

UNIVERSITE DU DROIT ET DE LA SANTE DE LILLE 2

FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

[Année de soutenance : 2015]

N°:

THESE

pour le

DIPLOME D'ETAT

DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement le 14 SEPTEMBRE 2015

Par Thomas DUFOUR

Né le 10 mai 1990 à Maubeuge – France

Développement d'un simulateur canalaire biomimétique :
évaluation en travaux pratiques d'endodontie.

-Une étude pilote expérimentale-

JURY

Président :

Pr Etienne DEVEAUX

Assesseurs :

Dr Alain GAMBIEZ

Dr Thibault BECAVIN

Dr Lieven ROBBERECHT

Membre invité :

Dr Jean-Christophe HORNEZ

UNIVERSITE DU DROIT ET DE LA SANTE DE LILLE 2

FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

[Année de soutenance : 2015]

N°:

THESE

pour le

DIPLOME D'ETAT

DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement le 14 SEPTEMBRE 2015

Par Thomas DUFOUR

Né le 10 mai 1990 à Maubeuge – France

Développement d'un simulateur canalaire biomimétique :
évaluation en travaux pratiques d'endodontie.

-Une étude pilote expérimentale-

JURY

Président :

Pr Etienne DEVEAUX

Asseseurs :

Dr Alain GAMBIEZ

Dr Thibault BECAVIN

Dr Lieven ROBBERECHT

Membre invité :

Dr Jean-Christophe HORNEZ

**ACADEMIE DE LILLE
UNIVERSITE DU DROIT ET DE LA SANTE LILLE 2**

**_*_*_*_*_*_*_*_*_

FACULTE de chirurgie dentaire

PLACE DE VERDUN

59000 LILLE

**_*_*_*_*_*_*_*_*_

Président de l'Université	:	X. VANDENDRIESSCHE
Directeur Général des Services de l'Université	:	P.M. ROBERT
Doyen	:	Pr. E. DEVEAUX
Vice-Doyens	:	Dr. E.BOCQUET, Dr. L.NAWROCKI et Dr. G.PENEL
Chef des Services Administratifs	:	S. NEDELEC

PERSONNEL ENSEIGNANT DE L'U.F.R.

PROFESSEURS DES UNIVERSITES :

P. BEHIN	Prothèses
H. BOUTIGNY	Parodontologie
T. COLARD	Sciences Anatomiques et Physiologiques, Occlusodontiques, Biomatériaux, Biophysiques, Radiologie
E. DELCOURT-DEBRUYNE	Responsable de la Sous-Section de Parodontologie
E. DEVEAUX	Odontologie Conservatrice – Endodontie Doyen de la Faculté
G. PENEL	Sciences Biologiques Responsable de la Sous-Section Sciences Biologiques

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES :

T. BECAVIN	Odontologie Conservatrice – Endodontie
F. BOSCHIN	Parodontologie
E. BOCQUET	Responsable de la Sous- Section d’Orthopédie Dento-Faciale
C. CATTEAU	Responsable de la Sous-Section de Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie Légale
A. CLAISSE	Odontologie Conservatrice – Endodontie
M. DANGLETERRE	Sciences Biologiques
A. DE BROUCKER	Sciences Anatomiques
T. DELCAMBRE	Prothèses
C. DELFOSSE	Responsable de la Sous-Section d’Odontologie Pédiatrique
F. DESCAMP	Prothèses
A. GAMBIEZ	Responsable de la Sous-Section d’Odontologie Conservatrice – Endodontie
F. GRAUX	Prothèses
P. HILDEBERT	Odontologie Conservatrice – Endodontie
J.M. LANGLOIS	Responsable de la Sous-Section Chirurgie Buccale, Pathologie et Thérapeutique, Anesthésiologie et Réanimation
C. LEFEVRE	Responsable de la Sous-Section Prothèses
J.L. LEGER	Orthopédie Dento-Faciale
M. LINEZ	Odontologie Conservatrice – Endodontie
G. MAYER	Prothèses
L. NAWROCKI	Chirurgie Buccale, Pathologie et Thérapeutique, Anesthésiologie et Réanimation, Chef du Service d’Odontologie A. Caumartin-CHRU Lille
C. OLEJNIK	Sciences Biologiques
P. ROCHER	Sciences Anatomiques et Physiologiques, Occlusodontiques, Biomatériaux, Biophysiques, Radiologie
M. SAVIGNAT	Sciences Anatomiques et Physiologiques, Occlusodontiques, Biomatériaux, Biophysiques, Radiologie
T. TRENTESAUX	Odontologie Pédiatrique
J.VANDOMME	Prothèses

Je dédie cette thèse...

Aux membres du jury,

Monsieur le Doyen Etienne DEVEAUX

Professeur des Universités - Praticien Hospitalier des CSERD

Sous-section Odontologie Conservatrice – Endodontie

Doyen de la Faculté de Chirurgie Dentaire de Lille

Docteur en Chirurgie –Dentaire

Docteur en Sciences Odontologiques

Docteur en Odontologie de l'Université de Lille 2

Habilité à Diriger des Recherches

Membre associé national de l'Académie Nationale de Chirurgie Dentaire

Personne Compétente en Radioprotection

Ancien Président de la Société Française d'Endodontie

*Je tiens à vous remercier de m'avoir fait l'honneur de
bien vouloir présider notre jury.*

*Votre regard avisé sur mon travail m'a été d'une très
grande aide.*

*Soyez assurés de mes sentiments les plus
reconnaissants et les plus respectueux.*

Monsieur le Docteur Alain GAMBIEZ

Maître de Conférences des Universités-Praticien Hospitalier des CSERD

Sous-Section Odontologie Conservatrice - Endodontie

Docteur en Chirurgie Dentaire

Responsable de la Sous-Section d'Odontologie Conservatrice et Endodontie

D.E.A Sciences de la Vie et de la Santé

*Vous me faites aujourd'hui l'honneur de siéger à mon
jury.
Veuillez trouver dans ce travail l'expression de mon plus
grand respect.*

Monsieur le Docteur Thibault BECAVIN

Maître de Conférences des Universités-Praticien Hospitalier des CSERD

Sous-Section Odontologie Conservatrice - Endodontie

Docteur en Chirurgie Dentaire

*Je tiens à vous remercier d'avoir accepté d'apporter
votre point de vue en analysant mon travail dans ce jury
et vous exprime tous mes respects.*

*Je vous suis très reconnaissant des conseils que vous
avez pu m'apporter en clinique tout au long de ma
dernière année.*

Je vous souhaite une belle carrière universitaire.

« Force et Honneur »

Monsieur le Docteur Jean-Christophe HORNEZ
Maître de Conférences des Universités en Chimie

Docteur en Chimie

*C'est pour moi un immense honneur, de par ce travail,
que de pouvoir ouvrir l'esprit sur d'autres disciplines,
essentiels à la recherche.*

*Merci pour votre accueil lors de la visite du laboratoire.
Merci d'avoir accepté de siéger à ce jury.*

Monsieur le Docteur Lieven ROBBERECHT

Assistant Hospitalo-Universitaire des CSERD

Sous-Section Odontologie Conservatrice - Endodontie

Docteur en Chirurgie Dentaire

Puisse cette modeste pierre pouvoir contribuer à votre chemin. Je me devais de laisser au moins une trace de la lourdeur de mon « shakespearisme » dans ce travail.

Finalement, nous voilà au bout du chemin.

Vous m'avez fait l'honneur d'accepter de diriger ce travail, et je vous en remercie infiniment. Je tiens à vous remercier également pour votre motivation, votre sérieux, votre amour du travail bien fait, votre disponibilité et pour votre humanité en vers moi.

Vous m'avez apporté énormément tout au long de mon cursus universitaire, c'est à vous que je dois la réussite de mes premières endos, et grâce à vous que j'ai progressé dans cette discipline.

Veillez trouver dans ce travail l'expression de mon plus grand respect.

Je vous souhaite toute la réussite que vous méritez, au vu de votre investissement, et une très prometteuse carrière universitaire, ce n'est plus qu'une question de temps, courage.

Table des matières

TABLE DES ABREVIATIONS	12
1. INTRODUCTION	13
2. LA PEDAGOGIE	14
2.1. GENERALITES	14
2.1.1. LES PRINCIPES DE LA PEDAGOGIE	14
2.1.2. LES METHODES PEDAGOGIQUES	15
2.1.2.1. LES METHODES PASSIVES	15
2.1.2.2. LES METHODES PARTICIPATIVES	16
2.1.3. SYNTHESE	16
2.2. LA PEDAGOGIE EN CHIRURGIE DENTAIRE	17
2.2.1. L'APPRENTISSAGE THEORIQUE	17
2.2.2. L'APPRENTISSAGE PRATIQUE	20
2.3. LA PEDAGOGIE EN ENDODONTIE	22
2.3.1. LA FORMATION	33
2.3.1.1. LE CONSTAT	33
2.3.1.2. LES OBJECTIFS	33
2.3.1.3. CONCLUSION PARTIELLE	34
2.3.2. LES MOYENS PEDAGOGIQUES ACTUELS DES TRAVAUX PRATIQUES D'ENDODONTIE	34
2.3.2.1. LES MODELES DISPONIBLES	35
2.3.2.2. CONCLUSION	33
2.3.3. UNE ALTERNATIVE AUX MOYENS PEDAGOGIQUES ACTUELS	33
2.3.3.1. INTERETS DU SIMULATEUR	33
2.3.3.2. MATERIAUX	34
2.3.3.3. FABRICATION	34
2.3.3.4. CONCLUSION	35
3. PARTIE EXPERIMENTALE	37
3.1. MATERIEL ET METHODE	37
3.1.1. CONSTITUTION DES GROUPES EXPERIMENTAUX	37
3.1.2. PHASE EXPERIMENTALE	39
3.1.2.1. SEANCE D'APPRENTISSAGE	40
3.1.2.2. ENTRAINEMENT PRATIQUE	41
3.1.2.3. SEANCE D'EVALUATION	45
3.2. RESULTATS	49
3.2.1. NOTE DES ETUDIANTS DE 3 ^E ANNEE	49
3.2.2. QUESTIONNAIRE	50
3.2.3. AJUSTAGE DU MAITRE-CONE	53
3.3. DISCUSSION	58
3.3.1. PROTOCOLE	59
3.3.2. RESULTATS	62
4. CONCLUSION	65
BIBLIOGRAPHIE	67
TABLE DES ILLUSTRATIONS	71
ANNEXES	73

Table des abréviations

- **ED** = Enseignement dirigé.
- **ENT** = Espace numérique de travail.
- **ESE** = European Society of Endodontology (Société Européenne d'Endodontie).
- **MC** = Maître-cône.
- **OCE** = Odontologie conservatrice et endodontie.
- **RCP** = Radiographie cône-en-place.
- **RX** = Comportement radiologique.
- **TP** = Travaux pratiques.

1. Introduction

La discipline d'odontologie conservatrice et d'endodontie est l'activité la plus pratiquée au cabinet dentaire. Elle s'avère mal jugée par les praticiens qui considèrent notamment l'endodontie comme une discipline complexe, laborieuse et chronophage en lien avec une certaine appréhension et un manque de formation spécifique dans ce domaine. Or, la pédagogie en chirurgie dentaire repose essentiellement sur l'apprentissage théorique et l'activité pratique pré-clinique. Cela nécessite dès lors l'usage de moyens pédagogiques adaptés et permettant une bonne assimilation des notions pendant les travaux pratiques.

Cependant, les moyens pédagogiques actuellement employés ne répondent pas aux recommandations émises par la ESE (European Society of Endodontology) pour permettre une bonne acquisition des standards de l'endodontie. Effectivement, l'usage des dents naturelles à des fins pédagogiques devient prohibé et les limites des modèles résineux ou virtuels compliquent l'apprentissage pratique en endodontie.

Face à ce constat, un nouveau simulateur canalaire a été développé. Il utilise un matériau minéral, comporte une micro-structure et une anatomie interne se voulant la plus proche possible de la dentine d'une racine naturelle : le **MiMa**. Cette conception a été réalisée dans le but de promouvoir et d'améliorer l'enseignement pédagogique pratique pré-clinique dans le domaine endodontique. Le fonctionnement du simulateur a ensuite été évalué durant son utilisation. Pour cela, une étude pilote expérimentale a été développée afin de permettre la comparaison de l'apprentissage pratique endodontique sur simulateur MiMa par rapport à un simulateur résineux classique. Elle a pour objectif principal de valider le protocole expérimental et de recueillir des résultats préliminaires sur l'emploi du simulateur par ses futurs usagers.

Dans un premier temps, il sera question de la pédagogie, notamment celle appliquée en chirurgie dentaire et plus précisément en endodontie. Puis dans un second temps, il sera question de la partie expérimentale de cette étude pilote avec le développement du protocole expérimental, la présentation des résultats et leurs discussions.

2. La pédagogie

La pédagogie (ou art de l'éducation des enfants) est une notion dérivant du grec ancien qui évoque les méthodes d'enseignement, les pratiques d'éducation ainsi que l'ensemble des qualités requises pour transmettre des savoirs, un savoir-être ou un savoir-faire. Une personne fait « preuve de pédagogie » lorsqu'elle utilise ses compétences à enseigner, à transmettre une connaissance ou une expérience par l'emploi de méthodes adaptées à son auditoire.

La pédagogie peut se résumer à : « reprendre pour comprendre, reprendre pour apprendre ».

2.1. Généralités

2.1.1. Les principes de la pédagogie

La pédagogie passe par un processus qui établit un contrat pédagogique devant être respecté par les acteurs de la formation dans le but d'atteindre les objectifs, et les comportements attendus par ce contrat ⁴⁵.

La pédagogie repose sur certaines notions importantes qui la définissent d'une manière générale ²⁹ :

- *La pertinence* : la motivation de l'apprenant tient dans la détection immédiate et en permanence du lien qui existe entre ce que l'on lui expose et son activité professionnelle.
- *La structure* : l'emploi d'un discours structuré ayant un cheminement intellectuel logique et explicite engendre une meilleure attention et une meilleure compréhension de l'apprenant en lien avec une rétention adaptée des informations délivrées.
- *L'implication* : l'apprenant doit être acteur et impliqué dans sa formation pour palier à la passivité et à la difficulté de soutenir son attention après une période d'écoute pour l'enseignement théorique.
- *L'accompagnement* : la formation des apprenants passe par l'accompagnement lors des phases d'exercice pratique, ou des phases spécifiques réservées à la mémorisation comme l'enseignement théorique.

2.1.2. Les méthodes pédagogiques

La pédagogie passe pour le formateur par l'usage d'un mode de transmission de son savoir et pour l'élève par l'emploi d'un mode d'acquisition reposant sur différentes méthodes pédagogiques ².

2.1.2.1. Les méthodes passives

Elles sont essentiellement centrées sur la parole comme méthode d'enseignement ⁸. Ces méthodes passent par la soutenance d'exposés ou de présentations orales. Ce sont elles qui sont traditionnellement employées pour les cours magistraux. Elles sont adaptées à la transmission de notions théoriques. L'enseignant réalise son cours devant son auditoire en faisant intervenir le « triangle pédagogique » de Jean Houssaye (Fig. 1) ⁵⁶ qui relie le savoir, à l'enseignant et à l'étudiant.

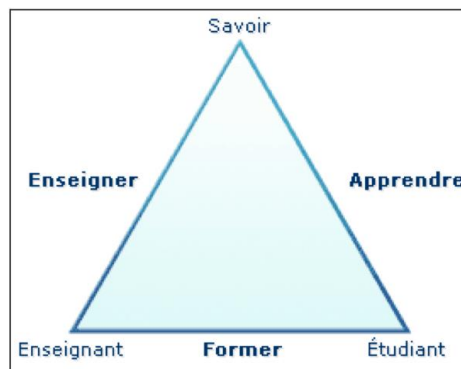


Figure 1. Triangle pédagogique de Jean Houssaye (1988) ⁵⁶.

- **Avantages**

La méthode passive correspond à une transmission d'information par le biais d'une présentation où le temps est maîtrisé par l'enseignant. Celui-ci maîtrise également le fond et la forme du sujet abordé.

- **Inconvénients**

Elle n'implique pas les étudiants qui restent passifs en écoutant l'exposé ce qui engendre une diminution de leur attention après quelques minutes.

Elle nécessite également des moyens de diffusion conséquents en lien avec la taille grandissante des promotions. Cette méthode n'implique pas la notion d'apprentissage actif et ne permet pas le contrôle des connaissances lors du cours.

2.1.2.2. Les méthodes participatives

Elles sont essentiellement centrées sur l'action comme moyen d'enseignement ⁸. Pour ces méthodes participatives, l'apprentissage passe par une démonstration réalisée par l'enseignant. Celui-ci fournit aux étudiants un cadre de travail avec un objectif à réaliser et des moyens pour parvenir à reproduire cette démonstration à l'identique.

- **Avantages**

La méthode participative implique fortement les apprenants en créant une dynamique de motivation, et en influant positivement sur le développement de l'autonomie des étudiants. De par l'apprentissage par l'action, elle favorise la mémorisation et développe les aptitudes de pratiques manuelles. Elle semble essentielle à l'apprentissage en convenant parfaitement pour la transmission de savoir-faire. Elle semble indispensable à l'acquisition de gestes précis comme dans le domaine de la pratique dentaire. Elle permet également de gérer en direct la réflexion des étudiants.

- **Inconvénients**

Pour l'enseignant, la conception des séances demande une réflexion complexe et longue, tout en nécessitant beaucoup de temps à leur élaboration et leur encadrement. Elle nécessite l'emploi d'outils adéquats pour proposer aux étudiants un cadre réaliste pour leur permettre une immersion dans leur futur environnement professionnel.

2.1.3. Synthèse

Les méthodes pédagogiques peuvent être passives ou participatives. Dès lors l'apprenant est passif ou acteur de sa formation. Les taux de mémorisation selon la méthode employée sont référencés dans « la pyramide de l'apprentissage » (Fig. 2) et sont de 5 à 30% après 24h pour les méthodes passives et de 50 à 90% après 24h pour les méthodes participatives ⁶⁰. Ces taux sont donc meilleurs pour les méthodes participatives.

Néanmoins, le fondement de la pédagogie reste la transmission d'un savoir théorique basée sur une méthode passive employant une communication orale. En parallèle de laquelle est appliquée une méthode participative par des mises en situation pratique pour approfondir les notions et permettre une meilleure assimilation par l'immersion de l'apprenant au cœur de sa formation.

