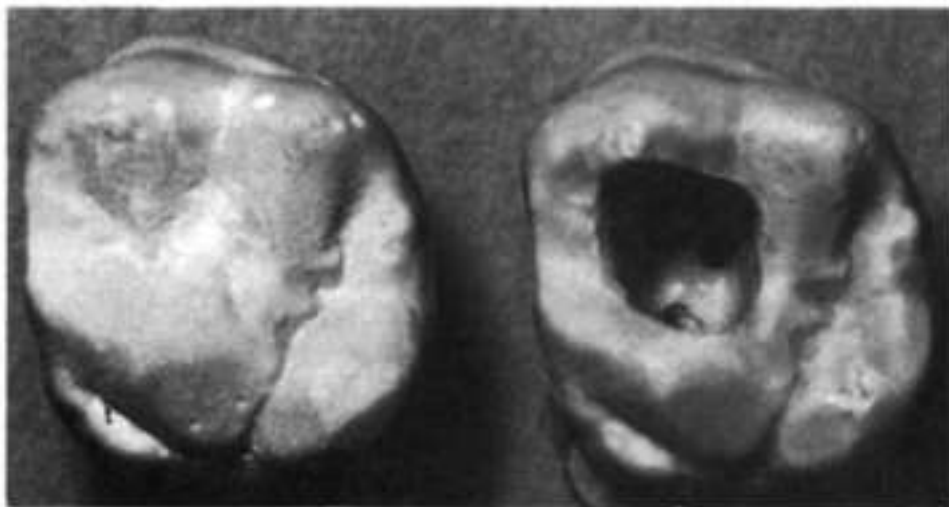


Figure 1 : A gauche : Vue occlusale : dent en pierre blanche sans préparation d'accès. A droite : dent en pierre blanche avec préparation d'accès illustrant les orifices à l'intérieur de la chambre pulpaire du canal radiculaire. [10]

Jackson et Tidmarsh [5] tentèrent également en 1993 de créer un modèle artificiel d'une dent doté de tissus durs et mous réalistes, le tout soutenu par un système imitant l'os alvéolaire (Figure 2). Le modèle eu pour vocation de servir à simuler des interventions endodontiques chirurgicales.

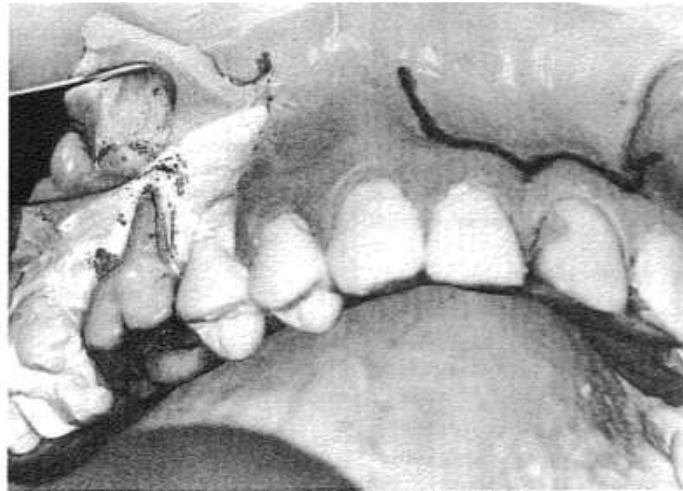


Figure 2 : Illustration du modèle sur lequel est réalisé un lambeau d'accès pour visualiser la racine mésio-vestibulaire d'une première molaire maxillaire droite [5]

Kahn en 1983 [7] créa un modèle permettant de travailler sur des dents naturelles extraites, mais en les sécurisant et en permettant de prendre des clichés radiographiques précis (Figure 3).





Figure 3 : Vue occlusale d'Endo-Dentec ® sur lequel une incisive centrale, une prémolaire et d'une première molaire ont été mis en place. Les rainures sur la zone palatine du modèle servent à recevoir des films radio et à les positionner selon le bon angle. [7]

En 1991, Dummer et coll. proposèrent un modèle simulant les canaux des racines [2]. Créés en utilisant des cônes d'argent précourbés avant enrobage de résine époxy translucides, les canaux furent logés dans des blocs de résine.

L'ensemble ne représenta pas fidèlement la forme d'une dent mais leur modèle eut d'abord pour vocation à servir dans la recherche. Ces blocs offraient l'avantage d'être facilement accessibles et pouvaient chacun contenir un canal, celui-ci permettant de visualiser l'action d'instruments endodontiques au sein d'un canal (Figure 4).

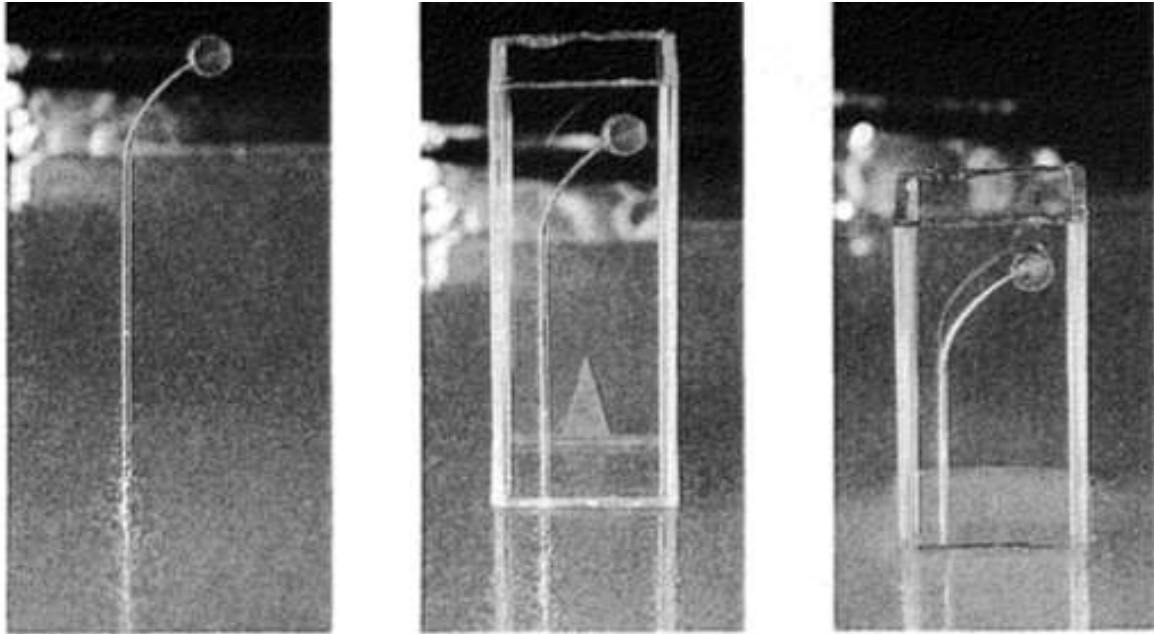


Figure 4 : modèles proposés par Dummer et Al [2]

Sauveur et Boucher [14] proposèrent en 1998 leurs propres modèles créés à but d'enseignement. Issu d'un moulage d'un crâne humain naturel, leur modèle reproduisait un certain nombre d'éléments anatomiques tels que la gencive, le sinus maxillaire ou le canal mandibulaire. La structure en résine de polyuréthane contenant des particules minérales permettait de reproduire de façon réaliste les tissus de soutien comme l'os alvéolaire ou cortical (Figure 5 et Figure 6 ).

Leurs modèles permettaient de reproduire fidèlement la structure de soutien maxillaire et mandibulaire, ceci afin de simuler les différentes étapes de la réalisation d'une chirurgie endodontique, de l'élévation du lambeau, jusqu'au curetage d'une lésion apicale (simulée par une boule de cire placée à l'apex d'une dent artificielle ou naturelle) tout en tenant compte des structures anatomiques environnantes (sinus maxillaire, canal mandibulaire).

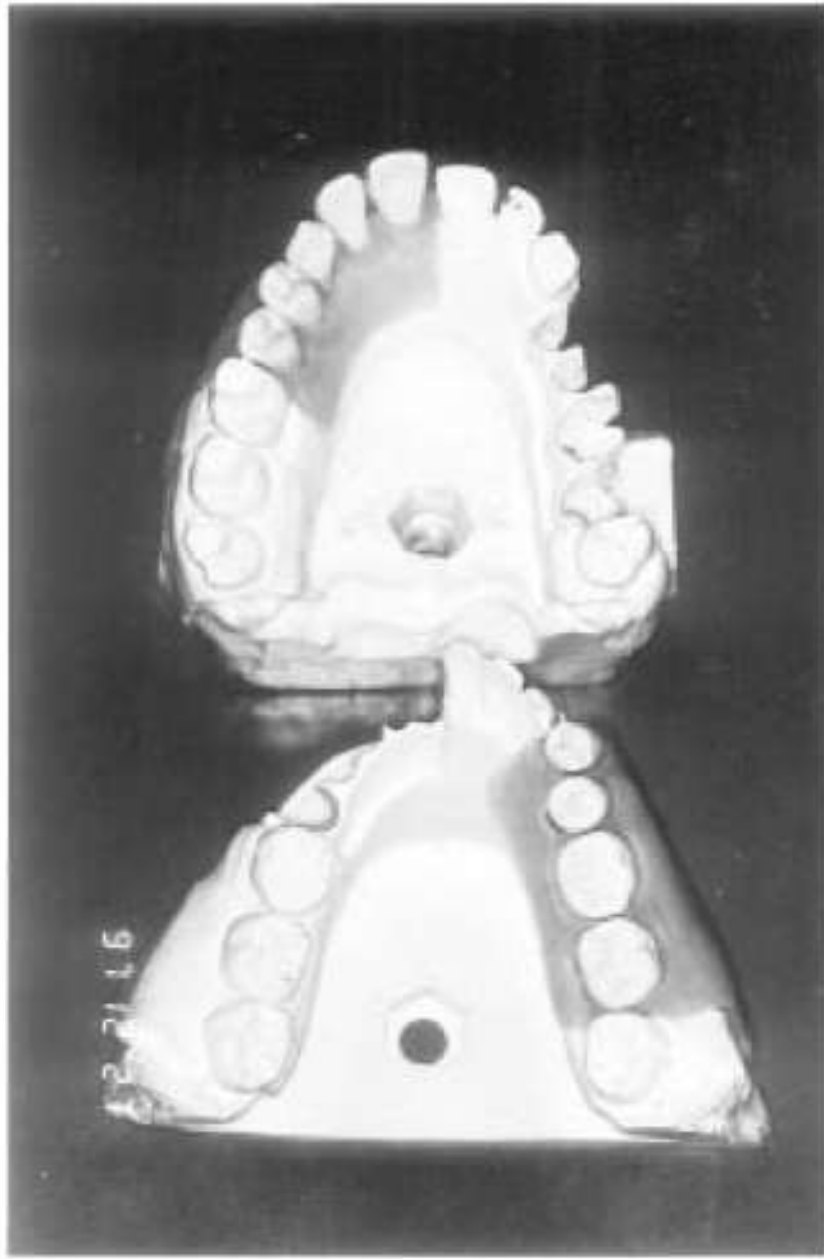


Figure 5 : modèles proposés par Sauveur et Boucher [14]

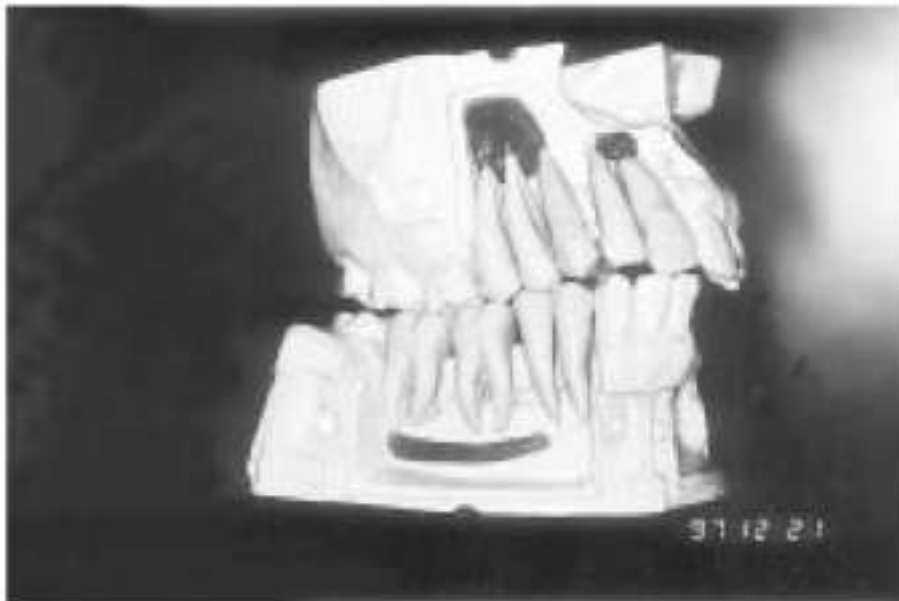


Figure 6 : modèles proposés par Sauveur et Boucher [14]

L'idée d'enseigner l'endodontie grâce à un modèle de dents rendues transparentes fut proposée par Hasselgren et Tronstad en 1975 [4] (Figure 7). Les dents furent ainsi plongées dans un mélange d'acide citrique ou formique, de xylène et de salicylate de méthyle. Rendre les dents transparentes semble en effet une idée très séduisante notamment à des fins de démonstration.

