

UNIVERSITE DE STRASBOURG

FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année 2023

N° 48

THESE

Présentée pour le Diplôme d'Etat de Docteur en Chirurgie Dentaire
le 05 juillet 2023

par

RACHDI Nora

née le 02 novembre 1999 à STRASBOURG

**DENTS ARTIFICIELLES EN PRECLINIQUE : UNE ALTERNATIVE AUX DENTS
NATURELLES DANS LA FORMATION ENDODONTIQUE ?**

Président : Professeur HAIKELYoussef
Assesseurs : Docteur EHLINGER Claire
Docteur MANCINO Davide
Docteur EL OUAHABI Karima

FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE DE STRASBOURG

Doyen : Professeur Florent MEYER

Doyens honoraires : Professeur Maurice LEIZE
Professeur Youssef HAIKEL
Professeur Corinne TADDEI-GROSS

Professeurs émérites : Professeur Henri TENENBAUM
Professeur Anne-Marie MUSSET

Responsable des Services Administratifs : Mme Marie-Renée MASSON

Professeurs des Universités

Vincent BALL	Ingénierie Chimique, Energétique - Génie des Procédés
Agnès BLOCH-ZUPAN	Sciences Biologiques
François CLAUSS	Odontologie Pédiatrique
Jean-Luc DAVIDEAU	Parodontologie
Youssef HAIKEL	Odontologie Conservatrice - Endodontie
Olivier HUCK	Parodontologie
Sophie JUNG	Sciences Biologiques
Marie-Cécile MANIERE	Odontologie Pédiatrique
Florent MEYER	Sciences Biologiques
Maryline MINOUX	Odontologie Conservatrice - Endodontie
Damien OFFNER	Prévention - Epidémiologie - Economie de la Santé - Odontologie Légale
Corinne TADDEI-GROSS	Prothèses
Béatrice WALTER	Prothèses
Matthieu SCHMITTBUHL <i>Département U101 2014</i>	Sciences Anatomiques et Physiologiques, Occlusodontiques - Biomatériaux - Biophysique - Radiologie

Maîtres de Conférences

Youri ARNTZ	Biophysique moléculaire
Sophie BAHI-GROSS	Chirurgie Buccale - Pathologie et Thérapeutique - Anesthésiologie et Réanimation
Yves BOLENDER	Orthopédie Dento-Faciale
Fabien BORNERT <i>Département (Nov. 2022)</i>	Chirurgie Buccale - Pathologie et Thérapeutique - Anesthésiologie et Réanimation
Claire EHLINGER	Odontologie Conservatrice - Endodontie
Olivier ETIENNE	Prothèses
Gabriel FERNANDEZ DE GRADO	Prévention - Epidémiologie - Economie de la Santé - Odontologie Légale
Florence FIORETTI	Odontologie Conservatrice - Endodontie
Catherine-Isabelle GROS	Sciences Anatomiques et Physiologiques - Biophysique - Radiologie
Nadia LADHARI <i>Département (Dec. 2022)</i>	Sciences Anatomiques et Physiologiques, Occlusodontiques - Biomatériaux - Biophysique
Davide MANCINO	Odontologie Conservatrice - Endodontie
Catherine PETIT	Parodontologie
François REITZER	Odontologie Conservatrice - Endodontie
Martine SOELL	Parodontologie
Marion STRUB	Odontologie Pédiatrique
Xavier VAN BELLINGHEN	Prothèses
Delphine WAGNER	Orthopédie Dento-Faciale
Etienne WALTMANN	Prothèses

Remerciements

A Monsieur le Professeur Youssef HAÏKEL, Président du Jury

Je vous remercie de me faire l'honneur de présider ce jury, d'avoir pris de votre temps pour juger de mon travail.

Je tenais à vous remercier pour votre implication dans l'évolution de notre faculté en tant qu'ancien Doyen et chef de clinique, mais également pour la qualité de vos enseignements et l'intérêt que vous suscitez dès nos premières années pour l'apprentissage de l'endodontie.

A Monsieur le Docteur Davide MANCINO, Directeur de thèse

Quel honneur que d'avoir pu réaliser ce travail sous votre direction. Je vous remercie pour vos conseils, votre aide, vos corrections et l'intérêt que vous avez porté à ce sujet.

Je tiens à vous remercier pour vos enseignements, théoriques comme pratiques. Votre passion pour l'endodontie est admirable, et vos qualités de praticien d'autant plus. Vous n'avez jamais lésiné sur le partage de vos connaissances et expériences, et pour cela, je vous en suis très reconnaissante.

A Madame le Docteur Claire EHLINGER, Membre du jury

Merci de me faire l'honneur de siéger dans ce jury.

Je ne vous remercierai jamais assez pour tout ce que vous faites. Je vous serai toujours reconnaissante pour votre professionnalisme, votre sens de la pédagogie, votre sourire et votre gentillesse. Vous êtes toujours présente et à l'écoute, vos conseils et remarques sont toujours constructives. Veuillez trouver ici l'expression de ma sincère gratitude et de mon profond respect.

Pour tout, un grand merci.

A Madame le Docteur Karima EL OUAHABI, Membre du Jury

C'est bien plus qu'un honneur que de te compter dans mon jury.

Trois années sous ta responsabilité en prothèse m'auront appris bien des choses, mais c'est d'abord ta bonne humeur, ta gentillesse et ta patience qui m'ont marquée.

Tu as toujours été bienveillante et à l'écoute. Tes conseils et tes remarques sont toujours pertinentes, et travailler sous ton regard avisé m'a donné confiance.

Pour tout ce que tu incarnes, pour tout ce que tu m'as enseigné, pour tous tes sourires, un grand merci.

A mes parents,

Pour leur patience et leur soutien indéfectible. Vous m'avez transmis la discipline, la rigueur et ce, toujours avec le sourire. Merci de m'avoir soutenu durant toutes ces années.

Je n'aurais jamais réussi sans vous.

A mes amis les plus chers,

A Louisa, ma chouchou ;

A mes rencontres inestimables de la fac : Chachou, Betul, Charlotte, Zahra, Njomza, Samuele, Ikram, Sihem, Tsorik, Victoria, Amel et Kadour ;

A ceux qui ne m'ont jamais quitté : Jo, Angie, Marina, Emma, Cécile et Oli ;

A celles parties trop vite : Aleks et Lise,

Merci pour vos bêtises, vos rires et vos sourires, tous ces moments plus ou moins chaotiques partagés qui resteront à jamais dans ma mémoire. Vous êtes et serez toujours des amis très chers à mon cœur. Je vous souhaite une vie pleine de rires et de bonheur. Que nos aventures continuent.

A la promotion des D1 2022/2023,

Merci pour votre investissement. Vous avez tous donné du vôtre, avec curiosité et envie. Ce travail est en partie grâce à vous, et pour ça, un grand merci. Avoir été votre monitrice d'endo de la P2 à votre D1 aura été mémorable ! Petite pensée à quelques étudiants comme Lilian, Loïc, Nordine, Mokhtar, Amar, Laurie-Anne.

Au Dr. Quitterie DO VALE,

Nous n'aurons pas passé assez de temps ensemble, mais ton sourire et ta bonne humeur m'ont émue. J'espère de tout cœur que tes projets se réaliseront.

Au Professeur Maryline MINOUX,

Il me tient à cœur de vous remercier pour vos enseignements théoriques d'une qualité remarquable, et pour votre accompagnement en clinique. Votre rigueur et vos exigences m'ont appris à toujours chercher à m'améliorer et à ne jamais me contenter du minimum. Vous m'avez également inspiré pour ce sujet, vous qui aviez déjà tenté un TP avec ma promotion en 3^e année. Vous avez été d'une aide précieuse durant la mise en place du TP.

UNIVERSITE DE STRASBOURG

FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année 2023

N° 48

THESE

Présentée pour le Diplôme d'Etat de Docteur en Chirurgie Dentaire
le 05 juillet 2023

par

RACHDI Nora

née le 02 novembre 1999 à STRASBOURG

**DENTS ARTIFICIELLES EN PRECLINIQUE : UNE ALTERNATIVE AUX DENTS
NATURELLES DANS LA FORMATION ENDODONTIQUE ?**

Président : Professeur HAIKELYoussef
Assesseurs : Docteur EHLINGER Claire
Docteur MANCINO Davide
Docteur EL OUAHABI Karima

TABLE DES MATIERES

1. INTRODUCTION	7
2. CADRE PÉDAGOGIQUE	9
2.1. PRINCIPES THÉORIQUES	9
2.2. TRAVAUX PRATIQUES PRÉCLINIQUES	10
2.3. MODÈLES DE TRAVAIL ET PROTOCOLE.....	11
3. SIMULATEURS EN ENDODONTIE	14
3.1. CAHIER DES CHARGES.....	14
3.2. LA DENT NATURELLE	15
3.2.1. <i>Définition</i>	15
3.2.2. <i>Cadre légal</i>	15
3.2.3. <i>Avantages</i>	16
3.2.3.1. Disponibilité.....	16
3.2.3.2. Gratuité.....	16
3.2.3.3. Gold-standard	17
3.2.4. <i>Inconvénients</i>	17
3.2.4.1. Dent intacte	17
3.2.4.2. Standardisation.....	18
3.2.4.3. Risque infectieux.....	19
3.2.4.4. Influence du milieu de conservation.....	20
3.2.4.5. Faisabilité par un étudiant non-expérimenté.....	21
3.3. LA DENT ARTIFICIELLE	22
3.3.1. <i>Définition</i>	22
3.3.2. <i>Matériaux</i>	22
3.3.2.1. Résine	22
3.3.2.2. Céramique	23
3.3.2.3. Hydroxyapatite synthétique	23
3.3.3. <i>Techniques de réalisation</i>	24
3.3.4. <i>Avantages</i>	26
3.3.4.1. Disponibilité	26
3.3.4.2. Contexte légal	27
3.3.4.3. Risque infectieux inexistant.....	27
3.3.4.4. Standardisation et fiabilité de reproduction	27

3.3.4.5.	Equité et variété.....	28
3.3.5.	<i>Inconvénients</i>	28
3.3.5.1.	Faible radio-opacité	28
3.3.5.2.	Dureté insuffisante.....	29
3.3.5.3.	Irrigation difficile.....	30
3.3.5.4.	Diamètre minimal des canaux : ISO 15	30
3.3.5.5.	Variété et coût	30
3.3.5.6.	Déformation thermique de certains types de simulateurs.....	31
3.4.	COMPARATIF ENTRE LA DENT NATURELLE ET LA DENT ARTIFICIELLE.....	31
3.4.1.	<i>Manque de réalisme</i>	31
3.4.2.	<i>Facilité de traitement</i>	31
3.4.3.	<i>Comparaison des performances précliniques</i>	32
3.4.4.	<i>Comparaison de l'impact clinique de la simulation sur dent artificielle ou dent naturelle</i> 33	
4.	SIMULATION À STRASBOURG : SÉANCE DU 8 MARS 2023	34
4.1.	MATÉRIEL ET MÉTHODE.....	34
4.1.1.	<i>Simulateur</i>	34
4.1.2.	<i>Modèle de travail</i>	35
4.1.3.	<i>Protocole</i>	39
4.2.	PARTICIPANTS.....	40
4.3.	QUESTIONNAIRE	40
4.4.	RÉSULTATS.....	41
4.4.1.	<i>Analyse visuelle des cavités d'accès</i>	41
4.4.2.	<i>Analyse radiographique des traitements canalaires et comparaison aux performances sur dents naturelles</i>	44
4.4.3.	<i>Réponses au questionnaire</i>	52
4.5.	DISCUSSION	68
5.	CONCLUSION	70
6.	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	73

TABLE DES FIGURES ET TABLEAUX

FIGURE 1 : MODÈLE-TYPE MANDIBULAIRE PORTANT UNE 36 NATURELLE (COMPOSITE OCCLUSAL ET FRACTURE DE L'ÉMAIL VESTIBULAIRE), AVEC EMPLACEMENT POUR LA VIS ET GOUTTIÈRE POUR LE FILM RADIOGRAPHIQUE. LA JAC EST DÉGAGÉE.	12
FIGURE 2 : RADIOLOGIE PRÉOPÉRATOIRE D'UNE 16 NATURELLE COULÉE DANS LE PLÂTRE, AVEC MISE EN ÉVIDENCE DES APEX DANS DE LA CIRE MOLLE.	13
FIGURE 3 : CLASSIFICATION DE WEINE (1977).....	18
FIGURE 4 : CLASSIFICATION DE VERTUCCI (1984).....	18
FIGURE 5 : TABLEAU RÉCAPITULATIF DES NIVEAUX DE DIFFICULTÉS DES DENTS UTILISÉES EN TP.....	22
FIGURE 6 : IMAGES DES SIMULATEURS CRÉÉS PAR L'ÉQUIPE DE ROBBERECHT L [23].	23
FIGURE 7 : DIAGRAMME DE LA CHAÎNE DE PRODUCTION DE LA DENT ARTIFICIELLE.....	26
FIGURE 8 : PHOTOGRAPHIES DU SIMULATEUR 16-01(RIGHTNAO®)	34
FIGURE 9 : RADIOGRAPHIE DU SIMULATEUR SEUL 16.01 (RIGHTNAO®).....	35
FIGURE 10 : SUPPORT PROPOSÉ À L'ACHAT POUR OPTIMISER LE MODÈLE, POUVANT ÊTRE MONTÉ SUR FANTÔME.....	36
FIGURE 11 : RADIOGRAPHIQUE PRÉ-OPÉRATOIRE DU SIMULATEUR 16.01 SUR LE SUPPORT.	36
FIGURE 12 : MATÉRIEL ET PROTOCOLE DE COULÉE DU MODÈLE DE TRAVAIL AVEC LE SIMULATEUR.	37
FIGURE 13 : MODÈLE DE TRAVAIL AVEC LE SIMULATEUR 16.01.	38
FIGURE 14 : RADIOGRAPHIE PRÉ-OPÉRATOIRE DU MODÈLE DE TRAVAIL.	38
FIGURE 15 : À GAUCHE, IMAGE TIRÉE DE LA CARTE RADIOLOGIQUE 3D DU SIMULATEUR 16.01 (RIGHTNAO®) 40	
FIGURE 16 : À DROITE, CROQUIS DE L'ANATOMIE CANALAIRE DU SIMULATEUR 16.01 (RIGHTNAO®).....	40
FIGURE 17 : SCHÉMA PERSONNEL DE LA POSITION DES ORIFICES CANALAIRES ET DE LA FORME DE LA CAVITÉ D'ACCÈS SUR PREMIÈRE MOLAIRE MAXILLAIRE.	41
FIGURE 18 : NOMBRE DE CAVITÉS D'ACCÈS SELON LEUR CATÉGORIE « DÉLABRANTE », « MÉDIOCRE » OU « SATISFAISANTE ».	42
FIGURE 19 : EXEMPLES DE CAVITÉS D'ACCÈS DÉLABRANTES RÉALISÉES PAR LES ÉTUDIANTS.....	43
FIGURE 20 : EXEMPLES DE CAVITÉS D'ACCÈS MÉDIOCRES RÉALISÉES PAR LES ÉTUDIANTS.	43
FIGURE 21 : EXEMPLES DE CAVITÉ D'ACCÈS SATISFAISANTES RÉALISÉES PAR LES ÉTUDIANTS.	44
FIGURE 22 : EXEMPLES DE TRAITEMENTS NOTÉS « ACCEPTABLE ».	46
FIGURE 23 : NOMBRE DE CANAUX ATTEINTS D'ERREUR-TYPES COMMISES DANS LES 69 TRAITEMENTS NON-ACCEPTABLES (DENT ARTIFICIELLE).	47
FIGURE 24 : LOCALISATION CANALAIRE DES ERREUR-TYPES. (CA=CAVITÉ D'ACCÈS, MV=CANAL MÉSIO-VESTIBULAIRE, DV=CANAL DISTO-VESTIBULAIRE, P=CANAL PALATIN)	47
FIGURE 25 : À GAUCHE, TRAITEMENT NON-ACCEPTABLE COMPORTANT LA PERFORATION À LA CAVITÉ D'ACCÈS ET D'UN CANAL MÉSIAL, DE L'OUBLI D'UN CANAL MÉSIAL ET UN INSTRUMENT CASSÉ AU-DELÀ DE L'APEX EN MÉSIAL.....	48

FIGURE 26 : À DROITE, TRAITEMENT NON-ACCEPTABLE PRÉSENTANT DEUX PERFORATIONS DES CANAUX MÉSIAUX, UNE SOUS-OBTURATION DU CANAL PALATIN ET UN DÉPASSEMENT DU CANAL DISTAL.....	48
FIGURE 27 : À GAUCHE, TRAITEMENT NON-ACCEPTABLE AVEC DEUX INSTRUMENTS CASSÉS ET UNE PERFORATION.	49
FIGURE 28 : À DROITE, TRAITEMENT NON-ACCEPTABLE AVEC UNE PERFORATION EN MÉSIAL, UNE SOUS-OBTURATION EN MÉSIAL.....	49
FIGURE 29 : NOMBRE DE CANAUX ATTEINTS D'ERREUR-TYPES COMMISES DANS LES 31 TRAITEMENTS NON-ACCEPTABLES (DENT NATURELLE).	50
FIGURE 30 : REPRÉSENTATION GRAPHIQUE DU NOMBRE D'ERREUR-TYPES PAR CANAL DANS LES GROUPES SIMULATEURS (C S) ET DENTS NATURELLES (C DN).....	51
FIGURE 31 : TABLEAU RÉCAPITULATIF DES RÉPONSES AUX QUESTIONS 3 À 6 DU QUESTIONNAIRE.	54
FIGURE 32 : TABLEAU RÉCAPITULATIF DE LA RÉPONSE À LA QUESTION 7 DU QUESTIONNAIRE.	55
FIGURE 33 : TABLEAU RÉCAPITULATIF DES RÉPONSES AUX QUESTIONS 7 ET 8 DU QUESTIONNAIRE.	56
FIGURE 34 : RÉPARTITION DES ÉTUDIANTS AYANT JUGÉ LA DURETÉ DE LA DENTINE CORONAIRE PLUS MOLLE OU PLUS DURE QUE LA DENTINE CORONAIRE DE LA DENT NATURELLE.	56
FIGURE 35 : TABLEAU RÉCAPITULATIF DES RÉPONSES AUX QUESTIONS 10 ET 11 DU QUESTIONNAIRE.	57
FIGURE 36 : TABLEAU RÉCAPITULATIF DES RÉPONSES À LA QUESTION 12 DU QUESTIONNAIRE.	58
FIGURE 37 : TABLEAU RÉCAPITULATIF DES RÉPONSES AUX QUESTIONS 13 À 16 DU QUESTIONNAIRE.	59
FIGURE 38 : TABLEAU RÉCAPITULATIF DES RÉPONSES AUX QUESTIONS 17 ET 18 DU QUESTIONNAIRE.	60
FIGURE 39 : TABLEAU RÉCAPITULATIF DES RÉPONSES À LA QUESTION 19 DU QUESTIONNAIRE.	61
FIGURE 40 : TABLEAU RÉCAPITULATIF DES RÉPONSES À LA QUESTION 20 DU QUESTIONNAIRE.	61
FIGURE 41 : TABLEAU RÉCAPITULATIF DES RÉPONSES AUX QUESTIONS 21 ET 22 DU QUESTIONNAIRE.	62
FIGURE 42 : RÉPARTITION DES ÉTUDIANTS PRÊTS À ACHETER DES SIMULATEURS POUR 4 À 6 SÉANCES DE TRAVAUX PRATIQUES.	63

LISTE DES ABRÉVIATIONS

CA : cavité d'accès

DASRI : déchets d'activités de soins à risques infectieux

DFGSO 2/3 : diplôme de formation générale en sciences odontologiques 2^e/3^e année

DV : canal disto-vestibulaire

ESE: Société Européenne de l'Endodontie

JAC: jonction amélo-cémentaire

LA: longueur apparente

LOT: longueur opératoire de travail

MV1/MV2 : canal mésio-vestibulaire 1 ou 2

P : canal palatin

SFE : Société Française d'Endodontie

TP: travaux pratiques

1. INTRODUCTION

L'endodontie est une discipline qui requiert rigueur et précision. Elle est initiée dès la deuxième année et son enseignement couple la théorie à l'apprentissage pratique. Durant les deux années de préclinique, il est essentiel pour l'étudiant de développer sa dextérité manuelle avant son arrivée en clinique où le travail technique se mêlera à l'angoisse des premiers pas sur patient. C'est lors des travaux pratiques qu'il pourra acquérir tous les gestes utiles et apprendre à reconnaître les difficultés et les erreurs évitables par le traitement d'un maximum de cas de tout type. Ces cas vont de la simple monoradiculée comme l'incisive maxillaire aux pluriradiculées complexes comme la première molaire maxillaire.