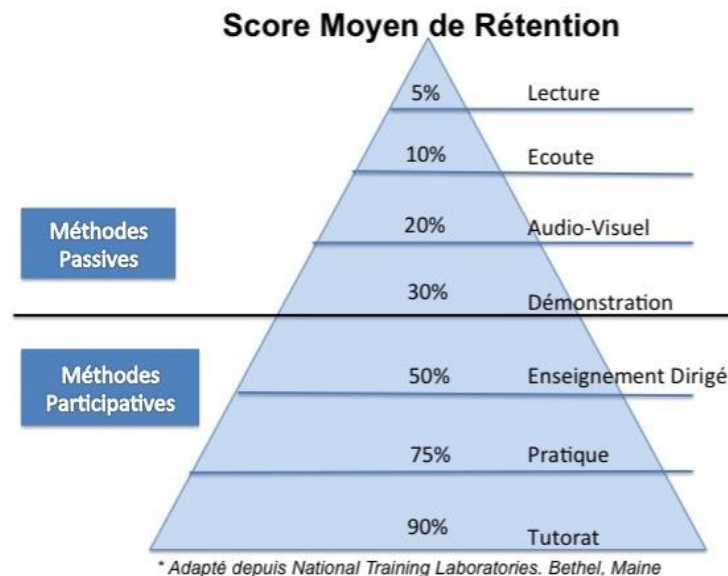


Figure 2. Pyramide de l'apprentissage adaptée du NTL 1960, d'après ⁶⁰.

2.2. La pédagogie en chirurgie dentaire

A la faculté de chirurgie dentaire de Lille, la formation des praticiens repose sur 2 axes principaux : l'enseignement de notions théoriques et la mise en situation pratique pré-clinique qui aboutit à la pratique hospitalière.

2.2.1. L'apprentissage théorique

La dentisterie, avant d'être un acte technique, est essentiellement une démarche diagnostique menée par le praticien à la suite d'un recueil minutieux de signes cliniques chez son patient pour aboutir à la mise en place d'un traitement. Pour ce faire, le praticien mobilise un ensemble de connaissances acquises durant sa formation et au fil de son expérience clinique. Ces savoirs élémentaires sur l'anatomie, l'histologie ou encore la physiologie ainsi que les pathologies de la dent constituent le socle de la pratique

médicale du chirurgien dentiste. La transmission de ces notions théoriques peut passer par différents moyens.

➤ *Les cours magistraux*

Dans l'enseignement supérieur, le cours magistral est la transmission aux étudiants d'un savoir académique par l'intermédiaire d'un enseignant le plus souvent dans un amphithéâtre.

Bien que les cours magistraux constituent une méthode d'enseignement traditionnelle et ancienne, l'ère des nouvelles technologies informatiques et de communication a apporté quelques nouveautés dans le domaine. L'enseignant a la possibilité d'utiliser divers supports pédagogiques pour diffuser au plus grand nombre son cours. Actuellement, à la faculté de chirurgie dentaire de Lille, il est possible de partager un cours en direct avec les antennes normandes de la faculté du Havre et de Rouen qui peuvent interagir avec l'enseignant directement par vidéo conférence ou encore d'enregistrer numériquement le cours.

Les cours magistraux permettent d'introduire des thématiques, d'approfondir les méthodes de travail, de fixer un cadre par l'enseignant avec des objectifs à atteindre pour les étudiants.

Ce moyen pédagogique est une méthode passive. Néanmoins, comme l'illustre « la pyramide de l'apprentissage » (Fig. 2) cette méthode seule semble insuffisante car les taux de rétention sont inférieurs à 30% après 24h. Les étudiants restant passifs face à cet exposé ont un processus d'apprentissage limité. L'enseignant, grâce à un présentiel présente son cours face à un auditoire, ce qui lui permet de suivre sa présentation, et de permettre aux étudiants de prendre en note ses propos. Ce support possède l'un des taux d'assimilation les plus faibles : 5% de rétention après 24h (Fig.2) ⁶⁰. L'intérêt du présentiel est qu'il peut également intégrer d'autres supports pédagogiques pour le compléter avec des taux de rétention meilleurs :

- **Les photographies ou diapositives**

Les photographies peuvent concerner des cas cliniques, des illustrations, elles permettent d'illustrer de façon visuelle les propos tenus par l'enseignant durant son présentiel. Les taux de rétention après 24h sont de 5 à 10 % (Fig.2) ⁶⁰.

- **Les vidéos pédagogiques**

Des vidéos pédagogiques pour les disciplines d'odontologie conservatrice et d'endodontie, de pédodontie, et de prothèses amovible et fixée ont été tournées concernant des thématiques précises comme « la réalisation de cavités types ». Ces vidéos permettent d'illustrer des notions théoriques, et également pour les étudiants de faire le lien entre la théorie et la mise en application pratique. Ce support offre une vision concrète de ce que l'on attend des étudiants.

Elles peuvent être consultées sur l'espace numérique de travail permettant ainsi aux étudiants de les revoir quand ils le souhaitent et d'approfondir leurs apprentissages en dehors de la faculté. Ce support constitue une base audio-visuelle ayant les meilleurs taux de rétention parmi les méthodes pédagogiques passives. Les taux de rétention sont de 20% après 24h (Fig.2) ⁶⁰.

On voit que les cours magistraux possèdent des limites pour la mémorisation, ils doivent donc être complétés par des formes participatives afin de permettre aux étudiants de mieux comprendre, retenir, et assimiler les notions théoriques en activant un processus d'apprentissage. Dans ces formes participatives, on trouve notamment le tutorat, les enseignements dirigés.

➤ *Le tutorat*

Le tutorat est une méthode pédagogique pour laquelle des étudiants de promotions supérieures encadrent un petit groupe de travail d'étudiants d'années inférieures afin de répondre à leurs questions, de les orienter, et de participer à la bonne assimilation d'un enseignement numérique disponible sur l'ENT. Elle permet la transmission du savoir et de l'expérience des anciens aux plus jeunes. Cet échange basé sur le compagnonnage tisse ainsi un lien entre les différentes promotions.

Cette méthode appartient au groupe des méthodes participatives et possède des taux de rétention à 24h de 50% (Fig.2) ⁶⁰. Néanmoins, cette méthode est considérée comme une méthode intermédiaire car elle implique que le tuteur ait assimilé le cours afin de pouvoir transmettre à son tour ses acquis. Le tuteur quant-à-lui possède un intérêt pédagogique majeur avec pour lui des taux de rétention à 24h de 90% (Fig.2) (6).

➤ *Les enseignements dirigés (ED)*

Les ED sont dispensés par un enseignant à des groupes restreints d'étudiants. Ils permettent de mettre en application les notions acquises pendant les cours magistraux, de susciter un travail en autonomie, d'introduire un thème de travail ou d'approfondir de nouvelles notions et de réaliser un éclairage particulier. Généralement, les ED passent par un travail préparatoire de l'étudiant (apprentissage des cours théoriques, recherche bibliographique) qui travaille le plus souvent sur des exercices avec l'enseignant aidant et intervenant en cas de difficultés. Le suivi et l'encadrement y sont donc plus faciles et les messages plus pertinents. Dès lors, par l'emploi de cette méthode, les taux de rétention à 24h sont de 50% (Fig.2) ⁶⁰.

Cependant, les outils pédagogiques employés diffèrent en ce qui concerne la pratique professionnelle. En effet, l'étudiant ne peut pas rester passif et/ou dans la théorie pour appréhender son futur métier, il doit pratiquer pour apprendre.

2.2.2. L'apprentissage pratique

Le métier de chirurgien dentiste est un métier manuel regroupant une instrumentation complexe propre à un « univers » particulier. Bien que ce soit l'esprit qui guide la main, s'appuyant sur ses connaissances théoriques, le praticien doit avoir appréhendé la gestuelle de son art et s'être formé à la pratique de la chirurgie dentaire. Pour cela, la formation pratique passe essentiellement par la pratique pré-clinique et la pratique hospitalière.

➤ *La pratique pré-clinique*

Les travaux pratiques (TP) servent à mettre en pratique les savoirs enseignés durant la formation initiale. Ils mobilisent à la fois la réflexion intellectuelle et les capacités d'action de l'étudiant. Les TP sont au cœur de la formation pré-clinique car ils permettent aux étudiants une initiation à la gestuelle dentaire, la découverte de son instrumentation, ainsi que l'assimilation des positions de travail nécessaires avant l'accès en clinique. Ils sont pour la plupart réalisés en salle de simulation (Fig. 3).



Figure 3. Salle de simulation de la faculté de chirurgie dentaire de Lille.

On y retrouve un simulateur appelé « fantôme » comprenant une tête articulée reproduisant sommairement l'articulation temporo-mandibulaire sur laquelle une mâchoire mécanisée est fixée recouverte de joues en plastiques et d'un buste. Ce simulateur de situations cliniques offre aux étudiants la possibilité de travailler avec une instrumentation rotative dynamique complète ainsi qu'une aspiration tout comme dans un cabinet dentaire. Dès lors, l'étudiant se retrouve dans des conditions proches de la réalité qui lui permettent de s'exercer. Cet apprentissage pratique est un prérequis indispensable avant de pouvoir soigner des patients en accédant à la pratique hospitalier.

➤ *La pratique hospitalière*

A partir de la 4^e année, les étudiants ont des vacances cliniques au centre Abel Caumartin du CHRU de Lille. Ces vacances permettent une mise en situation professionnelle concrète où, supervisés par un enseignant, les étudiants commencent à prendre en charge des patients. La formation hospitalière des étudiants est la dernière étape car elle apporte aux étudiants une expérience clinique. Les étudiants mettent alors en application les notions théoriques qu'ils ont appris tout en s'exerçant et en améliorant la gestuelle assimilée durant la phase de pratique pré-clinique.

En 2008 en France, 88% des praticiens exerçaient sous forme libérale ¹¹. Dans les cabinets dentaires d'omnipratique, l'activité principale repose sur la réalisation de soins conservateurs (Fig. 4) ³.

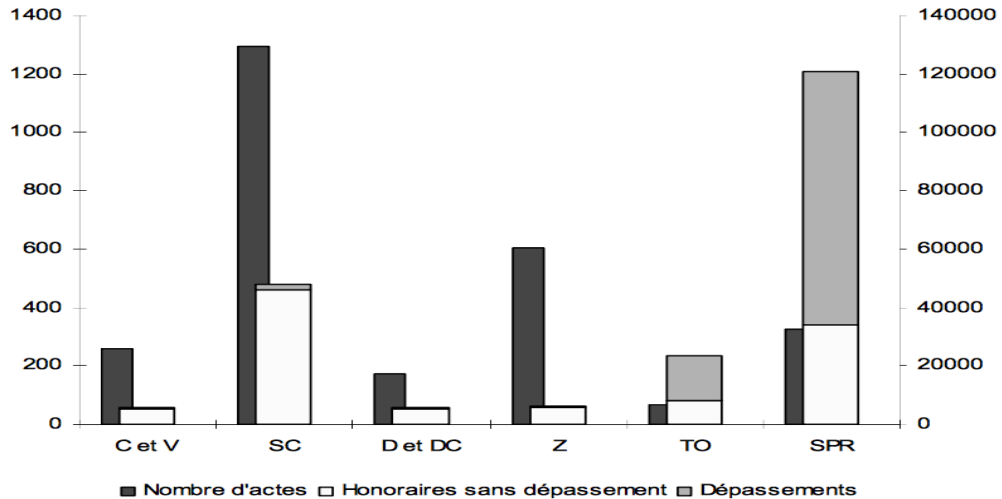


Figure 4. Honoraires et dépassements par chirurgien dentiste en fonction du type d'acte en 2008 en France (Source SNIIRAM-Extraction DSS) ¹¹.

Il est donc important que les futurs praticiens soient particulièrement bien formés en odontologie conservatrice et endodontie.

2.3. La pédagogie en endodontie

L'endodontie a été définie ces dernières années comme étant une discipline distincte de la dentisterie moderne en Europe ⁵⁹. Une spécialité à part entière reconnue dans certains pays d'Europe du fait de l'enrichissement des connaissances concernant les pathologies apicales de la dent, de la tendance à l'économie tissulaire, de l'ère pour les patients à vouloir des « solutions naturelles » à défaut d'une solution implantaire pour remplacer la dent naturelle, ainsi que de l'apport des thérapies moléculaires. Un spécialiste se définit comme une personne avec des aptitudes particulières dans une branche de connaissance ou dans une occupation particulière, marquées de qualité et d'excellence : « c'est un clinicien qui excelle dans son domaine de compétence » ^{9 10}.

Toutefois, la Société Européenne d'Endodontie (ESE : European Society of Endodontology) dresse le constat au travers de la pratique dentaire en 2001 que l'expérience clinique ainsi que la qualité et la quantité de formation concernant l'endodontie pourraient être améliorées compte tenu de cette distinction ¹⁸.

En réponse, elle avance l'importance de la formation initiale encadrée par un consensus européen minimum à acquérir concernant la pratique endodontique avec des spécificités propres à chaque pays ⁵⁰. La formation continue est également mise en avant au travers de Masters, de Certificat d'études supérieures et Diplômes universitaires pour approfondir son savoir et sa technique dans le domaine endodontique.

2.3.1. La formation

2.3.1.1. Le constat

Des études concernant les praticiens ont montré d'une part un manque de connaissances suffisantes sur le traitement canalaire et son efficacité ⁵. Et d'autre part, elles ont émis le constat de l'usage d'une technique standard dans le traitement canalaire qui s'avère décevante ^{53 20 43 15 47}.

2.3.1.2. Les objectifs

Selon la ESE, les étudiants en formation initiale ou continue doivent maîtriser les standards de la pratique endodontique et doivent être compétents pour réaliser un traitement canalaire. Le cursus doit apporter aux étudiants un « curriculum » avec un niveau minimum d'exigence au travers d'une liste de compétences ¹⁷. Les étudiants doivent avoir connaissance de bases théoriques, être familiers des techniques et protocoles cliniques (matériel, matériaux, méthode) tout en étant compétents dans leur pratique. Si les connaissances théoriques passent par un enseignement dit traditionnel, l'expérience clinique s'acquiert au fauteuil par la pratique quotidienne face aux différents cas cliniques rencontrés. Toutefois, dans son rapport, la ESE met en avant l'importance de l'exercice pré-clinique afin de développer cette liste de compétence et de mieux préparer les praticiens dans leurs pratiques futures.

Aujourd'hui, il n'existe pas de consensus précis concernant le contenu théorique de la formation à prodiguer, ni sur la stratégie à adopter pour la formation pré-clinique : méthode, outil pédagogique à employer, sur le nombre de séances d'entraînement pré-clinique nécessaire pour comprendre, assimiler et maîtriser son geste avant de pouvoir le réaliser en clinique ¹³.

Cependant, pour remplir au mieux les objectifs pédagogiques endodontiques énoncés par la ESE, il est possible de suivre leurs recommandations définies pour le traitement canalaire. Elles portent sur les étapes essentielles d'un protocole opératoire standardisé ¹⁶ :

- radiographie préopératoire,
- pose d'un champ opératoire (digue),
- réalisation de la cavité d'accès,
- détermination de la longueur de travail,

- préparation canalaire,
- irrigation,
- médication inter-séance,
- obturation du système canalaire.

Ces étapes doivent être pratiquées sur des modèles dentaires radiculaires naturels, synthétiques ou virtuels.

2.3.1.3. Conclusion partielle

Les TP ont toute leur importance dans la phase pré-clinique de la formation initiale et continue des praticiens de par la méthode d'enseignement participative qu'ils offrent et le meilleur taux de rétention possible, tout en permettant également d'assimiler par le geste les standards de la pratique endodontique énoncés par la ESE. Mais, pour que l'immersion soit la plus réaliste possible ces travaux pratiques doivent être réalisés sur des supports ou moyens pédagogiques fidèles et reproductifs de la nature humaine.

2.3.2. Les moyens pédagogiques actuels des travaux pratiques d'endodontie

La discipline d'odontologie conservatrice et d'endodontie se réalise pour la partie « restauratrice » par l'utilisation de modèles dentaires en résine (Fig. 5).



Figure 5. Modèles dentaires (Frasaco®) montés sur la tête articulée du simulateur.

Ces modèles reproduisent l'anatomie de l'ensemble des dents présentes sur arcades et sont recouverts d'une fausse gencive pour représenter au mieux le modèle humain. Ces modèles en résine ne comportent qu'une morphologie externe de la dent reproduite avec précision.

Or, les TP d'endodontie nécessitent que les étudiants puissent appréhender la morphologie interne et le système canalaire de la dent. C'est pourquoi il est nécessaire de disposer d'un matériel adéquat et différent de celui utilisé aujourd'hui.

2.3.2.1. Les modèles disponibles

On dispose actuellement de différents modèles ayant chacun ses avantages et ses inconvénients ainsi que certaines restrictions d'usage.

➤ Les dents naturelles

Il est possible de recueillir des dents naturelles auprès de chirurgiens dentistes puis de les couler dans des modèles en plâtre et de les monter sur les fantômes en salle de simulation ou encore d'utiliser plus simplement la dent naturelle directement positionnée sur un système de fixation Protrain[®].

- **Intérêt**

Les dents naturelles représentent l'étalon-or des modèles disponibles pour la formation initiale pré-clinique, et la formation continue des praticiens en endodontie ¹. Elles constituent l'objet de la pratique future du chirurgien-dentiste.

De plus, cette dent ayant séjournée dans le milieu buccal a connu le même processus physiologique de sénescence et de défense face à l'agression. Il est donc possible de retrouver les différentes variations de texture, de couleur au niveau de notre modèle comme pour n'importe quelle dent présente en bouche et soumise à l'usage ⁴².

On peut donc dire que la dent naturelle utilisée dans la formation pratique pré-clinique permet d'obtenir immédiatement une situation proche de la clinique, voire identique. Toutefois, à l'heure actuelle des limites relatives à leur usage apparaissent. Les limites viennent du caractère fortement variable (composition, microstructure, anatomie), du risque infectieux et de l'aspect réglementaire strict qui encadre leur obtention et leur utilisation en France.

- **Limites**

Il est difficile de recueillir des dents naturelles exploitables auprès des cabinets dentaires car le nombre d'avulsions tend à diminuer au profit de la conservation.

→ Variabilité

La dent naturelle comporte de nombreuses variations du fait de la présence d'une anatomie interne complexe et unique pour chaque dent, de l'âge des tissus pulpaire ainsi que du passé pathologique de la dent. Il est donc impossible d'obtenir une standardisation du modèle d'étude.

En effet, dans la littérature, on constate que l'histoire pathologique et l'âge dentaire engendrent un taux différent de porosité et de minéralisation au niveau dentinaire ⁴².

La variabilité vient principalement de la grande complexité du système canalaire ^{38 41}. En 1925, Hess a élaboré des planches anatomiques afin d'illustrer l'anatomie radiculaire ²³. De nombreuses classifications comme celle de Vertucci (Fig. 6) témoignent de cette importante variabilité ⁵⁷. Puis, l'emploi de nouvelles méthodes d'imagerie comme la micro-tomographie et la microscopie électronique a permis de découvrir de nouvelles configurations du système canalaire.