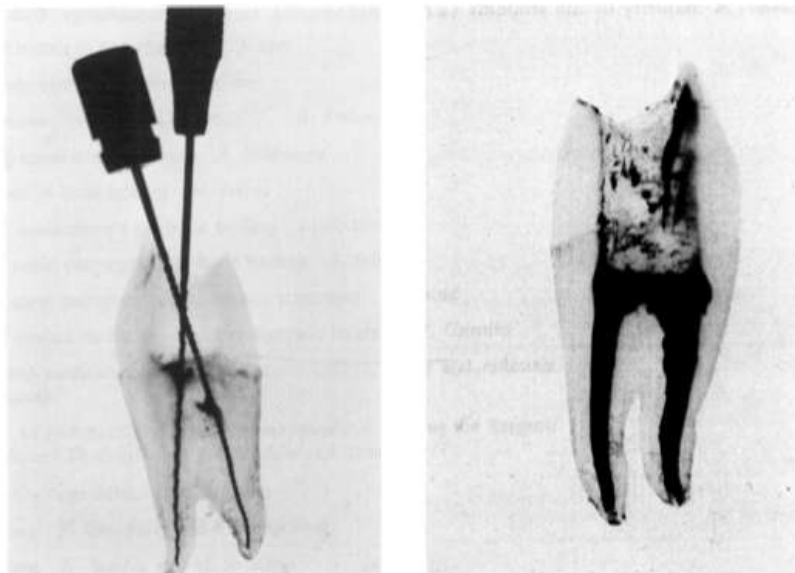


Figure 7 : Gauche : Dent transparente avec limes dans les canaux, Droite : Dent transparente obturée à la gutta-percha [4]

Par la suite, Gupta et coll. reprirent le principe décrit par Hasselgren et Tronstad obtenant ainsi différents résultats (Figure 8, 9, 10 et 11). Ils proposèrent également d'utiliser de l'acide formique ou citrique pour déminéraliser les dents [3].

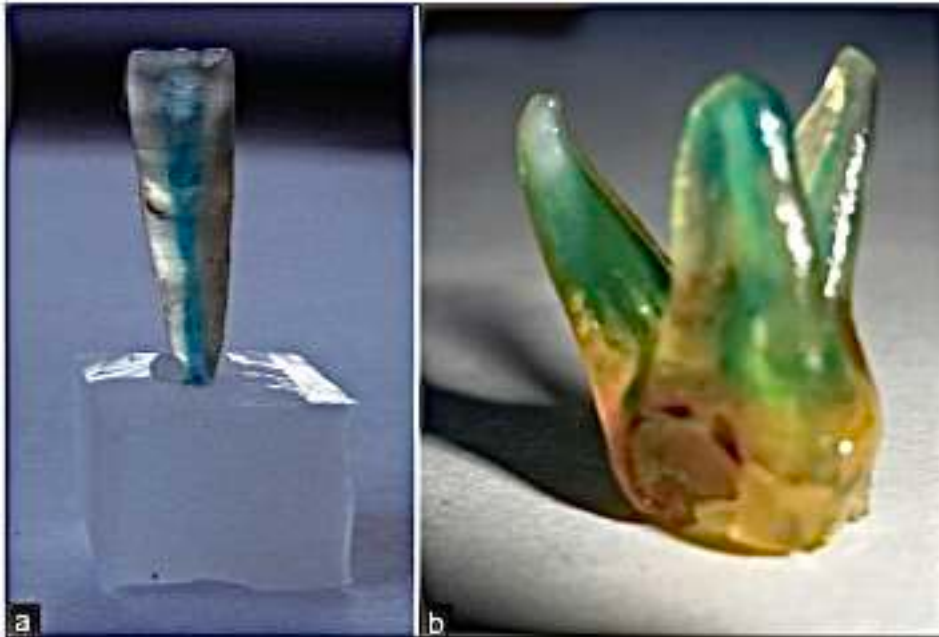


Figure 8 : (a) incisive mandibulaire déminéralisée par acide citrique puis nettoyée au salicylate de méthyle, (b) molaire maxillaire déminéralisée par acide citrique puis nettoyée au salicylate de méthyle [3].



Figure 9 : incisive mandibulaire déminéralisée par acide citrique puis nettoyée par de l'eugénol [3].

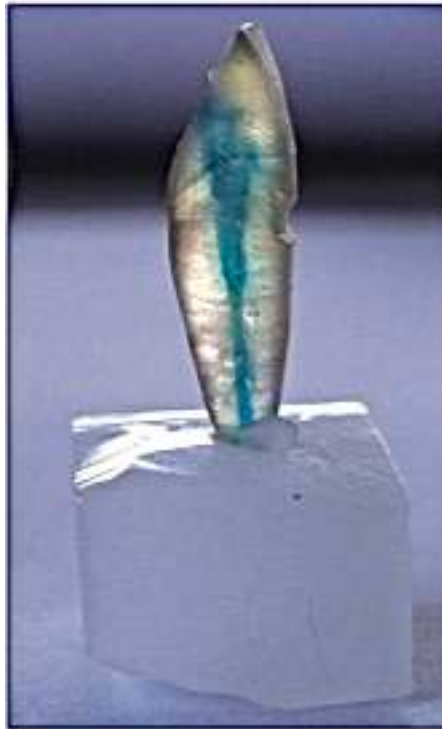


Figure 10 : incisive mandibulaire déminéralisée par acide formique, puis nettoyée au salicylate de méthyle [3].

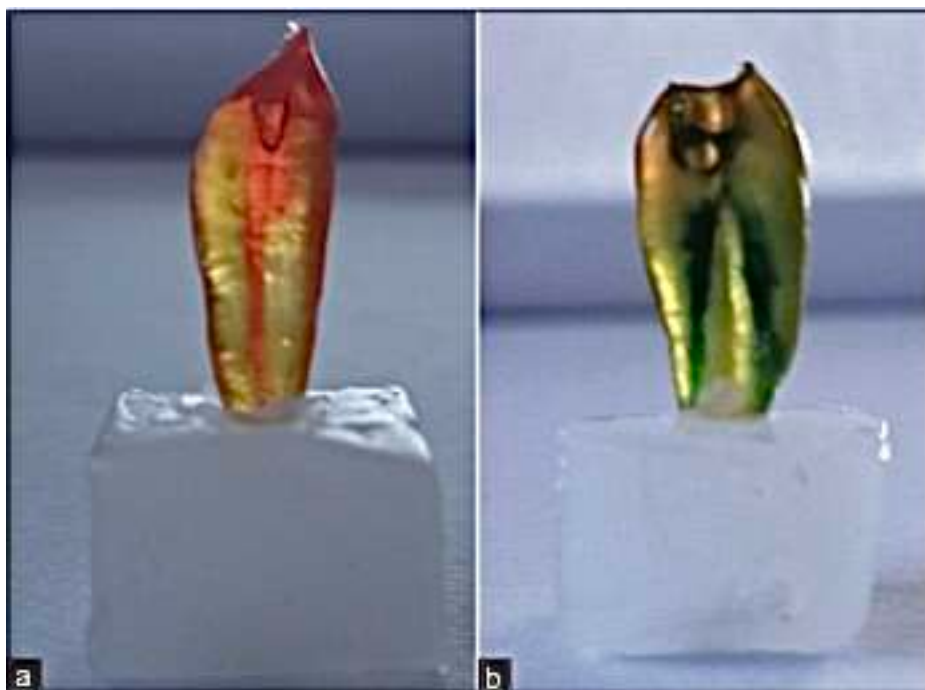


Figure 11 : (a) incisive mandibulaire déminéralisée à l'acide formique et nettoyée à l'eugéno, (b) prémolaire maxillaire déminéralisée à l'acide formique et nettoyée à l'eugéno [3].

Dans l'étude qu'ils menèrent par la suite, les étudiants déclarèrent que l'utilisation de ces dents préparées avait facilité leur apprentissage des techniques endodontiques.

Ce protocole d'enseignement fut repris en 1979 par Pinsky et Tilk [11] qui réalisèrent une étude sur les avantages et les inconvénients offerts par l'utilisation de ces dents rendues transparentes. Ils notèrent que ces dents permettaient de mieux comprendre l'anatomie intra-canaulaire et apicale, de mieux visualiser le résultat d'une obturation en 3 dimensions, et l'action des différents instruments. Cependant, la préparation des dents permettant de les rendre transparentes rendait également la dentine plus molle que d'ordinaire et la dent plus cassante. Il y avait donc pertes d'informations essentielles comme la sensation tactile, très importante en endodontie.

En 2005, Nassri présenta un modèle de dent artificielle réalisée en résine opaque et translucide permettant de reproduire fidèlement une dent [9]. Plusieurs modèles de dents artificielles furent alors produits par la société Fabrica de Sorrisos, basée au Brésil (Figure 12 et 13) .



Figure 12 : lot de dents artificielles produites par la société Fabrica de Sorrisos (image issue de [fabricadesorrisosdentes.com](http://fabricadesorrisosdentes.com))



Figure 13 : molaire maxillaire transparente artificielle produite par la société Fabrica de Sorrisos ( image issue de fabricadesorrisosdentes.com)

Si la qualité des dents artificielles sembla satisfaisante, certains points étaient, selon eux, améliorables, à commencer par le contenu de la chambre pulpaire et du canal radiculaire qui présentait un niveau de viscosité différent de celui du tissu pulpaire, ce qui rendait difficile son élimination. La visualisation de l'image radiographique présentait un contraste faible, bien que les tissus durs et mous étaient clairement reconnaissables. La difficulté principale était la dureté de la résine, qui ne reproduisait pas correctement la dureté de la dentine, donnant l'impression fautive qu'il n'y avait pas vraiment de résistance pour accéder au tissu pulpaire d'une dent naturelle.

En 2017, Robberecht et coll. purent comparer des modèles pédagogiques en céramique à un simulateur de canal radiculaire réalisé en hydroxyapatite afin de reproduire de la façon la plus fidèle possible la dureté de la dentine naturelle. L'hydroxyapatite utilisée permettait également de réaliser des clichés radiographiques fidèles à la réalité clinique (Figure 14 et 15).



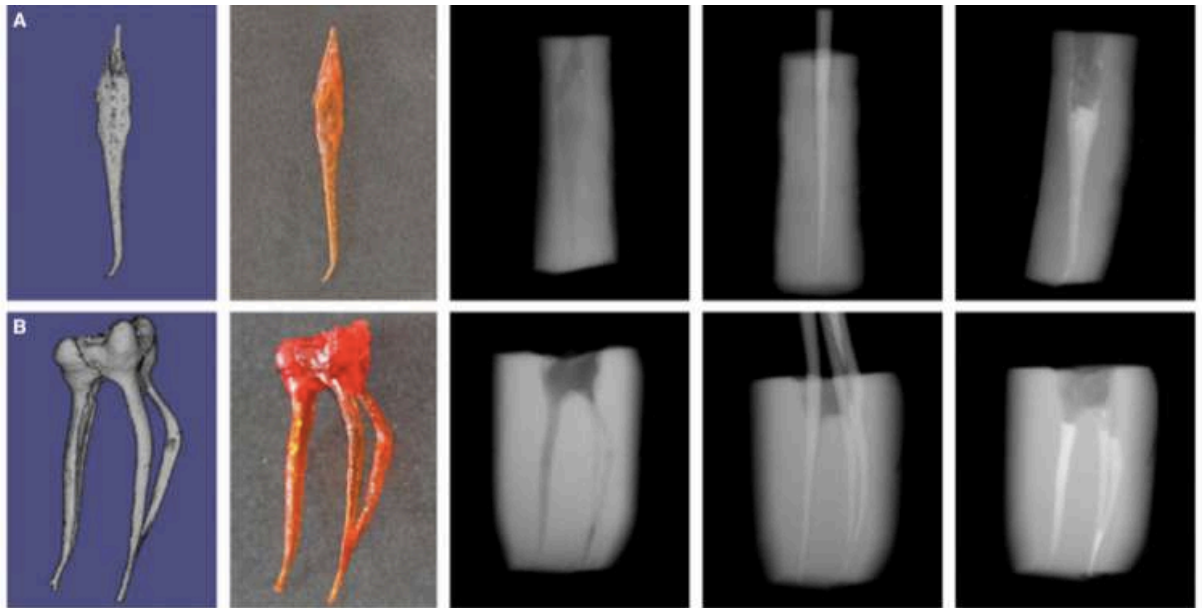


Figure 14 : Conception, fabrication et utilisation de simulateurs canaux en hydroxyapatite. Morphologie simple (A) et complexe (B). De gauche à droite: image micro-CT reconstruite d'un volume pulpaire, moule en 3D imprimé d'un volume pulpaire, radiographie préopératoire d'un simulateur de canal radiculaire, radiographie d'un cône principal en gutta-percha dans le simulateur de canal et une radiographie d'un simulateur de canal radiculaire bien rempli [12]