Les travaux pratiques se doivent d'être les plus réalistes possibles afin de mimer une situation clinique. Depuis de nombreuses générations, il apparaît naturel aux étudiants de s'exercer sur des dents humaines extraites. Mais sont-elles réellement le gold-standard ? Là où l'odontologie conservatrice et la prothèse fixée utilisent des modèles artificiels de type Frasaco pour les travaux pratiques, l'endodontie continue à n'utiliser que des dents naturelles. Si leur place semble évidente, de nombreuses questions se posent, elles ne sont pas sans difficulté. S'en procurer et les sélectionner est parfois un véritable défi chronophage pour l'étudiant. Leur faisabilité est parfois impossible pour un étudiant non-expérimenté, la standardisation aux examens est impossible et crée des inégalités entre étudiants notamment lors des examens. De plus, le protocole de stérilisation engendre une fragilisation, menant à des résistances et des sensations différentes à la situation clinique réelle. Si elles restent considérées comme le reflet le plus proche d'un traitement endodontique sur patient, les dents naturelles ont leurs limites, sans compter les aspects éthiques. Des alternatives ont commencé à voir le jour : les blocs de résine et les dents artificielles.

Cette thèse se concentre sur la place des simulateurs de type dent artificielle dans la formation endodontique préclinique. Ils doivent répondre à un cahier des charges strict au moins égal à celui d'une dent naturelle, tout en apportant des solutions aux difficultés retrouvées pour les dents naturelles. Ils permettent une standardisation aux examens et garantissent un niveau de difficulté abordable. Ils

permettent notamment la mise en pratique d'un topic particulier comme le traitement d'un second canal mésio-vestibulaire qui ne serait pas présent sur toutes les molaires maxillaires naturelles des étudiants.

Dans un premier temps, nous poserons le cadre pédagogique de l'enseignement de l'endodontie à la faculté de Strasbourg. S'en suivra une revue de la littérature sur les différents avantages et inconvénients des dents naturelles et artificielles utilisées dans les travaux pratiques d'endodontie. Enfin, une séance de travaux pratiques sur simulateurs a été réalisée avec la promotion de DFGSO3 2022/2023, afin d'évaluer leur performance et leur ressenti au sujet des simulateurs.

2. Cadre pédagogique

2.1. Principes théoriques

La Société Européenne de l'Endodontie [1] a proposé des lignes guides, sous forme de liste de compétences, pour la mise en place de standards entre les différents centres d'enseignement européens. Elle décrit trois niveaux de maîtrise de l'endodontie :

1. « Be competent » :

Ce niveau représente le niveau expert : les savoirs théoriques et l'expérience clinique sont complémentaires pour résoudre des situations cliniques de façon complètement autonome. On parle ici d'un praticien qui a acquis la compétence « traitement canalaire initial ».

2. « Have knowledge of » :

Ce niveau est intermédiaire : la théorie est accompagnée d'une expérience clinique ou pratique limitée. Le praticien a appris la compétence mais est incapable de la transposer en dehors d'un cas standard.

3. « Be familiar with » :

Ce niveau est le plus bas : il n'y a qu'une compréhension basique du sujet, sans expérience clinique, sans possibilité pour l'opérateur de réaliser les procédures endodontiques seul et en autonomie. La compétence n'a pas été acquise.

L'enseignement de l'endodontie, basé sur les données acquises de la science, doit se répartir entre les travaux pratiques et l'expérience clinique. Il suit la chronologie progressive de la préclinique à la clinique.

La théorie doit nécessairement précéder la pratique. Ainsi, l'enseignement théorique est initié dès le premier semestre de DFGSO2 et perdure jusqu'à la DFASO1 selon une logique de complexité croissante, tandis que les travaux pratiques sont initiés à partir du second semestre de DFGSO2. L'enseignement sert à l'étudiant à comprendre la séméiologie des pathologies pulpaires et pulpoparodontales, à poser

un diagnostic et finalement, les indications du traitement endodontique. L'étudiant doit connaître les objectifs du traitement, ses plateaux techniques et ses protocoles.

La ESE souligne l'intérêt pour l'étudiant d'acquérir les compétences de base dans un environnement préclinique équipé, puis de les étoffer et de les intégrer par pratique clinique supervisée. *In fine*, l'objectif est la prise en charge globale et sécurisée du patient. En effet, l'étudiant n'est pas un technicien : un traitement endodontique est un acte invasif, et il est nécessaire de l'intégrer à un ensemble. L'étudiant doit justifier les thérapeutiques selon les indications, la balance bénéfice-risque, le pronostic et la difficulté propre de la dent. Le but n'est pas de former des bons techniciens, mais des praticiens capables d'intégrer l'endodontie à toutes les autres disciplines odontologiques, dans l'intérêt du patient.

La ESE ne donne pas de recommandation sur le nombre minimum de traitements à réaliser en préclinique, et préconise une approche davantage qualitative que quantitative. L'étudiant doit néanmoins être capable de réaliser le traitement complet d'une molaire en fin de stage préclinique.

2.2. Travaux pratiques précliniques

Les travaux pratiques répondent à un objectif éthique clair, énoncé par la Haute Autorité de Santé [2] dans son rapport sur la formation grâce à la simulation : « jamais la première fois sur un patient ». La simulation a pour but principal l'acquisition par l'étudiant des compétences nécessaires aux procédures endodontiques. Les travaux pratiques sont initiés dès le second semestre de DFGSO2 jusqu'à la fin de la DFGSO3, avec une difficulté progressive. Les premiers cas sont des monoradiculées simples : incisives et canines maxillaires, puis mandibulaires. Les pluriradiculées sont introduites avec les prémolaires maxillaires. Les molaires mandibulaires et maxillaires ne sont traitées qu'en DFGSO3. Une démonstration en direct est réalisée par les enseignants avant chaque première fois, pour permettre à l'étudiant d'analyser les gestes et les comprendre dans leur contexte, afin de pouvoir les reproduire lui-même sur son propre modèle.

L'apprentissage se fait en partie par observation et imitation de l'enseignant mais également par les erreurs.

Les travaux pratiques sont en effet l'occasion pour l'étudiant de se tromper, de poser ses questions et de demander des conseils. Il vaut mieux commettre l'erreur sur la dent dans le plâtre plutôt que sur le patient, puisque c'est pendant les simulations qu'il pourra prendre conscience de ses mauvaises manipulations, des limites de sa dextérité et des instruments. Il doit profiter des travaux pratiques pour questionner sans cesse sa façon d'aborder les cas : la simulation ne sert pas qu'à appliquer mécaniquement un protocole. Il se doit de faire l'effort d'étudier la dent cible, de saisir ses challenges et d'aborder le cas de façon active. Après chaque séance, l'étudiant doit pouvoir avoir du recul sur son travail et doit se questionner pour savoir comment s'améliorer.

Par la simulation, l'étudiant doit acquérir un savoir-faire sur tous les points suivants, rejoignant les compétences listées par la ESE :

- Interpréter une radiographie rétro-alvéolaire,
- Choisir la limite apicale de préparation et d'obturation,
- Choisir et manipuler les séquences instrumentales de mise en forme,
- Vérifier l'ajustage d'un maître-cône et l'existence du verrou apical,
- Juger un traitement endodontique,
- Préparer le plateau technique,
- Appliquer les règles d'asepsie,
- Installer un champ opératoire,
- Réaliser les différentes étapes du traitement avec une instrumentation manuelle, puis avec une instrumentation dynamique.

2.3. Modèles de travail et protocole

A ce jour, les étudiants travaillent sur des modèles en plâtre où sont placées des dents humaines extraites et stérilisées. Ils doivent préparer leur modèle préalablement aux séances, grâce à un planning communiqué par le responsable des travaux pratiques.

L'étudiant enrobe l'apex de la dent dans de la cire molle, ce qui permettra une lecture radiographique plus aisée du tiers apical. Il place la dent dans un moule en silicone. Il prépare ensuite son plâtre, le coule dans le moule, et attend qu'il durcisse pour démouler son modèle. S'en suivent le passage au taille-plâtre, la préparation de l'emplacement des vis pour la fixation au fantôme, le dégagement de la jonction amélo-cémentaire de la dent, le sciage de la gouttière pour le film radiographique parallèle à la dent. Ces modèles doivent être propres et fonctionnels, pour permettre un travail dans les meilleures conditions. Ils sont l'équivalent de leur copie lors de l'examen de fin de semestre, car ils seront ramassés (sous anonymat) pour être analysés.

En DFGSO2, les modèles sont utilisés sur table et sur fantôme sans joue. Les joues sont introduites en DFGSO3, avec l'usage de l'eau et les difficultés de vision qu'elle entraîne, couplée à une utilisation strictement sur fantôme en position de travail clinique.

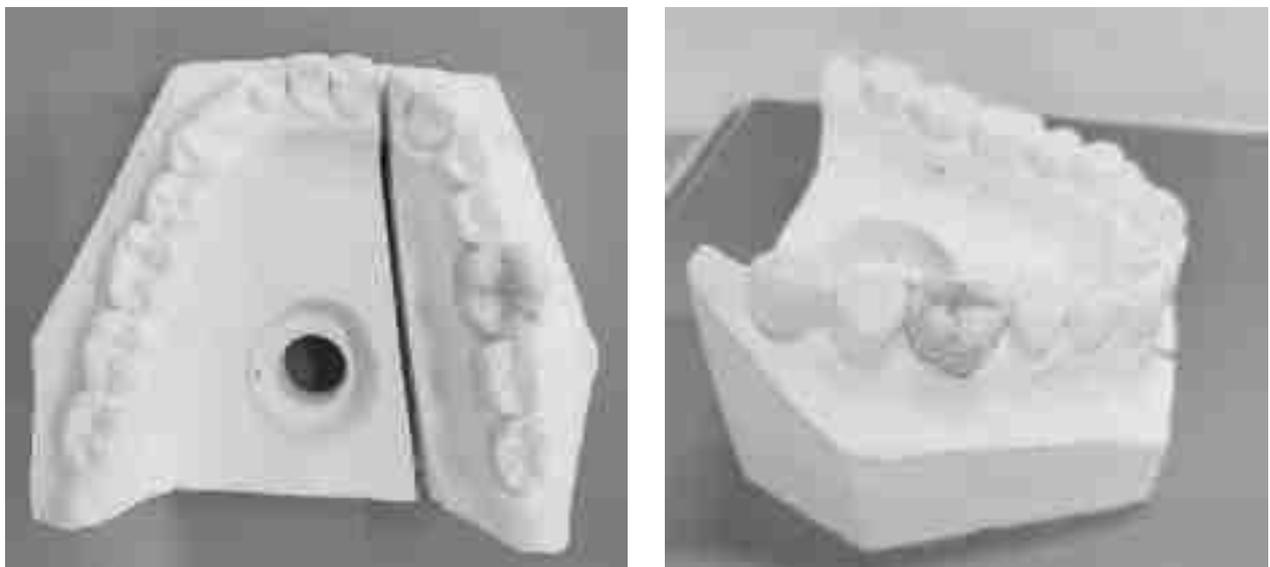


Figure 1: modèle-type mandibulaire portant une 36 naturelle (composite occlusal et fracture de l'émail vestibulaire), avec emplacement pour la vis et gouttière pour le film radiographique. La JAC est dégagée.

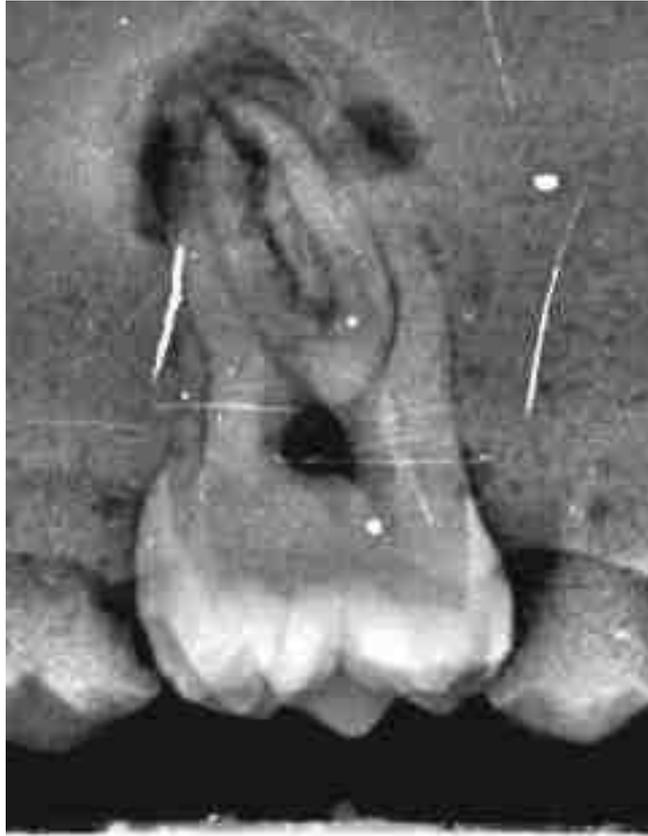


Figure 2: Radiologie préopératoire d'une 16 naturelle coulée dans le plâtre, avec mise en évidence des apex dans de la cire molle.

Le traitement endodontique en préclinique se déroule selon les étapes suivantes :

1. Radiographie rétro-alvéolaire pré-opératoire et estimation de la longueur apparente,
2. Réalisation de la cavité d'accès,
3. Localisation des orifices canaux,
4. Cathétérisme à la longueur apparente,
5. Radiographie rétro-alvéolaire per-opératoire de cathétérisme : détermination de la longueur opératoire de travail,
6. Mise en forme à la longueur opératoire de travail,
7. Mise en place du maître-cône ajusté,
8. Radiographie rétro-alvéolaire per-opératoire maître-cône,
9. Obturation,
10. Radiographie rétro-alvéolaire post-opératoire.

Les limes utilisées sont des limes K et la séquence ProTaper Gold® manuelle et/ou rotative de chez Dentsply Sirona®.

Quatre radiographies rétro-alvéolaires sont nécessaires, et leur lecture et interprétation par l'étudiant est essentielle [3]. Elles doivent être :

- Lisibles : la position de la chambre pulpaire et le tiers apical sont des éléments cruciaux et doivent être bien visibles sur les radiographies,
- Parallèles à l'axe de la dent : pour éviter les déformations et les erreurs d'estimation de longueur,
- Reproductibles : pour pouvoir être comparables d'une étape à l'autre,
- Adaptées au type de dent : par exemple, les pluriradiculées nécessitent souvent un complément par incidence de Clarke pour éviter les superpositions,
- Prises selon les réglages adaptés,
- Enregistrées.

La notation finale de fin de semestre se base sur l'analyse des modèles et des radiographies pré-opératoire, de cathétérisme, maître-cône et post-opératoire.

3. Simulateurs en endodontie

3.1. Cahier des charges

Les simulateurs en endodontie doivent répondre à un cahier des charges strict. Les étudiants s'entraînent pour apprendre des gestes, acquérir des automatismes et développer leur autocritique. Il ne faut pas oublier que ces étudiants seront les cliniciens de demain. Ils doivent acquérir un grand nombre de compétences en deux années de pré-clinique. L'objectif d'authenticité des simulateurs est primordial, puisque nous savons qu'autant la contextualisation des simulateurs est proche de la réalité, autant l'étudiant sera capable d'acquérir la compétence demandée.

Pour cela, le simulateur idéal est biomimétique. Il doit reproduire l'anatomie, la dureté des tissus dentaires et leur aspect radiographique. Le travail sur fantôme est essentiel pour que l'étudiant se familiarise avec les positions de travail. Puisqu'ils sont à

destination des étudiants, les simulateurs doivent être disponibles, avec des niveaux de difficultés abordables pour un non-expérimenté. Ils doivent être peu coûteux.

3.2. La dent naturelle

3.2.1. Définition

Les dents permanentes humaines extraites sont utilisées comme modèles pédagogiques et en recherches en odontologie. Au sein de la faculté de Strasbourg, les étudiants s'en servent dans les travaux pratiques d'endodontie.

Les étudiants doivent les trouver seuls auprès des praticiens, et surtout les choisir pour leurs modèles. Ils doivent prendre en compte les critères de :

- Morphologie externe : coronaire et radiculaire, sans délabrement excessif, sans courbure excessive ou apex immature,
- Morphologie interne : grâce à une radiographie, pour identifier la position et la taille de la chambre pulpaire, le diamètre et le nombre de canaux.

3.2.2. Cadre légal

Selon le Code de la Santé Publique, la dent est considérée comme un phanère, au même titre que les cheveux, les ongles et les poils. Elle n'est pas soumise aux dispositions à propos des dons et utilisations des éléments et produits du corps humain [4]. La dent extraite devient une pièce anatomique, définie comme « des organes ou des membres, aisément identifiables par un non-spécialiste, recueillis à l'occasion des activités de soins » [5]. Elle doit être éliminée au même titre que les DASRI. Alors, comment utiliser la dent naturelle dans le cadre des travaux pratiques si son élimination est obligatoire ?

Il faut d'abord définir le but, la finalité de l'utilisation de la dent extraite : elle est support d'apprentissage. Il n'est pas question d'utilisation des cellules, des données génétiques ou des tissus dentaires, mais simplement de la dent en tant qu'objet unique. Selon le Code de la santé publique, il est donc possible d'utiliser la dent

extraite dans un but autre que celui de son élimination après avulsion : « [...] les produits du corps humain, prélevés à l'occasion d'une intervention chirurgicale pratiquée dans l'intérêt de la personne opérée, [...] peuvent être utilisés à des fins thérapeutiques ou scientifiques, sauf opposition exprimée par elle après qu'elle a été informée des finalités de cette utilisation. » [6]. À noter que selon le Code civil, le patient ne peut réclamer une rémunération contre le don de sa dent [7], le praticien ne peut forcer le patient d'une quelconque façon, et le don aux étudiants ne peut être sujet à quelconque rémunération [8].

La législation permet aux praticiens de collecter et conserver les dents extraites pour les étudiants, à condition que le patient soit informé que cette dent servira à des étudiants pour leurs travaux pratiques et qu'il n'exprime pas son refus.

3.2.3. Avantages

3.2.3.1. Disponibilité

Les avulsions représentent toujours une part importante de la profession. Si certaines dents ne sont plus en état d'être utilisées par les étudiants pour les travaux pratiques, il reste possible de trouver des dents entières, très peu délabrées, non traitées endodontiquement. Leurs indications d'avulsion sont restreintes : la perte de leur support parodontal, les raisons orthodontiques, éventuellement les raisons prothétiques. En conséquence, les dents humaines extraites sont disponibles : à condition de remplir les exigences d'information du patient, les praticiens pratiquent les avulsions et sont en mesure de conserver les dents.