On sait que des canaux latéraux ou accessoires complètent le canal principal. On retrouve des anastomoses intercanalaires, des deltas apicaux, des isthmes, des rétrécissements canaux ou encore des minéralisations qui viennent complexifier le système pulpaire. En plus des variations du canal dans le sens horizontal (canal rond, ovale, long-ovale ou aplati) ²⁴, on connaît également le fait que les canaux radiculaires ne sont pratiquement jamais droits et circulaires. Une racine ne contenant qu'un seul canal terminé par un unique foramen apical est une exception ⁴⁰.

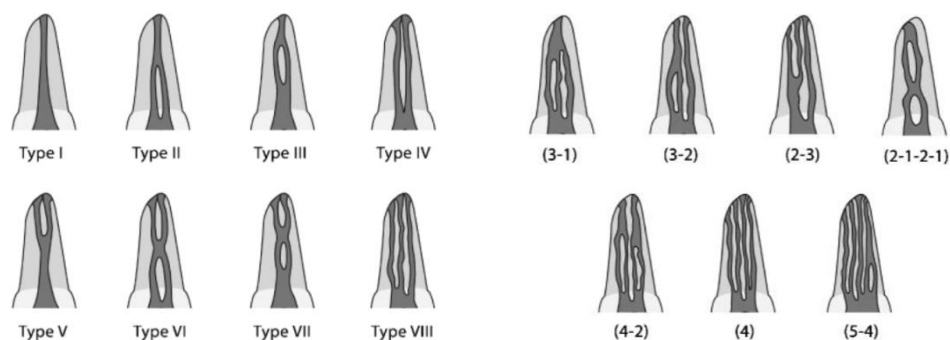


Figure 6. Classification des principales configurations pulpaire selon Vertucci (à gauche) complétés par Gulabivala (à droite)⁵⁷.

→ Risque infectieux

Sur un tout autre plan, la dent étant un tissu biologique humain, elle peut être le vecteur de transmission d'infection croisée entre le patient donneur et la personne la manipulant. On peut trouver la présence de bactéries pathogènes à l'intérieur des canaux ainsi que de résidus sanguins sources d'infections virales et d'autres agents pathogènes. En réponse à cela, l'American Dental Association (ADA), ainsi que le Center for Disease Control (CDC) avancent l'importance de la décontamination des matériels d'origine humaine ayant été au contact de fluides biologiques que ce soit dans le domaine pédagogique ou expérimental^{27 26}. Des banques de dents humaines ont vu le jour au Brésil afin de contrôler l'origine, la décontamination et le stockage des dents naturelles employées pour la formation pratique^{1 19 12}.

→ Cadre légal

Le cadre législatif français, depuis le décret du 10 août 2007, complexifie l'obtention de dents humaines. Ce décret aborde le prélèvement, la conservation et la préparation à des fins scientifiques d'éléments du corps humain. Effectivement, on parle de collection biologique. Selon l'article L1243-3 CSP une collection biologique est une « réunion, à des fins scientifiques, de prélèvements biologiques effectués sur un groupe de personnes identifiées et sélectionnées en fonction des caractéristiques cliniques ou biologiques d'un ou plusieurs membres du groupe, ainsi que des dérivés de ces prélèvements ». Cette collection biologique passe par une déclaration auprès du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche. La loi énonce que la dent qui est considérée comme un élément du corps humain ne peut être utilisée que pour des recherches scientifiques et précise que son utilisation à des fins pédagogiques est proscrite. Cela implique que le patient soit informé de l'intérêt scientifique de la recherche ainsi que de son objectif, du

lieu de conservation et de la personne gérant la collection biologique. Il doit également fournir sa non-opposition, ou son consentement éclairé et il doit pouvoir y renoncer à tout moment s'il le souhaite ce qui rend obligatoire la traçabilité de chaque dent. Celle-ci est délicate à mettre en œuvre. Dans l'idéal, il faudrait pouvoir classer chaque dent individuellement et la relier au consentement de son donneur et à l'autorisation du Ministère. Pour exemple, à la simple échelle lilloise, en septembre 2014 la promotion des 2^e année comprenait 140 étudiants, nécessitant pour chaque TP une vingtaine de dents, soit près de 2 800 dents pour une seule année d'enseignement.

Cette particularité administrative est une spécificité française, car dans les pays anglo-saxons la réglementation est différente. Pour exemple en Angleterre, la Human Tissue Authority précise que le patient n'a pas pour obligation de donner son consentement pour un usage pédagogique de sa dent selon le Code of practice, consent 1 de 2012 paragraphe 25 et 28.

- **Synthèse**

Du fait de cette variabilité propre à l'anatomie dentaire, il n'est donc pas possible d'avoir une standardisation de la dent naturelle comme modèle pédagogique d'un étudiant à un autre pour l'enseignement et l'évaluation. Cela interdit donc le contrôle de la difficulté des évaluations pour la formation pratique pré-clinique en endodontie. En outre, sans décontamination propre, l'usage de tissu biologique humain peut être la source d'une contamination non tolérable de l'utilisateur durant sa formation. Et la législation française interdit l'usage de dent naturelle à des fins de pédagogie. La dent naturelle qui semblait de prime abord être l'étalon-or, s'avère ne pas pouvoir être utilisée pour la formation pratique pré-clinique. Néanmoins, il existe d'autres alternatives à la dent naturelle.

- *Les modèles synthétiques*

On peut trouver sur le marché des simulateurs endodontiques élaborés industriellement. Ces modèles ont leur intérêt car ils tendent à palier les limites de l'utilisation des dents humaines (obtention difficile, variabilité, risque infectieux). Ils intéressent soit la dent entière ou soit uniquement le système canalaire et sont principalement constitués à partir de polymère. Les modèles qui simulent également la morphologie externe de la couronne dentaire, en plus de reproduire une morphologie canalaire interne, sont dès lors plus intéressants lors des travaux pratiques ³² (Endo

Training Tooth, VDW / ZPUK Endo Simulations, frasaco : Fig. 7). Ils ont été développés durant les années 70 à des fins scientifiques et pédagogiques ⁵¹. Ces modèles synthétiques sont pour la plupart des modèles résineux. Le plus employé actuellement contient une résine époxy comme matrice et se constitue d'un bloc contenant un canal simulé.



Figure 7. De gauche à droite : simulateur canalaire bloc ; ZPUK Endo Simulation (image Frasaco) ; Endo Training Tooth (image VDW).

- **Intérêt**

Les simulateurs en résine issus de l'industrie sont standardisés, ont un faible coût, et sont simples à produire, ce qui participe à leur large distribution. La forme, la dimension, la conicité, les trajectoires canales ainsi que les courbures sont équivalentes d'un simulateur à un autre ^{6 7}. A l'usage, il n'y a donc aucune différence notable d'un étudiant à un autre et l'analyse quantitative et qualitative de la préparation endodontique a été validée pour l'utilisation de ce type de modèle ⁵⁸.

- **Limites**

Les simulateurs possèdent des morphologies canales simplifiées et insuffisamment détaillées : absence de contre-dépouilles, impossibilité de recréer des courbures canales dans les trois plans de l'espace, absence de constriction apicale et des imprécisions ⁵². Néanmoins, l'apport de l'impression 3D permet progressivement de compenser ces insuffisances anatomiques par l'emploi de la stéréolithographie qui, à partir de données scannographiques, permet de reproduire des dents complètes aux morphologies internes complexes (TrueTooth DELendo) (Fig. 8). La question de la résolution utilisée afin de garantir une précision suffisante se pose alors ³⁰.

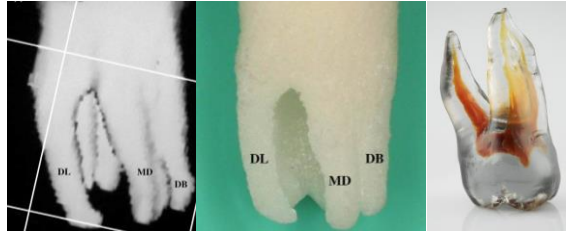


Figure 8. Reproduction d'une dent par impression 3D/ True Tooth (de gauche à droite).

L'emploi de résine particulière peut conférer au simulateur une transparence non réaliste et difficilement compatible avec l'apprentissage de la formation pratique pré-clinique de l'endodontie. Effectivement, l'étudiant est par exemple en mesure de visualiser directement la progression de ces limes au sein de la courbure canalaire. Mais des résines opaques existent également. De plus, leur dureté est insuffisante et la composition chimique ainsi que la microstructure du matériau sont totalement différentes de celles de la dentine ²⁸. Ceci perturbe le rendu des sensations tactiles de fraisage ou de préparation canalaire. En effet, la chaleur générée par l'instrumentation provoque un assouplissement du matériau ⁵². Ce matériau radioclaire ne permet pas la prise de clichés radiographique.

- **Synthèse**

Les matériaux synthétiques et notamment résineux offrent une standardisation d'un simulateur à un autre pour un coût de conception abordable ce qui rend leur usage dans la pédagogie endodontique pré-clinique intéressant. Néanmoins, bien que les simulateurs présentent une morphologie interne standardisée et donc une difficulté identique, cette anatomie du système canalaire reste trop simpliste face à la complexité et à la diversité des morphologies canalaires courantes pour les dents naturelles. Cependant, l'apport des nouvelles technologies, et le développement de l'impression 3D sembleraient offrir des anatomies internes plus détaillées. En outre, le matériau résineux en lui-même ne permet pas un rendu satisfaisant de la sensation tactile, du comportement radiologique ou encore du rendu des instruments endodontiques pendant la préparation canalaire en comparaison à une dent naturelle.

- Les modèles numériques

La réalité virtuelle désigne : « la représentation et la perception simultanées de la réalité et de ses propriétés physiques et ce grâce à une représentation par ordinateur en temps réel » ⁴. Les simulateurs pour l'OCE utilisent cette technologie par un détecteur

optique accompagné d'un système électromécanique très précis qui tient dans une pièce ayant la dimension et la forme d'un contre-angle. Ces deux éléments constituent le fondement du simulateur : le contre-angle peut être librement déplacé dans l'espace par le biais d'un système mécanique de bras articulé à retour d'effort. On y trouve également un détecteur qui sonde une arcade dentaire inclinable (inférieure ou supérieure) ce qui permet de simuler les différents angles de vue possibles. Toutes les informations recueillies, comme par exemple la position spatiale selon les axes X, Y, Z ainsi que les rotations droite ou gauche le sont en temps-réel. Ses informations sont ensuite transmises à un logiciel informatique qui les traite et recrée virtuellement sur le moniteur, l'instrument au bout duquel se trouve la fraise taillant la dent selon l'orientation réalisée, le tout en 3D (Fig. 9) ³³.



Figure 9. Simulateur numérique composé du logiciel informatique accompagné du détecteur optique et du système électromécanique ³³.

- **Intérêt**

Cette méthode pédagogique permet d'éviter la consommation de matériel. Les étudiants peuvent ainsi effectuer leurs « premiers pas » avant d'accéder aux fantômes et aux TP classiques. Cet enseignement virtuel permet aux étudiants d'apprendre à leur rythme : une fonctionnalité offre même la possibilité d'annuler la dernière action réalisée. Il y a donc un réel intérêt pédagogique car l'étudiant se rendant compte qu'il se trompe, peut revenir à l'étape antérieure et par exemple se corriger lui-même. De ce fait, il peut comprendre, retenir et s'améliorer ⁴.

Le logiciel propose également des coupes selon différents axes ce qui peut faciliter la compréhension de l'anatomie dentaire. On est dans une méthode d'apprentissage interactive qui est en lien avec notre époque ⁴⁴.

- **Limites**

Ce simulateur ne permet pas d'appréhender l'ergonomie de travail en dentisterie avec ses positions et son instrumentation complexe. Les simulateurs sont encombrants et nécessitent un local inhérent à leur stockage et à leur utilisation bien que des simulateurs mobiles via un ordinateur portable se développent ⁴. Ce procédé rend possible la réalisation de travaux personnels et d'entraînements pour les étudiants à leur domicile.

De plus, le logiciel propose des reconstitutions basiques prédéfinies de dents à partir d'une bibliothèque de données ³³ donnant une modélisation peu réaliste et une approche simpliste de la réalité. Toutefois, l'apport des nouvelles technologies a permis de reproduire certaines anatomies dentaires à partir de photographie et de microtomographie donnant des résultats plus réalistes ³⁶. Le problème majeur de ces simulateurs numériques tient dans le fait qu'ils n'offrent pas la possibilité de réaliser les étapes standard de l'endodontie. Il permet uniquement de réaliser des cavités d'accès. Ceci est dû à la complexité de simuler l'instrumentation des canaux dentaires ⁴.

- **Synthèse**

Les modèles pédagogiques numériques qui simulent une réalité virtuelle semblent avoir un avenir prometteur. En effet, la possibilité pour l'étudiant d'effectuer ses « premiers pas », d'apprendre une gestuelle sommaire et de pouvoir s'exercer sans aucune contrainte matérielle est une aide à l'apprentissage. Cependant, ces simulateurs ne remplaceront jamais l'étape essentielle que représente la formation pré-clinique au travers des TP. La pratique concrète et réelle sur des fantômes reste un fondement inéluctable avant de passer à la clinique. Mais cette méthode a le mérite de proposer une approche de plus en plus réaliste de par l'apport des nouvelles technologies, qui tend à se développer et à complexifier ses champs de compétence (chirurgie orthognatique, implantologie) ⁴⁹. Il semblerait pertinent, au vu de ce constat, d'inclure dans le cursus universitaire une étape préliminaire aux TP qui consisterait pour les étudiants de seconde année à utiliser un simulateur numérique.

2.3.2.2. Conclusion

En résumé, parmi les modèles actuellement disponibles à l'enseignement pratique de l'endodontie, on note que l'étalon-or est la dent naturelle mais que son usage est soumis à des restrictions législatives qui interdisent son utilisation dans un cadre pédagogique. Ce qui a favorisé le développement de simulateurs synthétiques. Cependant, la nature même du matériau employé n'est pas suffisamment fidèle au tissu dentaire de part sa composition chimique et sa micro-structure, la résine ayant un impact direct sur les propriétés du simulateur (comportement radiologique, sensation tactile). De plus, l'anatomie canalaire reste une approche simpliste, peu retrouvée dans les tissus dentaires naturels. Bien que cela soit en train d'évoluer par l'apport des techniques d'impression 3D.

Il apparaît, au vu de ces constatations, qu'il n'existe actuellement pas de matériel pédagogique disposant d'un cahier des charges suffisant pour tendre vers la dent naturelle dans l'enseignement pratique pré-clinique bien que des modèles numériques soient également en cours de développement. Ceux-ci offriront sans doute dans l'avenir, la possibilité de simuler virtuellement une préparation canalaire.

2.3.3. Une alternative aux moyens pédagogiques actuels

Afin d'essayer de palier les limites inhérentes aux modèles pédagogiques existants pour la formation pratique pré-clinique dans le domaine endodontique, nous avons développé un simulateur canalaire dans les laboratoires INSERM U1008 et EA 2443 (LMCPA). Ce simulateur fait l'objet d'un brevet déposé le 28/05/2015 sous le n° FR 15 54777, et porte le nom de simulateur MiMa.

2.3.3.1. Intérêts du simulateur

Le simulateur a pour vocation de servir de référence durant les TP d'endodontie pour la formation initiale et continue des chirurgiens dentistes. Et ce en remplaçant les modèles résineux par la standardisation des protocoles suivants :

- mise en forme,
- irrigation,
- obturation,
- retraitement.

2.3.3.2. Matériaux

➤ *MiMa*

Le matériau minéral (MiMa) qui est élaboré pour ce dispositif simule la phase minérale de la dentine naturelle en termes de :

- **Composition chimique** : hydroxyapatite.
- **Microstructure** : taille des pores et taux de porosité.

Cette microstructure s'obtient par l'adjonction d'un porogène dans la barbotine d'hydroxyapatite. Le matériau obtenu est plus proche de la dentine naturelle que les matériaux résineux existants sur le marché (Fig. 10).

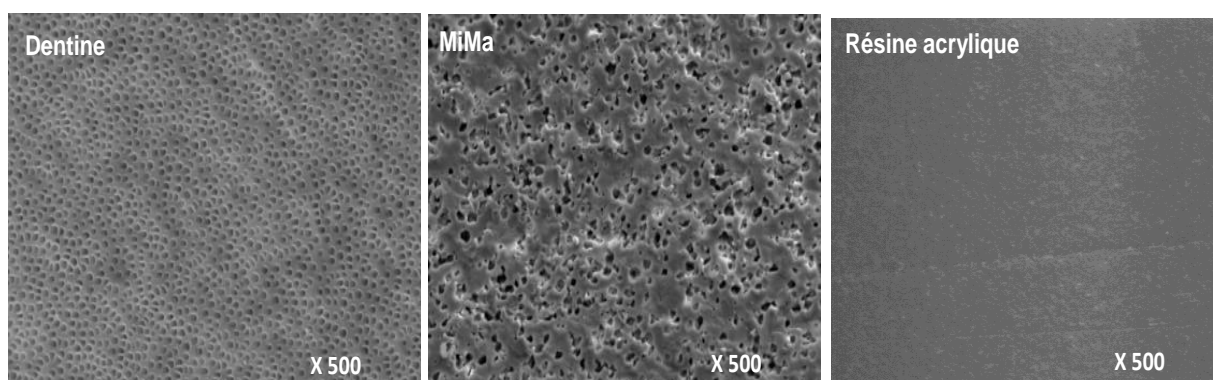


Figure 10. Images de MEB (x500) de la microstructure de la dentine naturelle, MiMa et résine acrylique.

➤ *Moule du système canalaire*

Un moule du volume canalaire est produit par une technique de conception-fabrication assistée par ordinateur. Des dents naturelles sont scannées par microtomographie, puis les volumes pulpaire sont alors modélisés en 3D par segmentation. Ces volumes sont ensuite surdimensionnés pour compenser le retrait lors de la densification de l'hydroxyapatite par le traitement thermique. Enfin, les moules canalaires sont imprimés par technique additive d'impression 3D en cire.

2.3.3.3. Fabrication

La principale difficulté du cahier des charges de ce simulateur MiMa tient dans le contrôle de son anatomie interne qui réside dans les faibles dimensions des détails à reproduire, à noter que le diamètre dans le tiers apical d'une racine dentaire est de 0,15

mm. Pour franchir cette difficulté, une méthode de cire perdue adaptée aux petits volumes a été utilisée.