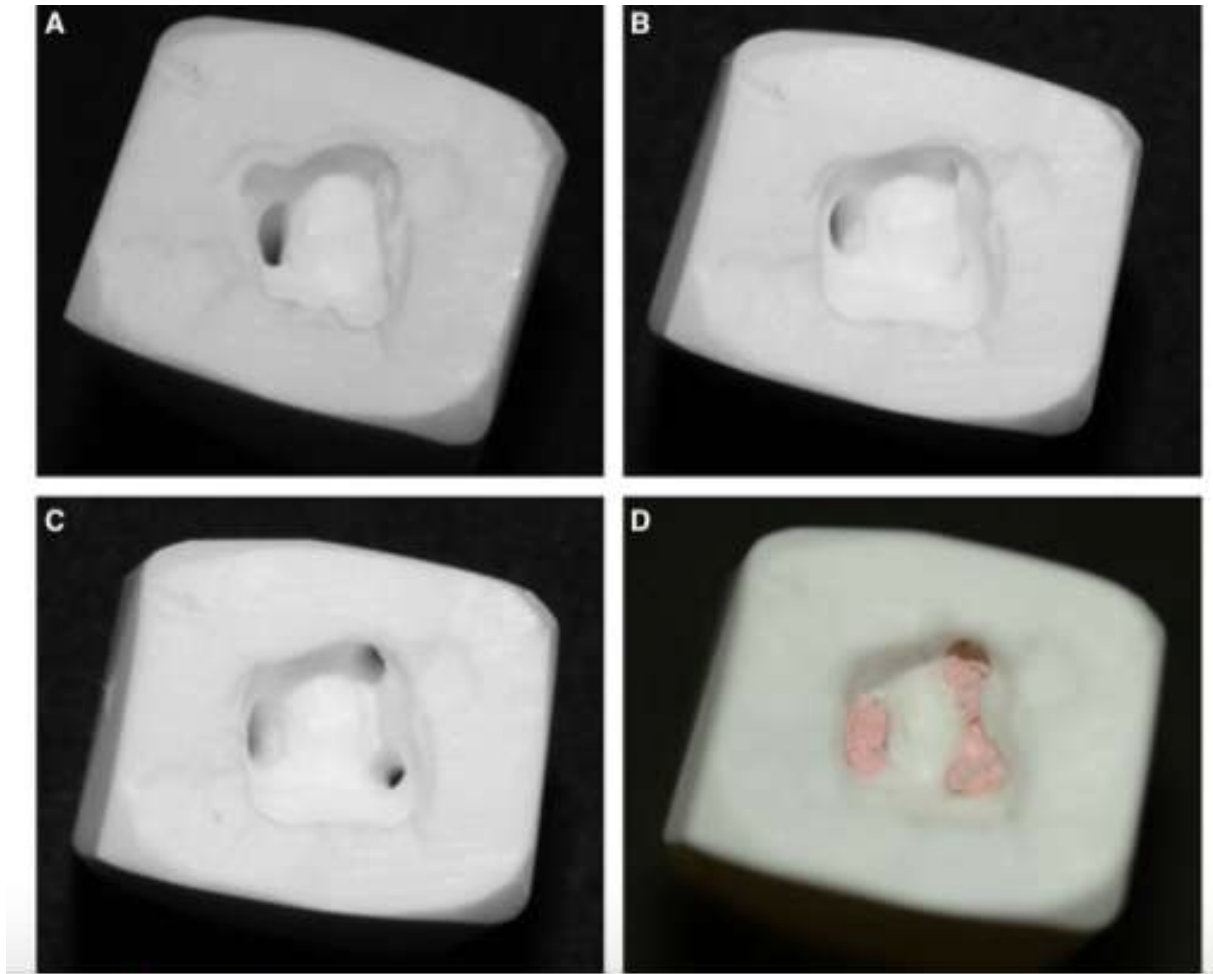


Figure 15 : Traitement endodontique d'un simulateur canalaire complexe (molaire mandibulaire). (A) vue préopératoire, (B) retrait du toit de la chambre pulpaire, (C) des entrées de canal et de l'isthme mésial réaménagé, (D) obturation avec compactage à chaud de la gutta-percha et scellement **[12]**

Bien que la méthode de fabrication soit complexe, Robberecht et coll. n'exclut pas qu'une fabrication industrielle soit possible. Cependant, si le système canalaire était ainsi fidèlement reproduit, l'anatomie externe, elle, n'était pas représentée dans ces modèles pédagogiques.

Une étude comparative a par la suite été menée auprès des étudiants [13] pour comparer ces modèles en hydroxyapatite avec des modèles commerciaux en plastique, puis en céramique (Figure 16).

Les résultats obtenus (Figure 16) ne permettaient cependant pas de mettre en évidence des différences significatives entre les modèles en céramique infiltrée par de la résine CR et les modèles en céramique pure. Il semble que de plus grands échantillons auraient été nécessaires pour mettre en évidence des différences significatives entre les modèles.

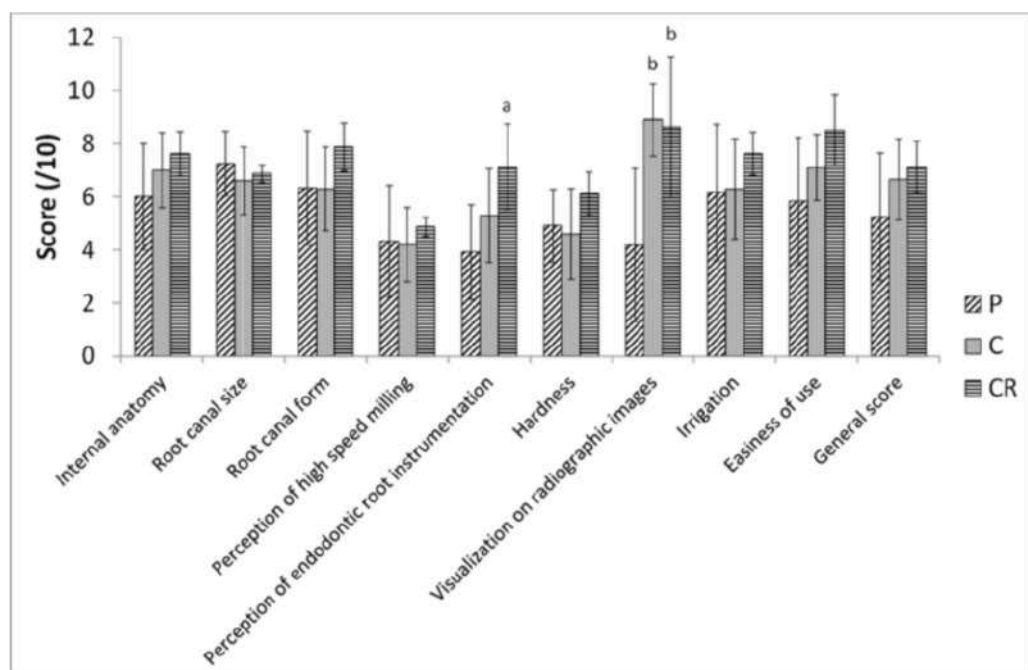


Figure 16 : Scores moyens et écarts-types des réponses au questionnaire suite aux traitements endodontiques des modèles en bloc plastique (P), en céramique (C) et en céramique infiltrée par de la résine (CR) [13]

D'autres modèles pédagogiques eurent vocation à mieux appréhender la préparation canalaire. Ainsi, Luz et coll. [8] menèrent une étude en 2015 pour comparer la réalisation de traitements endodontiques sur des dents naturelles, sur des dents artificielles, et enfin sur des simulateurs de canaux artificiels dans des blocs de résine transparente. L'étude, réalisée auprès d'endodontistes spécialisés et d'étudiants en cinquième année ne permit cependant pas de mettre en évidence un intérêt significatif des modèles endodontiques ou des simulateurs de canaux

artificiels par rapport aux dents naturelles dans l'apprentissage des techniques de préparation canalaire.

D'autres modèles pédagogiques, comme ceux proposés par Wolgin et coll. furent développés pour mieux comprendre et utiliser les localisateurs d'apex. En effet, si leur utilisation en pratique prenait de plus en plus de place dans les cabinets dentaires, il apparaissait que les étudiants n'étaient pas familiers avec l'utilisation de localisateurs d'apex lors de leur arrivée en clinique. Wolgin décida donc en 2015 de développer des modèles pour faire du localisateur d'apex un instrument faisant partie intégrante du plateau technique endodontique dès la phase d'apprentissage chez les étudiants (Figure 17) **[18]** .

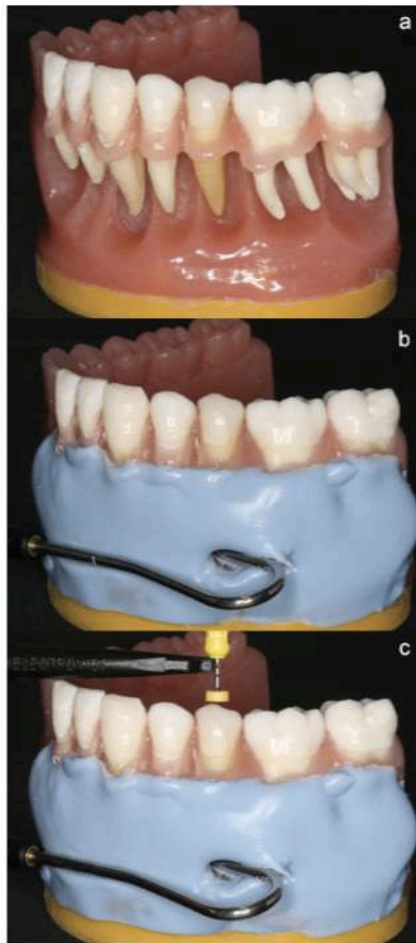


Figure 17 : De haut en bas [18]:

- modèle de Wolgin pourvu de dents naturelles extraites,
- préparation pour la mesure électronique en utilisant de l'alginate comme conducteur,
- mesure de la longueur électronique de travail.

Tchorz et coll. [17] cherchèrent également à mettre en évidence l'intérêt de l'utilisation de modèles pédagogiques associés à l'emploi de localisateurs d'apex dans l'apprentissage de l'endodontie.

Ils créèrent un modèle permettant de verrouiller sur une arcade en cire n'importe quelle dent artificielle et recouvrirent ensuite les racines d'oxyde de bismuth afin de permettre d'avoir une radio-opacité satisfaisante pour visualiser les dents à la radiographie (Figures 19 et 20).

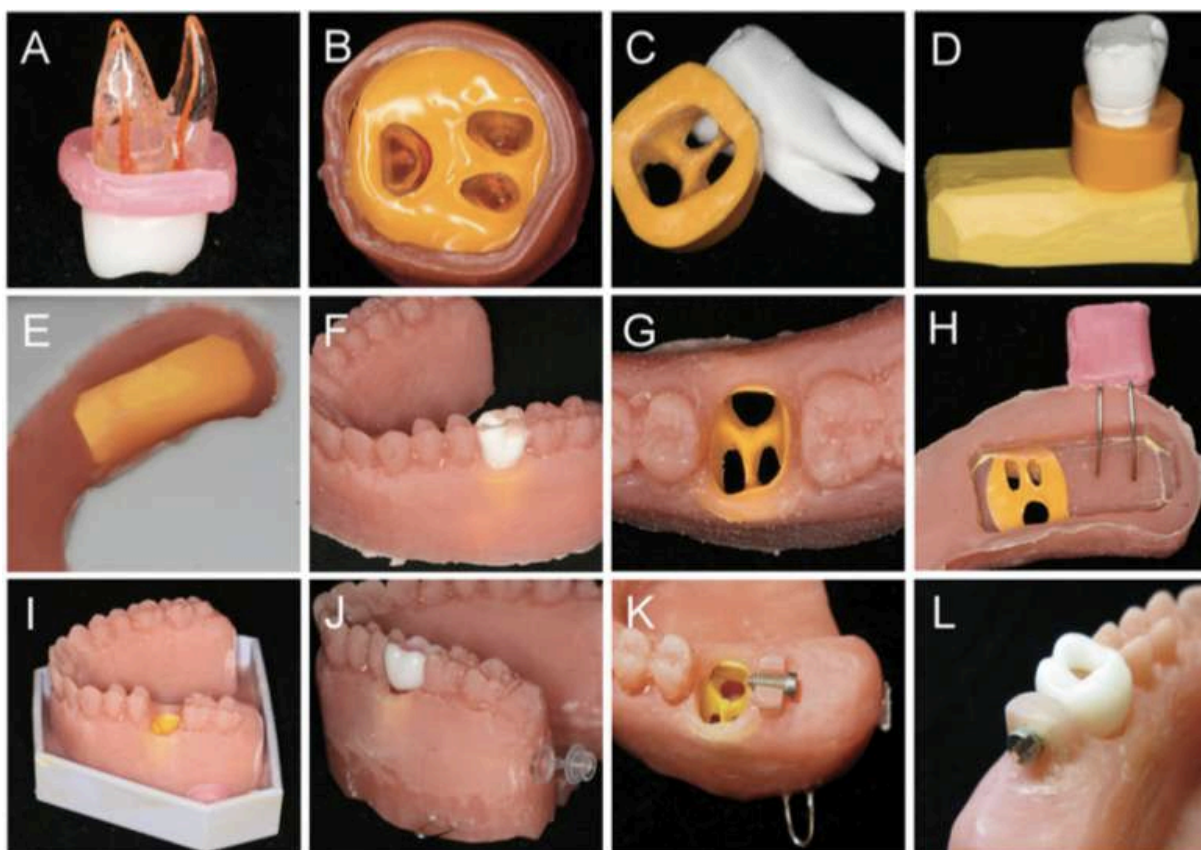


Figure 18 : Méthode de réalisation des modèles de Tchorz et coll. [17]: A : coffrage à la cire d'une dent artificielle VDW pour créer un moule de coulée ; B : le montage est ensuite réalisé en injectant un silicone fluide dans le moule en laissant les apex découverts ; C : coulée du modèle de dent artificielle en plâtre D : utilisation d'un mastic d'impression pour enregistrer les apex dentaires et préfigurer un espace cavitaire au sein du modèle de l'arcade ; E : coulée de l'arcade autour du mastic d'impression ; F : retrait de la dent en plâtre ; G : ajustement jusqu'à ce que la dent artificielle puisse être facilement insérée ; H : mise en place de fils d'acier se positionnant dans la cavité préfigurée par le mastic d'impression ; I : le modèle est placé dans un moule permettant la création d'une base en le remplissant de résine ; J : insertion d'un tube en plastique à l'extrémité distale de l'arc, servant de valve pour l'enceinte ; K : un boulon a été intégré derrière la dent pour servir dans le maintien de la dent artificielle

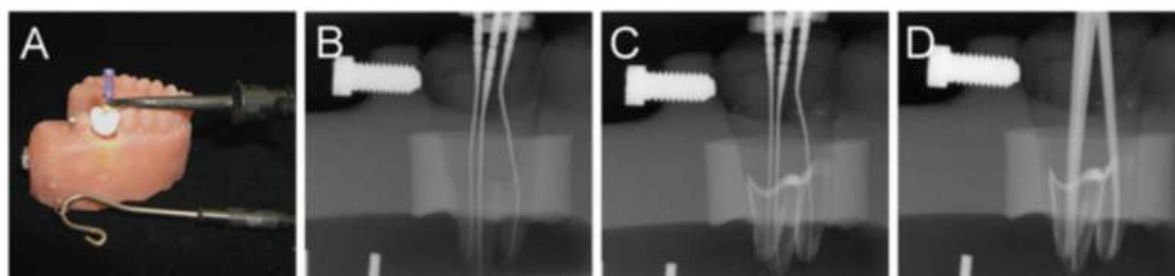


Figure 19 : Appréciation de la radio-opacité [14]: A : positionnement d'une lime et d'un localisateur d'apex au sein du modèle créé ; B : Analyse critique de la radio-opacité initiale (la visualisation des racines est alors jugée peu appréciable) ; C : pour remédier à ce problème de visualisation, un mélange d'oxyde de bismuth et d'un adhésif dentaire est appliqué sur les racines ( le résultat n'est encore une fois pas réellement probant) ; D : radiographie cône en place

Par la suite, ils réussirent, lors d'une étude [15], à montrer que les résultats des traitements endodontiques étaient bien plus satisfaisants lorsqu'étaient utilisés des localisateurs d'apex et des modèles pédagogiques comparativement à l'apprentissage classique de l'endodontie utilisant simplement des dents extraites et des radiographies.