3.2.3.2. Gratuité

Conformément au Code civil, et comme sus-mentionné au point 3.2.2. Cadre légal, ni le patient, ni le praticien ne peuvent réclamer la moindre rémunération contre le don de la dent [7], [8]. La récolte des dents par les étudiants dans le cadre de leurs travaux pratiques est totalement gratuite. Ne se pose alors aucun problème de financement face au pouvoir d'achat souvent limité des étudiants. Il suffit à l'étudiant de se déplacer auprès des praticiens pour récupérer les dents extraites conservées sous accord des patients.

3.2.3.3. Gold-standard

La dent humaine extraite apparaît comme l'évidence pour la réalisation d'un modèle d'enseignement pour les étudiants, et est utilisée depuis longtemps [9], [10]. Elle est disponible, gratuite, et puisqu'elle est produit du corps humain, la dent sur plâtre semble être considérée comme la situation la plus proche à celle d'une dent en bouche. Elle est considérée comme le meilleur support pédagogique [11], et est utilisée dans de nombreuses études comme comparatif face à des simulateurs artificiels pour l'essai d'instruments ou de protocoles.

On y retrouve les différents tissus que sont l'émail et la dentine, l'anatomie et les radio-opacités comparables à une dent en bouche. La cire qui enrobe la dent dans le plâtre permet de lire le tiers apical, essentiel pour situer l'apex et jauger la longueur de travail. La dent naturelle peut être considérée comme gold-standard : sur la mâchoire du fantôme, la situation mime le patient et la dent à traiter. L'étudiant peut apprécier la position de travail, la dureté des différents tissus sous les fraises et à l'utilisation des limes, ainsi que la lecture radiographique [11], [12]. Avec l'irrigation, les débris dentinaires sont retirés et visibles par l'étudiant. L'étudiant pourra également apprécier la lubrification par l'irrigant. La dent naturelle extraite est résistante à la chaleur et permet différentes techniques d'obturation à chaud.

3.2.4. Inconvénients

3.2.4.1. Dent intacte

Pour être utilisables en TP, les dents naturelles doivent être intactes, non-traitées endodontiquement et ne pas porter de restauration indirecte. La morphologie coronaire doit être suffisante pour permettre à l'étudiant de réaliser sa cavité d'accès dans les meilleures conditions possibles. Les composites ou amalgames ne sont pas dérangeants à condition qu'ils n'entraînent pas une fragilisation excessive de la couronne. S'ils sont trop volumineux, les risques de fracture sont démultipliés et l'étudiant ne pourra pas s'exercer au dessin de la cavité d'accès. À noter qu'en cas d'amalgame, l'étudiant doit impérativement utiliser l'eau avec son contre-angle pour éviter les poussières et les surchauffes.

3.2.4.2. Standardisation

La standardisation entre les dents naturelles est impossible. De nombreuses variations anatomiques ont été décrites au fil du temps pour chaque type de dent [3] qui ont mené à la création de diverses classifications comme celle de Weine (Figure 3) ou Vertucci (Figure 4). Jusqu'à trente-sept configurations canales différentes ont été décrites après des études par analyse par micro-CT scan [18]. Ces variations sont retrouvées pour toutes les dents, et un même patient peut présenter différentes configurations sur deux dents homologues. Certaines sont plus rares que d'autres, mais elles restent existantes et peuvent se retrouver dans la banque de dents extraites des étudiants.

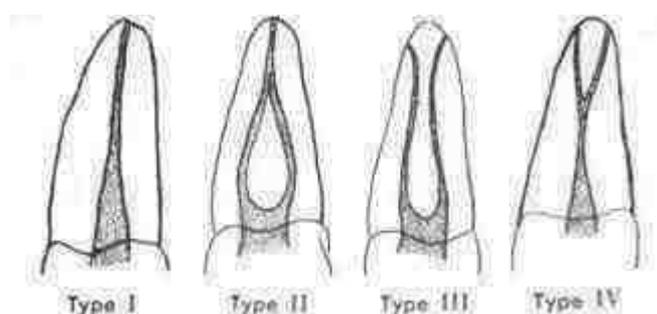


Figure 3 : classification de Weine (1977)

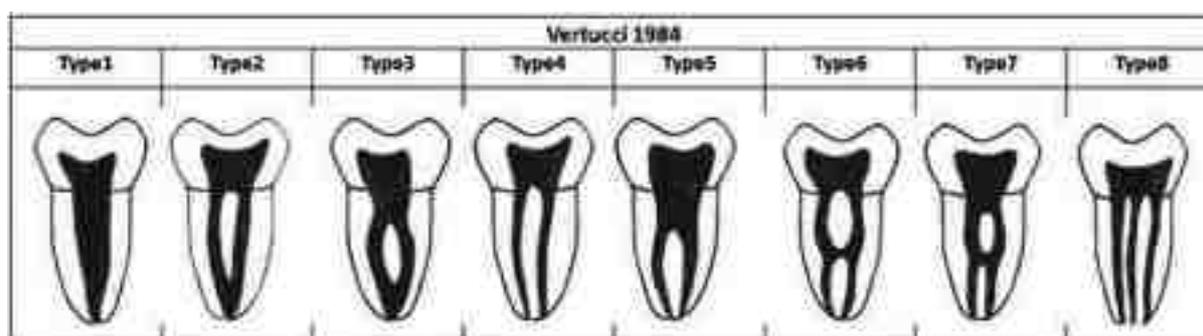


Figure 4 : classification de Vertucci (1984)

La dent subit un vieillissement intrinsèque et provoqué [18], [19]. L'apposition de dentine secondaire physiologique et de dentine tertiaire en réaction à des traumatismes va entraîner des rétractations de la pulpe, réduire la taille de la chambre et le diamètre des canaux. Il en résulte une cavité d'accès plus périlleuse à réaliser et des canaux fins. Des calcifications peuvent apparaître, comme les

pulpolithes qui masquent les entrées canalaires. La dent d'un jeune adulte présente généralement des canaux larges, parfois des apex immatures et ouverts, contrairement à la dent d'un adulte âgé qui présente des canaux fins, des rétractions voire des calcifications.

Il existe également des anomalies qui peuvent compliquer un traitement et qui nécessitent des ajustements de protocoles. Par exemple, le taurodontisme est caractérisé par une dent dont le rapport racine/couronne est en faveur de la couronne. On se retrouve avec une couronne haute et des racines courtes. La chambre pulpaire est volumineuse, les entrées canalaires sont très basses et proches l'une de l'autre. Il requiert une obturation à la moitié de la hauteur de la chambre. Les canaux en C sont plus compliqués à mettre en forme et à désinfecter, en raison de la section circulaire des instruments endodontiques.

Les origines ethniques des patients peuvent être en faveur de certaines configurations canalaires. Par exemple, les canaux en C sont plus fréquents dans la population asiatique que dans la population caucasienne [3].

Toutes ces variations entraînent une impossibilité de standardisation. Les étudiants présentent tous des dents différentes, avec des difficultés intrinsèques propres. Pourtant, tous les étudiants sont notés sur la même dent théorique. Ce manque de standardisation entraîne des écarts entre les performances de chaque étudiant. Un étudiant qui présenterait une dent trop compliquée pour lui se met dans une position de difficulté lors de son examen, avec un risque d'échec élevé. La composante de stress n'est alors pas négligeable : un étudiant sachant que sa dent constitue un cas plus difficile que son voisin ne sera pas dans le même état psychologique.

3.2.4.3. Risque infectieux

Selon l'Occupational Safety and Health Administration (OSHA) aux Etats-Unis, les dents humaines extraites sont une potentielle source d'infections [13]. Les instruments utilisés sont des piquants : limes, seringue d'irrigation. Un accident d'exposition au sang est possible. Il est indispensable pour l'étudiant de réaliser une désinfection-stérilisation de ses dents afin d'éviter toute contamination [14], [15].

Par sa structure intrinsèque, la dent est une entité difficile à stériliser. Plusieurs méthodes de désinfection-stérilisation ont été explorées par Dominici *et al* [16]: conservation dans différentes concentrations d'hypochlorite (5.25%, 2.6%, 1.3%), du formaldéhyde à 10%, du glutaraldéhyde à 2%, de l'ammonium quaternaire à 0.28% et le passage à l'autoclave à 121°F-20psi pendant 20 ou 40 minutes. Il en est conclu que les seules méthodes acceptables et efficaces contre la croissance de *Bacillus stearothermophilus endospores* sont le passage à l'autoclave pendant 40 minutes ou la conservation dans le formaldéhyde à 10% pendant une semaine. Dans 9 cas sur 10, le passage à l'autoclave durant 20 minutes est suffisant. L'inconvénient de la formaldéhyde est le rejet de vapeurs toxiques. Son utilisation doit se faire sous hotte. La Faculté de chirurgie-dentaire de Strasbourg a mis à disposition des étudiants un autoclave, géré par un technicien, afin d'assurer une désinfection-stérilisation efficace et de ce fait, limiter les risques sanitaires.

3.2.4.4. Influence du milieu de conservation

Les dents sont conservées en milieu sec ou humide. Mello *et al* [17] ont étudié la résistance à la fracture d'incisives et canines mandibulaires fraîchement extraites. Elles ont été stérilisées à l'autoclave 121°C-20psi durant 40 minutes, puis elles ont été conservées en milieu sec ou dans de l'eau distillée pendant 2 mois.

Les tests de résistance sont menés 24 heures après un traitement endodontique réalisé en trois sessions, sur trois semaines. Lors des sessions, aucune fracture n'a été enregistrée. Cependant, lors de la compression verticale post-opératoire, la charge nécessaire à la fracture du groupe sec est significativement moindre que pour les dents humides. Il en est conclu que les dents conservées au sec sont moins résistantes à la fracture que les dents conservées en milieu humide. Mais qu'elles soient conservées en milieu sec ou humide, les dents stérilisées semblent se comporter de la même façon lors d'un traitement canalair.

À noter que cette étude se concentrait sur des dents fraîchement extraites et conservées dans leur milieu respectif pour une durée de 2 mois. Bien souvent, les étudiants n'ont aucun recul sur le temps de conservation de leurs dents. Certaines sont léguées d'année en année par des étudiants d'année supérieure. Certaines

passent différents cycles de stérilisation, entraînant irrémédiablement une fragilité de la dent, objectivée par des fractures multiples lors des travaux pratiques.

3.2.4.5. Faisabilité par un étudiant non-expérimenté

L'Association Américaine des Endodontistes (AAE) [20] a proposé une échelle pour juger la difficulté du traitement endodontique d'une dent selon trois niveaux de difficulté :

1. Minimale : l'obtention d'un résultat prédictible du traitement est possible par le praticien compétent,
2. Modérée : l'obtention d'un résultat prédictible du traitement est un challenge pour le praticien compétent et expérimenté,
3. Haute : l'obtention d'un résultat prédictible du traitement est un challenge même pour le praticien très expérimenté avec un large historique de réussites endodontiques.

Pour classer une dent dans l'une ou l'autre catégorie, un formulaire d'évaluation étaye les différents facteurs de risque. Ces derniers sont liés au patient, à ses antécédents, à la dent en elle-même et le contexte bucco-dentaire.

Cette échelle de l'AAE a été transposée en retirant les facteurs liés au patient et à ses antécédents dans une étude menée en Australie [21]. 1000 radiographies rétro-alvéolaires réalisées par les étudiants ont été analysées, afin de déterminer la difficulté propre à chaque dent :

- 303 incisives ou canines,
- 299 prémolaires,
- 398 molaires.

Les résultats peuvent être résumés ainsi :

	Minime	Modérée	Haute
Incisives-canines	38.5%	48.5%	13%
Prémolaires	34.8%	48.9%	16.3%
Molaires	0%	57.3%	42.7%

Figure 5 : Tableau récapitulatif des niveaux de difficultés des dents utilisées en TP

Plus de la moitié des dents entrent dans le niveau de difficulté modérée. Les molaires sont les dents les plus difficiles à traiter par des étudiants, mais 2 étudiants sur 5 se retrouvent avec des molaires traitables uniquement par un endodontiste avéré. Cette étude montre la part importante de dents difficiles à traiter par un étudiant non expérimenté, loin d'être un praticien compétent.

3.3. La dent artificielle

3.3.1. Définition

Les inconvénients des dents naturelles ont poussé à rechercher des alternatives. Les premiers simulateurs expérimentaux ont été proposés par Weine *et al.* dans les années 1970 : la reproduction d'un canal dans un bloc de plastique. Loin d'être réaliste, l'objectif d'authenticité a mené à la création de dents artificielles. Le Journal International de l'Endodontie a d'ailleurs décidé en 2015 de ne plus accepter les études usant des blocs en résine pour remplacer des dents naturelles [10]. Les dents artificielles tentent de reproduire l'anatomie externe et interne d'une dent naturelle. Elles ont pour objectif d'être le plus authentique possible.

3.3.2. Matériaux

3.3.2.1. Résine

Parmi les matériaux les plus populaires, la résine occupe la première place. Qu'elle soit opaque ou transparente, son faible coût et sa facilité d'utilisation permettent d'usiner des dents artificielles de façon rapide. Il existe de nombreux types de

résines, permettant aux industriels de créer leur propre modèle de dent artificielle avec leur propre cahier des charges [22]. Elle est à coupler aux techniques d'impression et performances de l'imprimante 3D qui sera utilisée. Toutes les résines ne permettent pas la même résolution d'impression.

3.3.2.2. Céramique

La poudre de céramique est ajoutée en pourcentages variables pour « renforcer et améliorer la sensation tactile » de certains simulateurs en résine. Elle nécessite des étapes de confection supplémentaires, et son coût de revient se répercute sur le prix individuel des simulateurs.

3.3.2.3. Hydroxyapatite synthétique

L'hydroxyapatite synthétique a été utilisée pour un simulateur expérimental, dans une étude de Robberecht *et al* [23]. Elle est plus contraignante dans son utilisation que la résine ou la céramique. Il est nécessaire de la préparer selon différentes étapes, avec une cuisson longue. L'étude n'a pas pu reproduire la morphologie externe et coronaire : seul le réseau canalaire a été reproduit grâce à la technique de cire perdue et la technologie d'impression 3D, à une précision de 10µm. De tels modèles ne peuvent pas être exploités en travaux pratiques.



Figure 6 : images des simulateurs créés par l'équipe de Robberecht L [23].

3.3.3. Techniques de réalisation

La plupart des techniques repose sur l'impression 3D de résine plus ou moins recouverte de céramique. La récolte des données se base sur un CBCT ou un micro-CT scan d'une dent naturelle.

Les deux techniques radiographiques donnent des reconstructions 3D exploitables. Grâce à des logiciels de traitement, conceptualisation et modélisation d'images 3D, les données issues de la radiographie peuvent être extraites et isolées. Ces fichiers DICOMs sont alors transformés en nuage de points pour obtenir un fichier *.stl* (Standard Tessellation Language). Plus on souhaitera une résolution élevée de ce fichier *.stl*, plus le fichier nécessitera une impression à haute résolution. Kulcyck *et al* [25] ont étudié la précision des différentes techniques d'acquisition d'images et leur utilité pour la reproduction de dents naturelles. Le micro-CT scan donne les meilleurs résultats d'acquisition, notamment dans les structures subtiles comme les régions apicales [26]. Les dents artificielles basées sur un micro-CT scan ont d'ailleurs été jugées plus réalistes que celles basées sur CBCT [12]. Cependant, si l'image est très performante, le poids du fichier obtenu par un micro-CT scan de très haute résolution n'est exploitable que par des logiciels d'impression et des imprimantes coûteux. Ainsi, la résolution doit être compatible avec la technique d'impression et la résine choisies, mais aussi les attentes du fabricant. Il est inutile d'avoir une image de très haute résolution si le logiciel d'impression est incapable de l'exploiter.

Par conséquent, afin d'avoir un simulateur idéal, il faudra scanner la dent naturelle par micro-CT, utiliser un fichier *.stl* et une imprimante de haute résolution. Chaque étape du processus comporte un risque d'erreur et une perte de données qui, additionnées, risquent d'altérer la précision de la reproduction artificielle de la dent naturelle.

Différentes techniques d'impression existent, que ce soit par l'utilisation d'un filament thermoplastique ou l'utilisation de poudres de polymères. Elles ont été étudiées par Msallem *et al* [27].

Le dépôt de fil fondu, ou fused filament fabrication (FFF) est facile d'utilisation, mais son usage n'est pas adapté à la reproduction d'une dent naturelle en raison de sa

basse résolution d'impression et les faibles propriétés mécaniques induites par les filaments.

La stéréolithographie (SLA) repose sur la photopolymérisation par UV d'un polymère liquide. Elle permet une haute résolution d'impression, entre 25 et 30 μ m, et de nombreux polymères sont compatibles. Cependant, c'est une technologie coûteuse et il existe parfois une rétraction de prise lors de la polymérisation.

L'impression 3D par frittage sélectif par laser (SLS) utilise un laser CO₂ pour polymériser une poudre de polymère. La réalisation de formes géométriques complexes est possible et ce, sans matériau support. Le produit fini est rugueux, et le coût de ces imprimantes est élevé.

Le jet de matière, ou material jetting (MJ), permet une polymérisation d'un polymère liquide goutte par goutte grâce à une lumière UV. Les produits finis sont de très haute résolution, entre 16 et 28 μ m. Le support peut être dissous.

Pour les dents artificielles, les technologies les plus courantes sont la SLA et le MJ. Il n'existe pas de différence dans la précision des répliques de dents naturelles réalisées par ces deux technologies [26].

Certaines techniques d'impression nécessitent un matériel support. Ce matériel support peut être fait du même matériau que celui utilisé pour l'impression de la pièce principale ou être d'un matériau distinct. Il trouve son utilité dans l'augmentation de la résistance, de la stabilité et du support de la pièce afin d'éviter que celle-ci ne se collapse ou ne se déforme lors de l'impression. Il s'avère utile dans les zones fragiles comme les courbures, et les zones très fines. Cependant, lorsqu'il est présent dans des zones étroites et closes, ce matériel support s'avère difficile à retirer. On appelle ce phénomène « les volumes piégés ». Dans le cas des dents artificielles, ces zones étroites sont omniprésentes : la cavité d'accès est un espace clos, et les canaux sont des zones très étroites quasi-closes. Il arrive que ce matériel obstrue l'apex. Il empêche la réalisation d'un traitement optimal [28]. Une solution a été proposée par Reymus *et al* [29] : elle consiste en la préparation des dents naturelles pour obtenir des canaux plus larges et permettre une centrifugation des dents artificielles pour le retrait du matériel support. Cependant, par cette méthode, l'anatomie canalaire des dents est altérée.

Il n'existe à ce jour aucun protocole quant à l'acquisition des images et les techniques d'impression. Il est difficile de comparer les études entre elles et les différentes manières de créer une dent artificielle. Le principe de base est sensiblement le même pour toutes les méthodes, mais des différences existent selon les logiciels, les opérateurs, les matériaux et les outils utilisés, mais aussi l'aspect financier.

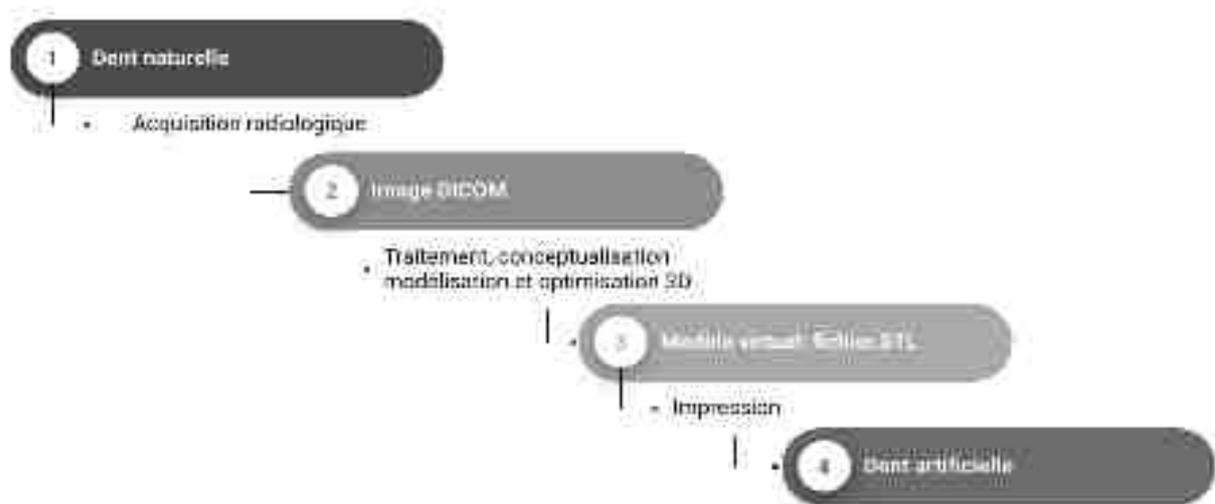


Figure 7 : diagramme de la chaîne de production de la dent artificielle.