La fabrication passe par 4 étapes successives :

- Préparation d'une barbotine.
- Coulage de la barbotine autour d'un moule de volume canalaire.
- Séchage.
- Traitement thermique.

Le coût unitaire actuel d'un tel simulateur canalaire varie entre 8-10 euros par pièce, ce qui reste un coût acceptable.

2.3.3.4. Conclusion

Ce simulateur canalaire biomimétique présente l'avantage d'avoir une composition (hydroxyapatite synthétisée), une microstructure et une anatomie interne proches d'une racine dentaire naturelle. En laboratoire, il réagit aux conditions environnantes comme la température, la pression, la présence de fluide, de façon « similaire » à la dent naturelle soumise aux mêmes conditions. De plus, il est également possible d'y réaliser des traitements endodontiques et des collages de systèmes adhésifs grâce à l'ancrage mécanique dans la structure poreuse du simulateur MiMa, proche de celle de la dentine naturelle. Par ailleurs, le système MiMa présente l'avantage d'être radio-opaque, et de pouvoir ainsi être visualisé sur des clichés radiographiques (Fig. 11).

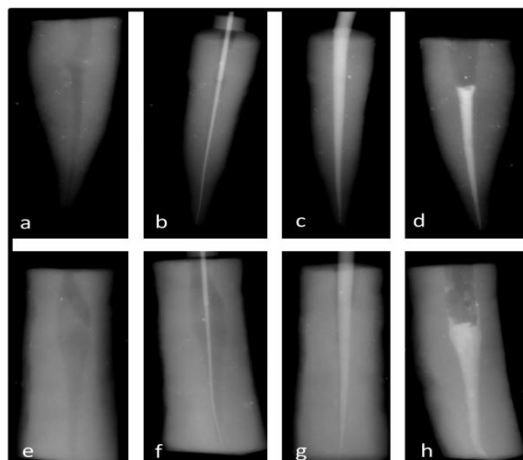


Figure 11. Clichés radiographiques des différentes étapes d'un traitement endodontique sur dent naturelle (a->d) et sur le simulateur MiMa (e->h).

Ces données techniques et ces résultats sont issus d'études réalisées en laboratoire sur les comportements mécanique, physique et chimique propres du simulateur. Il s'avère donc essentiel d'étudier également le comportement du simulateur MiMa dans son utilisation pratique auprès de ses futurs utilisateurs pour évaluer sa dimension pédagogique.

3. Partie expérimentale

Cette étude pilote expérimentale avait pour buts d'évaluer pendant son utilisation le comportement du simulateur MiMa par une analyse via des questionnaires ainsi que d'évaluer son caractère pédagogique par l'ajustage d'un maître-cône (MC), ceci en comparaison d'un simulateur résineux classique.

3.1. Matériel et méthode

3.1.1. Constitution des groupes expérimentaux

Elle s'est déroulée dans la faculté de chirurgie dentaire de Lille : 20 étudiants en début de 4^e année ayant signé un engagement de confidentialité ont été inclus (Annexe. 1 Clause de confidentialité).

Les critères d'inclusion ont été les suivants :

- être disponible pour 2 séances de travaux pratiques,
- être novice dans l'utilisation du ProTaper® (Dentsply),
- avoir validé l'ensemble du programme d'enseignement d'endodontie de P3 à Lille.

L'enseignement pratique et théorique, dispensé en P3 a permis aux étudiants d'acquérir préalablement à l'étude, les notions essentielles du traitement endodontique initial orthograde (cavité d'accès, cathétérisme, mise en forme, irrigation et obturation).

La sélection des étudiants a été réalisée par tirage au sort informatique à l'aide d'un logiciel libre (Intemodino) (Fig. 12).

L'ensemble des étudiants d'un même groupe de TP s'est vu attribuer un numéro puis le logiciel a permis de générer 20 nombres aléatoires correspondants aux étudiants sélectionnés. Chaque étudiant a ensuite été contacté individuellement par courriel afin de vérifier ses disponibilités pour participer à l'étude (Annexe. 2 Lettre recrutement).

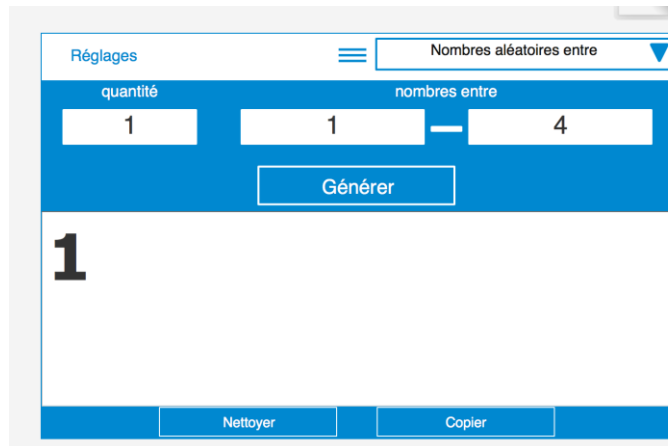


Figure 12. Tirage au sort part un générateur de nombres aléatoires (Intemodino).

Les étudiants retenus ont ensuite été répartis de façon aléatoire (randomisation) dans 2 groupes expérimentaux distincts, de la même manière que décrite précédemment :

- 1^{er} groupe : « Simulateur Résine »,
- 2^e groupe : « Simulateur MiMa ».

Afin de limiter les biais d'inclusion, l'homogénéité de la répartition du niveau des étudiants a été contrôlée dans chaque groupe expérimental en comparant les notes obtenues lors des travaux pratiques d'endodontie en 3^e année au 1^{er} semestre et au 2^e semestre.

➤ **Groupe « Simulateur Résine »**

L'apprentissage à la mise en forme canalaire a été réalisé sur 3 simulateurs en résine époxy : « Endo training blocks[®] » (Dentsply) (Fig. 13), ayant un canal de conicité 2%, un diamètre apical de 15/100^e mm et une courbure apicale de 35°. Les simulateurs ont été opacifiés à l'aide d'un marqueur pour masquer l'anatomie interne du canal et empêcher la visualisation directe du passage des limes comme pour les simulateurs MiMa.



Figure 13. « Endo training blocks[®] » (Dentsply).

➤ Groupe « **Simulateur MiMa** »

L'apprentissage à la mise en forme canalaire a été réalisé sur 3 simulateurs MiMa (Fig. 14).

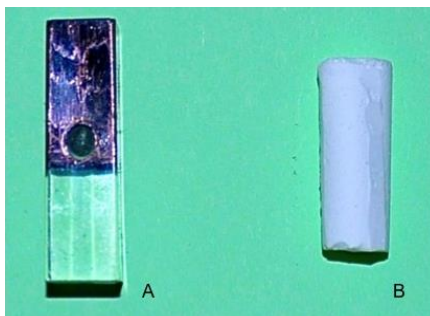


Figure 14. Simulateurs Résine (A) et MiMa (B).

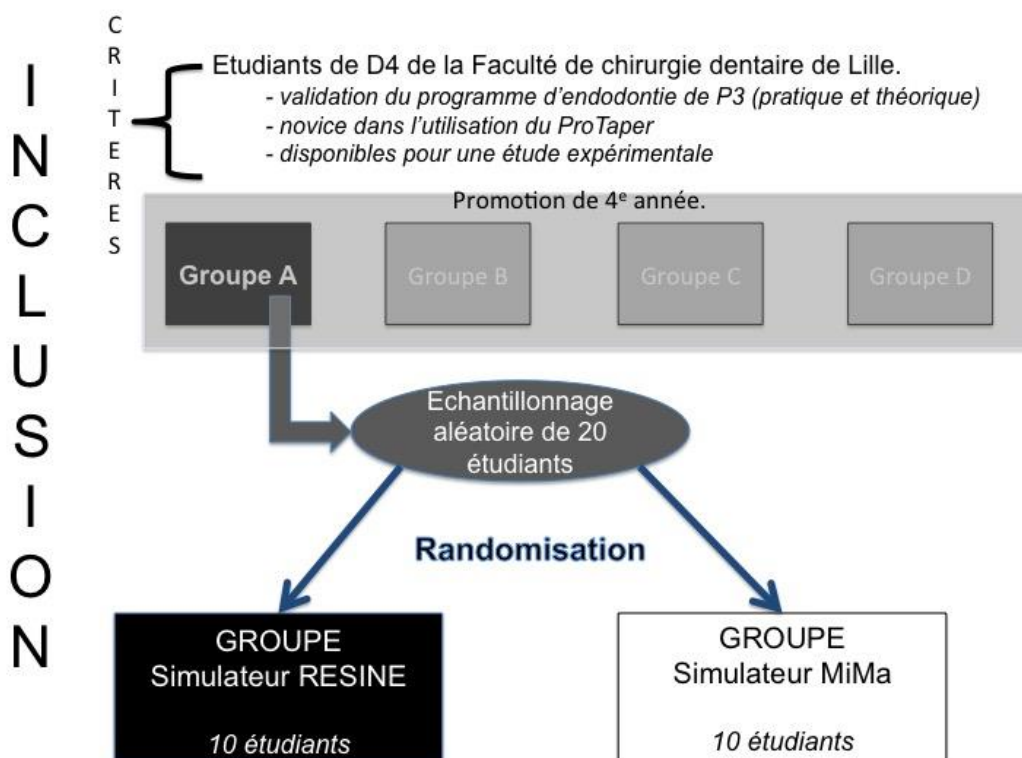


Figure 15. Constitution des groupes expérimentaux à partir d'étudiants issus du groupe A d'une promotion de DCEO4.

3.1.2. Phase expérimentale

La phase expérimentale de l'étude pilote est constituée d'une première séance d'apprentissage à l'utilisation d'un système de mise en forme canalaire suivi d'une seconde séance d'évaluation.

3.1.2.1. Séance d'apprentissage

En salle de simulation, les étudiants ont assisté à une présentation orale qui avait pour but de faire découvrir les caractéristiques techniques du système ProTaper® (Dentsply) ainsi que les recommandations d'utilisation fournies par le fabricant.

Les caractéristiques techniques du système ProTaper® (Dentsply) se résument par (Fig. 16) :

- un manche court (13 mm) améliorant la visibilité,
- une pointe non travaillante pour respecter la trajectoire du canal,
- une conicité variable sur le même instrument ce qui confère une zone de travail ciblée,
- un angle d'hélice et un pas variables pour faciliter la remontée des débris et limiter l'effet de vissage,
- une section triangulaire convexe et une masse centrale importante pour augmenter la solidité, ceci augmente également la rigidité des instruments,
- un angle de couple légèrement positif, sans méplat pour améliorer l'efficacité de coupe.

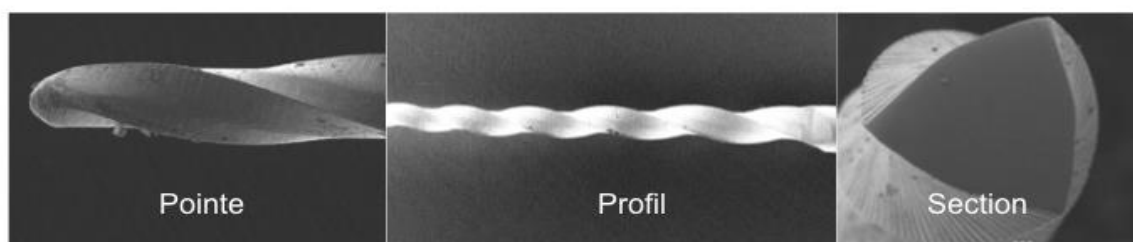


Figure 16. Caractéristiques techniques du ProTaper® (Dentsply)-Images de microscope électronique à balayage.

La séquence instrumentale a été exécutée selon les recommandations du fabricant (Fig. 17) :

- Passage des Shaping files :
 - SX** (diamètre 19/100^e) aux 2/3 coronaire : relocalisation de l'entrée canalaire,
 - S1** (diamètre 18/100^e / 2%) à la LT : mise en forme du tiers coronaire,
 - S2** (diamètre 20/100^e / 4%) à la LT : mise en forme du tiers médian.
- Passage des Finishing files :
 - F1** (diamètre 20/100^e / 7%) à la LT : mise en forme du tiers apical,
 - F2** (diamètre 25/100^e / 8%) à la LT : mise en forme du tiers apical.

Le passage successif des limes s'est fait en alternant des étapes d'irrigation et de passage d'une lime de perméabilité canalaire.



Figure 17. Système ProTaper® (Dentsply).

Dans cette étude, la mise en forme canalaire a été demandée jusqu'au diamètre apical 25/100° (passage de l'instrument F2), correspondant aux standards actuels de l'ampliation canalaire. Les instruments de mise en forme canalaire par rotation continue ont été montés sur un contre-angle réducteur avec contrôle de couple (BA NiTi E35, Ba International) (Fig. 18). En effet, le débrayage automatique du moteur pour un couple donné permet de limiter le risque de fracture instrumentale par torsion.



Figure 18. Contre-angle BA NiTi E35 (BA International).

3.1.2.2. Entraînement pratique

Les étudiants des 2 groupes ont mis en forme les simulateurs canaux avec le système ProTaper® (Dentsply), ont ajusté un maître-cône puis les ont obturés.

Au cours de la séance, un enseignant d'endodontie de la faculté de Lille et un moniteur de 6^e année étaient présents pour répondre aux éventuelles questions des étudiants, ainsi que pour référencer les problèmes techniques rencontrés lors de l'usage du simulateur (fracture, défaut éventuel) (Fig. 19).

Finalement, l'ensemble des blocs obturés a été récupéré avec les radiographies cône-en-place et d'obturation en respectant l'anonymat.



Figure 19. Encadrement du TP d'apprentissage par un moniteur de 6^e année.

➤ *Protocole*

La séance d'apprentissage a été standardisée en 6 d'étapes :

- prise d'un cliché **radiographique rétro-alvéolaire pré-opératoire**,
- réalisation d'une **cavité d'accès** et **dégagement des interférences coronaires** par l'emploi du SX,
 - **cathétérisme** et **détermination de la longueur de travail** puis vérification radiologique par la prise d'une radiographie lime en place,
 - **mise en forme canalaire** (S1-F2) en respectant les recommandations du fabricant ainsi que l'alternance des phases d'irrigation et du passage de la lime de perméabilité (Fig. 20),
 - **ajustage du maître-cône** et contrôle visuel, tactile puis radiologique de l'ajustage du maître-cône par une **radiographie cône-en-place** (Fig. 21),
 - **obturation canalaire** : condensation latérale à froid (1/3 apical), thermomécanique (2/3 coronaires).



Figure 20. Mise en forme canalaire des simulateur Résine (A) et MiMa (B).

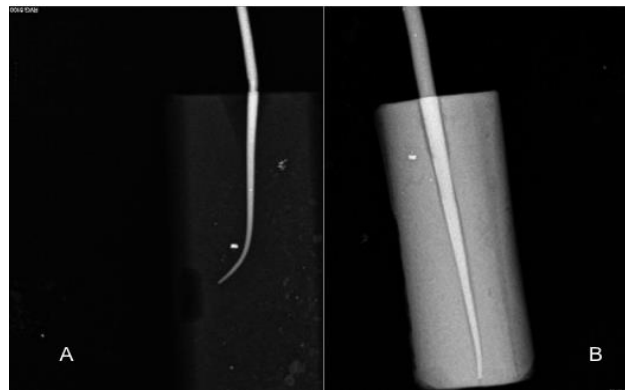


Figure 21. Radiographie cône-en-place d'un simulateur Résine (A) et d'un simulateur MiMa (B).

➤ *Matériel nécessaire*

Pour réaliser ce protocole les étudiants ont eut à disposition le matériel suivant :

- turbine et fraises,
- limes de cathétérisme 8, 10, 15,
- limes d'élargissement 8, 10, 15,
- réglette d'endodontie,
- seringue d'irrigation avec embout de diamètre 40/100^e mm et solution d'hypochlorite de sodium concentré à 2,5%,
- séquence ProTaper[®] (Dentsply) SX-F2,
- contre-angle réducteur (115 :1),
- cônes de gutta-percha,
- bistouri,

- pointes papiers,
- spatule à ciment et ciment d'obturation (AH Plus® (Dentsply)).
- thermocompacteur de diamètre noir,
- fouloirs de condensation latérale,
- fouloirs de Machtou (Maillefer).

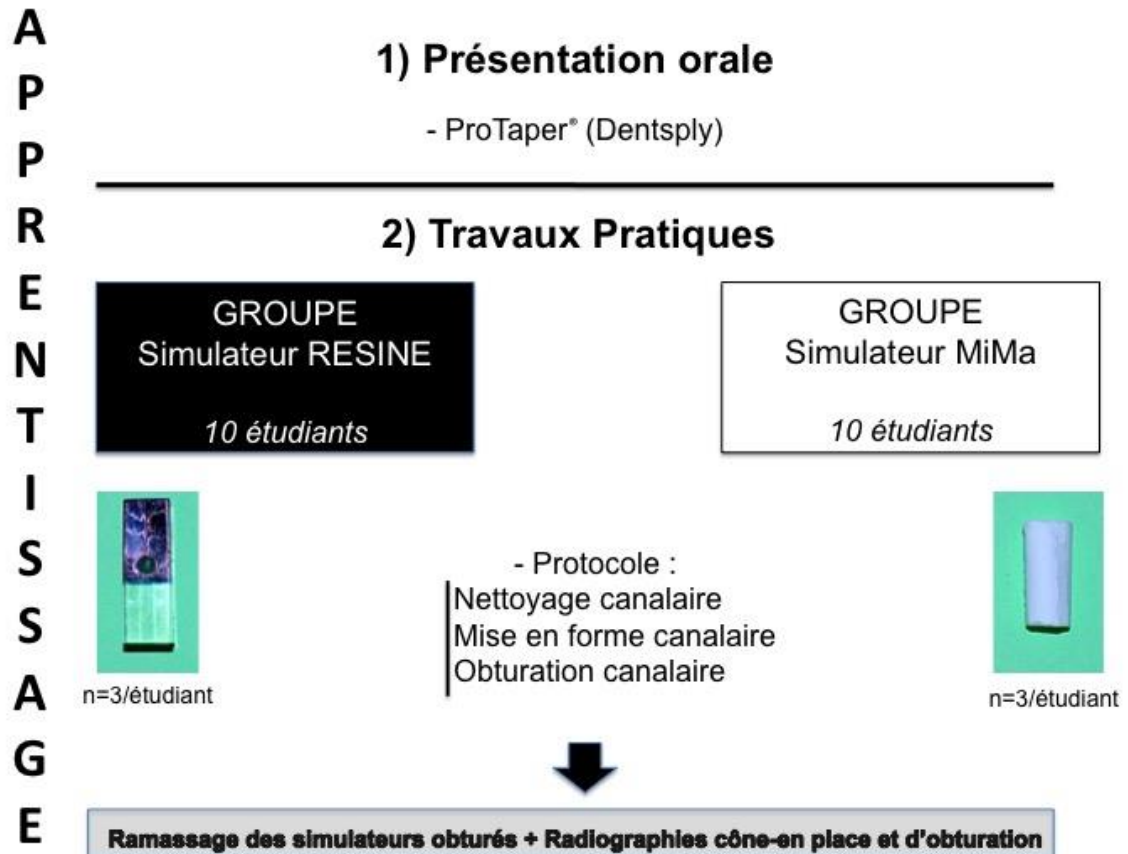


Figure 22. Phase expérimentale : 1^{ère} séance « apprentissage ».