## ***2.2 Modèles proposés par l'industrie***

D'autres modèles virent le jour, comme le modèle TrueTooth™, créé par le Dental Engineering Laboratories, qui utilisa la technologie de l'impression 3D pour le fabriquer. L'entreprise proposa à la vente des modèles en résine de chacune des différentes dents, et également plusieurs variantes anatomiques pour certaines dents (les molaires notamment) (Figure 20).



Figure 20 : modèle TrueTooth™ d'une molaire maxillaire (image issue de [www.delendo.com](http://www.delendo.com))

Il existe aujourd'hui une multitude de modèles d'apprentissage de l'endodontie dans le commerce, chacun avec leur particularité :

- VDW avec l'Endo Training Model Castillo® (Figure 21). Celui-ci propose un modèle pouvant accueillir une dent d'entraînement ainsi qu'un simulateur de canal radiculaire, tout en permettant d'utiliser un localisateur d'apex pour effectuer le traitement endodontique.

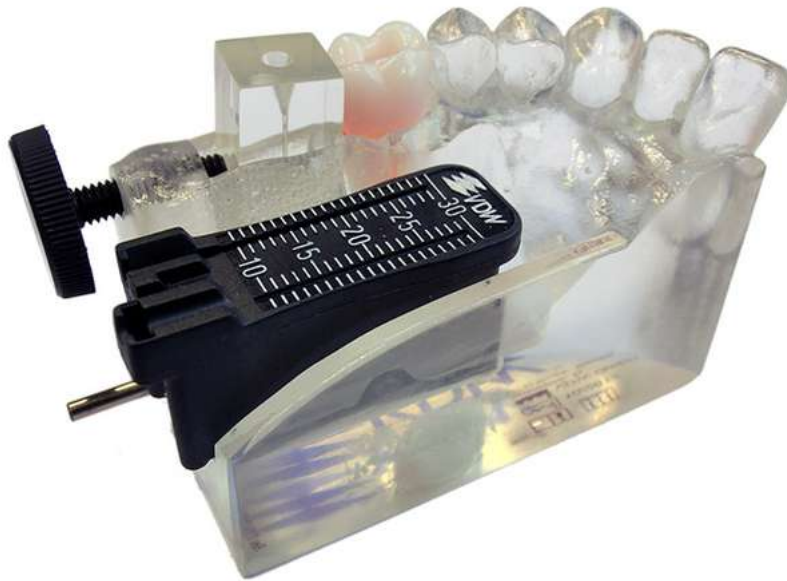


Figure 21 : Maquette en plastique d'une mâchoire supérieure (11-17) : Position dent 16: Dent d'entraînement Endo à 4 canaux radiculaires (3 canaux colorés pour une meilleure localisation et contrôle du traitement, pulpe MV2 non colorée pour un apprentissage efficace), chambre pulpaire accessible ; Position dent 17: Bloc d'entraînement en plastique ; La dent de formation Endo et le bloc de formation en plastique peuvent être commandés à nouveau ; Fixation pour la détermination électronique de la longueur Jauge de mesure intégrée Minifix ( *Image issue du site [www.vdw-dental.com](http://www.vdw-dental.com)* )

- Acidental propose des modèles Real-T Endo® qui présentent :
  - un support reproduisant un secteur d'une arcade dentaire (Figure 22)





Figure 22 : support artificiel (image issue de [www.acadental.com](http://www.acadental.com))

- une multitude de dents artificielles dont la zone coronaire est opaque, reproduisant les conditions du réel, et la zone radiculaire translucide, ceci permettant de mieux visualiser l'action des instruments endodontiques. Chacune des dents est amovible et toutes sont radio-opaques (Figure 2 )



Figure 23 : dent de chez Acadental (image issue de [www.acadental.com](http://www.acadental.com))

Tchorz se lanca en 2015 dans une étude pour savoir si ces modèles de chez Acadental pouvaient remplacer l'apprentissage sur dents naturelles extraites. A l'issue de cette étude, il conclut que ces modèles n'apportaient que des aspects positifs pour l'apprentissage de l'endodontie. Cependant il signala que son étude restait limitée par ses faibles effectifs, ainsi que le nombre de variables importantes inhérentes à la réalisation de cette étude (conditions de conduite de l'étude, matériel utilisé, groupes d'étude)[15].

- Actuellement, Frasco propose également ses propres modèles pour l'apprentissage de l'endodontie. Sont ainsi proposés des modèles artificiels pour mettre en situation la pose d'un ancrage corono radiculaire, ou bien une dent en résine pourvue d'un système canalaire plus ou moins complexe afin de simuler un traitement endodontique. Ces dents artificielles sont soutenues par des modèles de soutien reproduisant une arcade dentaire et peuvent être montées sur un fantôme. L'ensemble peut être radiographié (Figure 24).



Figure 24 : dent avec racines anatomiques de chez Frasco (image issue de [www.frasaco.de](http://www.frasaco.de))

- Dentsply Sirona a développé des blocs de résine transparentes pourvues d'un canal incurvé, permettant de démontrer l'efficacité d'action d'un instrument endodontique au sein d'un canal : Endo training bloc® (Figure 25)



Figure 25 : Endo training block® de chez Dentsply Sirona (image issue de [www.dentsplymaillefer.com](http://www.dentsplymaillefer.com))

- MicroMéga propose la MM.Tooth®, réplique d'une molaire mandibulaire naturelle, imprimée en 3D à partir de la microtomographie à rayons X. Réalisée dans un matériau transparent très proche de la dentine naturelle, elle comporte 3 types de canaux de difficultés différentes et une cavité d'accès préalablement préparée pour réaliser toutes les étapes du traitement endodontique, de l'évasement coronaire à l'obturation (Figure 26).



Figure 26 : MM. Tooth® de chez MicroMega (image issue de [www.micro-mega.com](http://www.micro-mega.com))

- Morita propose des modèles présentant les étapes à suivre lors de plusieurs tableaux cliniques : pulpite, granulome. Ce sont des modèles servant uniquement à la visualisation et pas à la pratique (Figure 27).



Figure 27 : modèles de chez Morita (image issue de [www.jmoritaeurope.de](http://www.jmoritaeurope.de))

Ainsi, plusieurs modèles de dents artificielles ont pu être produits par le passé dans un but pédagogique.

### ***2.3 Création de modèles***

Après réflexion et au vu des différents modèles pédagogiques préexistants, il a été décidé qu'il serait intéressant de créer une succession de modèles pédagogiques permettant aux étudiants en apprentissage de l'endodontie de visualiser les résultats souhaités dans la réalisation d'une cavité d'accès. En effet, au sein des étudiants, il semble que la réalisation d'une cavité d'accès conforme soit un problème récurrent.

L'objectif de la présente étude a été de réaliser un modèle 3D à chaque stade de la préparation d'une cavité d'accès sur une première molaire extraite au cabinet.

Seront ainsi obtenus 3 modèles :

- le premier montrant une dent saine intacte,
- le second montrant une cavité d'accès à la préparation imparfaite et montrant aux étudiants les erreurs à ne pas commettre,
- le dernier montrant une cavité d'accès idéale.

Il sera par la suite ajouté un modèle 3D du système pulpaire de la dent, ceci dans un but de visualisation et de clarification quant à l'anatomie canalaire et des enjeux de préparer une bonne cavité d'accès pour accéder correctement à l'intégralité de ce système pulpaire.

### 3. Matériels et méthodes

#### *3.1 Acquisition des données grâce au Cone Beam*

La dent naturelle est placée au sein d'un bloc de cire reproduisant une arcade. Cette arcade en cire a pour but de faciliter le positionnement lors de la réalisation des étapes d'imagerie (Figure 28).

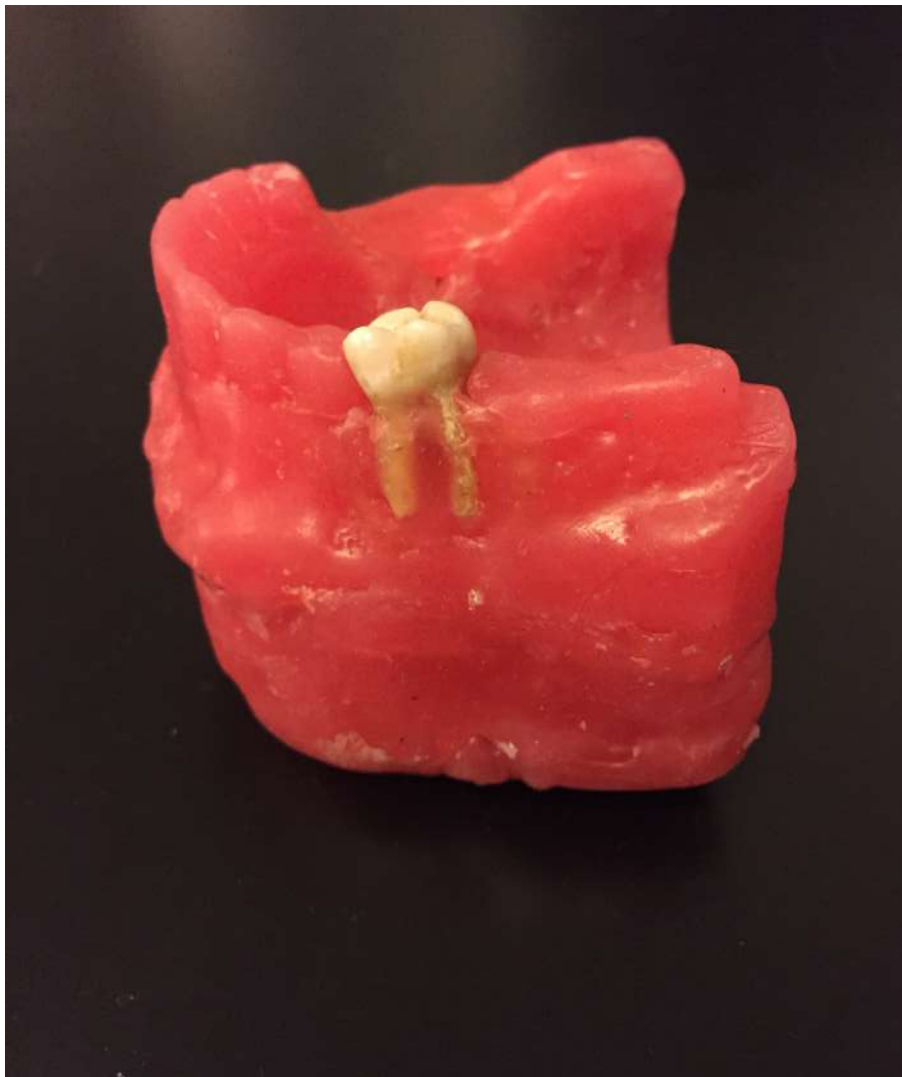


Figure 28 : dent naturelle extraite sur arcade en cire

Plusieurs acquisitions 3D sont réalisées à l'aide d'un cone beam afin d'obtenir les informations nécessaires permettant ensuite de réaliser les maquettes en 3 dimensions de la dent.

Un cone beam Carestream® ainsi qu'un support en cire sont utilisés afin d'obtenir les images de la dent seule.

Les paramètres d'acquisition sont sélectionnés :

- kilovoltage : 84 KV,
- ampérage : 8 mA,
- temps d'exposition : 19,96 secondes.

La résolution des voxels est réglée sur 90  $\mu\text{m}$ , soit une taille d'un voxel = 90  $\mu\text{m}^3$

En outre, aurait pu être utilisée une caméra optique afin de numériser la dent en 3D. Cependant, l'extraction et la manipulation des données étaient plus complexes à maîtriser qu'en utilisant les images 3D d'un cone beam.

La dent est ainsi numérisée et un ensemble de fichier DICOM est créé.

### ***3.2 Extraction des données dans 3D Slicer***

Ces fichiers sont ensuite retravaillés pour isoler la dent grâce à un logiciel de découpe de fichier DICOM : **3D SLICER** édité par la National Alliance for Medical Image Computing (NA-MIC) (Figure 29).