3.3.4. Avantages

3.3.4.1. Disponibilité

La dent artificielle est un fichier enregistré qui peut être reproduit autant de fois que nécessaire grâce à l'impression 3D. À condition d'être équipé du matériel et des outils adaptés, elle n'est limitée que par la disponibilité des matières premières nécessaires à son usinage. Contrairement à la dent naturelle, elle est disponible [10]. L'étudiant n'a plus à se soucier de la collecte des dents : elles sont usinées à la demande [30], [31].

3.3.4.2. Contexte légal

La dent artificielle n'est pas propriété d'un patient comme l'est la dent naturelle. Face à la chaîne de création d'un simulateur, le seul accord nécessaire est celui du patient pour l'exploitation de l'image radiologique de sa dent. Il est indispensable, qu'il concerne une dent en bouche ou une dent extraite. Une fois obtenue, l'image devient support unique pour une multitude de répliques qui ne demanderont pas l'accord répété du patient pour chaque dent usinée. Le contexte légal est allégé comparé au cadre légal encadrant la dent naturelle [11].

3.3.4.3. Risque infectieux inexistant

La dent artificielle est inerte. Composée uniquement de matériaux synthétiques, elle ne comporte aucun risque infectieux [11].

3.3.4.4. Standardisation et fiabilité de reproduction

Les reproductions d'une même dent artificielle sont identiques [30], [32]. En effet, si la chaîne de production est identique pour chaque réplique, il a été démontré qu'elle serait identique à l'originale.

Dans une étude de Reymus *et al* [22], l'anatomie externe des simulateurs est jugée identique à celle de leur modèle naturel, et il est supposé qu'il en est de même pour l'anatomie interne.

Liang *et al* [26] ont utilisé une approche différente : ils ont réalisé le CBCT de dents naturelles extraites préparées pour réaliser des simulateurs, par technique de multijet printing, avec une précision de 16µm. Les dents extraites et leurs homologues artificiels ont été comparés par analyse des CBCT, par sections régulières. Il est conclu que les anatomies externe et interne sont similaires. Les différences notées concernent la région coronaire où la superposition des structures implique une difficulté d'acquisition de l'image, et la région apicale à cause des structures les plus fines, difficiles à reproduire.

3.3.4.5. Equité et variété

Grâce à cette fiabilité de reproduction, tous les étudiants possèdent la même dent artificielle, avec la même anatomie et les mêmes difficultés. Le problème d'équité aux examens, soulevé pour les dents naturelles, est solutionné grâce aux simulateurs [30], [33]. Chaque étudiant se trouve face au même cas. Il serait alors possible d'établir un niveau de base pour la dent d'examen. Ainsi, le traitement complet de cette dernière deviendrait la référence pour évaluer les compétences des étudiants.

Les dents artificielles peuvent être modulées selon les souhaits des constructeurs ou des attentes des utilisateurs. Puisqu'elles sont d'abord une reconstruction en trois dimensions d'une dent naturelle, il est envisageable de modifier ce fichier grâce aux logiciels. Il est possible d'élargir les canaux, d'en retirer un, voire de courber les racines. Plus simplement, il suffirait d'utiliser un modèle correspondant au topic souhaité [32] comme l'exploration d'un MV2 [34], la gestion d'un apex immature ou un canal en C [35]. Toutes les dents naturelles peuvent théoriquement être répliquées, et la difficulté pourra être modulée en fonction des attentes [11]. Certaines dents artificielles vont jusqu'à reproduire le saignement pulpaire [36], grâce à des procédés physico-chimiques. Ce saignement permettrait entre autres d'expérimenter l'effraction pulpaire. Les applications pourraient mener à terme à des travaux pratiques de coiffage pulpaire direct ou de pulpotomie partielle ou totale.

Certaines entreprises proposent des simulateurs transparents qui, comme les blocs de résine, permettent de visualiser la dynamique des différents instruments et de mieux appréhender ou comprendre les erreurs.

3.3.5. Inconvénients

3.3.5.1. Faible radio-opacité

L'une des principales critiques des dents artificielles en résine concerne leur radio-opacité [11], [12], [22], [30]. Elle est jugée insuffisante, avec un manque de contraste

entre l'espace pulpaire et le reste de la dent artificielle. Il est compliqué, voire impossible de réaliser une lecture radiographique de l'espace canalaire.

Certaines entreprises ont entrepris de proposer des cartes virtuelles, comme RightNao®, incluant le CBCT original et/ou une radiographie rétro-alvéolaire pré-opératoire. Cette même entreprise propose des supports complets pour la dent artificielle afin d'optimiser ses paramètres radiologiques.

3.3.5.2. Dureté insuffisante

La dureté de la résine est jugée trop faible dans diverses études, comparée à la dentine naturelle. Ce point est retrouvé pour de nombreux simulateurs disponibles dans le commerce, comme le décrit Reymus *et al* [29]. La dentine naturelle possède une dureté de Martens 500 +/- 46 HM et un module d'élasticité de 16.3+- 3 GPa. Les dents en résine ont toutes une dureté jusqu'à 3 fois plus faible (155 +/- 26 HM pour le simulateur testé le plus dur), et un module d'élasticité jusqu'à 4 fois plus faible (4.2 +/- 0.1 GPa pour le même simulateur).

Les instruments endodontiques sont agressifs, et les erreurs de type perforation sont plus faciles à commettre sur les simulateurs, selon une étude de Al-Sudani et Busadan [31]. À la cavité d'accès, le « drop » n'est pas retrouvé en raison de la mollesse de la résine. Certaines études soulèvent ce point comme un problème dans l'apprentissage des gestes par les étudiants [30], [31], [37]. Ce manque de dureté altère le réalisme des dents artificielles. Le manque de dureté serait également impliqué dans le temps de travail : le traitement d'une dent artificielle est plus rapide que celui d'une dent naturelle [38]. De plus, les fraises ont tendance à glisser sur la surface de la résine, compliquant la réalisation de la cavité d'accès [31].

Cresswell-Boyes *et al* [39] ont proposé un tyodont imprimé 3D, à 50µm, à base de résine de méthacrylate, photopolymérisable, renforcée par diverses proportions d'autres matériaux tels que : différents verres, de l'hydroxyapatite carbonaté ou non. Les différents modèles ainsi que l'émail et la dentine naturels ont passé le même test de force à la coupe automatique par une pièce à main (40 000 rpm, fraise

diamantée cylindrique et vitesse de coupe de $0.1\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$). Certaines résines composites créées et utilisées pour répliquer l'émail et la dentine sont comparables à celles de la dent naturelle. La force de coupe nécessaire pour l'émail était de 0.31N , et pour la dentine de 0.49N . On retrouve des valeurs similaires à l'émail avec une résine renforcée à 25% par de l'hydroxyapatite ou à 20% par de l'hydroxyapatite carbonaté. Avec 25% de Glass Flake ou 5% de céramique à verre fluormica, la force de coupe nécessaire est proche de celle de la dentine : 0.49 et 0.47N respectivement. Ce type de résine composite semble être prometteur pour la réalisation de dent artificielle pour l'endodontie, mais des études plus approfondies sont nécessaires, avec notamment la reproduction d'un système canalaire à l'échelle.

3.3.5.3. Irrigation difficile

L'irrigation d'une dent en résine ne permet pas une évacuation efficace des débris [31], [32]. Ils sont composés de résine, mais il est prudent de supposer qu'ils le sont aussi de matériau support. Ils sont jugés collants, résistants à l'irrigation. Ils sont à l'origine de bouchons qui empêchent l'instrumentation complète du réseau canalaire et ils compliquent la réalisation du traitement endodontique.

3.3.5.4. Diamètre minimal des canaux : ISO 15

En raison des limites des différentes techniques d'impression, la largeur minimale des canaux est atteinte pour $16\mu\text{m}$. On se retrouve avec des canaux qui ne peuvent être plus fins qu'une lime en ISO 15 [32]. L'instrumentation des canaux très fins ne peut être simulée, et on atteint rapidement les limites imposées par les technologies.

3.3.5.5. Variété et coût

De nombreuses dents artificielles sont proposées sur le marché. Cette variété permet de choisir en fonction des besoins et des objectifs pédagogiques. Cependant, les choix peuvent s'avérer compliqués en raison d'un manque de clarté. Les informations concernant la dureté des matériaux utilisés sont difficilement disponibles. De plus, ils ont un coût non négligeable contrairement à la dent naturelle. Que ce soit avec une

aide de la faculté ou par l'étudiant directement, leur coût peut vite devenir un frein pour certains. Par ailleurs, pour optimiser les paramètres radiologiques, certaines entreprises vont proposer divers supports, qu'ils soient sous la forme d'une mâchoire ou autre. Ces supports entraînent un surcoût.

3.3.5.6. Déformation thermique de certains types de simulateurs

Une étude souligne que certains simulateurs peuvent subir une déformation thermique lors de l'instrumentation ou de l'obturation [12], en raison des matériaux utilisés. Certaines résines ne sont pas suffisamment thermorésistantes.

3.4. Comparatif entre la dent naturelle et la dent artificielle

3.4.1. Manque de réalisme

Contrairement à la dent naturelle, le plancher pulpaire d'une dent artificielle n'est pas aussi subtil et ne reproduit pas les lignes de fusion utiles à la localisation des canaux [29], [37]. Le changement de couleur retrouvé au niveau des dents naturelles est inexistant chez les simulateurs. La visibilité au niveau des simulateurs est plus faible, et la localisation des entrées canalaires est plus difficile [31], [37].

3.4.2. Facilité de traitement

Les avis divergent, selon les études ou les simulateurs utilisés, quant à la facilité du traitement.

Certaines études affirment que les dents artificielles sont plus faciles à préparer [29], [33], [40], notamment en raison de la faible dureté de la résine. Le temps de réalisation du traitement a été jugé plus court sur dent artificielle [41].

D'autres études soulignent la radio-opacité des simulateurs comme élément compliquant le traitement, en raison du manque de contraste.

Le simulateur choisi joue un rôle dans la difficulté du traitement. Certains simulateurs sont trop compliqués pour des étudiants mais ils satisfont les critères de spécialistes en endodontie comme dans une étude de Gancedo-Caravia *et al* [12]. Ils pourraient être réservés à la formation continue, par exemple.

3.4.3. Comparaison des performances précliniques

Dans une étude de Bitter *et al* [38], 43 étudiants ont été séparés en deux groupes :

- Groupe test entraîné uniquement sur simulateurs (n=20),
- Groupe contrôle entraîné uniquement sur dent naturelle (n=23).

Tous ont suivi la même formation théorique et ont assisté aux mêmes démonstrations. Afin d'évaluer les performances des deux groupes, après une phase d'entraînement, deux OSPE (Objective Structured Practical Examination) ont été mis en place. Durant le premier OSPE, tous les étudiants ont réalisé le traitement endodontique complet d'un même simulateur (37 à 4 canaux). Durant le second OSPE, tous les étudiants ont réalisé le traitement endodontique complet d'une molaire mandibulaire gauche (choisie dans une banque de dents naturelles par un même examinateur).

Les résultats des OSPE ont été comparés par analyses statistiques. Les performances sur dents naturelles entre les deux groupes ne présentent pas de différence significative : les étudiants n'ont pas moins réussi leur traitement sur dent naturelle que sur simulateur. Aucune association entre les performances sur dent naturelle et simulateur n'a été relevée. Que l'on s'entraîne uniquement sur simulateurs ou sur dents naturelles, les traitements sur dent naturelle ne diffèrent pas significativement : les étudiants entraînés sur simulateurs réussissent tout aussi bien que les étudiants entraînés sur dent naturelle. Cependant, dans le groupe test, les traitements sur dents naturelles sont significativement moins bons que sur simulateurs : il faut se demander si la dent artificielle prépare efficacement à un traitement sur dent naturelle.

3.4.4. Comparaison de l'impact clinique de la simulation sur dent artificielle ou dent naturelle

L'impact sur les performances cliniques des étudiants formés sur dents artificielles a été étudié par Tchorz *et al.* [40]. Deux groupes d'étudiants ayant reçu la même formation théorique ont suivi une formation pratique différente. Le groupe n°1 (n=44) a réalisé 4 traitements endodontiques sur blocs de résine, puis 3 traitements endodontiques sur dents naturelles. Le groupe n°2 (n=45) a aussi réalisé 4 traitements sur blocs de résine, puis 3 traitements sur dents artificielles.

A la suite de cette formation, les étudiants ont tous réalisé leur premier traitement sur patient. Les cas ont été triés et choisis par un dentiste expérimenté afin de s'assurer de leur faisabilité. L'évaluation des performances s'est basée sur l'analyse des radiographies maître-cônes et post-opératoires : les traitements sont considérés comme acceptables si le cône ou l'obturation se situe à moins de 1mm de l'apex radiologique. Un dépassement de l'apex radiologique classe le traitement comme « long », et un traitement est considéré court s'il est à plus de 1mm de l'apex radiologique.

Sur patient, les performances des étudiants sont similaires : 76,77% des obturations du groupe n°2 sont jugées acceptables contre 74,31% des obturations du groupe n°1. Les étudiants qui se sont exercés uniquement sur dent artificielle font aussi bien que les autres.

Il faut toutefois émettre des réserves : le nombre de participants est faible, les cas patients ont été sélectionnés par un dentiste expérimenté pour les étudiants non-expérimentés qui réalisaient leur tout premier traitement. Aucune information n'a été donnée sur les dents naturelles traitées : la difficulté de traitement varie d'une incisive à une molaire.

4. Simulation à Strasbourg : séance du 8 mars 2023

4.1. Matériel et méthode

4.1.1. Simulateur

La société française RightNao® propose diverses gammes de simulateurs. L'une d'elle est la Simply Endo, conçue pour se former à l'endodontie. Sur le papier, ces simulateurs devraient allier performances à moindre coût (12.90 euros/pièce). Ces simulateurs sont en résine monobloc, blanche et opaque, pouvant résister à une température de 150°C [42].

La molaire artificielle utilisée dans la séance de travaux pratiques est la 16-01. La morphologie coronaire reprend les caractéristiques morphologiques de la première molaire maxillaire : les cinq cuspides dont le tubercule de Carabelli, le pont d'émail. Le système canalaire est formé de 4 canaux indépendants : deux canaux mésio-vestibulaires, un canal disto-vestibulaire et un canal palatin. Selon la fiche produit, le canal palatin présente un diamètre apical de 0.2mm, et les autres de 0.1mm. Les canaux vestibulaires sont courbés.

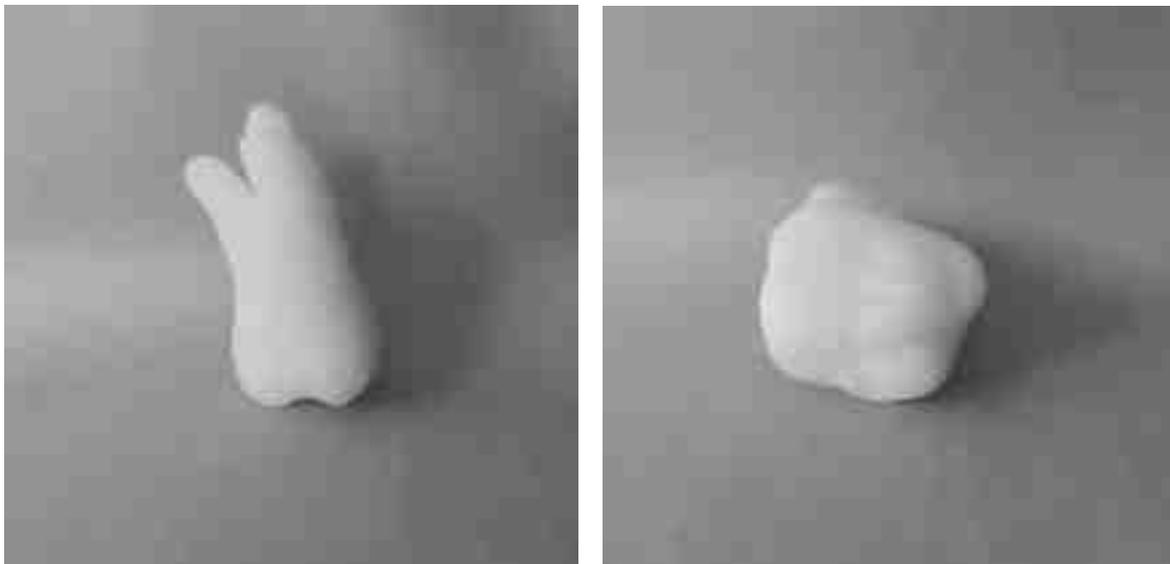


Figure 8 : photographies du simulateur 16-01 (RightNao®)

Au niveau radiologique, le manque de contraste empêche la lecture claire du système canalaire. Puisque la dent est en résine monobloc, il n'existe pas de couches émail-dentine. Une cheminée relie la chambre à l'extérieur de la dent.

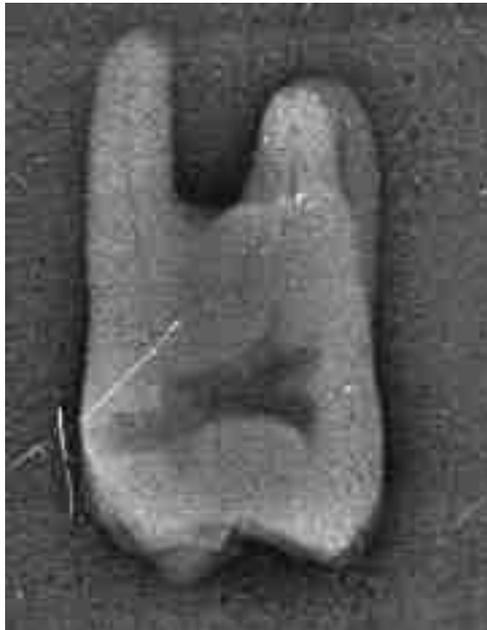


Figure 9 : radiographie du simulateur seul 16.01 (RightNao®)

4.1.2. Modèle de travail

Pour des raisons financières, nous n'avons pas pu nous procurer le modèle idéal proposé par la société RightNao®, consistant en une base et des supports individuels. Il permet d'optimiser les paramètres radiologiques en évitant les superpositions de matériaux. La lecture du réseau canalaire est optimale.



Figure 10 : support proposé à l'achat pour optimiser le modèle, pouvant être monté sur fantôme.



Figure 11 : Radiographique pré-opératoire du simulateur 16.01 sur le support.

Comme alternative, tous les apex des simulateurs ont été peints à l'aide d'une peinture extra-fine radio-opaque (blanc de lithone, à base de sulfate de zinc et de sulfate de baryum, Leroux) par un même opérateur expérimenté. Les simulateurs ont tous été placés dans les moules en silicone par ce même opérateur. Les étudiants ont ensuite coulé le plâtre et ont scié leur modèle eux-mêmes.