➤ *Questionnaire*

A la fin de la séance d'apprentissage un questionnaire anonyme a été remis à chaque étudiant pour évaluer leurs appréciations sur les caractéristiques et l'usage du simulateur qu'ils avaient reçu (Annexe 3. Questionnaire anonyme étudiant).

Les paramètres suivants ont été abordés :

- anatomie interne,
- forme du canal,

- dimension du canal,
- texture au fraisage,
- texture lors de la mise en forme canalaire,
- dureté,
- irrigation,
- comportement radiologique,
- comportement lors de l'obturation,
- facilité d'utilisation,
- score général.

Pour chaque paramètre, l'attribution d'un score allant de 1 « insuffisant » à 10 « parfait » a été demandée.

3.1.2.3. Séance d'évaluation

Deux semaines après la séance d'apprentissage, pour permettre l'assimilation des acquis, les étudiants ont de nouveau été convoqués pour une séance d'évaluation. Cette fois, les participants ont manipulé le système ProTaper® (Dentsply) sur dents naturelles et ont ajusté un maître-cône puis obturé le système canalaire. Pour cette partie, les étudiants ont travaillé en autonomie durant 1h30. Aucun rappel d'information n'a été réalisé. A la fin de l'évaluation, chaque dent a été ramassée ainsi que les radiographies cône-en-place et d'obturation correspondantes en respectant l'anonymat.

➤ *Modèle*

Chaque étudiant a coupé 3 racines de dents naturelles monoradiculées simples (incisives, canines ou 1^{ère} prémolaires maxillaire ou mandibulaire), à 15 mm de l'apex pour standardiser la difficulté. Les dents ont ensuite été montées dans des blocs de cire afin d'empêcher l'accès direct à l'apex radiculaire (Fig. 23.24).



Figure 23. Modèle préparé pour la séance d'évaluation

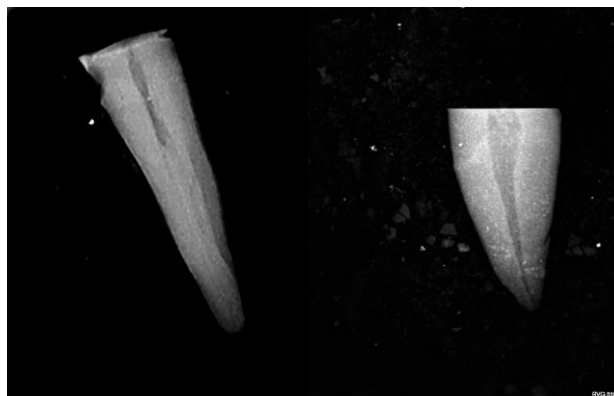


Figure 24. Clichés radiographiques pré-opératoires de racines dentaires préparées.

➤ *Protocole*

Le protocole de cette séance d'évaluation était identique à celui de la séance d'apprentissage (Cf. 3.2.2.2 : Protocole). Les étudiants étaient dans les mêmes conditions que lors de leur apprentissage, le matériel correspondait donc à la liste vue précédemment.



Figure 25. Mise en forme canalaire (F1) d'une racine naturelle.

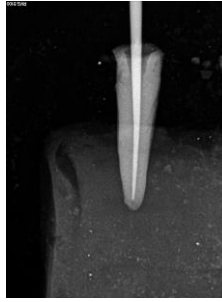


Figure 26. Cliché radiographique cône-en-place d'une dent naturelle.

➤ *Analyse*

Le niveau des étudiants inclus a été analysé par le contrôle de la résistance au retrait et le contrôle de l'ajustage radiographique en longueur du maître-cône.

- **Résistance au retrait du maître-cône**

Au cours de la séance, l'enseignant a contrôlé à l'aide d'une paire de précelles la présence (1) ou l'absence (0) de la résistance au retrait du maître-cône. Les données ont été archivées.

- **Ajustage radiographique en longueur du maître-cône**

L'enseignant a ensuite attribué un score à l'aveugle en fonction des images radiographiques cône-en-place correspondant à l'ajustage radiographique en longueur du maître-cône (Fig. 27) :

- ajustage **court** = pointe du MC à plus de 2 mm de la constriction apicale,
- ajustage **acceptable** = pointe du MC entre 2 mm et la constriction apicale,
- ajustage **long** = dépassement de la pointe du MC.

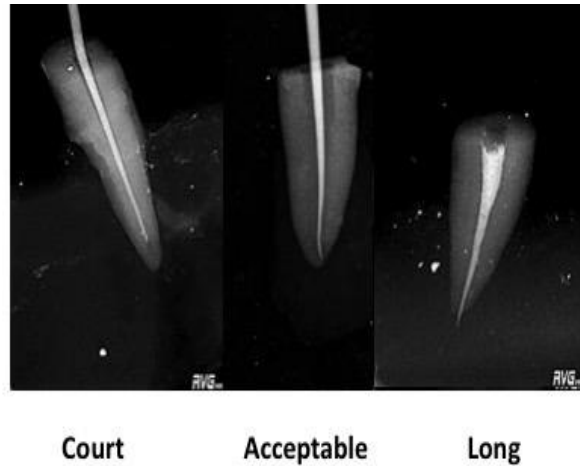


Figure 27. Radiographies cône-en-place illustrant les différents critères d'ajustage radiographique en longueur (Court-Acceptable-Long).

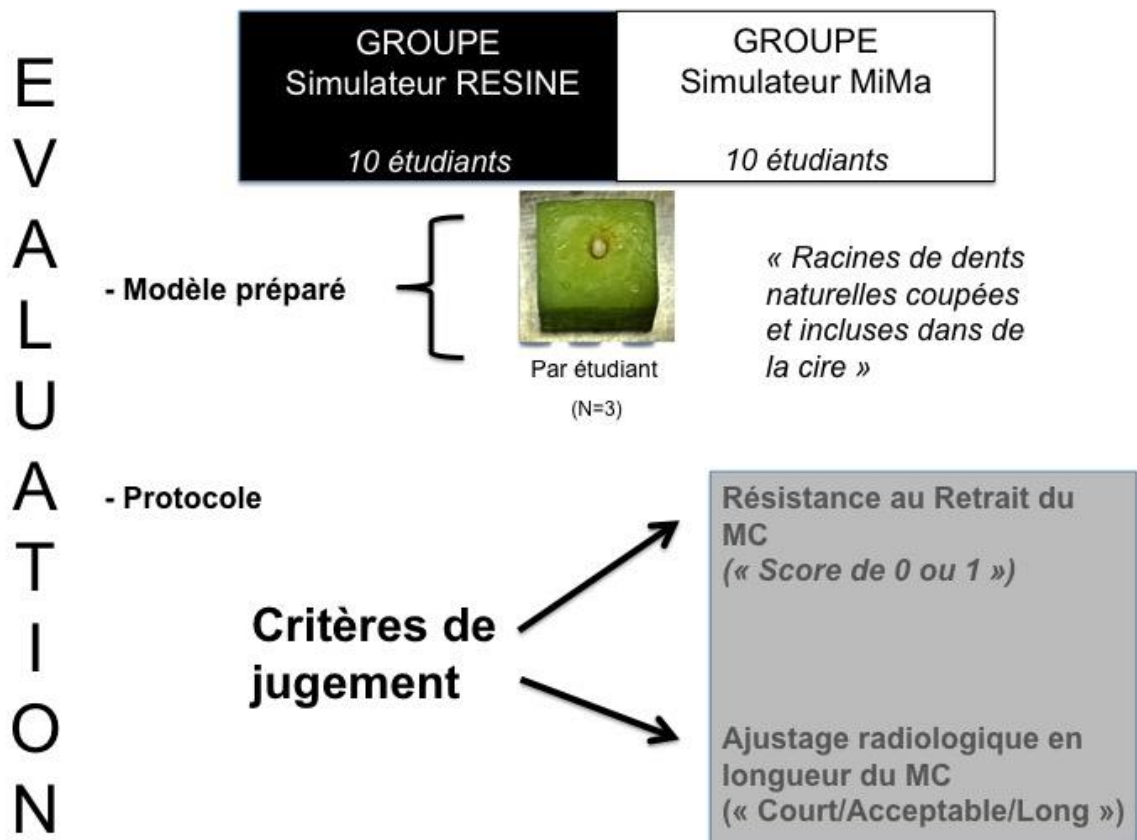


Figure 28. Phase expérimentale : 2^e séance « évaluation ».

➤ *Analyse statistique*

Pendant cette étude expérimentale pilote plusieurs analyses statistiques ont été réalisées sur les données recueillies. Elles ont été exploitées par un biostatisticien de la

fédération de recherche clinique du CHRU de Lille à l'aide d'un logiciel informatique (SAS®-SAS institute Inc). Une différence statistiquement significative a été mise en évidence lorsque $p < 0,05$.

- **Note des étudiants de 3^e année**

Le niveau pratique d'endodontie des étudiants en 3^e année a été comparé entre les groupes expérimentaux par un test statistique non paramétrique de Mann-Whitney.

- **Questionnaires**

Les scores des variables des questionnaires ont été comparés par un test statistique non paramétrique de Mann-Whitney.

- **Ajustage du maître-cône**

L'ajustage du maître-cône a été analysé par le contrôle des variables de résistance au retrait et d'ajustage radiographique en longueur.

Les scores de **résistance au retrait du MC** et de **l'ajustage radiographique en longueur du MC** ont été analysés successivement par régression logistique mixte avec effet aléatoire tenant compte de la corrélation entre les mesures répétées pour mettre en évidence ou non une différence significative entre le groupe « Simulateur Résine » et le groupe « Simulateur MiMa ». Cette corrélation s'explique par « l'effet étudiant », c'est à dire que chaque étudiant aura tendance à refaire la même erreur d'une dent à l'autre.

3.2. Résultats

3.2.1. Note des étudiants de 3^e année

Le test statistique non paramétrique de Mann-Whitney n'a pas mis en évidence de différence significative ($p=0,393$) entre le niveau pratique d'endodontie des étudiants pour l'année qui précède l'étude expérimentale pilote.

- Le groupe « Simulateur Résine » avait une moyenne de **(12,443 +/- 1,733)**.
- Le groupe « Simulateur MiMa » avait une moyenne de **(11,197 +/- 1,897)**.

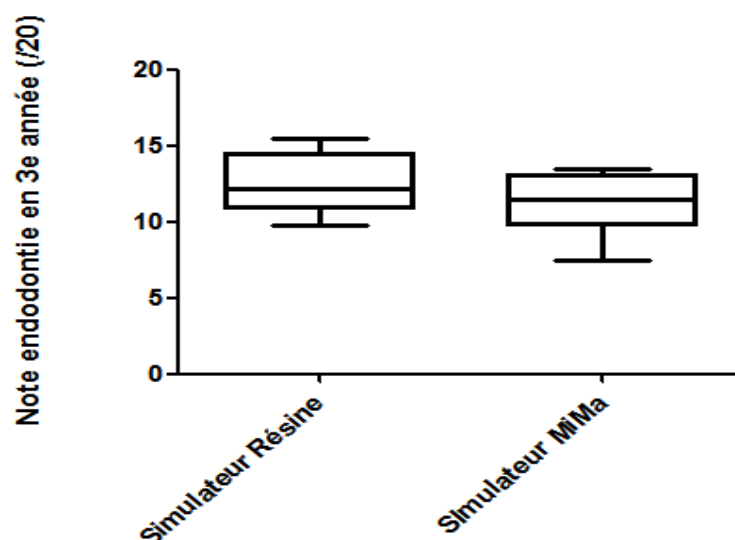


Figure 29. Box plot des notes moyennes du niveau pratique en 3^e année des étudiants inclus ($p>0,05$).

3.2.2. Questionnaire

➤ Résultats quantitatifs

Concernant l'analyse quantitative du questionnaire étudiant, le groupe « Simulateur MiMa » avait une différence significative avec le groupe « Simulateur Résine » pour le comportement radiologique d'après le test statistique non paramétrique de Mann-Whitney ($p=0,0022$) (Tab. 1). Le comportement radiologique était meilleur dans le groupe « Simulateur MiMa ».

Le simulateur MiMa a eu de meilleurs scores que le simulateur Résine concernant :

- la texture lors de la mise en forme,
- l'obturation,
- la facilité d'utilisation,
- le score général.

Mais ces différences n'étaient pas significatives au vu des résultats des tests non paramétriques de Mann-Whitney réalisés pour l'ensemble des paramètres étudiés.

Tableau 1. Moyennes des scores des différents paramètres du questionnaire des groupes « Simulateur Résine » et « Simulateur MiMa » et résultats de l'analyse statistique.

Paramètres étudiés	Simulateur Résine Moyenne +/- écart type (/10)	Simulateur MiMa Moyenne +/- écart type (/10)	<i>p</i>
Anatomie interne	5,9 +/- 2,08	7 +/- 1,41	0,2609
Dimension du canal	7,1 +/- 1,19	6,6 +/- 1,26	0,3514
Forme du canal	6,2 +/- 2,29	6,3 +/- 1,57	0,939
Texture lors du fraisage	4,3 +/- 2,21	4,2 +/- 1,39	1
Texture lors de la mise en forme	4,4 +/- 2,22	5,3 +/- 1,77	0,3392
Dureté	5,89 +/- 1,61	4,6 +/- 1,71	0,1066
Comportement radiologique	4,6 +/- 3,1	8,9 +/- 1,4	0,0022
Comportement lors de l'irrigation	6,5 +/- 2,68	6,3 +/- 1,89	0,6464
Comportement lors de l'obturation	6,44 +/- 2,4	8 +/- 1,25	0,1681
Facilité d'utilisation	5,8 +/- 2,49	7,1 +/- 1,52	0,2223
Score général	5,5 +/- 2,22	6,65 +/- 1,33	0,1475

La moyenne des scores pour les paramètres étudiés entre le groupe « Simulateur Résine » et le groupe « Simulateur MiMa » a été illustrée par des histogrammes appariés (Fig. 30).

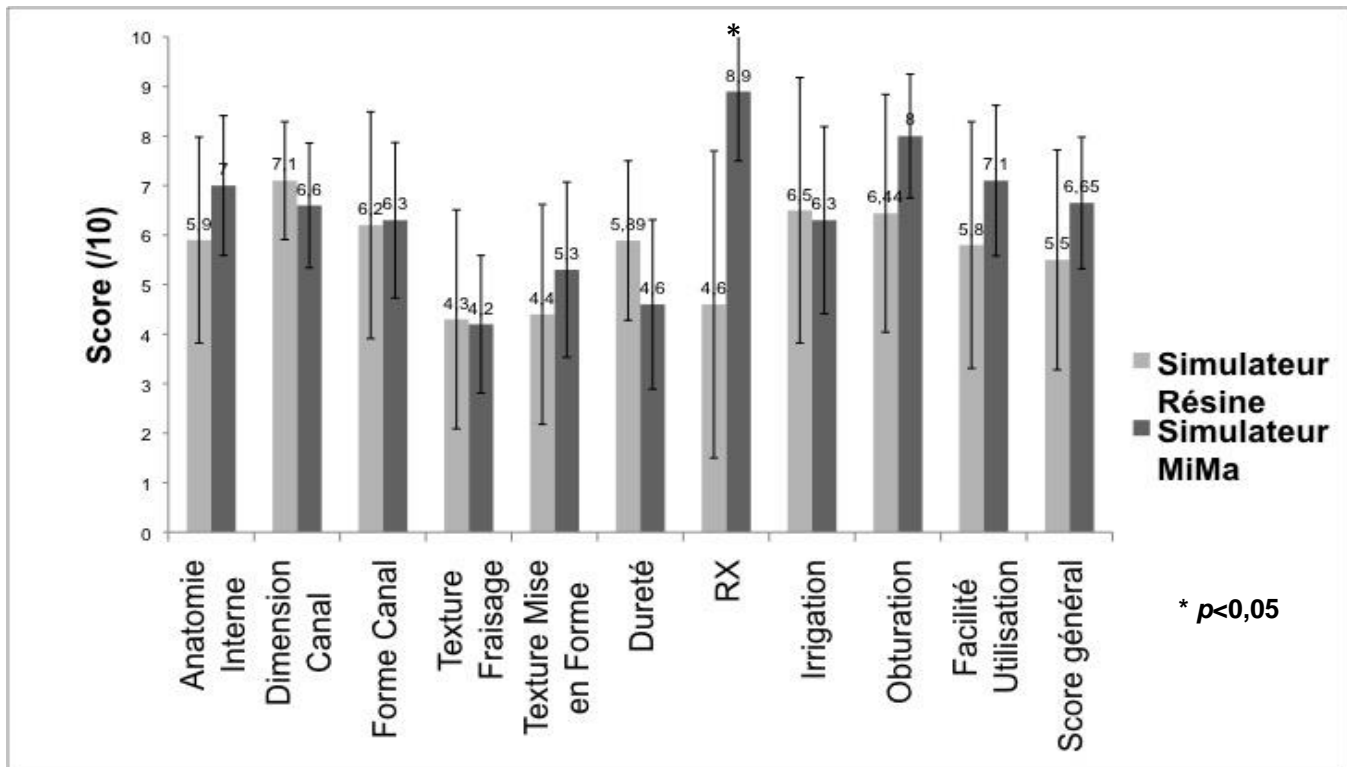


Figure 30. Score des paramètres étudiés concernant les simulateurs Résine et MiMa attribués par les étudiants inclus.

➤ Résultats qualitatifs

Les remarques complétées par les étudiants ont été synthétisées ci-après.

• Simulateur Résine

Les commentaires des étudiants ont mis en avant:

- une texture inadaptée ne rendant pas une bonne sensation tactile lors de la mise en forme canalaire,
- une dureté trop importante,
- un effet de vissage lors du passage des différents instruments de rotation continue,
- une tendance à entraîner une fracture instrumentale.

• Simulateur MiMa

Les commentaires des étudiants ont mis en avant :

- une friabilité trop importante,
- une dureté trop faible,

- une anatomie canalaire assez simplifiée par rapport à une dent naturelle.