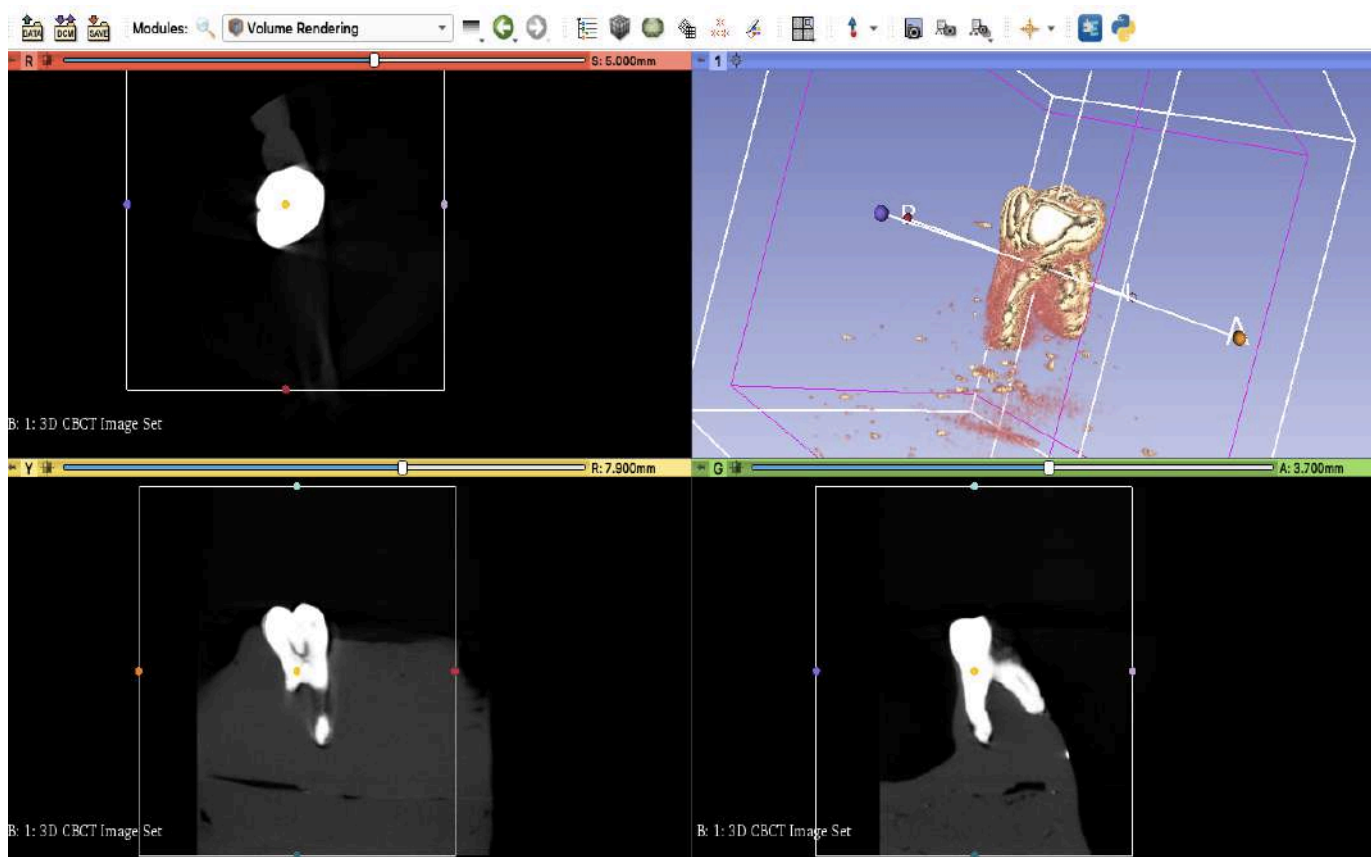


Figure 29 : Travail du fichier 3D pour isoler l'organe dentaire

Un ensemble de données est ainsi obtenu et sauvegardé pour générer un document STL.

Au fichier ainsi numérisé, il est décidé d'adjoindre un support carré pour permettre une bonne impression 3D . En effet, suite à plusieurs échecs d'impression, il est vite apparu que lier les racines de la dent à un socle permettrait une impression 3D plus fiable et plus stable (Figure 30 et 31).

Par ailleurs, la dent étant un sujet d'étude relativement petit, il est décidé d'imprimer les modèles pédagogiques en taille 2, c'est à dire le double de la taille de la dent naturelle.





Figure 30 : échec d'impression



Figure 31 : échec d'impression

### ***3.3 Ajout d'un socle dans TinkerCad***

Le logiciel **TinkerCad** édité par Autodesk est donc utilisé pour adjoindre un socle au fichier STL de la dent et stabiliser l'impression (Figure 32 et 33).

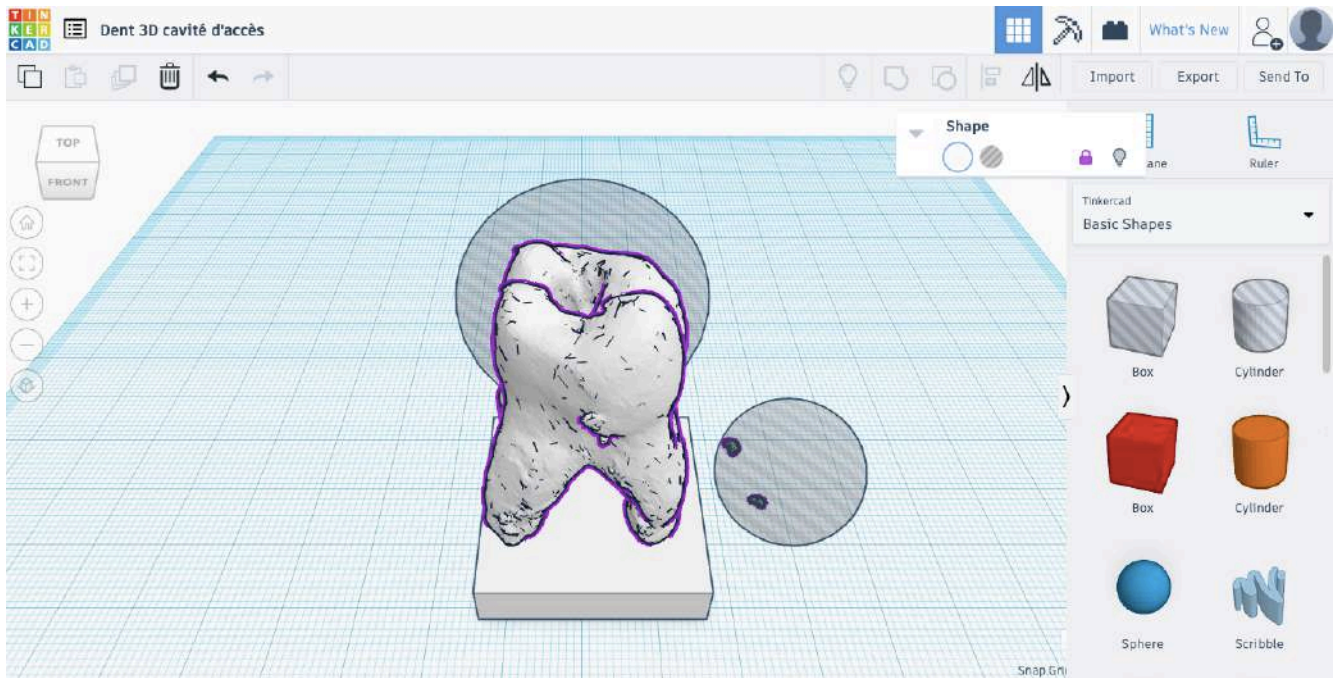


Figure 32 : préparation du fichier STL dans TinkerCad

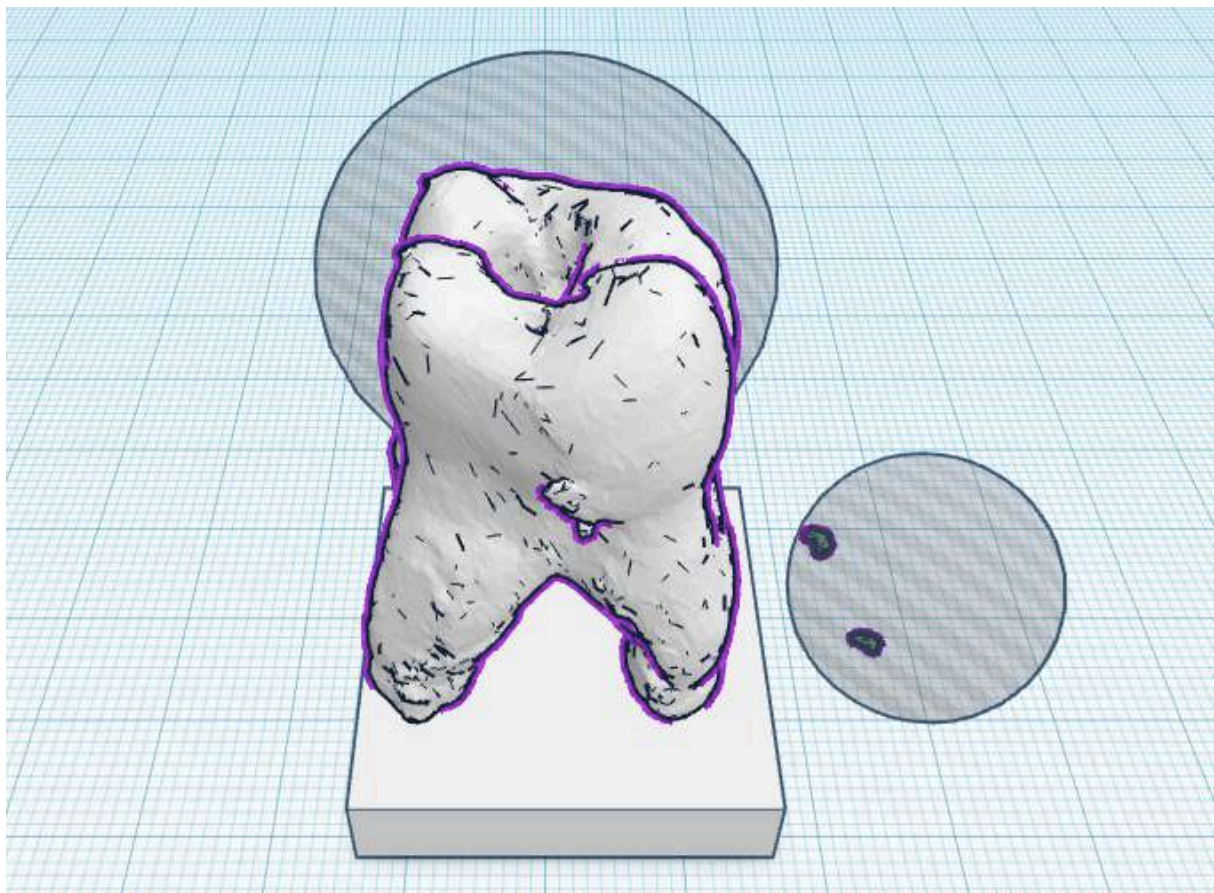


Figure 33 : suppression des éléments parasites dans TinkerCad

### 3.4 Impression 3D

L'impression 3D est ensuite lancée sur imprimante 3D. Deux imprimantes seront utilisées pour comparer les résultats d'impression:

- la Snapmaker 600 (Figure 34)

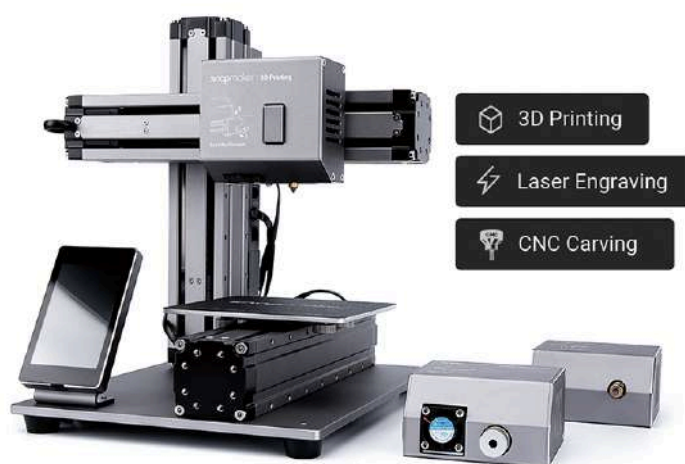


Figure 34 : Snapmaker 600 (image issue du site [www.snapmaker.com](http://www.snapmaker.com))

- la Dagoma Discoeasy 200 (figure 35)

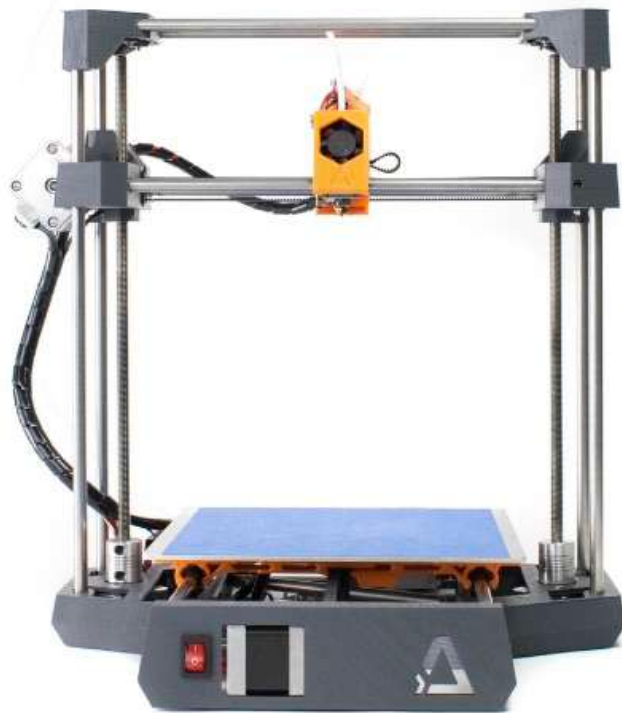


Figure 35 : Dagoma Disco easy200 (image issue de [www.dagoma.fr](http://www.dagoma.fr))

L'impression 3D est réalisée en résine PLA ou acide polylactique. C'est une matière plastique d'origine végétale, utilisant communément de l'amidon de maïs comme matière première. Elle est la principale matière première d'origine naturelle utilisée en impression 3D.

Un modèle en 3D d'une première molaire maxillaire intacte est alors obtenu (Figure 36 et 37). Les résultats d'impression sont par ailleurs meilleurs avec la Dagoma Disco Easy200.



Figure 36 : photographie du modèle 3D vue d'ensemble



Figure 37 : photographie du modèle 3D vue axiale



### 3.5 Préparation de la cavité d'accès

Le début de la préparation endodontique de la dent est ensuite réalisé. Après tracé de la cavité d'accès souhaitée sur la face occlusale de la dent test, la trépanation de la chambre pulpaire est réalisée, ceci afin d'accéder au contenu de la chambre pulpaire.