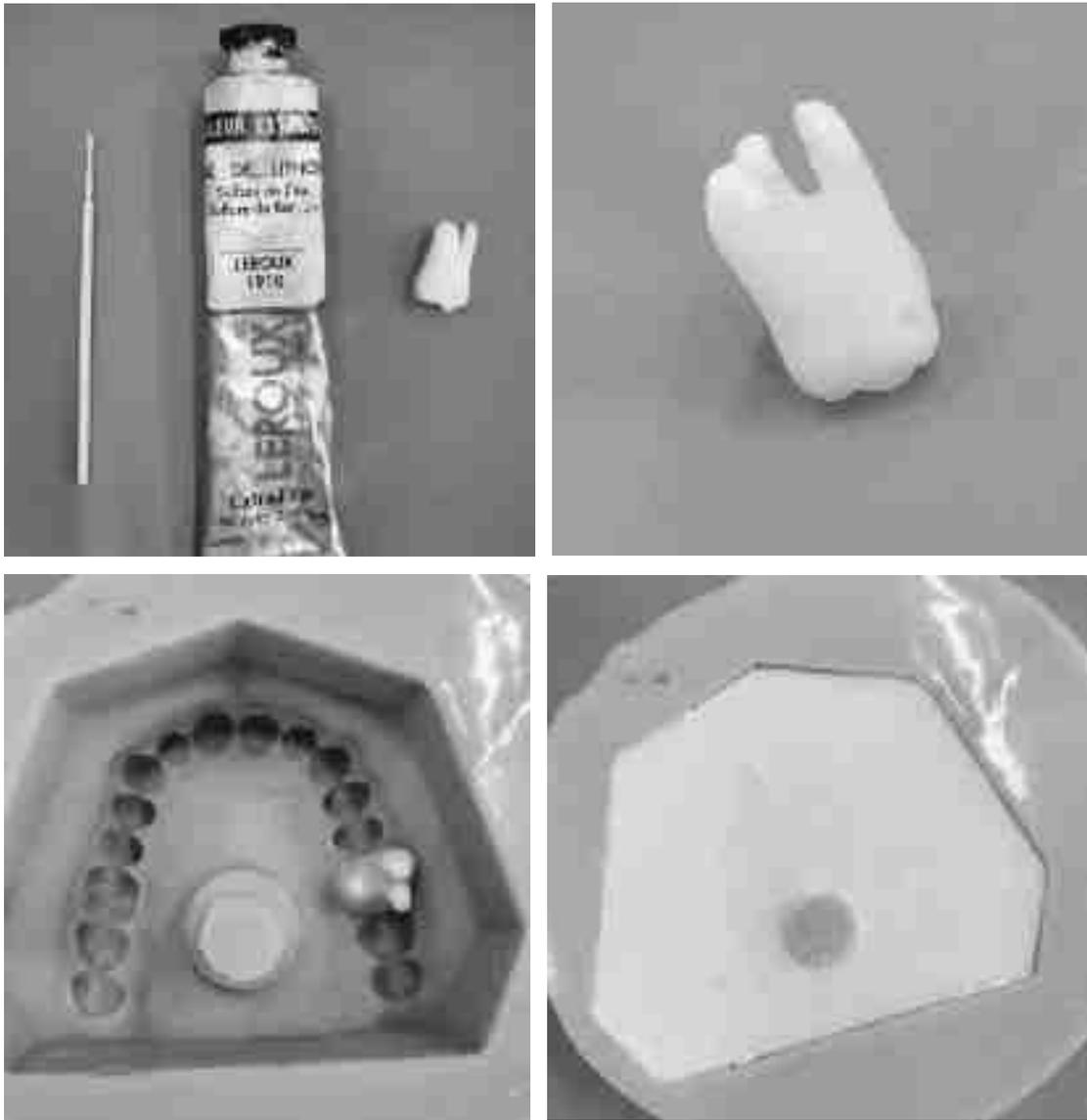


Figure 12 : matériel et protocole de coulée du modèle de travail avec le simulateur.

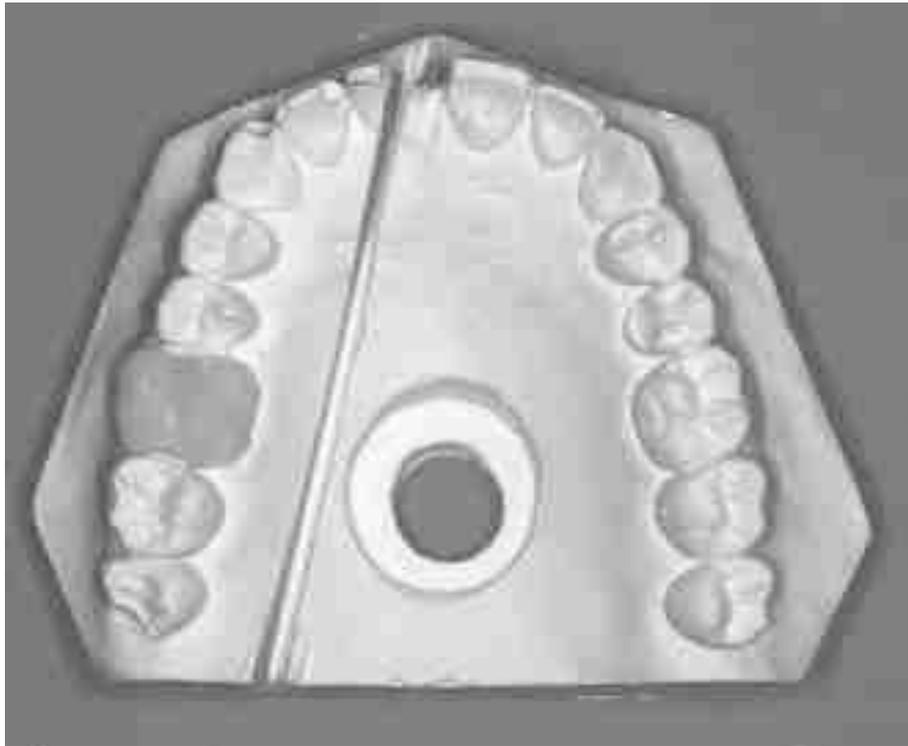


Figure 13 : *Modèle de travail avec le simulateur 16.01.*



Figure 14 : *radiographie pré-opératoire du modèle de travail.*

4.1.3. Protocole

Le modèle devait être fixé sur fantôme, afin d'être le plus proche possible des conditions cliniques.

Le traitement de la dent artificielle a été réalisé selon le protocole classique appris par les étudiants. Les instruments utilisés étaient les mêmes que pour toutes les autres séances sur dent naturelle :

- Miroir, sondes droite et n°17
- Cavité d'accès : contre-angle bleu et fraises (boule diamantée, boule de tungstène, EndoZ)
- Instruments de mise en forme :
 - Limes K8, K10 (Dentsply Sirona®)
 - Proglider (Dentsply Sirona®)
 - Séquence Protaper Gold (Dentsply Sirona®)
- Obturation : cônes de gutta Protaper Gold (Dentsply Sirona®), ciment à base d'eugénol, fouloir chauffant.

Pour l'instrumentation en rotation continue, tous les moteurs tournaient à une vitesse de 300 tours/min à un couple de 3.50N/cm.

Les radiographies ont été réalisées grâce à des plaques de phosphore (Dürr Dental AG; Bietigheim-Bissingen, Germany).

La carte radiologique 3D RightNao® n'a pas été utilisée afin de laisser planer le doute sur l'existence ou non d'un MV2 dans tous les simulateurs : les étudiants devaient chercher le MV2 comme pour une dent naturelle. Cette carte radiologique se présente sous la forme d'un code QR à scanner, afin d'explorer l'anatomie du réseau canalaire en 3D.

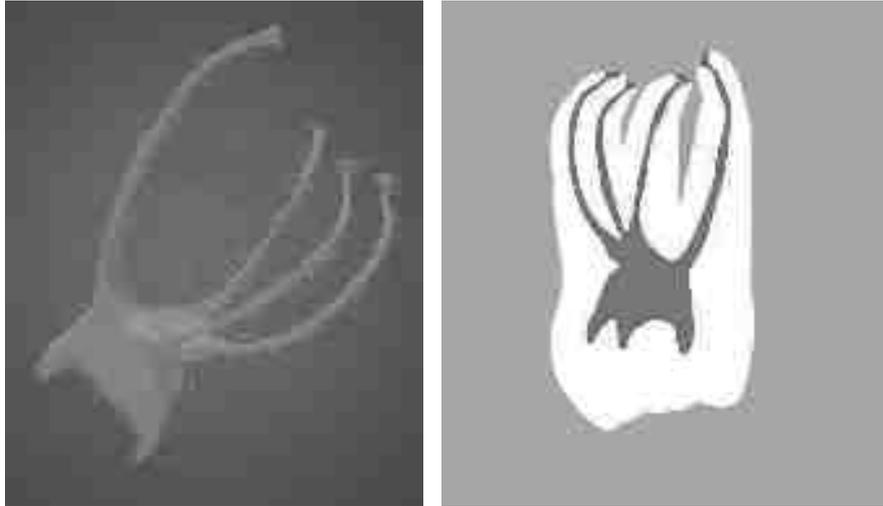


Figure 15 : à gauche, image tirée de la carte radiologique 3D du simulateur 16.01 (RightNao®)

Figure 16 : à droite, croquis de l'anatomie canalaire du simulateur 16.01 (RightNao®)

Il a été demandé aux étudiants de ne supprimer aucune des radiographies faites ce jour, ainsi que de rendre leur modèle en fin de séance, pour analyser les cavités d'accès.

4.2. Participants

100 étudiants de DFGSO3 ont participé à la séance. Ils pouvaient demander de l'aide aux moniteurs ou aux enseignants (Pr. M. Minoux, Dr. D. Mancino, Dr. C. Ehlinger), comme pour toute séance d'exercice. Les étudiants, comme lors des autres séances sur dents naturelles, disposaient de 4 heures pour réaliser le traitement complet du simulateur. Aucun d'eux ne savait si la dent présentait 3 ou 4 canaux : le doute a volontairement été émis en début de séance.

4.3. Questionnaire

Un questionnaire (Annexe 1) a été distribué en début de séance afin d'évaluer le ressenti des étudiants selon chaque étape. Une échelle de Likert en 5 points a été utilisée. Une dernière rubrique, « Remarques », a permis aux étudiants qui le

souhaitaient d'y noter leurs principales critiques. Les 100 questionnaires ont été ramassés en fin de séance, en même temps que les modèles.

4.4. Résultats

4.4.1. Analyse visuelle des cavités d'accès

La morphologie coronaire de la première molaire maxillaire s'inscrit dans un parallélogramme. Elle compte cinq cuspides, dont le tubercule de Carabelli. Le pont d'émail relie la cuspide mésio-palatine à la cuspide disto-vestibulaire. La chambre pulpaire est développée dans le sens vestibulo-lingual, et possède 4 cornes en regard de chacune des cuspides. Les orifices canaux varient entre trois et quatre : mésio-vestibulaire, localisé au niveau de l'angle aigu du plancher ; disto-vestibulaire, au niveau de l'angle obtus du plancher ; palatin, sous la cuspide mésio-palatine, au milieu de la paroi palatine. S'il existe, le second canal mésio-vestibulaire est situé en position palatine par rapport au premier canal mésio-vestibulaire, souvent sous un surplomb dentinaire.

La cavité d'accès idéale sur la molaire maxillaire est de forme trapézoïdale et doit impérativement préserver les structures suivantes :

- Les pointes cuspidiennes,
- Le pont d'émail,
- Les crêtes marginales,
- Le plancher.

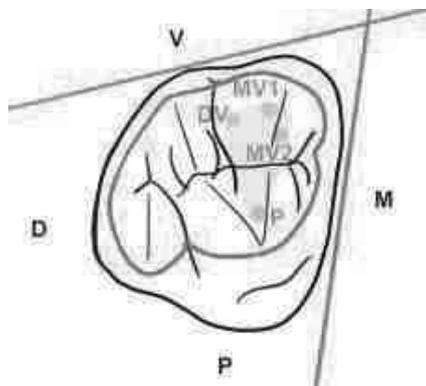


Figure 17 : schéma personnel de la position des orifices canaux et de la forme de la cavité d'accès sur première molaire maxillaire.

Toutes les cavités d'accès des étudiants ont été analysées visuellement par deux examinateurs, puis triées selon les catégories suivantes :

- Délabrante : au moins une structure importante a été délabrée,
- Médiocre : aucune structure importante n'a été délabrée, mais le dessin de la cavité est incorrect,
- Satisfaisante : aucune structure importante n'a été délabrée et le dessin de la cavité est correct.

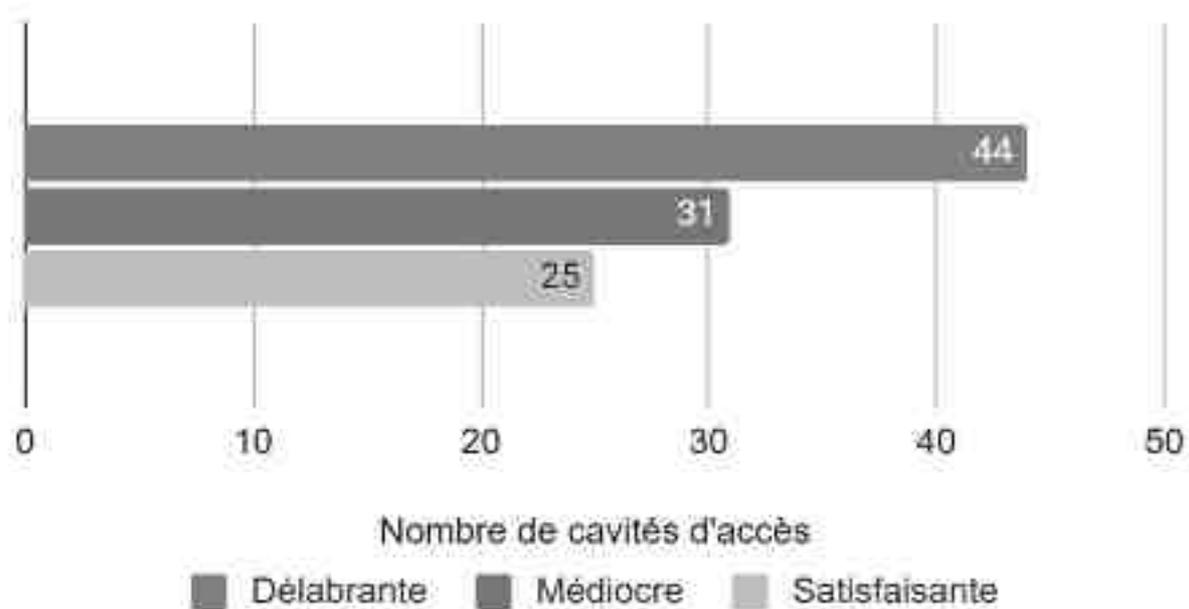


Figure 18 : nombre de cavités d'accès selon leur catégorie « délabrante », « médiocre » ou « satisfaisante ».

44% des étudiants ont réalisé des cavités volumineuses, délabrant le pont d'émail et/ou les pointes cuspidiennes, et/ou les crêtes marginales. Parmi les cavités délabrantes, on note que le manque de lisibilité radiologique empêche les étudiants de viser les cornes pulpaires. Le simulateur étant monobloc et blanc, les contrastes de couleur présents sur la dent naturelle sont inexistant, que ce soit pour le plancher ou les entrées canalaires. La recherche des orifices a mené à des cavités volumineuses du fait de la position des entrées éloignées les unes des autres, placées sous les pointes cuspidiennes. Certains ont fraisé au niveau du plancher.



Figure 19 : exemples de cavités d'accès délabrantes réalisées par les étudiants.

31% des étudiants ont réalisé des cavités d'accès au dessin incorrect. Souvent, ces cavités d'accès sont rondes, ovalaires ou trop petites.

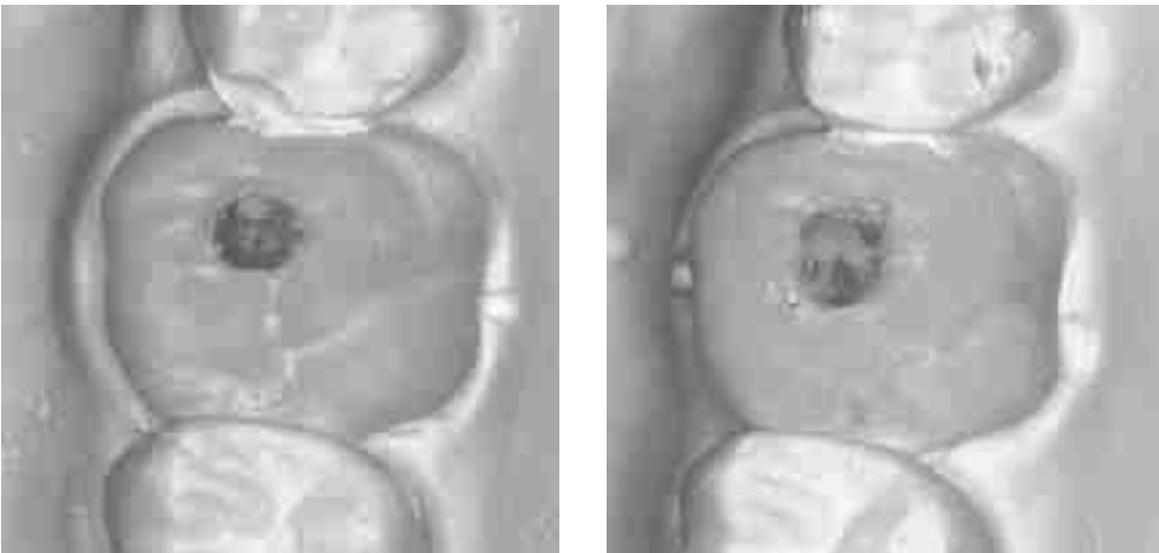


Figure 20 : exemples de cavités d'accès médiocres réalisées par les étudiants.

1 étudiant sur 4 seulement a réalisé une cavité d'accès respectant les critères anatomiques et la forme trapézoïdale. Ces derniers semblent s'être basés bien plus sur l'anatomie coronaire du simulateur pour respecter au mieux toutes les limites. Le

dessin de certaines cavités peut être amélioré.

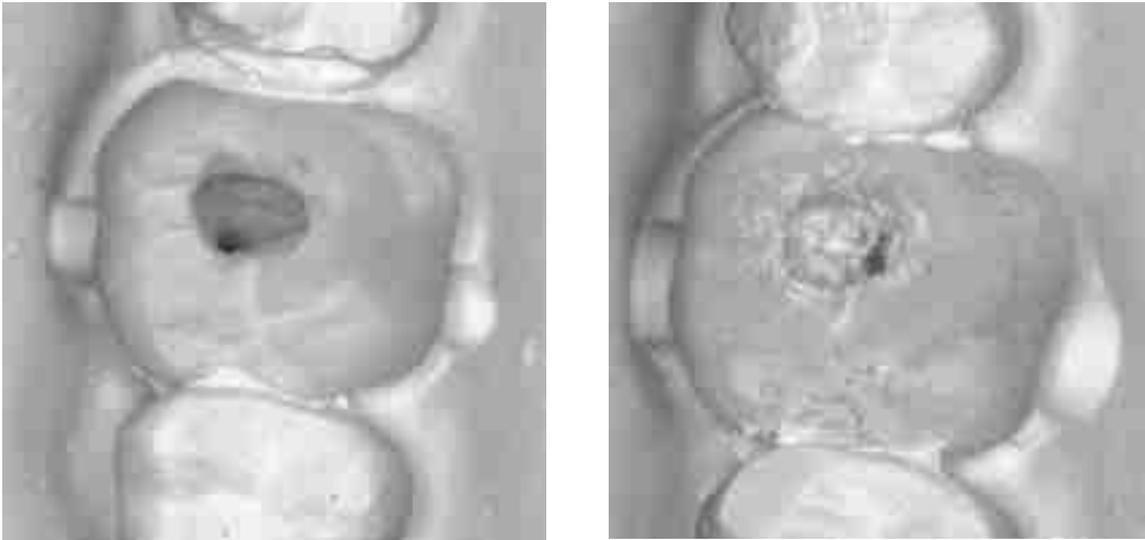


Figure 21 : exemples de cavité d'accès satisfaisantes réalisées par les étudiants.