3.2.3. Ajustage du maître-cône

L'ajustage du maître-cône a été analysé par l'étude des variables « résistance au retrait » et « ajustage radiographique en longueur ».

➤ Résistance au retrait

Les résultats ont d'abord été reportés dans un tableau de contingence (Tab. 2) puis présentés sous forme d'histogrammes appariés (Fig. 31).

Tableau 2. Tableau de contingence des scores de résistance au retrait des maîtres-cônes ajustés dans les racines naturelles (n=30) ($p>0,05$).

Résistance au retrait	Nombre de dents		Pourcentages	
	Simulateur Résine	Simulateur MiMa	Simulateur Résine	Simulateur MiMa
Score 0	5	8	16,67	26,67
Score 1	25	22	83,33	73,33
Total	30	30	100	100

- score 0 = pas de résistance au retrait,
- score 1 = résistance au retrait.

Pour les groupes « Simulateur Résine » et « Simulateur MiMa » le nombre de maîtres-cônes ajustés ayant un score de 1 étaient plus important que ceux ayant un score de 0 (Tab. 2) (Fig. 31).

Toutefois, la régression logistique mixte avec effet aléatoire n'a pas mis en évidence de différence significative entre les groupes « Simulateur Résine » et « Simulateur MiMa » concernant la résistance au retrait du maître-cône ajusté dans la racine naturelle ($p=0,2804$) (Tab. 2) (Fig. 31).

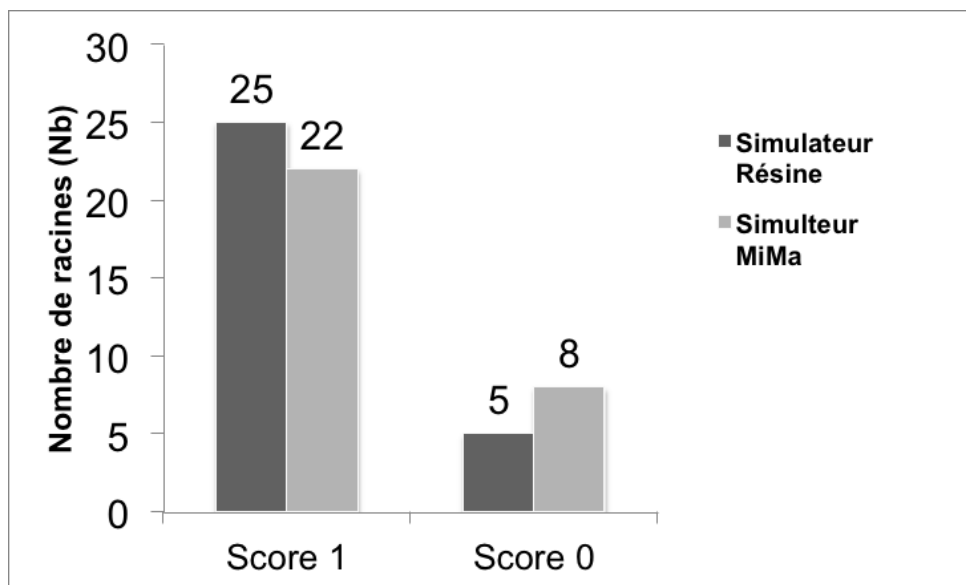


Figure 31. Score de résistance au retrait des MC ajustés sur les racines naturelles ($p>0,05$).

➤ *Ajustage en longueur du maître-cône*

Les résultats ont d'abord été reportés dans des tableaux de contingence (Tab. 3-4-5) puis présentés sous forme d'histogrammes appariés (Fig. 32-33-34).

L'analyse statistique a été réalisée en comparant un critère aux deux autres. Une dent a été exclue du groupe « Simulateur Résine » en raison de difficultés informatiques liées à la prise de radiographie.

Tableau 3. Tableau de contingence des scores de l'ajustage en longueur du maître-cône selon la comparaison des critères Acceptable-Long/Court, ($p>0,05$).

Ajustage Radiologique	Nombre de dents		Pourcentages	
	Simulateur Résine	Simulateur MiMa	Simulateur Résine	Simulateur MiMa
Acceptable	14	9	48,28	30
Long/Court	15	21	51,72	70
Total	29	30	100	100

- ajustage **court** = pointe du MC à plus de 2 mm de la constriction apicale,
- ajustage **acceptable** = pointe du MC entre 2 mm et la constriction apicale,
- ajustage **long** = dépassement de la pointe du MC.

Pour le « Simulateur Résine », il existait un nombre légèrement supérieur de maîtres-cônes ajustés radiographiquement en longueur Long/Court qu'Acceptable (Tab. 3) (Fig. 32).

Pour le « Simulateur MiMa », il existait un nombre très supérieur de maîtres-cônes ajustés radiographiquement en longueur Long/Court qu'Acceptable (Tab. 3) (Fig. 32).

Toutefois, la régression logistique mixte avec effet aléatoire n'a pas mis en évidence de différence significative entre les groupes « Simulateur Résine » et « Simulateur MiMa » concernant l'ajustage radiographique en longueur Acceptable-Long/Court ($p=0,2635$) (Tab. 3) (Fig. 32).

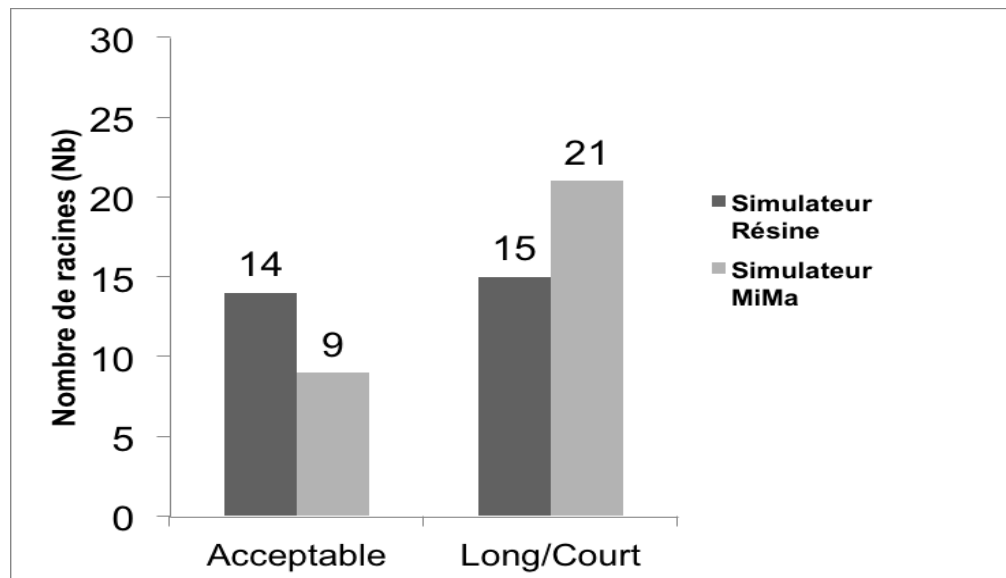


Figure 32. Nombre de racines en fonction de l'ajustage radiographique en longueur du MC (Acceptable-Long/Court) ($p>0,05$).

Tableau 4. Tableau de contingence des scores de l'ajustage en longueur du maître-cône selon la comparaison des critères Acceptable/Court-Long ($p>0,05$).

Ajustage Radiologique	Nombre de dents		Pourcentages	
	Simulateur Résine	Simulateur MiMa	Simulateur Résine	Simulateur MiMa
Acceptable/court	26	27	89,66	90
Long	3	3	10,34	10
Total	29	30	100	100

- *ajustage **court** = pointe du MC à plus de 2 mm de la constriction apicale,*
- *ajustage **acceptable** = pointe du MC entre 2 mm et la constriction apicale,*
- *ajustage **long** = dépassement de la pointe du MC.*

Pour le « Simulateur Résine » et le « Simulateur MiMa », il existait un nombre très supérieur de maîtres-cônes ajustés radiographiquement en longueur Acceptable/Court que Long. (Tab. 4) (Fig. 33).

Toutefois, la régression logistique mixte avec effet aléatoire n'a pas mis en évidence de différence significative entre les groupes « Simulateur Résine » et « Simulateur MiMa » concernant l'ajustage radiographique en longueur Acceptable/Court-Long ($p=0,9462$) (Tab. 4) (Fig. 33).

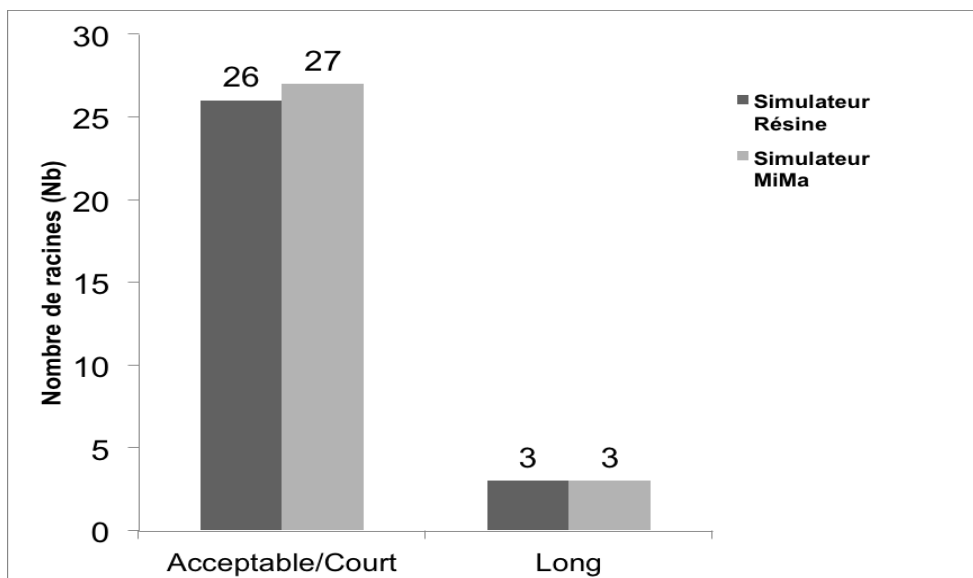


Figure 33. Nombre de racines en fonction de l'ajustage radiographique en longueur du MC (Acceptable/Court-Long) ($p>0,05$).

Tableau 5. Tableau de contingence des scores de l'ajustage en longueur du maître-cône selon la comparaison des critères Acceptable/Long-Court ($p>0,05$).

Ajustage Radiologique	Nombre de dents		Pourcentages	
	Simulateur Résine	Simulateur MiMa	Simulateur Résine	Simulateur MiMa
Acceptable/Long	17	12	58,62	40
Court	12	18	41,38	60
Total	29	30	100	100

- ajustage **court** = pointe du MC à plus de 2 mm de la constriction apicale,
- ajustage **acceptable** = pointe du MC entre 2 mm et la constriction apicale,
- ajustage **long** = dépassement de la pointe du MC.

Pour le « Simulateur Résine » et le « Simulateur MiMa », il existait un nombre supérieur de maîtres-cônes ajustés radiographiquement en longueur Acceptable/Long que Court (Tab. 5) (Fig 34.).

Toutefois, la régression logistique mixte avec effet aléatoire n'a pas mis en évidence de différence significative entre les groupes « Simulateur Résine » et « Simulateur MiMa » concernant l'ajustage radiographique en longueur Acceptable/Long-Court ($p=0,2421$) (Tab. 5) (Fig 34.).

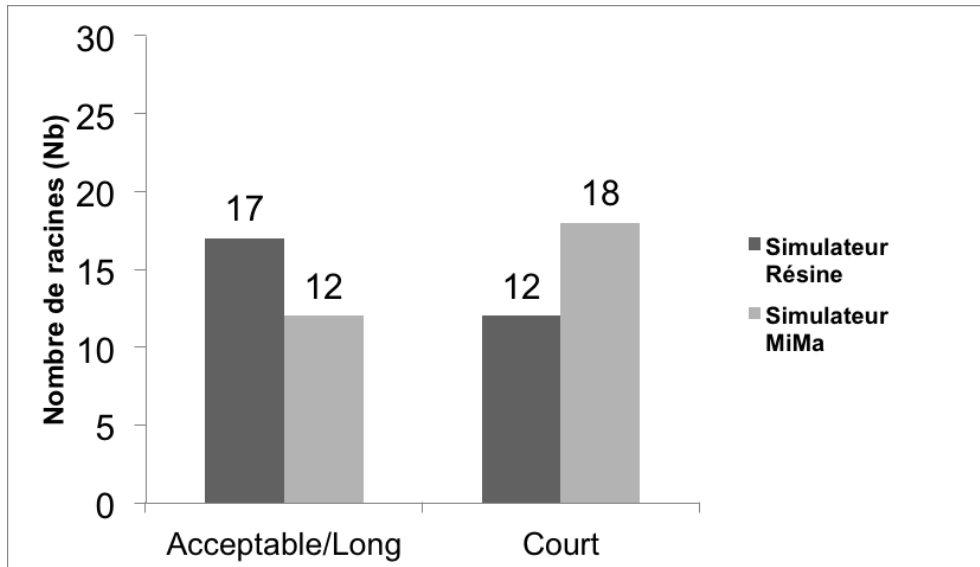


Figure 34. Nombre de racines en fonction de l'ajustage radiographique en longueur du MC (Acceptable/Long-Court) ($p>0,05$).

3.3. Discussion

L'objectif principal de ce travail était de mettre en œuvre une étude pilote expérimentale parmi les étudiants de 4^e année de la faculté de chirurgie dentaire de Lille afin de comparer l'utilisation d'un simulateur MiMa avec un simulateur résineux traditionnel pour l'apprentissage pratique pré-clinique en endodontie. Cette étude a été réalisée en réponse au constat dressé par la ESE qui tend à montrer que l'enseignement pratique dans le domaine de l'endodontie pourrait être amélioré afin que les praticiens soient mieux formés (Cf. 2.3.). Effectivement, les modèles utilisés pour l'enseignement pratique pré-clinique ne sont actuellement pas des alternatives acceptables aux dents naturelles dont l'utilisation en France est interdite pour la pédagogie (Cf. 2.3.2.1). C'est pourquoi un simulateur canalaire MiMa en hydroxyapatite a été développé dans le but de palier les limites des modèles synthétiques existant actuellement. Ce nouveau simulateur conçu avec une base minérale proche de la dentine et possédant une morphologie canalaire contrôlée est plus proche d'une racine naturelle que les simulateurs classiques.

Cette étude pilote constitue une réflexion sur le choix du protocole expérimental et a pour objectif d'obtenir des résultats préliminaires pour optimiser le simulateur avant d'entamer une étude de plus large envergure.

3.3.1. Protocole

Dans cette étude, plusieurs dispositions ont été prises pour limiter les biais liés au protocole.

Tout d'abord, les étudiants ont été sélectionnés et randomisés aléatoirement pour contrôler les biais d'inclusion^{46 34}. Ensuite, une vérification de l'homogénéité du niveau des étudiants entre les groupes a été réalisée. Tous les étudiants ont validé leurs enseignements théorique et pratique en endodontie de 3^e année, et il n'y a pas eu de différence significative de la moyenne pratique des étudiants. Malgré tout, il aurait été plus judicieux de procéder à ce contrôle *a priori*, c'est-à-dire avant le processus de sélection, pour obtenir une population plus homogène et donc des groupes équilibrés.

De plus, le système de mise en forme canalaire a été choisi de sorte qu'il soit inconnu des étudiants. Puis, une stricte reproduction des conditions de réalisation (protocole et matériel) a été respectée entre les séances d'apprentissage et d'évaluation.

En ce qui concerne le contrôle du modèle d'évaluation, un protocole a été défini afin de placer la dent naturelle dans les mêmes conditions d'utilisation que les simulateurs. Les dents ont été incluses dans de la cire pour éviter la vision et l'accès direct au 1/3 apical lors de la préparation. Malgré tout, l'utilisation de la dent naturelle implique obligatoirement le caractère de variabilité qui lui est propre (Cf. 2.3.2.1). Or, l'examineur a pu constater pendant son évaluation qu'une importante disparité de cette variabilité pouvait exister entre les dents préparées (Fig. 24). La vérification de la difficulté en lien avec la variabilité naturelle des dents n'a pas pu être réalisée. Ce constat peut avoir un impact non négligeable sur les résultats. Une sélection préalable de dents à utiliser, plus similaires entre elles, permettrait de résoudre ce problème.

Cette étude expérimentale était une étude pilote ayant pour vocation première la validation du protocole expérimental d'une étude à plus large échelle.

Dans ce cadre, seul un faible échantillon a été inclus. Une étude de plus large envergure avec un nombre de sujets plus important permettra d'augmenter la puissance.

Durant cette étude, une prise de radiographie a été demandée aux étudiants afin d'évaluer le comportement radiologique des simulateurs. Les étudiants de groupes distincts ont donc eu la possibilité de partager la salle de radiologie et de ce fait par

comparaison des images radiographiques connaître leurs groupes d'appartenances. Dès lors, l'étude a été réalisée en simple aveugle. Bien que les études menées en simple aveugle obtiennent des résultats satisfaisants car elles permettent de limiter les biais d'interprétation pendant l'évaluation par l'examineur, la référence reste le double aveugle^{39 21}. L'apparence extérieure des simulateurs aurait pu être masquée afin que les étudiants ne sachent pas quel simulateur ils manipulaient. Cependant, cette donnée n'a que peu d'influence sur l'objectif de l'étudiant qui était de préparer le simulateur fourni selon un protocole établi.

Les étapes du protocole opératoire et le matériel ont été choisis en fonction des recommandations émises par la ESE¹⁶ pour la préparation et l'obturation canalaires. Toutefois, la pose du champ opératoire n'a pas été réalisée pour respecter les conditions classiques de l'utilisation des simulateurs résine. Cette étape n'aurait que peu d'influence sur l'ajustage du MC. De plus, la réalisation d'une cavité d'accès n'a pas été demandée car les simulateurs utilisés reproduisent uniquement le système canalaires et non la morphologie coronaire d'une dent.

Ensuite, pour la séance d'apprentissage, une sélection arbitraire s'est faite comme dans l'étude de Tchorz *et col.* où les auteurs comparent la qualité des obturations canalaires de deux groupes distincts ayant eu à réaliser des exercices pré-cliniques à partir de modèles pédagogiques⁵⁴. Le choix s'est porté sur la préparation de 3 simulateurs canalaires. Néanmoins, il est judicieux de s'interroger sur le nombre suffisant de simulateurs à préparer et le nombre de séances à réaliser pour pouvoir acquérir et maîtriser le niveau pratique nécessaire. A ce jour et à notre connaissance, il n'y a pas d'études sur le sujet dans la littérature. Mais après calcul du nombre minimal d'échantillons à inclure, il faudrait une étude portant sur 4 000 dents pour obtenir une puissance statistique suffisante. Au vu de cela, il semblerait logique de devoir augmenter le nombre de simulateurs et de séances d'apprentissage. Une piste intéressante serait d'établir la courbe d'apprentissage des différents simulateurs puis de les comparer entre elles⁶¹.