Pour ce faire, sont utilisés :

- des rotatifs : turbine ou contre angle bague rouge et bague verte
- des fraises : boules diamantées ou carbure de tungstène n°14 (Figure 38), cylindro-conique diamantée, une fraise Endo Z (Maillefer) pourvue d'une extrémité lisse non travaillante (Figure 39)



Figure 38 : fraise boule diamantée n°14 (image issue de [www.dentaltix.com](http://www.dentaltix.com))



Figure 39 : fraise Endo Zekria (image issue de [www.dentaltix.com](http://www.dentaltix.com))

- de l'hypochlorite de sodium à 2,5% afin d'éliminer les tissus biologiques caméraux et radiculaires,

- des instruments de préparation des entrées canalaire : forêts de Gates



Figure 40 : forets de Gates (image issue du site [www.alobodental.ma](http://www.alobodental.ma))

- des limes pour explorer le premiers tiers coronaire des canaux radiculaires



Figure 41 : matériel nécessaire à la préparation d'une cavité d'accès : coffret de fraise, contre-angle multiplicateur et contre angle bague verte, hypochlorite de sodium

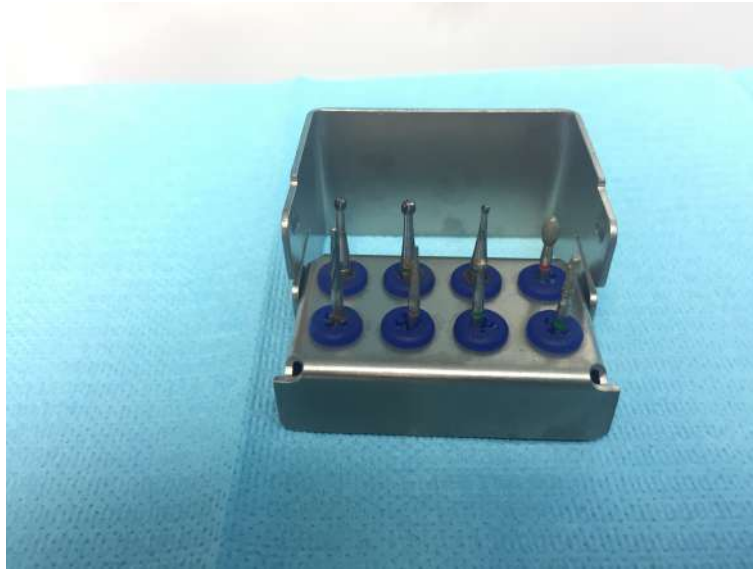


Figure 42 : coffret de fraises utiles à l'éviction carieuse et à la réalisation de la cavité d'accès. De haut en bas, et de gauche à droite : fraises multilames pour contre angle, fraise boule diamantée, fraise endo Zekria, fraise cylindrique diamantée

La cavité d'accès réalisée est volontairement imparfaite, dans le but de bien montrer les erreurs à ne pas commettre lors de la réalisation d'une cavité d'accès .



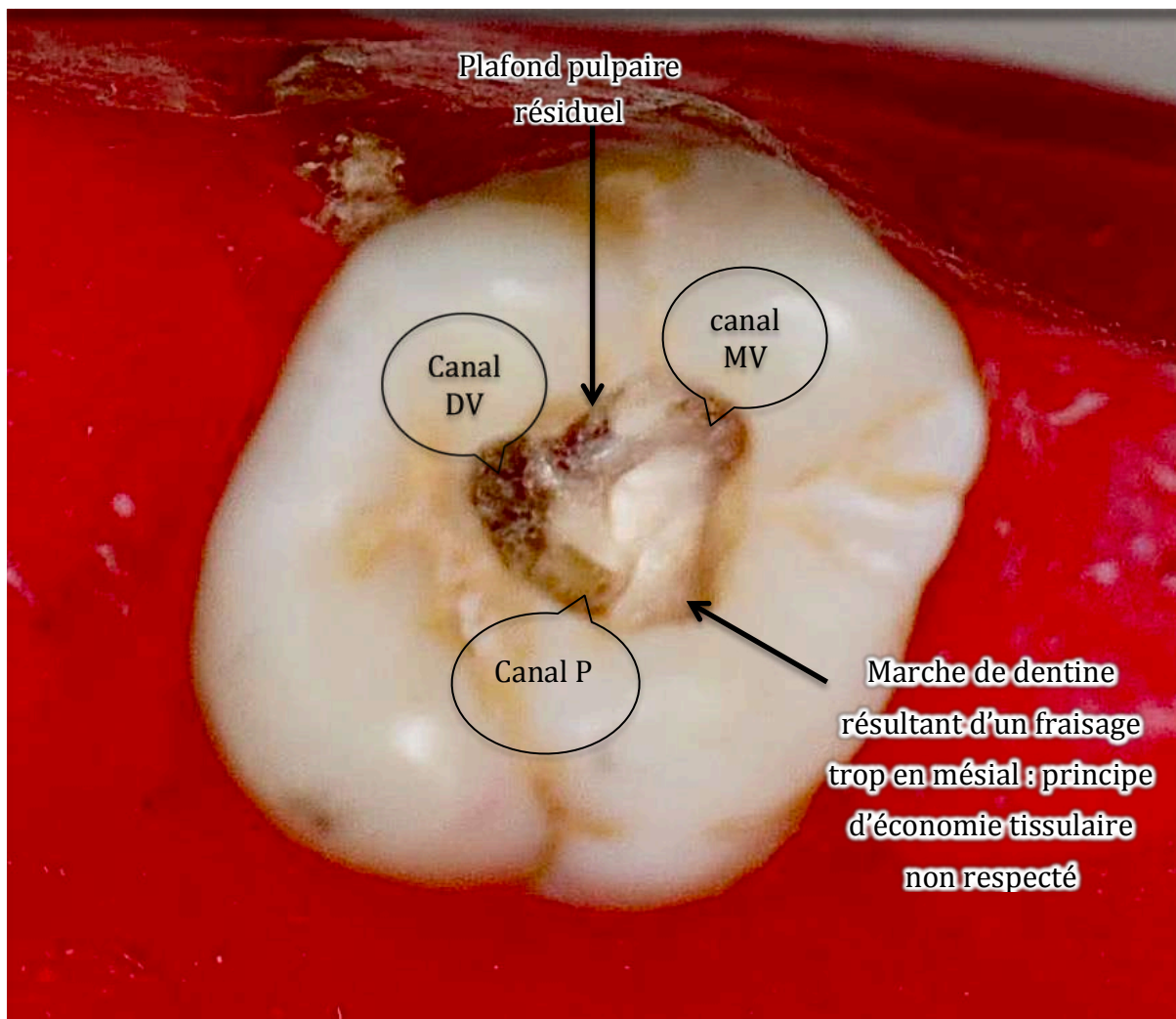


Figure 43 : photographie de la cavité d'accès réalisée

### **3.6 Nouveau protocole d'impression 3D de la dent avec cavité d'accès imparfaite**

Le protocole pour réaliser un modèle 3D est de nouveau réalisé et le modèle avec cavité d'accès imparfaite est imprimé :

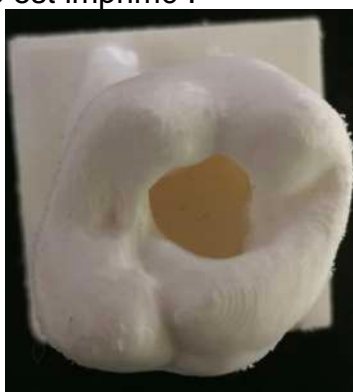


Figure 44 : modèle avec cavité d'accès imparfaite et plancher pulpaire blanc

Le plancher pulpaire ainsi imprimé étant d'un blanc uniforme, le fond de la cavité d'accès est peint de différentes couleurs pour bien montrer les éléments à identifier :

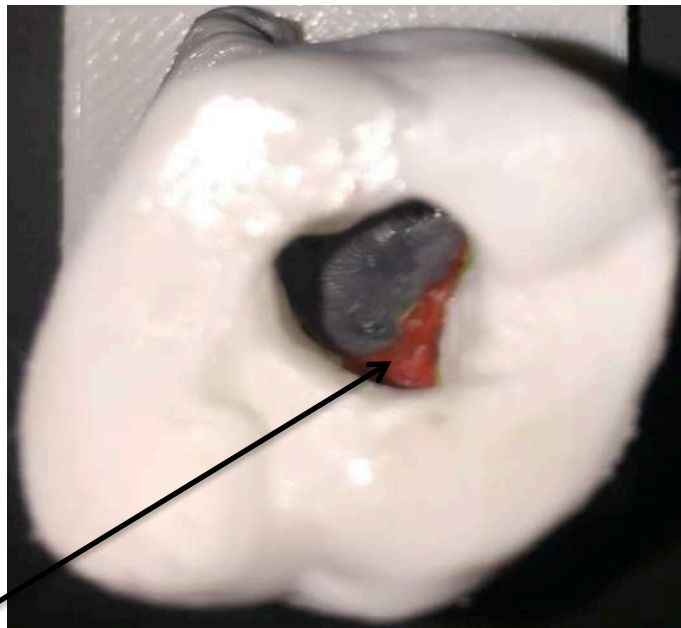


Figure 45 : cavité d'accès peinte et légende

Marche de dentine résultant d'un fraisage trop en mésial : principe d'économie tissulaire non respecté

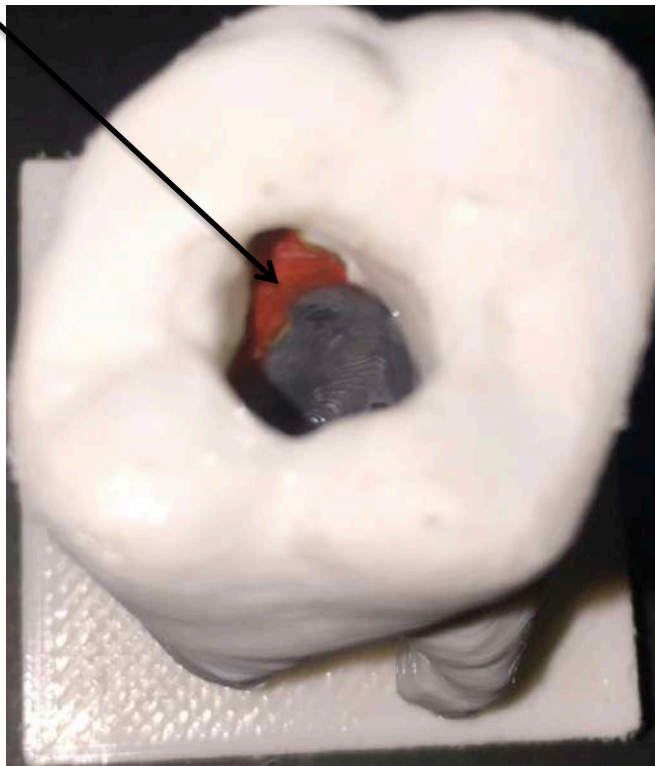


Figure 46 : cavité d'accès peinte et légende

### **3.7 Aménagement d'une cavité d'accès adéquate**

Une cavité d'accès correctement réalisée devra :

- éliminer complètement le plafond de la chambre pulpaire,
- éliminer tout le contenu de la chambre pulpaire, pulpe vivante ou nécrosée,
- permettre de visualiser toutes les entrées canalaires,
- favoriser un accès direct au tiers apical des instruments endodontiques sans interférence avec les parois coronaires,
- former un réservoir étanche pour la solution d'irrigation .

La cavité d'accès est donc travaillée à nouveau de façon à ce que la cavité d'accès créée respecte ces différents points.

### **3.8 Nouveau protocole d'impression pour la dent avec cavité d'accès adéquate**

Une nouvelle acquisition au Carestream 2 est réalisée.

Les données obtenues sont récupérées et après passage dans 3D Slicer, puis dans TinkerCad, un nouveau fichier STL est produit.

La dernière impression est lancée et permet d'obtenir un dernier modèle 3D montrant cette fois-ci une cavité d'accès type sur première molaire maxillaire ( Figure 47 ).

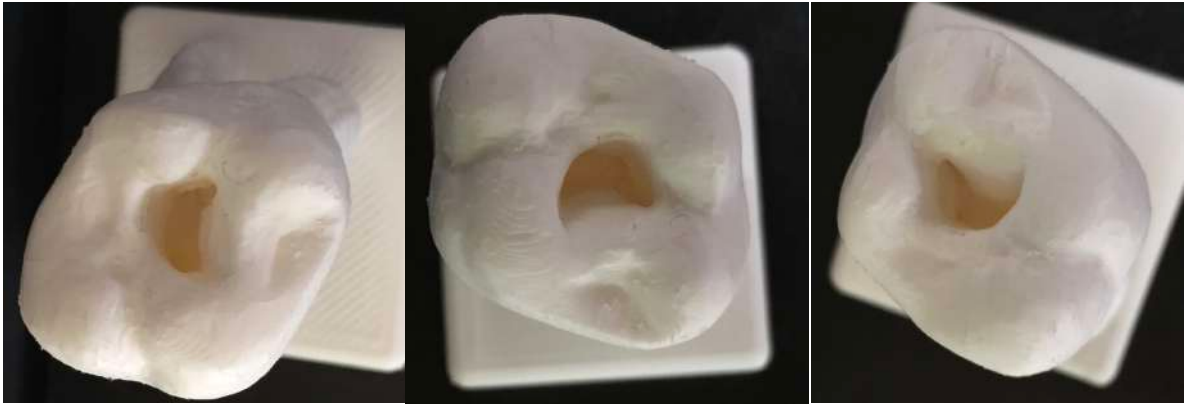


Figure 47 : photographies réalisées après impression 3D du modèle avec cavité d'accès idéale



Figure 48 : modèle 3D avec cavité d'accès idéale

Le fond de la cavité est de nouveau peint afin de mieux visualiser le plancher pulpaire.