4.4.2. Analyse radiographique des traitements canaux et comparaison aux performances sur dents naturelles

- Critères d'analyse basés sur une étude menée à Strasbourg en 2019 sur la qualité des traitements réalisés par les étudiants de 3^e année :

Une étude a été menée au sein de la faculté de Strasbourg en 2019 [43], sur la qualité des traitements réalisés par les étudiants de 3^e année. Cette étude s'est basée sur l'analyse radiographique de la qualité de l'obturation selon sa densité et sa longueur, ainsi que la présence ou non d'erreurs iatrogènes.

Un traitement était considéré comme :

- Acceptable :
 - L'obturation se situe entre 0 et 2mm de l'apex radiologique,
 - Sans vide,
 - Sans dépassement
 - Sans erreur iatrogène (butée, déchirement de l'apex, déportation de l'apex, perforation, instrument fracturé, oubli d'un canal)

- Non-acceptable :
 - Sous-obturé : l'obturation se situe à plus de 2mm de l'apex radiologique,
 - Dépassement : extrusion du matériel d'obturation au-delà de l'apex,
 - Présence de vide.

Les erreurs iatrogènes, comme indiqué ci-dessus, ont été basées sur la présence :

- De butée,
- De déchirement de l'apex,
- De déportation de l'apex,
- De perforation,
- D'instrument fracturé,
- Oubli d'un canal.

Ces erreurs ont été recherchées canal par canal. Un traitement comportant une seule erreur est évalué comme non-acceptable.

➤ Analyse des traitements sur simulateurs :

En se basant sur cette étude, l'analyse radiographique des 100 radiographies post-opératoires a été réalisée par deux examinateurs.

Un traitement est considéré comme :

- Acceptable :
 - L'obturation des 4 canaux a été réalisée,
 - Entre 0 et 2mm de l'apex radiologique,
 - Sans erreur iatrogène.
- Non-acceptable :
 - Sous-obturation : obturation à plus de 2mm de l'apex,
 - Dépassement : extrusion de matériel au-delà de l'apex,
 - Perforation,
 - Oubli d'un canal,
 - Non-fini : le traitement n'est pas abouti ni obturé, sans radiographie post-opératoire.
 - Présence d'un instrument cassé,

- La cavité d'accès n'a été jugée que lorsqu'une perforation était visible à la radiographie.

Les erreurs de type butée, stripping ou déportement/déchirement de l'apex n'ont pas été jugées par manque de lisibilité du système canalaire en pré-opérateur.

➤ **Traitements acceptables :**

Seuls 31 traitements sont considérés comme acceptables d'un point de vue radiologique. Ils présentent une obturation à moins de 2mm de l'apex radiologique, les 4 canaux ont été traités, sans erreur iatrogène.



Figure 22 : exemples de traitements notés « acceptable ».

➤ **Traitements non-acceptables :**

Les 69 traitements non-acceptables présentent au total 144 erreur-types, dont 13 traitements avec plus de 3 erreur-types. La classification « non fini » correspond à 3 traitements, soit 12 canaux au total.

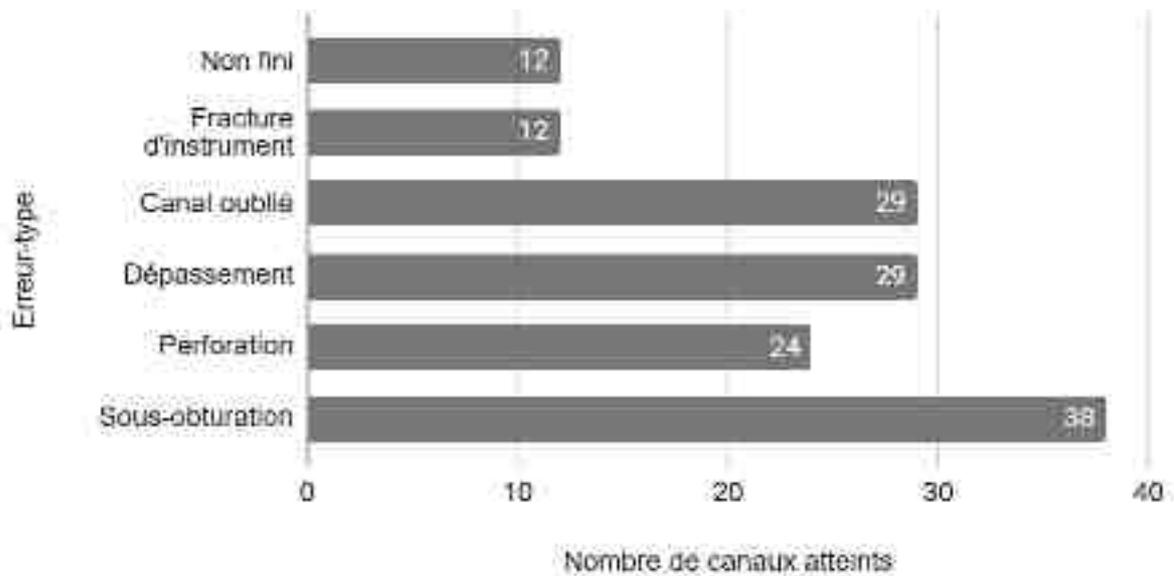


Figure 23 : nombre de canaux atteints d'erreur-types commises dans les 69 traitements non-acceptables (dent artificielle).

La localisation la plus fréquente de chaque erreur a été comptabilisée, canal par canal. Sur les 69 traitements et leurs 276 canaux, 144 canaux comportent une erreur-type, soit 52.2% des canaux.

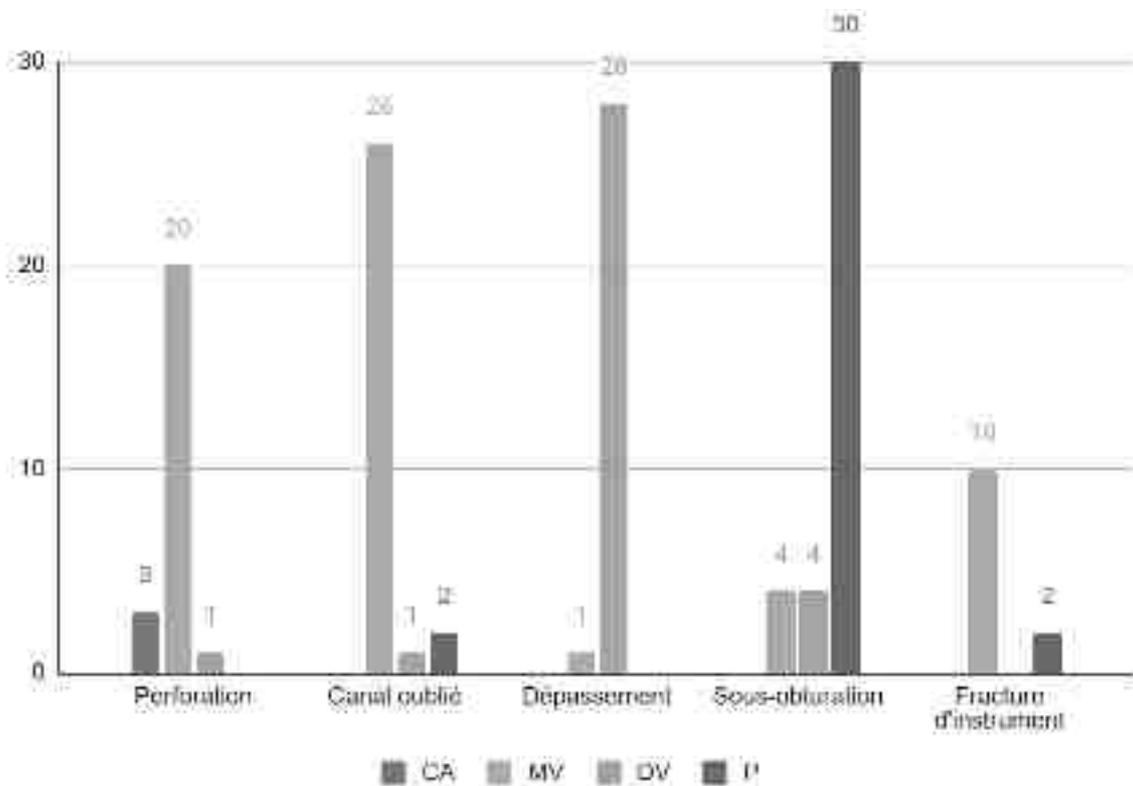


Figure 24 : localisation canalaire des erreur-types. (CA=cavité d'accès, MV=canal mésio-vestibulaire, DV=canal disto-vestibulaire, P=canal palatin)

Les canaux mésiaux présentent le pourcentage de repérage le plus faible. Parmi eux, sans surprise, le MV2 était plus difficile à localiser que le MV1 probablement en raison de la reproduction d'un surplomb dentinaire. C'est également dans les canaux mésiaux que les perforations et les fractures d'instruments sont les plus fréquentes : les courbures du tiers apical semblent avoir été un véritable défi pour les étudiants.

Les dépassements concernent majoritairement le canal distal. Le canal palatin quant à lui est le canal le plus souvent sous-obturé. La progression apicale semble avoir été un défi pour les étudiants :

- En raison de sa LOT de 25mm, alors que la longueur moyenne de ce canal est comprise entre 19 et 22mm,
- En raison des cavités d'accès problématiques,
- En raison de la présence de bouchons, soulignée par les étudiants dans la rubrique « Remarques » du questionnaire.



Figure 25 : à gauche, traitement non-acceptable comportant la perforation à la cavité d'accès et d'un canal mésial, de l'oubli d'un canal mésial et un instrument cassé au-delà de l'apex en mésial.

Figure 26 : à droite, traitement non-acceptable présentant deux perforations des canaux mésiaux, une sous-obturation du canal palatin et un dépassement du canal distal.

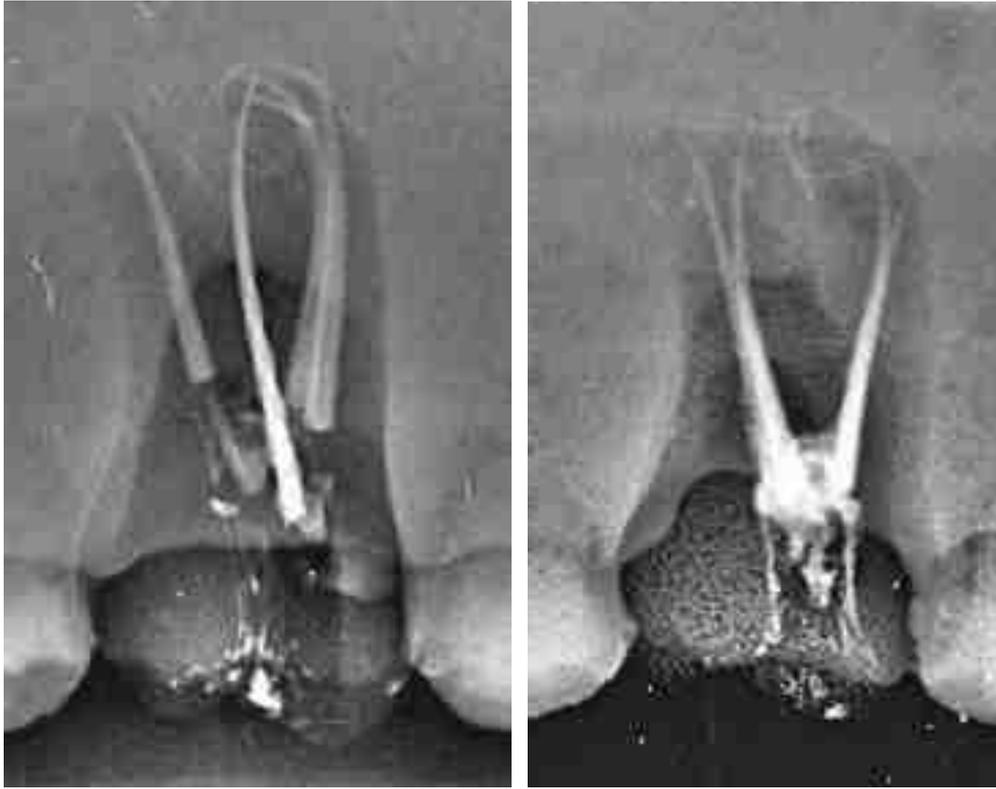


Figure 27 : à gauche, traitement non-acceptable avec deux instruments cassés et une perforation.

Figure 28 : à droite, traitement non-acceptable avec une perforation en mésial, une sous-obturation en mésial.

➤ Performances des mêmes étudiants sur dent naturelle

Les radiographies post-opératoires d'une séance réalisée sur dents naturelles par la même promotion ont été analysées selon les mêmes critères afin de juger d'un traitement acceptable ou non-acceptable.

Sur les 102 traitements analysés, 31 sont jugés non-acceptables selon les critères retenus. Ces 31 traitements comptabilisent un total de 55 erreurs. La catégorie « non fini » regroupe 3 traitements non finis, soit 12 canaux au total.

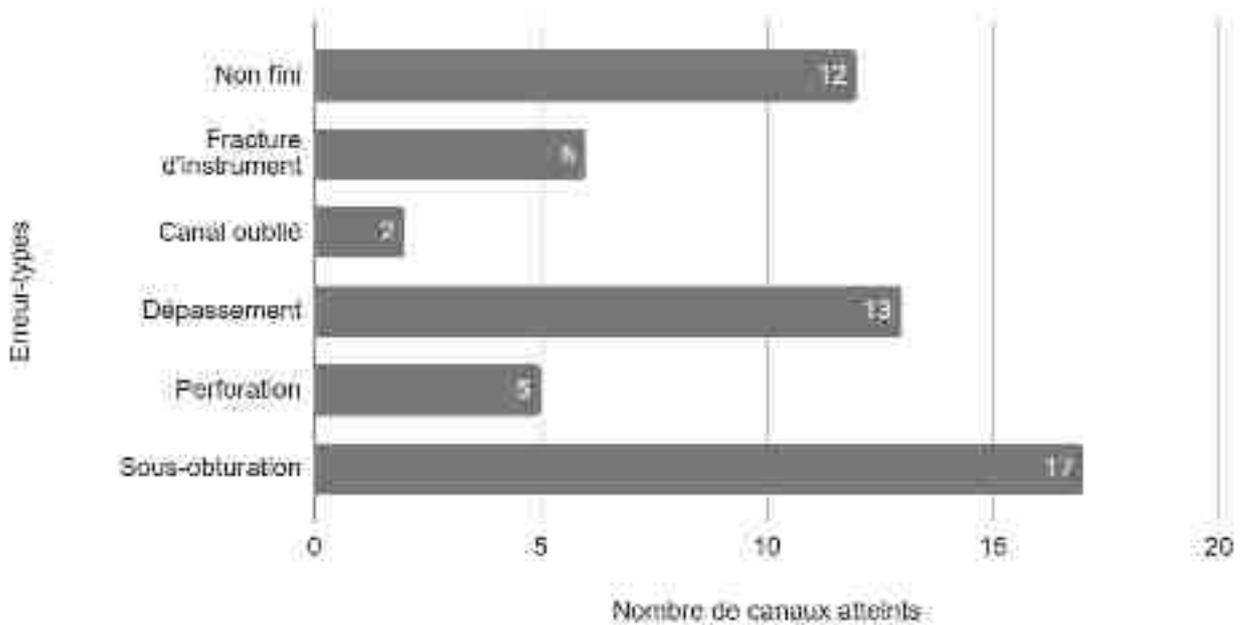


Figure 29 : nombre de canaux atteints d'erreur-types commises dans les 31 traitements non-acceptables (dent naturelle).

- Analyse statistique : comparaison des performances sur dents naturelles et simulateurs

Une analyse statistique par test de Chi-2 a été menée, afin de comparer les performances sur dents naturelles et sur simulateurs. Les données sur le nombre de canaux atteints d'erreur-types ont été traitées par SigmaPlot (Version 11.2; Systat Software, INC., San Jose, California, United States).

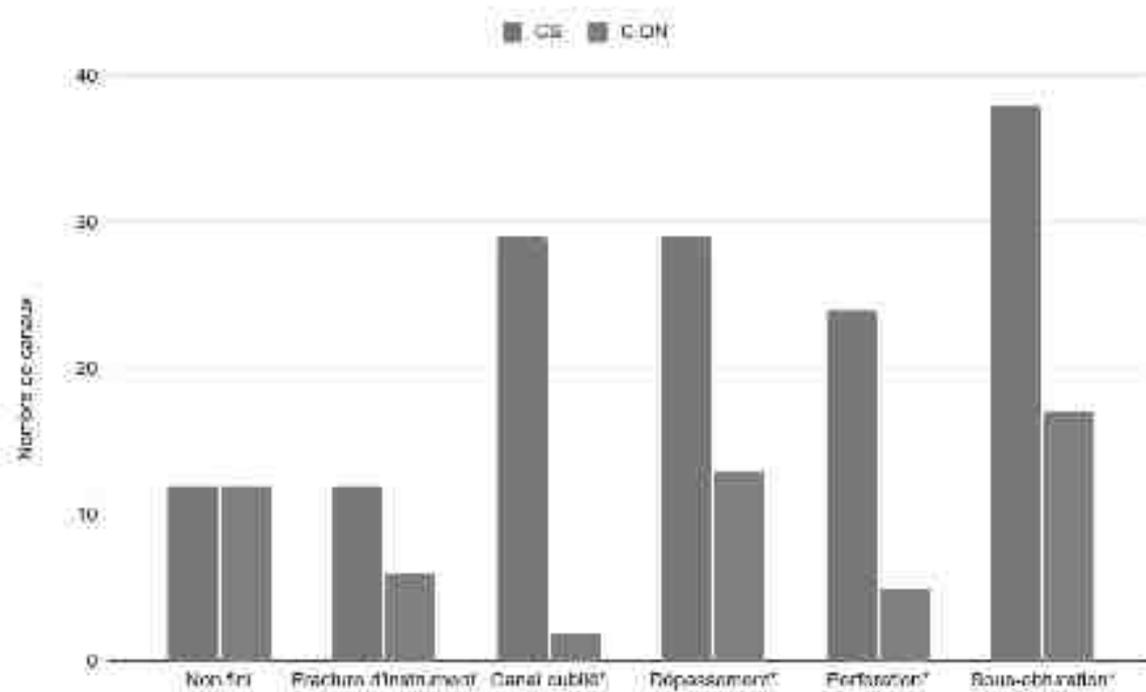


Figure 30 : représentation graphique du nombre d'erreur-types par canal dans les groupes simulateurs (C S) et dents naturelles (C DN).

Une différence significative ($p < 0.05$, symbole * dans le graphique) a été retrouvée pour les erreur-types suivantes :

- Canal oublié : les étudiants ont eu plus de difficulté à trouver les canaux sur le simulateur ;
- Dépassement : l'erreur est plus fréquente sur simulateur ;
- Perforation : l'erreur est plus fréquente sur simulateur ;
- Sous-obturation : les étudiants ont mieux réussi à obturer les dents naturelles à la bonne longueur.

Ces erreurs iatrogènes sont plus fréquentes sur les simulateurs, et ce, de façon significative. Cela nous mène irrémédiablement à la conclusion que les mêmes étudiants, ayant performé sur simulateurs et dents naturelles, réussissent mieux sur dents naturelles.