Une première analyse qualitative a été réalisée par des questionnaires fournis aux étudiants après la séance d'apprentissage. Ils ont été rédigés en reprenant les points essentiels abordés dans une étude récente de 2012 au Brésil et qui comportait 126 sujets interrogés par des questionnaires concernant l'évaluation d'un simulateur canalaires⁴⁸. Ils comportent une partie dite « fermée » ciblant les critères essentiels du simulateur à évaluer selon la littérature par une échelle d'accord allant de 0 à 10. Une seconde partie

dite « ouverte » permet de recueillir les remarques et suggestions des étudiants. Ces commentaires sont importants à prendre en compte pour améliorer le simulateur selon l'avis des usagers en conditions réelles. De plus, le questionnaire recueille uniquement l'avis des étudiants. Or, les étudiants n'ont que peu d'expérience, il serait également intéressant de faire essayer le simulateur MiMa par des endodontistes ayant plus de maîtrise pour pouvoir évaluer son comportement lors de la préparation. Cela permettrait dans une étude ultérieure de mieux cibler les qualités et défauts du simulateur, et de comparer les résultats obtenus chez les étudiants et les endodontistes.

Dans une seconde analyse quantitative, l'évaluation de la qualité de la mise en forme canalair a été réalisée selon des critères cliniques. Ces critères étaient un contrôle visuel mené par les étudiants, puis des contrôles tactiles et radiographiques opérés à l'aveugle par un examinateur expérimenté.

Les paramètres du contrôle qualitatif de l'ajustage d'un MC sont :

- la vérification de la présence d'une résistance au retrait : contrôle tactile,
- la prise d'un cliché radiographique pour évaluer l'ajustage en longueur : contrôle radiographique ¹⁴.

Pour simplifier l'évaluation, il a été décidé de respecter un classement élaboré à partir de la littérature ^{35 25} :

- ajustage **court** = pointe du MC à plus de 2 mm de la constriction apicale,
- ajustage **acceptable** = pointe du MC entre 2 mm et la constriction apicale,
- ajustage **long** = dépassement de la pointe du MC.

Cette classification s'est faite par l'utilisation de l'outil de mesure du logiciel informatique de radiographie. Cependant, le fait de ne pas avoir standardisé l'incidence de la prise de cliché radiographique peut avoir eu un impact direct sur cette évaluation. En effet, un canal courbe peut paraître droit selon l'incidence utilisée pouvant fausser l'évaluation visuelle par la prise de cliché radiographique ⁵¹. Une méthode de standardisation de la prise de clichés selon une incidence unique et reproductible d'un étudiant à un autre et d'une radiographie à une autre est indispensable. Cela avait été imaginé par une plateforme standardisée dans une étude de 2014 menée au Brésil concernant la comparaison de l'apprentissage pratique de l'endodontie avec des modèles naturels, ou résineux ³¹.

A posteriori, il s'avère que le choix des paramètres cliniques pour évaluer l'ajustage du MC est discutable. Effectivement, il associe deux notions distinctes, d'une part la préparation canalair et d'autre part l'ajustage d'un MC par l'étudiant. Or, l'étudiant peut

très bien avoir réalisé une bonne préparation canalaire mais mal ajusté son MC ou bien avoir une mauvaise préparation avec un MC bien ajusté. Pour exemple, une surpréparation canalaire peut être compensée par le surcalibrage d'un MC ce qui crée un biais. Une solution serait de laisser l'ajustage du MC à l'examineur, l'étudiant ne s'occupant dès lors que de la préparation canalaire. L'examineur aurait pu utiliser un outil de vérification (un MC calibré) afin d'évaluer la préparation canalaire. De plus, l'ajustage radiographique en longueur du MC reflète plus la qualité de la détermination de la longueur de travail que la qualité de la mise en forme canalaire.

La mise en forme canalaire s'évalue par l'étude de la longueur, ainsi que du diamètre et de la conicité de la préparation. Pour ce faire il aurait fallu réaliser une étude microtomographique en 3D. Cependant, ce procédé reste très chronophage. Il faudrait disposer d'une heure par dent pour scanner les modèles selon une résolution basique, puis le double de temps pour procéder à l'analyse. Or, pour avoir une puissance statistique suffisante il faudrait scanner près de 4 000 dents soit près de 12 000 heures. Afin d'améliorer l'analyse de l'évaluation tout en la simplifiant, il semblerait essentiel de changer le critère de jugement principal de l'ajustage d'un MC et d'établir une échelle de score pour chaque étudiant tenant compte de l'ensemble de ces différents paramètres pour obtenir des résultats plus significatifs lors d'une étude ultérieure.

3.3.2. Résultats

Dans cette étude, la différence entre les notes des étudiants de 3^e année du groupe « Simulateur Résine » et du groupe « Simulateur MiMa » n'était pas significative ($p > 0,05$) (Fig. 29). Cependant, la moyenne des étudiants du groupe « Simulateur Résine » (12,443+/-1,733) était supérieure à celle du groupe « Simulateur MiMa » (11,197+/-1,897) traduisant une mauvaise répartition initiale des étudiants probablement due à un échantillon trop faible. Ce paramètre non négligeable peut en partie expliquer l'absence de différence significative entre les deux groupes et la tendance du groupe « Simulateur Résine » à obtenir de meilleurs résultats.

L'analyse quantitative du questionnaire a mis en évidence que le comportement radiologique était significativement meilleur dans le groupe « Simulateur MiMa » ($p = 0,0022$) (Tab. 1). Ce résultat logique est en accord avec la littérature et traduit l'absence d'éléments radio-opaques dans la résine. Dans son étude sur le développement d'un support pouvant recevoir des dents artificielles afin de pouvoir réaliser différents actes endodontiques, Tchorz applique une peinture radio-opaque sur les simulateurs résineux pour pouvoir prendre des clichés radiographiques⁵⁵. Néanmoins,

pour ce qui est des autres scores étudiés, l'analyse n'a pas mis en évidence de différence significative entre les 2 simulateurs ($p>0,05$) (Tab. 1).

L'analyse qualitative du questionnaire a révélé que les étudiants trouvaient que la résine ne garantissait pas une texture adaptée, qu'elle fût trop dure à travailler et qu'elle provoquait un effet de vissage qui avait tendance à conduire à la fracture instrumentale. Ces remarques concernant les propriétés de la résine sont également retrouvées dans une étude de Nassri qui a interrogé 18 enseignants d'endodontie sur l'utilisation de simulateurs résineux par l'intermédiaire d'un questionnaire ³⁷. En effet, ceux-ci ont avancé le fait que la dureté de la résine était plus importante que celle de la dentine donnant alors une mauvaise sensation tactile lors de la préparation canalaire.

Ces limites retrouvées dans la présente étude pilote concernant les simulateurs résineux ont été mises en évidence scientifiquement depuis longtemps. Leur utilisation reste malgré tout tolérée ²². Cependant, ceci appuie la nécessité de développer un simulateur alternatif pour améliorer la qualité de l'apprentissage ³⁷.

Le groupe « Simulateur MiMa » a obtenu de meilleurs scores concernant la facilité d'utilisation, l'obturation et la texture lors de la mise en forme selon l'analyse quantitative. Ces différences n'étaient pas significatives ($p>0,05$). Ces points sont malgré tout encourageants pour le développement du simulateur MiMa.

Toutefois, les étudiants mettent également en avant sa friabilité jugée trop importante et un manque de dureté lors de l'instrumentation. Ces paramètres pourraient être améliorés par l'imprégnation de résine dans la structure poreuse du simulateur. Dès lors, il faut également prendre en considération que des défauts inhérents à la conception de cette première version du simulateur peuvent avoir biaisé l'étude. De plus, ils ont également évoqué une anatomie canalaire jugée « simpliste » pour le simulateur MiMa. Cependant, les étudiants n'ont que très peu d'expérience de par leur formation et ils n'ont pas encore été confrontés à des situations cliniques complexes.

Ce travail n'a pas montré de différence significative entre les 2 groupes concernant la résistance au retrait ($p>0,05$) (Fig. 31). Le groupe « Simulateur Résine » obtient 83,33% de score 1 contre 73,33% pour le groupe « Simulateur MiMa » (Tab. 2). Les simulateurs ont donc majoritairement présenté une résistance au retrait du MC. Or, étudié de manière individuelle, ce paramètre doit être considéré avec recul car l'ajustage du MC peut être compensé par un sur-calibrage du cône entraînant malgré tout une résistance au retrait présente sans pour autant être à la bonne longueur de préparation ou au bon diamètre (Cf. 3.3.1.).

En ce qui concerne l'ajustage radiographique en longueur, aucune différence significative n'a été mise en évidence entre les groupes pour l'ensemble des paramètres ($p > 0,05$) (Fig. 32.33.34). Cependant, les résultats du groupe « Simulateur Résine » étaient meilleurs que ceux du groupe « Simulateur MiMa ». Effectivement, il y a 48,28% de MC ajustés en longueur de manière « acceptable » pour le groupe « Simulateur Résine » contre 30% pour le groupe « Simulateur MiMa » (Tab. 3). Ceci peut s'expliquer par l'absence de standardisation de la prise de clichés radiographiques et des dents naturelles (Cf. 3.3.1.) et du meilleur niveau en pratique des étudiants du groupe « Simulateur Résine ».

4. Conclusion

Face à cette nécessité d'améliorer les modèles actuellement disponibles, un simulateur canalaire biomimétique a été développé. Celui-ci est plus proche de la dentine naturelle par l'emploi d'un matériau minéral et par le contrôle de sa structure interne. Toutefois, il est important d'évaluer le comportement du simulateur durant son utilisation ainsi que l'apprentissage pratique en comparaison de l'utilisation de modèles résineux classiques. C'est pourquoi un protocole expérimental a été rédigé.

L'objectif principal de ce travail était de mettre en application ce protocole par une étude pilote expérimentale afin de valider et d'affiner ce protocole en vue de la réalisation d'une étude de plus large envergure. Secondairement, ce travail avait également pour vocation d'obtenir des résultats préliminaires concernant ce nouveau modèle pédagogique afin de réfléchir sur d'éventuelles améliorations à apporter.

Vingt étudiants sélectionnés et randomisés aléatoirement dans 2 groupes ont participé à cette étude pilote. Les étudiants ont eu une séance d'apprentissage par la mise en forme canalaire de 3 simulateurs résineux ou MiMa selon leur groupe d'appartenance. Puis, ils ont eu une séance d'évaluation par la préparation canalaire de 3 modèles préparés contenant une racine naturelle.

L'évaluation avait comme critères de jugement les vérifications en aveugle de l'ajustage tactile du MC par le test de la résistance au retrait et de l'ajustage radiographique en longueur du MC. En parallèle, après la séance d'apprentissage, les étudiants ont eu à remplir un questionnaire par une échelle d'accord et leurs remarques dans le but de faire une analyse quantitative et qualitative des paramètres du simulateur.

L'analyse quantitative des questionnaires montre un comportement radiologique significativement meilleur pour le simulateur MiMa. Quant à l'analyse qualitative, il en ressort que la résine du simulateur Résine est jugée trop dure et que le simulateur MiMa est trop friable lors de la préparation canalaire.

Concernant l'ajustage tactile du MC, la présence de la résistance au retrait est plus importante dans le groupe du « Simulateur Résine ». L'ajustage radiographique en longueur « acceptable » du MC est plus retrouvé dans le groupe du « Simulateur Résine ».

En outre, il n'y a pas de différences significatives entre les groupes pour l'ajustage tactile et radiographique en longueur du MC. Ceci peut s'expliquer par la répartition initiale

déséquilibrée entre les groupes, mais également par le faible taux d'échantillonnage pour cette étude. En résumé, cette étude pilote montre que les résultats obtenus pour le groupe « Simulateur Résine » sont proches des résultats que l'on retrouve dans la littérature.

Néanmoins, il est important de mettre en évidence l'amélioration majeure de la radio-opacité concernant le comportement radiologique qu'apporte le simulateur MiMa concernant le comportement radiologique de par sa composition chimique. Cette étude permet également de proposer à l'avenir des pistes de développement pour ce simulateur comme l'imprégnation de résine afin d'améliorer la sensation tactile lors de la préparation endodontique.

De plus, cette étude pilote a permis de constater les défauts inhérents au protocole expérimental. Pour limiter les biais liés au protocole dans une future étude, il est recommandé de veiller à :

- augmenter le nombre d'étudiants,
- vérifier l'homogénéisation du niveau des étudiants,
- mener une étude en double aveugle : en masquant les simulateurs employés ou en isolant les étudiants,
- augmenter le nombre de simulateurs à préparer pendant la séance d'apprentissage,
- augmenter le nombre de séances d'apprentissage,
- établir les courbes d'apprentissage,
- standardiser l'incidence des clichés radiographiques,
- standardiser les dents et les fournir aux étudiants pour la séance d'évaluation,
- définir un autre critère de jugement pour l'évaluation intégrant la longueur, le diamètre et la conicité de la préparation canalaire,
- utiliser un outil précis pour évaluer la mise en forme comme un MC calibré,
- créer une échelle de score regroupant les différents critères de jugement pour pouvoir noter la qualité globale de la préparation canalaire,
- réaliser un questionnaire destiné aux endodontistes.

Bibliographie

1. Albrecht L, Ferreira EL, Passos MLM, Cecchetti RT. Teeth processing in human teeth bank—proposal of protocol. *RSBO Rev. Sul-Bras. Odontol.* 2013;10:386-393.
2. Annot E, Fave-Bonnet M-F. *Pratiques Pédagogiques Dans L'enseignement Supérieur : Enseigner, Apprendre, Evaluer.* L'Harmattan; 2004.
3. Bellamy V. *Les revenus des chirurgiens-dentistes en 2008. Etudes et Résultats.* DREES. France. 2013.
4. Berres F, Harring P, Ostojic S. *DENTARENA.* Société Suisse d'Odontostomatologie. Suisse. 2005;10.
5. Bjørndal L, Laustsen MH, Reit C. Danish practitioners' assessment of factors influencing the outcome of endodontic treatment. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.* 2007;103:570-575.
6. Bryant ST, Thompson SA, al-Omari MA, Dummer PM. Shaping ability of Profile rotary nickel-titanium instruments with ISO sized tips in simulated root canals: Part 1. *Int. Endod. J.* 1998;31:275-281.
7. Bryant ST, Thompson SA, al-Omari MA, Dummer PM. Shaping ability of ProFile rotary nickel-titanium instruments with ISO sized tips in simulated root canals: Part 2. *Int. Endod. J.* 1998;31:282-289.
8. Carré P, Caspar P. *Traité Des Sciences et Des Techniques de Formation.* Vol Dunod. 2011.
9. Chambers DW. Competencies: a new view of becoming a dentist. *J. Dent. Educ.* 1994;58:342-345.
10. Chambers DW, Gerrow JD. Manual for developing and formatting competency statements. *J. Dent. Educ.* 1994;58:361-366.
11. Commission des comptes de la sécurité sociale. *Démographie, activité et revenus des chirurgiens dentistes.* 2010.
12. Costa S, Lima E, Abreu F. Assessment of a state university tooth bank two years after its foundation. *Revista Gaúcha de Odontologia.* 2012;227-232.
13. Dummer PM. Comparison of undergraduate endodontic teaching programmes in the United Kingdom and in some dental schools in Europe and the United States. *Int. Endod. J.* 1991;24:169-177.
14. Eckerbom M, Magnusson T. Evaluation of technical quality of endodontic treatment—reliability of intraoral radiographs. *Endod. Dent. Traumatol.* 1997;13:259-264.
15. Eriksen HM. Endodontology-epidemiologic considerations. *Endod. Dent. Traumatol.* 1991;7:189-195.
16. European Society of Endodontology. *Quality guidelines for endodontic treatment: consensus report of the European Society of Endodontology.* *Int. Endod. J.* 2006;39:921-930.

17. European Society of Endodontology. Undergraduate curriculum guidelines for endodontology. *Int. Endod. J.* 2001;34:574-580.
18. European Society of Endodontology, Gulabivala K, Ahlquist M, et al. Accreditation of postgraduate speciality training programmes in Endodontology. Minimum criteria for training Specialists in Endodontology within Europe. *Int. Endod. J.* 2010;43:725-737.
19. Freitas ABDA, Pinto SL, Tavares EP, Barros LM de, Castro CDL de, Magalhães CS de. Use of Extracted Human Teeth and the Human Tooth Bank in Brazilian Dental Schools. *Braz. Res. Pediatr. Dent. Integr. Clin.* 2012;12:59-64.
20. Gencoglu N, Pekiner FN, Gumru B, Helvacioğlu D. Periapical status and quality of root fillings and coronal restorations in an adult Turkish subpopulation. *Eur. J. Dent.* 2010;4:17-22.
21. Gøtzsche PC. Blinding during data analysis and writing of manuscripts. *Control. Clin. Trials* 1996;17:285-290; discussion 290-293.
22. Hasselgren G, Nellestam P, Bynum-Hasselgren RM. Teeth with transparent roots-an improved teaching aid for preclinical endodontics. *J. Endod.* 1987;13:126-127.
23. Hess W, Dolamore W, Zürcher E. The anatomy of the root-canals of the teeth of the permanent dentition. *J. Bale, sons & Danielsson.* 1925.
24. Jou Y-T, Karabucak B, Levin J, Liu D. Endodontic working width: current concepts and techniques. *Dent. Clin. North Am.* 2004;48:323-335.
25. Koçak S, Koçak MM, Sağlam BC. Efficiency of 2 electronic apex locators on working length determination: A clinical study. *J. Conserv. Dent. JCD* 2013;16:229-232.
26. Kohn WG, Harte JA, Malvitz DM, et al. Guidelines for infection control in dental health care settings-2003. *J. Am. Dent. Assoc.* 1939. 2004;135:33-47.
27. Kumar M, Sequeira PS, Peter S, Bhat GK. Sterilisation of extracted human teeth for educational use. *Indian J. Med. Microbiol.* 2005;23:256-258.
28. Kum KY, Spångberg L, Cha BY, et al. Shaping ability of three ProFile rotary instrumentation techniques in simulated resin root canals. *J. Endod.* 2000;26:719-723.
29. Ledoux R, Ledoux J-P. *Manuel à L'usage Du Formateur.* Vol Afnor Editions. 2012.
30. Lee S-J, Jang K-H, Spangberg LSW, et al. Three-dimensional visualization of a mandibular first molar with three distal roots using computer-aided rapid prototyping. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.* 2006;101:668-674.
31. Luz D dos S, Ourique F de S, Scarparo RK, et al. Preparation Time and Perceptions of Brazilian Specialists and Dental Students Regarding Simulated Root Canals for Endodontic Teaching: A Preliminary Study. *J. Dent. Educ.* 2015;79:56-63.
32. Marini R, Bellagarda M, Lorenzetti M. [Use of endodontic simulators in the preclinical teaching of instrumental technics]. *Minerva Stomatol.* 1986;35:307-312.
33. Marras I, Nikolaidis N, Mikrogeorgis G, Lyroudia K, Pitas I. A Virtual System for Cavity Preparation in Endodontics. *J. Dent. Educ.* 2008;72:494-502.