### 3.9 Impression 3D du système pulpaire de la dent sujet

Il est décidé d'imprimer un dernier modèle montrant uniquement le système pulpaire. Le fichier 3D de la dent intacte est réutilisé dans le logiciel 3D Slicer en venant cette fois-ci isoler le système pulpaire. Un socle est par la suite adjoint au fichier de la pulpe seule. Enfin, un fichier STL est généré et le modèle est imprimé :

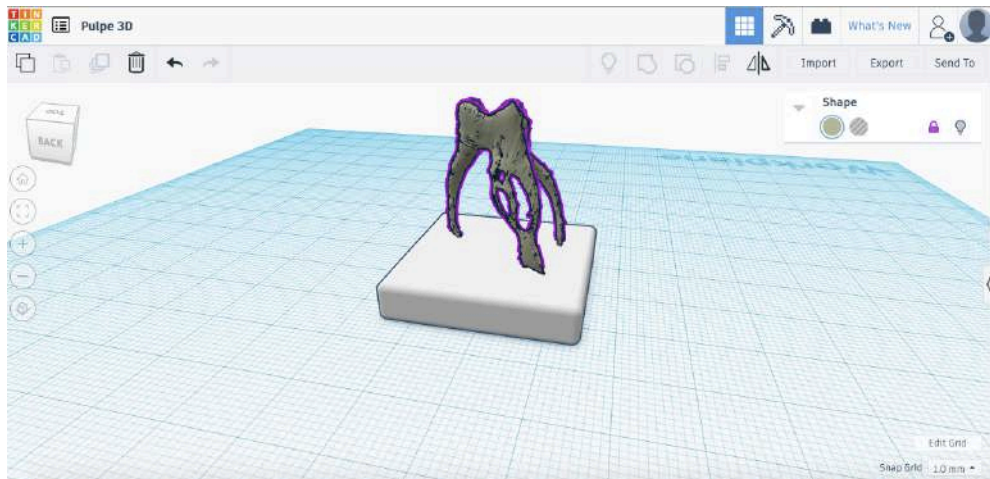


Figure 49 : adjonction du socle au fichier 3D de la pulpe

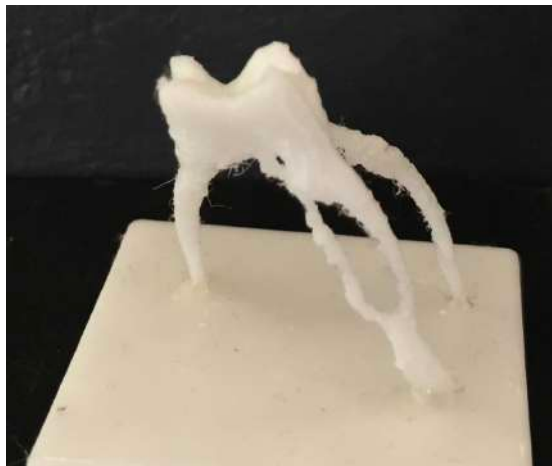


Figure 50 : pulpe 3D imprimée

## 4. Résultats

Trois modèles en 3D ont ainsi pu être créés.

Ils montrent :

- une dent intacte,
- une dent avec cavité d'accès montrant les erreurs à ne pas commettre,
- la cavité d'accès qu'il est souhaitable d'obtenir après préparation,
- et enfin, un dernier modèle montrant la pulpe dentaire.

Une planche de présentation est également fabriquée afin de disposer les modèles terminés :



Figure 51 : planche de présentation des modèles pédagogiques :

- à gauche, une dent intacte,
- une dent avec cavité d'accès montrant les erreurs à ne pas commettre,
- la cavité d'accès qu'il est souhaitable d'obtenir après préparation,
- et enfin à droite, un dernier modèle montrant la pulpe dentaire.



## **5. Discussion**

Le recours à des modèles pédagogiques semble être la solution pour remédier aux problèmes posés par l'emploi de dents naturelles extraites lors des travaux d'apprentissage de l'endodontie. Pour tenter de les remplacer, différents auteurs ont donc proposé des modèles pédagogiques très variés sans pour autant réussir à créer un modèle standard utilisable dans toutes les formations endodontiques.

La problématique de cette thèse était donc de tenter de comprendre les enjeux à relever pour créer de bons modèles pédagogiques. Il a donc été décidé de réaliser des modèles pédagogiques spécifiques dédiés aux conditions de réalisation d'une bonne cavité d'accès. La technologie de l'impression 3D, en plein essor au sein de la pratique dentaire actuelle, a été choisie pour réaliser ces modèles.

### ***5.1 Problèmes et solutions rencontrés***

Plusieurs problèmes se sont posés pour mener à bien ce projet .

Premièrement, la question a été de savoir comment faire un cone beam autour d'une dent seule et hors bouche, c'est-à-dire sans soutien pour la positionner dans la machine . Après réflexion, il a été décidé de placer la dent sur un support en cire reproduisant une arcade complète. Le support est ensuite positionné de manière reproductible dans le cone beam. Après réglage de la machine, l'acquisition des images peut commencer.

Il a ensuite fallu trouver le moyen d'isoler les images en 3D issues de la dent des images 3D issues de son support. Le logiciel 3D Slicer est alors choisi pour séparer les images de la dent des images du support.

Un nouveau problème est apparu pour faire en sorte de transformer les fichiers .dicom au format .stl afin qu'une impression par une imprimante 3D soit réalisable. Encore une fois, le logiciel 3D Slicer a permis de convertir les fichiers .dicom en fichier .stl, utilisables pour imprimer en 3D.

Une fois ces problèmes réglés, il a fallu décider à quelle échelle, avec quel matériau et en quelle couleur imprimer pour avoir un résultat intéressant .

Une dent naturelle étant un sujet d'étude d'une taille relativement petite, il est décidé d'imprimer les modèles en taille 2 (c'est à dire le double de la taille réelle de la dent ) afin d'obtenir un résultat permettant de visualiser correctement les détails de la cavité d'accès réalisée. Comme matériau d'impression, de la résine PLA de couleur blanche est utilisée, celle-ci permettant une impression fiable et réaliste.

Pour terminer, après plusieurs erreurs d'impression liées à l'instabilité de la pièce pendant l'impression, un socle a été adjoint aux modèles grâce au logiciel TinkerCad.

Effet imprévu mais appréciable de l'impression 3D : celle ci est d'une qualité suffisante pour permettre d'explorer les entrées canalaires à l'aide d'une lime manuelle. Ces modèles permettent donc d'appréhender le travail des canaux radiculaires, du moins en partie.



## ***5.2 Limites de ces modèles pédagogiques***

Cependant, ces modèles sont limités :

- le plastique PLA utilisé pour l'impression 3D n'est pas d'une texture fidèle à la dentine, la sensation tactile lors du passage des limes en intra-canalaires ne peut pas être éprouvée,
- la couleur du plastique PLA n'imité pas correctement la teinte naturelle de l'email et de la dentine d'une dent ou encore la teinte du plancher pulpaire,
- la dureté du plastique n'est pas comparable à l'émail ou à la dentine et son fraisage entraîne la fusion du plastique, rendant impossible son éviction, ces modèles ne peuvent donc pas être utilisés pour se familiariser avec la pratique endodontique,
- l'exploration intra-canalaires des canaux reste limitée, les canaux ne sont pas complètement perméables aux limes manuelles, ce qui ne permet pas d'appréhender complètement les aspects du travail intra-canalaires,
- aucun matériau cherchant à reproduire le tissu pulpaire n'a été inclus à ces modèles pédagogiques, il n'est donc pas possible d'appréhender l'éviction pulpaire.

## ***5.3 Perspectives***

Bien qu'ils permettent aux étudiants de mieux visualiser, ces modèles ne peuvent pas être utilisés pour pratiquer ou s'entraîner. Mais ils pourraient être améliorés dans ce but.

Pour ce faire, un aspect esthétique plus convaincant et une texture plus fidèle à la réalité pourraient être obtenus en utilisant d'autres matériaux d'impression, comme la céramique par exemple. Utiliser une autre couleur de plastique PLA pourrait permettre d'obtenir des modèles plus réalistes du point de vue esthétique. Doter les modèles d'une structure reproduisant fidèlement la pulpe dentaire pourrait être intéressant pour réaliser une éviction pulpaire au sein même du modèle.

Par ailleurs, le fichier 3D imprimé suit les contours externes de la dent, reproduisant ainsi fidèlement la couronne et les racines, mais l'anatomie canalaire n'est pas complètement modélisée. Le but de cette thèse était de produire des modèles avec cavité d'accès. Un modèle 3D reproduisant l'anatomie canalaire, en plus de la forme externe de la dent, serait bien plus intéressant pour permettre aux étudiants d'appréhender le travail des canaux radiculaires.

D'autres modèles 3D montrant d'autres points de détail ou situations de préparation d'une cavité d'accès pourraient également être imprimés pour permettre d'apporter plus de précisions quant aux principes de réalisation d'une bonne cavité d'accès.

Enfin, il serait intéressant de réaliser d'autres modèles 3D sur d'autres dents qu'une première molaire maxillaire.

Il pourrait être intéressant de réaliser ces différentes modifications, puis de soumettre ces modèles aux étudiants en endodontie, afin d'apprécier auprès d'eux l'intérêt pédagogique qu'ils pourraient avoir.

Par exemple, une étude pourrait être menée en venant soumettre ces modèles endodontiques à des étudiants lors de travaux pratiques ayant pour thème la réalisation d'une cavité d'accès. Un questionnaire distribué à la fin du TP permettrait de savoir si les modèles ont facilité ou non la compréhension dans la réalisation d'une cavité d'accès.

Une étude comparative pourrait en parallèle être menée pour comparer les résultats de la préparation des cavités d'accès d'étudiants ayant ces modèles comme outils, et les résultats de la préparation des cavités d'accès d'étudiants n'ayant pas ces modèles.

Bien que les modèles réalisés pour ce travail ne puissent pas devenir les modèles pédagogiques de référence pour l'apprentissage de l'endodontie, ils ont un réel intérêt pour permettre de mieux visualiser, et donc, par la suite, de mieux réaliser .

D'une façon plus générale, les modèles pédagogiques sont intéressants, tant sur le plan de la standardisation de l'enseignement endodontique, que sur le plan éthique.

Aujourd'hui arrivent sur le marché les technologies 3D qui permettent de créer quasiment n'importe quel objet, et ce, même depuis son propre domicile (des modèles d'imprimante 3D sont proposés aux alentours de 400 €). Utiliser ces technologies afin de créer des modèles pédagogiques peut devenir une possibilité de choix.

En effet :

- il est possible d'imprimer n'importe quel objet et de le modifier à sa guise numériquement,
- il est possible de reproduire quasiment à l'identique une forme existante en exploitant des acquisitions en 3D grâce à un cone beam par exemple,
- ces technologies sont actuellement accessibles facilement,
- les fichiers d'impression peuvent s'échanger très facilement.

Une fois résolus les problèmes de texture, de précision, et de couleurs des matériaux d'impression, il n'est pas impossible d'imaginer, à l'avenir, un mode d'enseignement de l'endodontie passant par l'utilisation de modèles pédagogiques standardisés et réalistes. Le fait que les fichiers 3D soient modifiables pourrait permettre aux enseignants d'introduire des nouvelles notions ou de mettre au défi les étudiants en modifiant simplement un détail sur le fichier 3D. Par la suite, les fichiers de ces modèles pédagogiques pourraient être imprimés dans une imprimante 3D soit en faculté dentaire, ou bien directement chez les étudiants équipés d'imprimantes 3D.

## 6. Conclusion

Après analyse de la littérature, il apparaît que plusieurs auteurs ont cherché à résoudre ces problèmes pour simplifier l'apprentissage de l'endodontie en essayant de créer des modèles pédagogiques. Cependant, si ces modèles permettent une nouvelle approche de l'endodontie, ils ne s'avèrent aujourd'hui pas encore assez convaincants pour leur permettre de suppléer de façon significative les dents naturelles extraites. Cependant, leur utilisation apparaît comme très prometteuse.

Dans la présente étude, 4 modèles 3D ont été fabriqués après des étapes d'acquisition 3D, de calibrage de fichier .dicom puis .stl, et d'impression 3D. Trois d'entre eux montrent les erreurs à éviter et les principes à respecter pour réaliser une bonne cavité d'accès. Un dernier modèle montrant l'architecture du système pulpaire est imprimé pour permettre une meilleure visualisation. Ces modèles n'auront pas pour vocation de devenir les modèles pédagogiques standards de demain mais permettent de bien comprendre le réel intérêt de l'utilisation de modèles pédagogiques dans l'apprentissage de l'endodontie.

Utiliser les technologies d'impression 3D permet d'enrichir la diversité des modèles pédagogiques proposés. Ainsi, pour approfondir ce travail de thèse, il serait intéressant de rechercher d'autres matériaux d'impressions 3D, ceci afin d'améliorer le réalisme des modèles quant à leur texture, leur aspect, leur dureté. En parallèle, améliorer la précision des fichiers 3D ou augmenter le nombre de modèles imprimés différents permettrait de se rapprocher un peu plus de la réalité clinique à laquelle seront confrontés les étudiants en arrivant en clinique dentaire.

Par ailleurs, des études comparatives encadrées et à grande échelle seraient nécessaires pour statuer quant à l'intérêt de ces modèles pédagogiques dans l'apprentissage de l'endodontie.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Bitter K, Gruner D, Wolf O, Schwendicke F. Artificial versus natural teeth for preclinical endodontic Training: a randomized controlled trial.  
Journal of Endodontics 2016;42(8):1212-7.
2. Dummer PMH, Alodeh MHA, Al-Omari M O. A method for the construction of simulated root canals in clear resin blocks.  
International Endodontic Journal ;1991;24(2):63-6.
3. Gupta B, Tiwari B, Raj V, Kashyap B, Chandra S, Dwivedi N. Transparent tooth model: a study of root canal morphology using different reagents.  
European Journal of General Dentistry ; 2014;3(1): 66-70.
4. Hasselgren G, Tronstad L. The use of transparent teeth in the teaching of preclinical endodontists.  
Journal of Endodontics 1975;1(8):278-80
5. Jackson AP, Tidmarsh BG. Simulation models for teaching endodontic surgical procedures.  
International Endodontic Journal ; 1993;26(3):198-200.
6. Jain S, Khaiser I, Thakur S, Jain S. 'Restoflex'- A revolutionary change in preclinical practice for restorative dentistry and endodontics.  
The Journal of Contemporary Dental Practice ; 2014;15(3);359-62.
7. Kahn H. A preclinical Dentec for teaching endodontic procedures.  
Journal of Endodontics 1983;9(11):506-9.