D'une part, les étudiants ont manqué plus de canaux sur la dent artificielle à 4 canaux. On peut soupçonner plusieurs raisons à ces erreurs sur dent artificielle :

- L'absence de contraste de couleurs lors de l'ouverture de chambre ;

- L'absence des lignes de fusion au niveau du plancher ;
- La réplique d'un rebord dentinaire au-dessus du MV2 ;
- Des cavités d'accès seulement à 25% satisfaisantes : une ouverture insuffisante ou au contraire, trop délabrante menant à la perte des paroi-guides vers les orifices canaux et/ou à l'atteinte du plancher.

D'autre part, la longueur opératoire de travail sur simulateur semble avoir été un défi pour les étudiants :

- Le modèle avec simulateur n'était pas optimisé pour les paramètres radiologiques, entraînant une sous-estimation/surestimation de la LOT, contrairement au modèle classique à dent naturelle enrobée de cire ;
- Les canaux étaient plus difficiles à travailler que sur dent naturelle ;
- La boue « dentinaire » composée de résine et matériau-support a entraîné des bouchons.

Les perforations sont significativement plus fréquentes sur le simulateur :

- La dureté de la résine est inférieure à celle de la dentine naturelle, et par conséquent, les pourcentages de fausse-route et perforations sont supérieures aux dents naturelles.

Aucune différence significative n'a été retrouvée pour les fractures d'instruments ou les traitements non-finis : ces erreurs arrivent autant sur simulateurs que sur dent naturelle.

Globalement, les étudiants ont mieux réussi sur dent naturelle en réalisant moins d'erreurs iatrogènes.

4.4.3. Réponses au questionnaire

L'échelle de Likert a été simplifiée. Les réponses de valeur 1 (tout à fait d'accord) et 2 (d'accord) ont été réunies en « d'accord ». Les réponses de valeur 3 (ni en accord ni en désaccord) sont les « indécis ». Les réponses de valeur 4 (pas d'accord) et 5 (tout à fait en désaccord) sont réunies en « désaccord ».

Les réponses ont été traitées rubrique par rubrique.

➤ Rubrique 1 : généralités

Sur les 100 étudiants, 56 connaissaient l'existence des dents artificielles. 3 étudiants sur 4 trouvent que le simulateur 16.01 RightNao® possède une morphologie coronaire semblable à une molaire maxillaire naturelle. Ce point se rapporte à l'objectif d'authenticité des simulateurs, qui veulent reproduire de façon fidèle la morphologie externe des dents naturelles.

➤ Rubrique 2 : analyse radiographique pré-opératoire

De façon globale, la visualisation radiographique du simulateur n'a pas été estimée comparable à la dent naturelle. Certains étudiants ont appelé le simulateur « la dent fantôme » lors de la séance, car en dehors des contours radiculaires, aucune structure interne n'est lisible. Nous rappelons que notre modèle n'était pas optimal, sans le support RightNao®.

<p>3. La visualisation radiographique de l'émail est comparable à celle d'une dent naturelle.</p>	<p>Question 3</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Réponse</th> <th>Pourcentage</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>D'accord</td> <td>73.0%</td> </tr> <tr> <td>Indécis</td> <td>9.0%</td> </tr> <tr> <td>Pas d'accord</td> <td>18.0%</td> </tr> </tbody> </table>	Réponse	Pourcentage	D'accord	73.0%	Indécis	9.0%	Pas d'accord	18.0%
Réponse	Pourcentage								
D'accord	73.0%								
Indécis	9.0%								
Pas d'accord	18.0%								
<p>4. La visualisation radiographique de la dentine est comparable à celle d'une dent naturelle.</p>	<p>Question 4</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Réponse</th> <th>Pourcentage</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>D'accord</td> <td>73.0%</td> </tr> <tr> <td>Indécis</td> <td>10.0%</td> </tr> <tr> <td>Pas d'accord</td> <td>17.0%</td> </tr> </tbody> </table>	Réponse	Pourcentage	D'accord	73.0%	Indécis	10.0%	Pas d'accord	17.0%
Réponse	Pourcentage								
D'accord	73.0%								
Indécis	10.0%								
Pas d'accord	17.0%								
<p>5. La visualisation radiographique de la chambre pulpaire est comparable à celle d'une dent naturelle.</p>	<p>Question 5</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Réponse</th> <th>Pourcentage</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>D'accord</td> <td>62.0%</td> </tr> <tr> <td>Indécis</td> <td>10.0%</td> </tr> <tr> <td>Pas d'accord</td> <td>28.0%</td> </tr> </tbody> </table>	Réponse	Pourcentage	D'accord	62.0%	Indécis	10.0%	Pas d'accord	28.0%
Réponse	Pourcentage								
D'accord	62.0%								
Indécis	10.0%								
Pas d'accord	28.0%								
<p>6. La visualisation radiographique des canaux radiculaires est comparable à celle d'une dent naturelle.</p>	<p>Question 6</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Réponse</th> <th>Pourcentage</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>D'accord</td> <td>67.0%</td> </tr> <tr> <td>Indécis</td> <td>10.0%</td> </tr> <tr> <td>Pas d'accord</td> <td>23.0%</td> </tr> </tbody> </table>	Réponse	Pourcentage	D'accord	67.0%	Indécis	10.0%	Pas d'accord	23.0%
Réponse	Pourcentage								
D'accord	67.0%								
Indécis	10.0%								
Pas d'accord	23.0%								

Figure 31 : tableau récapitulatif des réponses aux questions 3 à 6 du questionnaire.

➤ Rubrique 3 : cavité d'accès

L'une des sensations la plus décrite lorsque l'étudiant engage sa cavité d'accès est le « drop » : la trépanation du plafond pulpaire est accompagnée d'une sensation de chute. Ce drop n'existe pas systématiquement, mais se familiariser à cette sensation est essentiel pour l'étudiant. 1 étudiant sur 2 a ressenti ce drop comme pour une dent naturelle lors de la réalisation de la cavité d'accès sur le simulateur. Ce point pédagogique peut être considéré comme valide, malgré les cavités d'accès délabrantes.

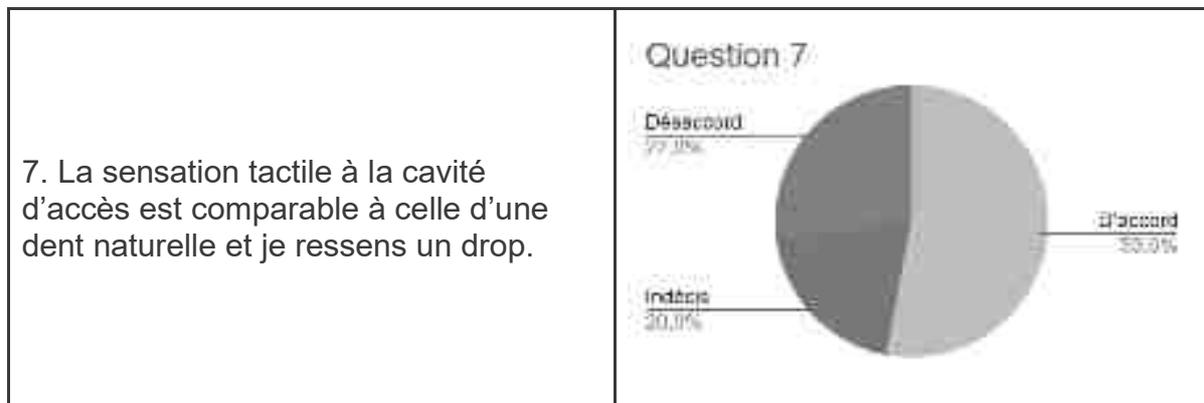


Figure 32 : tableau récapitulatif de la réponse à la question 7 du questionnaire.

Un autre point important concerne la dureté du simulateur. Elle est critiquée dans la littérature, et considérée comme plus faible que les tissus dentaires.

Si 55% des étudiants considèrent que la dureté n'est pas similaire à celle de l'émail naturel, leur avis divergent sur la similarité avec la dureté de la dentine naturelle.

Plusieurs points peuvent expliquer ces réponses. Premièrement, le simulateur 16.01 n'est pas imaginé pour reproduire l'émail. La société RightNao® propose une gamme de simulateurs, Endo Crown, dont la couronne est recouverte de céramique pour reproduire la couche dure de l'émail. Deuxièmement, les étudiants n'ont que peu de recul sur les sensations sous leurs fraises, lors des travaux pratiques sur dent naturelle. Certains n'utilisent pas la fraise boule de tungstène dans la dentine, d'autres fraisent à une vitesse trop élevée pour apprécier la dureté de la dentine. Leur sensation tactile avec un contre-angle est encore en développement. Ils sont capables de distinguer l'émail, « très dur », de la dentine, « plus molle », sans plus de finesse.

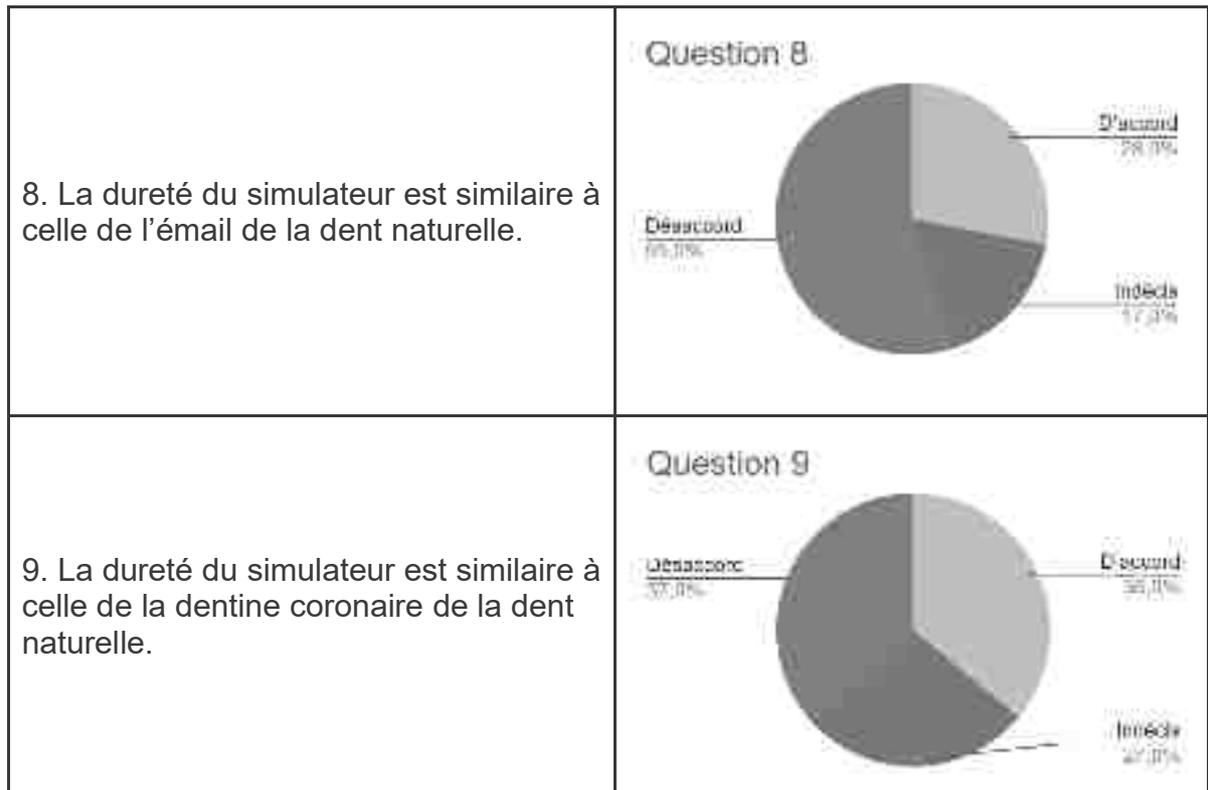


Figure 33 : tableau récapitulatif des réponses aux questions 7 et 8 du questionnaire.

Finalement, 71 étudiants estiment que le simulateur 16.01 est plus mou qu'une dent naturelle lors de la cavité d'accès, très probablement en raison de l'inexistence de la couche « émail », « très dure ».

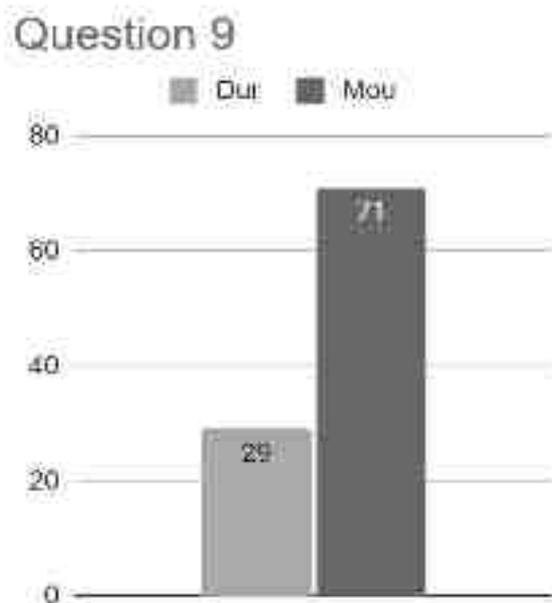


Figure 34 : répartition des étudiants ayant jugé la dureté de la dentine coronaire plus molle ou plus dure que la dentine coronaire de la dent naturelle.

Une fois la cavité d'accès réalisée, l'étudiant doit localiser les orifices canaux. 1 étudiant sur 2 estime que la visualisation des orifices n'est pas similaire à celle de la dent naturelle. Ce résultat n'est pas surprenant : le simulateur est en résine monobloc blanche. De ce fait, il n'existe pas de contraste de couleurs comme pour la dent naturelle où le plancher apparaît sombre, la dentine jaune et les parois de la chambre sombres. Tout est blanc et il n'existe pas de lignes de fusion pour aider à localiser les canaux. Cela complique la réalisation de la cavité d'accès et entraîne, justement, des délabrements excessifs : l'étudiant va d'abord essayer de visualiser ses entrées canales avant de les localiser à l'aide d'une sonde droite.

Ce défaut de contrastes de couleur a entraîné des cavités délabrantes, et 40% des étudiants estiment avoir réalisé de meilleures cavités sur dents naturelles.

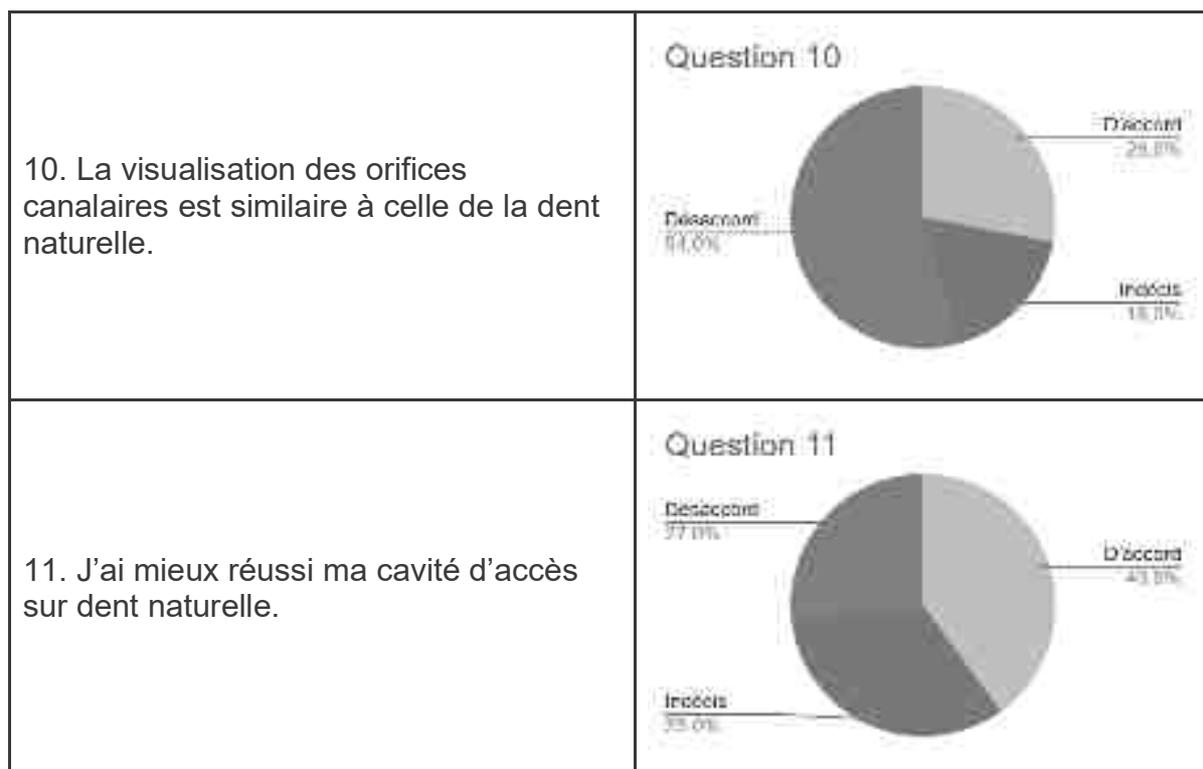


Figure 35 : tableau récapitulatif des réponses aux questions 10 et 11 du questionnaire.

➤ Rubrique 4 : analyse radiographique intra-opératoire

Malgré le manque de radio-opacité du simulateur, l'application de la peinture au niveau radiculaire a permis aux étudiants de mesurer leur LOT. 50% d'entre eux estiment que la mesure de la LOT est similaire à celle effectuée sur dent naturelle. $\frac{1}{3}$ des étudiants sont en désaccord. La position de l'apex radiologique est illisible, et peut entraîner des erreurs de mesure pour la longueur apparente, et donc la nécessité pour l'étudiant de réajuster sa LOT, mais il en va de même pour les dents naturelles où la longueur apparente n'est pas systématiquement la LOT, que ce soit en raison de déformations radiographiques ou simplement l'anatomie propre de la dent. En effet, l'apex radiologique ne correspond pas à l'apex réel.

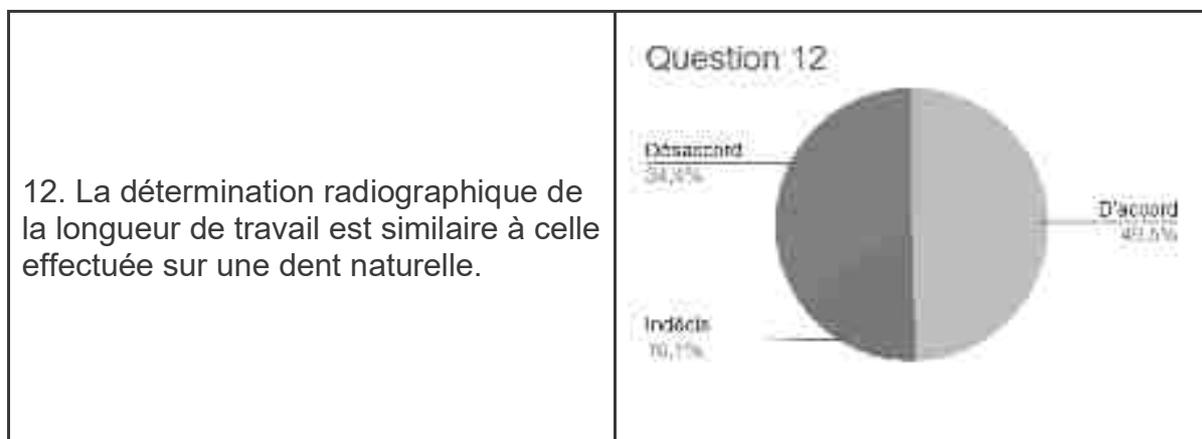


Figure 36 : tableau récapitulatif des réponses à la question 12 du questionnaire.

➤ Rubrique 5 : Instrumentation canalaire

La sécurisation canalaire est une étape réalisée d'abord par passage de la LK10 puis du Proglider, afin d'uniformiser le canal et de faciliter la suite du traitement avec la séquence de mise en forme. Entre chaque instrument, l'étudiant doit irriguer pour évacuer les débris dentinaires puis repasser la LK10 à la LOT pour s'assurer de la perméabilité apicale, éviter butée et bouchon.