34. Moher D, Jadad AR, Nichol G, Penman M, Tugwell P, Walsh S. Assessing the quality of randomized controlled trials: an annotated bibliography of scales and checklists. *Control. Clin. Trials* 1995;16:62-73.
35. Moradi S, Gharechahi M. Radiographic quality of root canal treatment performed by 6th year undergraduate students in Mashhad, Iran. *Dent. Res. J.* 2014;11:364-369.
36. Moschos G, Nikolaidis N, Pitas I. Anatomically-based 3D face and oral cavity model for creating virtual medical patients. In: 2004 IEEE International Conference on Multimedia and Expo, 2004. ICME; 2004:867-870.
37. Nassri MRG, Carlik J, da Silva CRN, Okagawa RE, Lin S. Critical analysis of artificial teeth for endodontic teaching. *J. Appl. Oral Sci.* 2008;16:43-49.
38. Nielsen RB, Alyassin AM, Peters DD, Carnes DL, Lancaster J. Microcomputed tomography: an advanced system for detailed endodontic research. *J. Endod.* 1995;21:561-568.
39. Noseworthy JH, Ebers GC, Vandervoort MK, Farquhar RE, Yetisir E, Roberts R. The impact of blinding on the results of a randomized, placebo-controlled multiple sclerosis clinical trial. *Neurology* 1994;44:16-20.
40. Paqué F, Peters OA. Micro-computed tomography evaluation of the preparation of long oval root canals in mandibular molars with the self-adjusting file. *J. Endod.* 2011;37:517-521.
41. Paqué F, Zehnder M, Marending M. Apical fit of initial K-files in maxillary molars assessed by micro-computed tomography. *Int. Endod. J.* 2010;43:328-335.
42. Pashley DH, Andringa HJ, Derkson GD, Derkson ME, Kalathoor SR. Regional variability in the permeability of human dentine. *Arch. Oral Biol.* 1987;32:519-523.
43. Peters LB, Lindeboom JA, Elst ME, Wesselink PR. Prevalence of apical periodontitis relative to endodontic treatment in an adult Dutch population: a repeated cross-sectional study. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.* 2011;111:523-528.
44. Ranta J, Aviles W. The virtual reality dental training system: simulating dental procedures for the purpose of training dental students using haptics. *Proceedings of the fourth phantom users group workshop.* 1999;66-71.
45. Sarrazy B. Note de synthèse [Le contrat didactique]. *Rev. Fr. Pédagogie* 1995;112:85-118.
46. Schulz KF, Chalmers I, Hayes RJ, Altman DG. Empirical evidence of bias. Dimensions of methodological quality associated with estimates of treatment effects in controlled trials. *JAMA* 1995;273:408-412.
47. Segura-Egea JJ, Jiménez-Pinzón A, Poyato-Ferrera M, Velasco-Ortega E, Ríos-Santos JV. Periapical status and quality of root fillings and coronal restorations in an adult Spanish population. *Int. Endod. J.* 2004;37:525-530.
48. Seijo MOS, Ferreira EF, Sobrinho APR, Paiva SM, Martins RC. Learning Experience in Endodontics: Brazilian Students' Perceptions. *J. Dent. Educ.* 2013;77:648-655.

49. Seipel S, Wagner IV, Koch S, Schneide W. Oral implant treatment planning in a virtual reality environment. *Comput. Methods Programs Biomed.* 1998;57:95-103.
50. Skudutyte-Rysstad R, Eriksen HM. Endodontic status amongst 35-year-old Oslo citizens and changes over a 30-year period. *Int. Endod. J.* 2006;39:637-642.
51. Spent A, Kahn H. The use of a plastic block for teaching root canal instrumentation and obturation. *J. Endod.* 1979;5:282-284.
52. Tanalp J, Güngör T. Apical extrusion of debris: a literature review of an inherent occurrence during root canal treatment. *Int. Endod. J.* 2014;47:211-221.
53. Tavares PBL, Bonte E, Boukpepsi T, Siqueira JF, Lasfargues J-J. Prevalence of apical periodontitis in root canal-treated teeth from an urban French population: influence of the quality of root canal fillings and coronal restorations. *J. Endod.* 2009;35:810-813.
54. 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? *Int. Endod. J.* 2014;47:410-415.
55. Tchorz JP, Hellwig E, Altenburger MJ. Teaching Model for Artificial Teeth and Endodontic Apex Locators. *J. Dent. Educ.* 2013;77:626-629.
56. Vellas E. Comparer les pédagogies : un casse-tête et un défi. *Educateur. FPSE. Suisse.* 2007.
57. Vertucci FJ. Root canal anatomy of the human permanent teeth. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.* 1984;58:589-599.
58. Weine FS, Kelly RF, Lio PJ. The effect of preparation procedures on original canal shape and on apical foramen shape. *J. Endod.* 1975;1:255-262.
59. Widström E, Eaton KA. Factors guiding the number of dental specialists in the European Union and Economic Area. *Den Norkse Tannlegeforenings Tidende.* 2006;718-721.
60. Wood EJ. Problem-Based Learning: Exploiting Knowledge of how People Learn to Promote Effective Learning. *Biosci. Educ.* 2004;30-34.
61. Yelle LE. The Learning Curve: Historical Review and Comprehensive Survey. *Decis. Sci.* 1979;10:302-328.

Table des illustrations

FIGURES :

Fig. 1 : Triangle pédagogique de Jean Houssaye (1988) ⁵⁶	15
Fig. 2 : Pyramide de l'apprentissage adaptée du NTL 1960 ⁶⁰	17
Fig. 3 : Salle de simulation de la faculté de chirurgie dentaire de Lille	21
Fig. 4 : Honoraires et dépassements par chirurgien dentiste en fonction du type d'acte en 2008 en France (Source SNIIRAM-Extraction DSS) ¹¹	22
Fig. 5 : Modèles dentaires (Frasaco [®]) montés sur la tête articulée du « fantôme »	24
Fig. 6 : Classification des principales configurations pulpaire selon Vertucci (à gauche) complétés par Gulabivala (à droite) ⁵⁷	27
Fig. 7 : De gauche à droite : simulateur canalaire bloc ; ZPUK Endo Simulation (image Frasaco) ; Endo Training Tooth (image VDW)	29
Fig. 8: Reproduction d'une dent par impression 3D/True Tooth (de gauche à droite)	30
Fig. 9 : Simulateur numérique composé du logiciel informatique accompagné du détecteur optique et du système électromécanique ³³	31
Fig. 10 : Images de MEB (x500) de la microstructure de la dentine naturelle, MiMa et résine acrylique	34
Fig. 11 : Clichés radiographiques des différentes étapes d'un traitement endodontique sur dent naturelle (a->d) et sur le simulateur MiMa (e->h)	35
Fig. 12 : Tirage au sort par un générateur de nombre aléatoires (Intemodino)	38
Fig. 13 : Endo training blocks (Dentsply)	38
Fig. 14 : Simulateurs Résine (A) et MiMa (B)	39
Fig. 15 : Constitution des groupes expérimentaux à partir d'étudiants issus du groupe A d'une promotion de DCEO4	39
Fig. 16 : Caractéristiques techniques du ProTaper [®] (Dentsply)-Images de microscope électronique à balayage	40
Fig. 17 : Système ProTaper [®] (Dentsply)	41
Fig. 18 : Contre-angle BA NiTi E35 (BA International)	41
Fig. 19 : Encadrement du TP d'apprentissage par un moniteur de 6 ^e année	42
Fig. 20: Mise en forme canalaire des simulateur Résine (A) et MiMa (B)	43
Fig. 21 : Radiographie cône-en-place d'un simulateur Résine (A) et d'un simulateur MiMa (B)	43
Fig. 22 : Phase expérimentale : 1 ^{ère} séance « apprentissage »	44
Fig. 23 : Modèle préparé pour la séance d'évaluation	46
Fig. 24 : Clichés radiographiques pré-opératoires de racines dentaires préparées	46
Fig. 25 : Mise en forme canalaire (F1) d'une racine naturelle	46
Fig. 26 : Cliché radiographique cône-en-place d'une dent naturelle	47
Fig. 27 : Radiographies cône-en-place illustrant les différents critères d'ajustage radiographique en longueur (Court-Acceptable-Long)	48
Fig. 28 : Phase expérimentale : 2 ^e séance « évaluation »	48
Fig. 29 : Box plot des notes moyennes du niveau pratique en 3 ^e année des étudiants inclus ($p>0,05$)	50
Fig. 30 : Score des paramètres étudiés concernant les simulateurs Résine et MiMa attribuées par les étudiants inclus	52
Fig. 31 : Score de résistance au retrait des MC ajustés sur les racines naturelles ($p>0,05$)	54
Fig. 32 : Nombre de racines en fonction de l'ajustage radiographique en longueur du MC (Acceptable-Long/Court) ($p>0,05$)	55
Fig. 33 : Nombre de racines en fonction de l'ajustage radiographique en longueur du MC (Acceptable/Court-Long) ($p>0,05$)	57

Fig. 34 : Nombre de racines en fonction de l'ajustage radiographique en longueur du MC (Acceptable/Long-Court) ($p>0,05$) **58**

TABLEAUX :

- Tab. 1 : Moyennes des scores des différents paramètres du questionnaire des groupes « Simulateur Résine » et « Simulateur MiMa » et résultats de l'analyse statistique **51**
- Tab. 2 : Tableau de contingence des scores de résistance au retrait des maîtres-cônes ajustés dans les racines naturelles (n+30) ($p>0,05$) **53**
- Tab. 3 : Tableau de contingence des scores de l'ajustage en longueur du maître-cône selon la comparaison des critères Acceptable-Long/Court, ($p>0,05$) **54**
- Tab. 4 : Tableau de contingence des scores de l'ajustage en longueur du maître-cône selon la comparaison des critères Acceptable/Court-Long ($p>0,05$) **56**
- Tab. 5 : Tableau de contingence des scores de l'ajustage en longueur du maître-cône selon la comparaison des critères Acceptable/Long-Court ($p>0,05$) **57**

Annexes

Annexe 1. Clause de confidentialité

Article 1 – OBJET

Le présent engagement a pour objet de définir les conditions de confidentialité dans lesquelles

Monsieur / Madame / Mademoiselle

ci-après désigné(e) par '*le Doctorant*' est accueilli (e)

à compter du 1^{er} septembre 2014.....

pour une durée de 1 an par Monsieur le Professeur Juergen SIEPMANN, Directeur de l'Unité INSERM U1008 'Médicaments et Biomatériaux à Libération Prolongée : Mécanismes et Optimisation'

ci-après désigné par '*le Laboratoire*'

afin d'effectuer des travaux de recherche de thèse portant sur le thème :

« Développement d'un simulateur canalaire endodontique a usage pédagogique et de recherche »

sous la responsabilité scientifique du Dr Lieven ROBBERECHT

ci-après désignée par '*le(s) Responsable(s)*'

Article 2 – PROGRAMME DE TRAVAIL

Le programme des travaux de recherche du Doctorant sera établi et exécuté par le Doctorant sous le contrôle du Responsable. Durant sa présence au Laboratoire, le Doctorant pourra consulter toute documentation, participer à la vie scientifique du laboratoire sauf avis contraire du Responsable et se soumettre aux règles d'hygiène et de sécurité du Laboratoire : le port de la blouse et des lunettes de protection sont obligatoires au sein du laboratoire.

Article 3 – PROPRIETE DES RESULTATS

Le Doctorant reconnaît que les résultats de la Thèse, brevetables ou non, sont la propriété pleine et entière du Laboratoire et de l'Université Lille 2. Le Doctorant fournira à l'Université Lille 2 toutes les données nécessaires au dépôt éventuel de demande de titre de propriété intellectuelle et ne s'opposera pas au dépôt.

Article 4 – SECRET - PUBLICATION

Le Doctorant est tenu au secret professionnel à l'égard des tiers, non seulement sur les activités du Laboratoire, mais aussi sur toutes les activités dont il aurait pu avoir connaissance, notamment à l'occasion de visites d'autres unités de recherche. Le Doctorant peut faire des publications ou des communications, écrites ou orales, relatives aux travaux de la thèse, après avoir reçu l'autorisation écrite du Responsable. Les parties

de la thèse soutenue par le Doctorant, sur les résultats de la thèse, qui ne font pas l'objet d'un exposé public, ne peuvent en aucun cas être communiquées.

Article 5 – UTILISATION DES RESULTATS

Sauf autorisation écrite, signée par le Directeur du Laboratoire, sur proposition du Responsable, le Doctorant s'interdit d'utiliser les résultats des travaux de la Thèse pour des recherches futures et des applications éventuelles ; il s'interdit également de communiquer à des tiers toute information relative aux résultats des travaux de la Thèse, même partiellement, en vue d'éviter toute utilisation par des tiers.

Article 6 – DUREE

Les dispositions prises dans le présent engagement s'appliquent de plein droit depuis la date d'entrée du Doctorant au Laboratoire et pendant la durée de son séjour, qui ne pourra pas dépasser la première date parmi les deux dates suivantes soit la date de soutenance de la Thèse soit la date de la fin de l'accueil du Doctorant au Laboratoire et restent valables deux ans après le départ du Doctorant du Laboratoire.

Fait à Lille, le 1^{er} septembre 2014 en 2 exemplaires.

Le Directeur de Thèse

L'étudiant
Lu et approuvé

Lieven ROBBERECHT

Annexe 2. Lettre de recrutement

Mesdemoiselles, Messieurs,

J'ai le plaisir de vous annoncer que vous avez été sélectionnés sur l'ensemble de votre promotion pour participer à une étude expérimentale clinique concernant le développement d'un Simulateur Canalaire Biomimétique pour la Formation des praticiens en Endodontie.

Cette étude rentre dans le cadre d'un projet de recherche mené par le Dr Robberecht et la réalisation d'une thèse d'exercice présentée par Mr Dufour Thomas, étudiant de 6e année.

A votre échelle, cette étude vous inscrit dans un projet innovant nécessitant sérieux et assiduité de votre part, elle vous permettra également de venir en salle de simulation tester de nouveaux instruments d'endodontie et de parfaire votre pratique endodontique.

De plus amples informations vous seront délivrées dans les jours à venir, mais cette étude ne vous engage qu'à venir pendant 2 tps et à fournir 3 dents naturelles pour la préparation de ceux-ci.

Je vous prie d'agréer l'expression de mes sentiments les meilleurs.

Pr. Etienne DEVEAUX
Doyen de la Faculté de Chirurgie Dentaire
Université de Lille 2
Place de Verdun
59000 LILLE
<http://chirdent.univ-lille2.fr>
<http://www.univ-lille2.fr>

Annexe 3. Questionnaire anonyme étudiant

Questionnaire

Ce questionnaire est anonyme. Merci de prendre le temps d'y répondre sérieusement.

- Quel simulateur canalaire avez-vous utilisé ?
Résine / Céramique
- Avez-vous pu préparer et obturer les 3 simulateurs canaux pendant le TP ?
Oui / Non Si non pourquoi ?

Pour les questions suivantes propres au simulateur que vous avez utilisé, merci d'entourer le chiffre correspondant à votre réponse entre 1 et 10 (1=insuffisant ; 10=parfait).

- Anatomie interne générale
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Remarques :
- Dimension du canal radiculaire
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Remarques :
- Forme du canal radiculaire
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Remarques :
- Sensation tactile fraisage (texture)
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Remarques :
- Sensation tactile lors de la mise en forme canalaire (texture)
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Remarques :
- Dureté
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Remarques :
- Visualisation sur les clichés radiographiques
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Remarques :
- Comportement lors de l'irrigation
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Remarques :
- Comportement lors de l'obturation
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Remarques :
- Facilité d'utilisation
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Remarques :
- Score général sur la qualité du simulateur que vous avez utilisé pour apprendre la mise en forme canalaire pendant votre formation
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Remarques :
Avez-vous des remarques particulières (difficultés, problèmes rencontrés...) ?
Avez-vous des suggestions particulières ?

Développement d'un simulateur canalaire biomimétique : évaluation en travaux pratiques d'endodontie. -Etude pilote expérimentale- / **DUFOUR Thomas**.- p. (76) : ill. (34) ; réf. (61).

Domaines : Endodontie ; Pédagogie.

Mots clés libres : Apprentissage ; Etude et enseignement ; Travaux pratiques ; Simulateur canalaire.

La réalisation de travaux pratiques durant l'apprentissage pré-clinique en endodontie est indispensable à la formation des praticiens. Pour ce faire, des simulateurs canalaires résineux sont employés pour remplacer les dents naturelles qui sont interdites en France pour une utilisation pédagogique depuis 2007. La ESE (European Society of Endodontology) a émis des recommandations de bonne pratique qui ne sont que partiellement atteintes aujourd'hui. Pour palier ces limites, un simulateur canalaire biomimétique alternatif (MiMa) a été développé.

L'objectif de ce travail était de comparer l'utilisation en travaux pratiques de MiMa avec des simulateurs classiques, c'est pourquoi une étude expérimentale pilote a été réalisée. Des étudiants non expérimentés ont appris à utiliser un système de mise en forme canalaire sur MiMa et sur des simulateurs résineux. La comparaison a été réalisée par des questionnaires et par l'évaluation de la mise en forme des canaux.

L'analyse de ces résultats a permis de valider l'emploi de ce nouveau simulateur comme moyen pédagogique à l'apprentissage pratique. Les réponses aux questionnaires ont montré un comportement radiologique de MiMa significativement meilleur. Les autres paramètres étudiés tendent à être également supérieurs pour MiMa sans être significatifs. Les résultats de l'analyse de la mise en forme canalaire n'ont pas été suffisamment concluants. Ceci peut s'expliquer par le choix d'un critère de jugement mal adapté. D'autres études à plus grande échelle sont nécessaires pour confirmer ces résultats.

JURY :

Président : Monsieur le Professeur Etienne DEVEAUX

Assesseurs : Monsieur le Docteur Alain GAMBIEZ

Monsieur le Docteur Thibault BECAVIN

Monsieur le Docteur Lieven ROBBERECHT

Membre invité : Monsieur le Docteur Jean-Christophe HORNEZ