8. Luz D, Ourique F, Scarparo RK, Vier-Pelisser FV, Morgental RD, Waltrick SBG, et coll: Preparation time and perceptions of brazilian specialists and dental students regarding simulated root canals for endodontic teaching: a preliminary study.  
Journal of Dental Education ; 2015;79(1):56-63.
9. Nassri MRG, Carlik J, Silva CRN, Okagawa RE, Lin S. Critical analysis of artificial teeth for endodontic teaching.  
Journal of Applied Oral Science ; 2008;16(1):43-9.
10. Peterson WR. A technique for preparing an artificial tooth for endodontic access preparation.  
Journal of Endodontics ; 1980;6(3):490-4.
11. Pinsky LD, Tilk MA. : Further observations on the use of transparent teeth in the teaching of preclinical endodontics.  
Journal of Endodontics ; 1979;5(6):192-92.
12. Robberecht L, Chai F, Dehurtevent M, Marchandise P, Bécavin T, Hornez J-C, et coll. A novel anatomical ceramic root canal simulator for endodontic training.  
European Journal of Dental Education ; 2017;21(4) :1-6.
13. Robberecht L, Hornez J-C, Dehurtevent M, Dufour T, Labreuche J, Deveaux E, et al. : Optimization and preclinical perception of an artificial simulator for endodontic training: a preliminary study.  
Journal of Dental Education ; 2017;81(3):326-32.
14. Sauveur G, Boucher Y. A teaching model for endodontic surgery.  
International Endodontic Journal ; 1998;31(2):133-6.

15. Tchorz JP, Brandl M, Ganter PA, Karygianni L, Polydorou O, Vach K, et coll. Pre-clinical endodontic training with artificial instead of extracted human teeth: does the type of exercise have an influence on clinical endodontic outcomes ? International Endodontic Journal 2015;48(9):888-93.
16. Tchorz JP, Ganter PA, Woelber JP, Stampf S, Hellwig E, Altenburger MJ. Evaluation of an improved endodontic teaching model : do preclinical exercises have an influence on the technical quality of root canal treatments ? International Endodontic Journal 2014;47(5):410-5.
17. Tchorz JP, Hellwig E, Altenburger MJ. Teaching model for artificial teeth and endodontic apex locators. Journal of Dental Education ; 2013;77(5):626-9.
18. Wolgin M, Wiedemann P, Frank W, Wrbas K-T, Kielbassa AM. Development and evaluation of an endodontic simulation model for dental students. Journal of Dental Education ; 2015;79(11):1363-72.

## TABLE DES FIGURES

Figure 1 : A gauche : Vue occlusale : dent en pierre blanche sans préparation d'accès. A droite : dent en pierre blanche avec préparation d'accès illustrant les orifices à l'intérieur de la chambre pulpaire du canal radiculaire. [10].....	15
Figure 2 : Illustration du modèle sur lequel est réalisé un lambeau d'accès pour visualiser la racine mésio-vestibulaire d'une première molaire maxillaire droite [5] .....	16
Figure 3 : Vue occlusale d'Endo-Dentec ® sur lequel une incisive centrale, une prémolaire et d'une première molaire ont été mis en place. Les rainures sur la zone palatine du modèle servent à recevoir des films radio et à les positionner selon le bon angle. [7].....	17
Figure 4 : modèles proposés par Dummer et Al [2] .....	18
Figure 5 : modèles proposés par Sauveur et Boucher [14] .....	19
Figure 6 : modèles proposés par Sauveur et Boucher [14] .....	20
Figure 7 : Gauche : Dent transparente avec limes dans les canaux, Droite : Dent transparente obturée à la gutta-percha [4].....	20
Figure 8 : (a) incisive mandibulaire déminéralisée par acide citrique puis nettoyée au salicylate de méthyle, (b) molaire maxillaire déminéralisée par acide citrique puis nettoyée au salicylate de méthyle [3]. .....	21
Figure 9 : incisive mandibulaire déminéralisée par acide citrique puis nettoyée par de l'eugénol [3]. .....	21
Figure 10 : incisive mandibulaire déminéralisée par acide formique, puis nettoyée au salicylate de méthyle [3]. .....	22
Figure 11 : (a) incisive mandibulaire déminéralisée à l'acide formique et nettoyée à l'eugénol, (b) prémolaire maxillaire déminéralisée à l'acide formique et nettoyée à l'eugénol [3]. .....	22
Figure 12 : lot de dents artificielles produites par la société Fabrica de Sorrisos (image issue de fabricadesorrisosdentes.com) .....	23
Figure 13 : molaire maxillaire transparente artificielle produite par la société Fabrica de Sorrisos ( image issue de fabricadesorrisosdentes.com).....	24
Figure 14 : Conception, fabrication et utilisation de simulateurs canaux en hydroxyapatite. Morphologie simple (A) et complexe (B). De gauche à droite: image micro-CT reconstruite d'un volume pulpaire, moule en 3D imprimé d'un volume pulpaire, radiographie préopératoire d'un simulateur de canal radiculaire, radiographie d'un cône principal en gutta-percha dans le simulateur de canal et une radiographie d'un simulateur de canal radiculaire bien rempli [1] .....	25
Figure 15 : Traitement endodontique d'un simulateur canalaire complexe (molaire mandibulaire). (A) vue préopératoire, (B) retrait du toit de la chambre pulpaire, (C) des entrées de canal et de l'isthme mésial réaménagé, (D) obturation avec compactage à chaud de la gutta-percha et scellement [1].....	26
Figure 16 : Scores moyens et écarts-types des réponses au questionnaire suite aux traitements endodontiques des modèles en bloc plastique (P), en céramique (C) et en céramique infiltrée par de la résine (CR) [13].....	27
Figure 17 : De haut en bas [18]:.....	29
Figure 18 : Méthode de réalisation des modèles de Tchorz et coll. [17]: A : coffrage à la cire d'une dent artificielle VDW pour créer un moule de coulée ; B : le montage est ensuite réalisé en injectant un silicone fluide dans le moule en laissant les apex découverts ; C : coulée du modèle de dent artificielle en plâtre	



D : utilisation d'un mastic d'impression pour enregistrer les apex dentaires et préfigurer un espace cavitaire au sein du modèle de l'arcade ; E : coulée de l'arcade autour du mastic d'impression ; F : retrait de la dent en plâtre ; G : ajustement jusqu'à ce que la dent artificielle puisse être facilement insérée ; H : mise en place de fils d'acier se positionnant dans la cavité préfigurée par le mastic d'impression ; I : le modèle est placé dans un moule permettant la création d'une base en le remplissant de résine ; J : insertion d'un tube en plastique à l'extrémité distale de l'arc, servant de valve pour l'enceinte ; K : un boulon a été intégré derrière la dent pour servir dans le maintien de la dent artificielle .....	30
Figure 19 : Appréciation de la radio-opacité [14] : A : positionnement d'une lime et d'un localisateur d'apex au sein du modèle créé ; B : Analyse critique de la radio-opacité initiale (la visualisation des racines est alors jugée peu appréciable) ; C : pour remédier à ce problème de visualisation, un mélange d'oxyde de bismuth et d'un adhésif dentaire est appliqué sur les racines ( le résultat n'est encore une fois pas réellement probant) ; D : radiographie cône en place .....	30
Figure 20 : modèle TrueTooth™ d'une molaire maxillaire (image issue de <a href="http://www.delendo.com">www.delendo.com</a> ) .....	31
Figure 21 : Maquette en plastique d'une mâchoire supérieure (11-17) : Position dent 16: Dent d'entraînement Endo à 4 canaux radiculaires (3 canaux colorés pour une meilleure localisation et contrôle du traitement, pulpe MV2 non colorée pour un apprentissage efficace), chambre pulpaire accessible ; Position dent 17: Bloc d'entraînement en plastique ; La dent de formation Endo et le bloc de formation en plastique peuvent être commandés à nouveau ; Fixation pour la détermination électronique de la longueur Jauge de mesure intégrée Minifix ( <i>Image issue du site <a href="http://www.vdw-dental.com">www.vdw-dental.com</a></i> ).....	32
Figure 22 : support artificiel (image issue de <a href="http://www.acadental.com">www.acadental.com</a> ) .....	33
Figure 23 : dent de chez Acadental (image issue de <a href="http://www.acadental.com">www.acadental.com</a> ) .....	33
Figure 24 : dent avec racines anatomiques de chez Frasaco (image issue de <a href="http://www.frasaco.de">www.frasaco.de</a> ) .....	34
Figure 25 : Endo training block® de chez Dentsply Sirona (image issue de <a href="http://www.dentsplymaillifer.com">www.dentsplymaillifer.com</a> ) .....	35
Figure 26 : MM. Tooth® de chez MicroMega (image issue de <a href="http://www.micro-mega.com">www.micro-mega.com</a> ) .....	35
Figure 27 : modèles de chez Morita (image issue de <a href="http://www.jmoritaeurope.de">www.jmoritaeurope.de</a> ).....	36
Figure 28 : dent naturelle extraite sur arcade en cire .....	38
Figure 29 : Travail du fichier 3D pour isoler l'organe dentaire.....	40
Figure 30 : échec d'impression.....	41
Figure 31 : échec d'impression.....	41
Figure 32 : préparation du fichier STL dans TinkerCad.....	42
Figure 33 : suppression des éléments parasites dans TinkerCad .....	42
Figure 34 : Snapmaker 600 (image issue du site <a href="http://www.snapmaker.com">www.snapmaker.com</a> ) .....	43
Figure 35 : Dagoma Disco easy200 (image issue de <a href="http://www.dagoma.fr">www.dagoma.fr</a> ) .....	44
Figure 36 : photographie du modèle 3D vue d'ensemble .....	45
Figure 37 : photographie du modèle 3D vue axiale .....	45
Figure 38 : fraise boule diamantée n°14 (image issue de <a href="http://www.dentaltix.com">www.dentaltix.com</a> ).....	46
Figure 39 : fraise Endo Zekria (image issue de <a href="http://www.dentaltix.com">www.dentaltix.com</a> ).....	46
Figure 40 : forets de Gates (image issue du site <a href="http://www.alobodental.ma">www.alobodental.ma</a> ) .....	47

Figure 41 : matériel nécessaire à la préparation d'une cavité d'accès : coffret de fraise, contre-angle multiplicateur et contre angle bague verte, hypochlorite de sodium.....	47
Figure 42 : coffret de fraises utiles à l'éviction carieuse et à la réalisation de la cavité d'accès. De haut en bas, et de gauche à droite : fraises multilames pour contre angle, fraise boule diamantée, fraise endo Zekria, fraise cylindrique diamantée .....	48
Figure 43 : photographie de la cavité d'accès réalisée.....	49
Figure 44 : modèle avec cavité d'accès imparfaite et plancher pulpaire blanc .....	49
Figure 45 : cavité d'accès peinte et légende.....	50
Figure 46 : cavité d'accès peinte et légende.....	50
Figure 47 : photographies réalisées après impression 3D du modèle avec cavité d'accès idéale.....	52
Figure 48 : modèle 3D avec cavité d'accès idéale .....	52
Figure 49 : adjonction du socle au fichier 3D de la pulpe .....	53
Figure 50 : pulpe 3D imprimée.....	53
Figure 51 : planche de présentation des modèles pédagogiques :.....	54

**Thèse d'exercice : Chir. Dent. : Lille : Année [2019] – N°:**

Réalisation d'une cavité d'accès sur une première molaire maxillaire : apport pédagogique de modèles dentaires artificiels / **Maximilien LECOEUR**. - p.66 : ill. 51; réf. 18

**Domaines** : Endodontie- Pédagogie

**Mots clés RAMEAU** : modèles pédagogiques endodontiques, impression 3D, cavité d'accès

**Mots clés FMeSH** : pédagogie odontologique, conception 3D

Depuis des années, la formation en endodontie passe par l'utilisation de dents naturelles extraites. Cependant, celles-ci posent deux problèmes. En effet, elles ne permettent aucune standardisation de l'enseignement endodontique d'une part, d'autre part, elles restent des organes d'origine humaine, et sont donc soumises à une réglementation dans le cadre légal. De ce constat naît donc la question de la pertinence d'utiliser des modèles pédagogiques dédiés à l'apprentissage de l'endodontie.

Ce travail fait une synthèse des modèles pédagogiques créés jusqu'à ce jour, et propose également d'en créer un grâce à la technologie de l'impression 3D, technologie en plein essor dans la dentisterie moderne. Ce modèle pédagogique aura pour mission de présenter aux étudiants les erreurs à ne pas commettre et les principes à respecter lors de la réalisation d'une cavité d'accès sur une première molaire maxillaire.

Après création de ces modèles, il se dégage plusieurs problématiques pour l'avenir des modèles pédagogiques dans l'apprentissage de l'endodontie.

En effet, les modèles créés aujourd'hui sont limités en terme de réalisme clinique et surtout d'accessibilité :

- le problème de réalisme étant lié aux matériaux utilisés, il semble nécessaire de chercher à produire des modèles avec d'autres matériaux afin d'améliorer leur qualité.

- le problème d'accessibilité pourrait être réglé par les avantages inhérents à la technologie 3D qui permet d'échanger et de modifier facilement des fichiers 3D.

De plus, une étude à grande échelle serait nécessaire pour valider la supériorité des modèles pédagogiques par rapport aux dents naturelles extraites dans la formation endodontique.

Explorer ces pistes pourrait permettre de se diriger vers un apprentissage de l'endodontie s'appuyant sur des modèles pédagogiques facilement accessibles grâce aux technologies 3D.

**JURY :**

**Président :** Etienne DEVEAUX  
**Assesseurs :** Lieven ROBBERECHT  
Alexandre DEMETRIOU  
Thibault BÉCAVIN