De façon globale, ces étapes de sécurisation, shaping et irrigation ont été jugées similaires aux mêmes étapes réalisées sur dent naturelle.

La dureté cependant a divisé les étudiants. Si 44% trouvent que la dureté du simulateur lors de la mise en forme est similaire à la dent naturelle, 37% sont en

désaccord. 66 étudiants placent d'ailleurs la dureté du simulateur comme "molle" comparée à la dent naturelle.

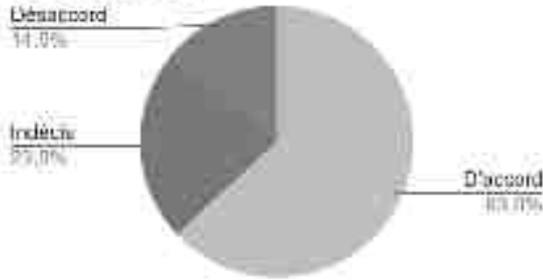
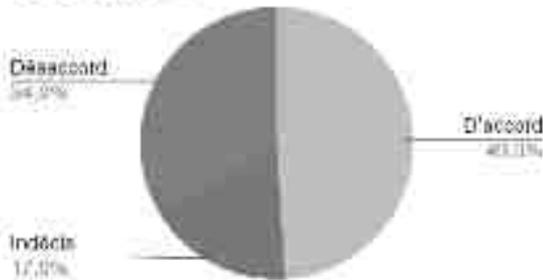
<p>13. L'étape de sécurisation canalaire est similaire à celle effectuée sur une dent naturelle.</p>	<p>Question 13</p>  <p>Désaccord 14,0%</p> <p>Indécis 29,0%</p> <p>D'accord 57,0%</p>
<p>14. La progression des instruments de mise en forme vers le foramen apical est similaire à celle sur une dent naturelle.</p>	<p>Question 14</p>  <p>Désaccord 54,0%</p> <p>Indécis 17,0%</p> <p>D'accord 29,0%</p>
<p>15. La dureté du simulateur est similaire à celle ressentie pendant la mise en forme canalaire de la dent naturelle.</p>	<p>Question 15</p>  <p>Désaccord 57,0%</p> <p>Indécis 19,0%</p> <p>D'accord 24,0%</p>
<p>16. L'irrigation permet une bonne évacuation des débris du simulateur.</p>	<p>Question 16</p>  <p>Désaccord 11,0%</p> <p>Indécis 30,0%</p> <p>D'accord 59,0%</p>

Figure 37 : tableau récapitulatif des réponses aux questions 13 à 16 du questionnaire.

Les étudiants ont pu juger la qualité de leur traitement. 1 étudiant sur 4 n'est pas satisfait de son obturation sur simulateur, comparée à celle qu'il réalise sur dent naturelle, mais seul 1 étudiant sur 3 estime avoir mieux réussi son traitement sur simulateur. Ces 30% concordent avec les 31 traitements jugés acceptables. Nous pouvons estimer que les étudiants sont capables d'avoir un bon recul sur la qualité de leur traitement endodontique.

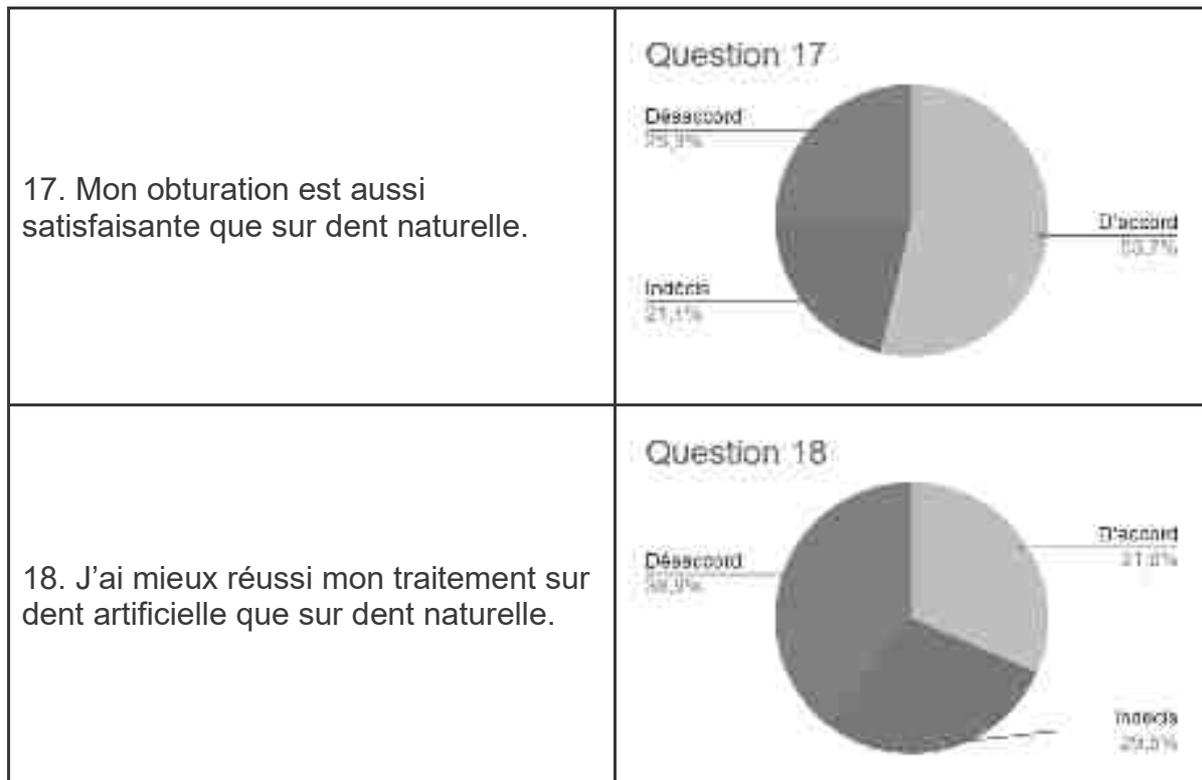


Figure 38 : tableau récapitulatif des réponses aux questions 17 et 18 du questionnaire.

➤ Rubrique 6 : post-traitement.

Cette rubrique a divisé les étudiants sur plusieurs points.

Selon les étudiants, le traitement de la dent artificielle n'est pas forcément plus facile que celui d'une dent naturelle. En effet, 39% trouvent le simulateur plus difficile à traiter, mais 35% sont de l'avis contraire. 26% sont sans avis.

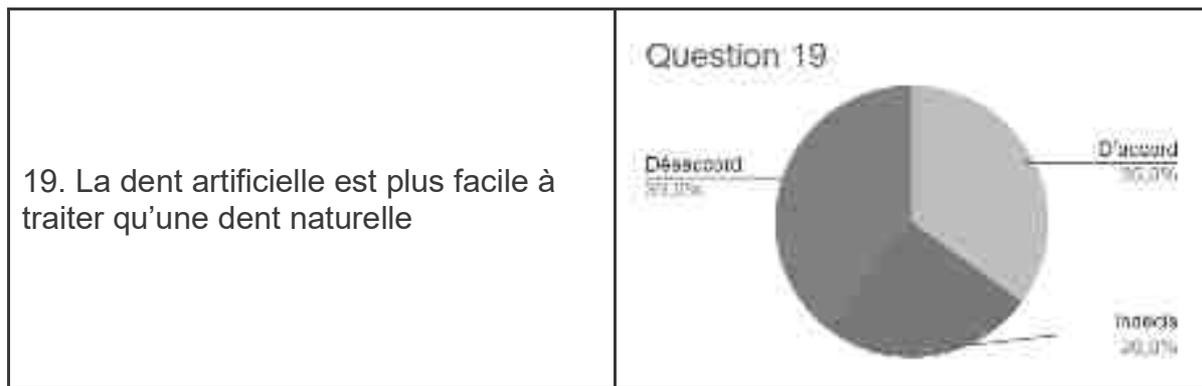


Figure 39 : tableau récapitulatif des réponses à la question 19 du questionnaire.

La dent artificielle ne semble pas non plus convaincre les étudiants sur la question des examens. $\frac{1}{3}$ de la promotion ne la trouve pas adaptée pour les examens, $\frac{1}{3}$ sont sans avis, et $\frac{1}{3}$ la trouve adaptée. On retrouve le reflet de la question sur la difficulté du traitement mais également des analyses visuelles et radiographiques. Après tout, seuls $\frac{1}{3}$ des traitements sont acceptables.

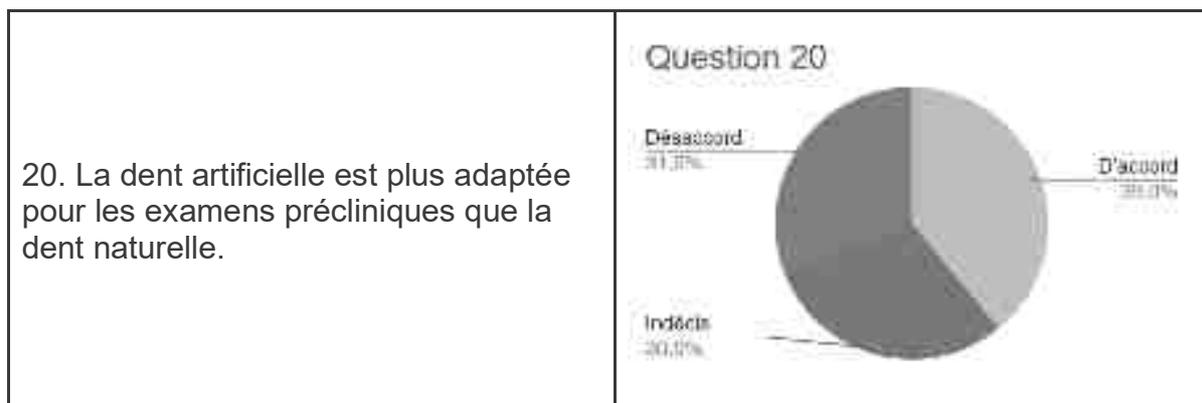


Figure 40 : tableau récapitulatif des réponses à la question 20 du questionnaire.

Le plus intéressant est la place du simulateur dans le cursus de l'étudiant. Près d'1 étudiant sur 2 ne pense pas que le simulateur soit adapté à leur apprentissage préclinique, contre $\frac{1}{3}$ qui est de cet avis. 57% d'étudiants pensent que la dent artificielle ne peut pas les préparer à la réalité clinique. La dent naturelle semble rester le gold-standard pour les étudiants, qui y voient une réalité et authenticité plus fortes.

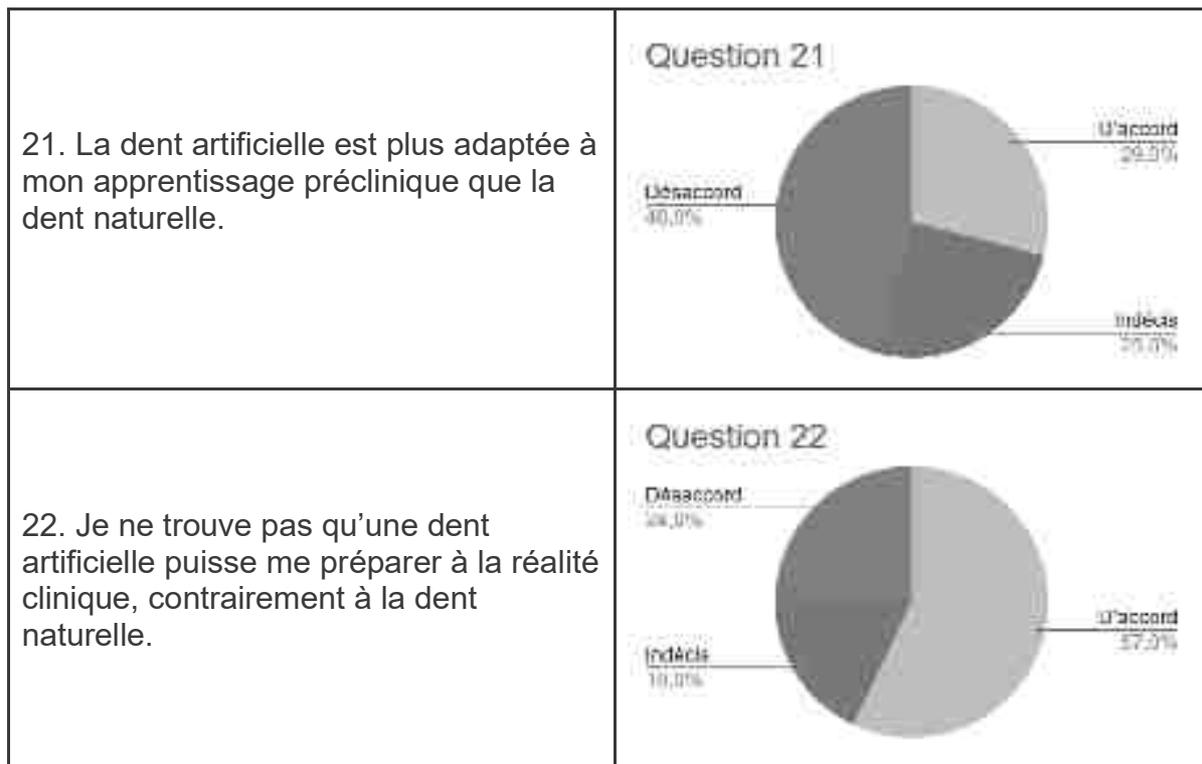


Figure 41 : tableau récapitulatif des réponses aux questions 21 et 22 du questionnaire.

Enfin, seule la moitié de la promotion semble avoir été convaincue par la dent artificielle et à son achat pour une partie de leurs travaux pratiques. Cependant, la valeur estimée des simulateurs semble bien loin de la réalité. Sur 68 réponses au coût, 39 étudiants ont donné un prix inférieur à 5 euros, 24 étudiants proposent un prix entre 5 et 10 euros, et 5 étudiants seraient prêts à déboursier entre 10 et 15e.

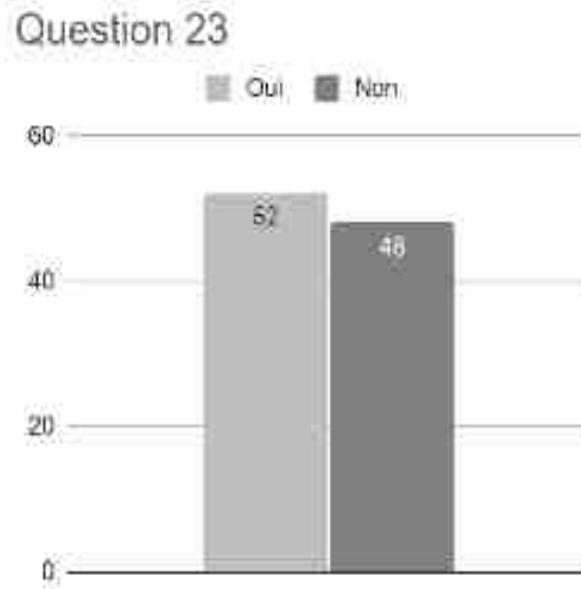


Figure 42 : répartition des étudiants prêts à acheter des simulateurs pour 4 à 6 séances de travaux pratiques.

➤ Rubrique 7 : Remarques.

Cette rubrique a été remplie par 76 étudiants.

Les remarques concernent toutes les étapes du traitement, mais surtout la cavité d'accès, le matériau et sa dureté, ainsi que l'intérêt pédagogique des simulateurs. Il est intéressant de constater que les étudiants sont soucieux de leur formation en endodontie.

La dureté du simulateur, considéré comme mou comparé à la dent naturelle, a été soulignée par 71 étudiants. Certains estiment que la mise en forme est facilitée, d'autres ont perforé pour la première fois en raison de cette mollesse.

« On fraise comme dans du beurre »

« C'est mou, faut faire attention... On perfore vite ! Mais après avoir fait l'erreur sur un canal, j'ai fait attention dans les autres et ça allait. Il faut y aller beaucoup plus en douceur. »

Le matériau a été critiqué sur un autre point : la présence de débris collants. 39 étudiants l'ont souligné. Ces débris ont bouché les spires de leurs limes, mais

auraient également créé des bouchons malgré une irrigation intensive et le passage de la LK10 entre chaque instrument.

« Au passage des limes, il y avait des débris blancs très collants qui ont bouché mes canaux même si j'irriguais encore plus que d'habitude »

« Je ne comprends pas comment j'ai pu boucher mon canal palatin alors que j'irriguais abondamment après qu'on m'ait prévenu que ça bouchait vite. »

La cavité d'accès divise les étudiants. D'un point de vue radiologique, les étudiants pouvaient difficilement estimer la profondeur de la chambre et donc la position du plancher, ou l'anatomie canalaire. L'absence de contraste de couleurs et des lignes de fusion ont rendu l'étape très difficile. 46 étudiants décrivent d'ailleurs cette étape de cavité d'accès comme l'étape la plus complexe. Cependant, 5 étudiants ont expliqué qu'après avoir craint de fraiser à l'aveugle, ils ont appliqué les règles d'une cavité d'accès idéale et ont ainsi pu trouver leurs orifices canaux facilement.

« La cavité d'accès est très difficile à faire, je n'avais pas de repère radio et puis tout est blanc, je ne voyais rien. »

« J'ai appliqué les règles de la cavité d'accès et en fait ça allait comparé à d'autres... Je me suis dit que c'était la meilleure chose à faire : me fier à l'anatomie trop parfaite de la dent »

La position des orifices canaux est saluée comme critiquée. En effet, certains estiment qu'elle n'est pas représentative de la réalité avec des canaux très excentrés : « le canal palatin est trop en palatin ». 13 étudiants ont trouvé ces orifices trop gros et facilement localisables comparées aux dents naturelles. 16 étudiants en revanche ont décrit un accès difficile aux entrées canaux qui étaient « bouchées ». Ils ne décrivent pas un surplomb dentinaire, mais un bouchon de résine qui a rendu la tâche complexe. Une majorité d'entre eux soulignent ce problème comme interne aux simulateurs, car d'autres n'avaient pas du tout ce problème.

Malgré ça, la majorité a apprécié la position des entrées canaux, notamment pour apprendre à mieux les situer.

« C'était agréable d'avoir un MV2 faisable, puis j'ai apprécié pouvoir le localiser. »

J'ai mieux compris où le chercher pour les prochaines fois. »

« Je n'arrivais pas à trouver mon canal palatin, il était complètement bouché. A ma table, ils me disaient pourtant que l'entrée était énorme et quand j'ai comparé, je n'avais pas comme eux. »

« J'ai localisé l'entrée du DV mais je n'arrivais pas du tout à entrer ! J'ai dû forcer avec un F2 manuel pendant 30 minutes... »

« J'avais jamais trouvé mon MV2 seul avant, mais c'était parce que je le cherchais pas au bon endroit... Merci le simulateur. »

Les 76 étudiants ont salué l'équité et la standardisation du simulateur. 19 d'entre eux ont expliqué avoir été bien moins stressés pour ce TP : ils n'ont pas eu à trouver une molaire maxillaire d'une difficulté abordable.

D'autres estiment que récolter des dents naturelles et les choisir est particulièrement chronophage. D'une part, ils doivent se déplacer chez les dentistes. D'autre part, le tri ne peut se faire que par analyse radiographique de chaque dent, et ce, sur leur temps libre lorsque les salles de radiographie de la faculté sont accessibles. Ces étapes provoquent un stress important, puisqu'ils ne savent jamais s'ils auront de « bonnes dents ». Grâce au simulateur, ils n'ont eu qu'à couler le plâtre et scié leur modèle.

« C'était génial de pas avoir à me soucier de quelle dent je devais utiliser pour le TP. J'ai pas eu besoin de courir chez les dentistes ou de faire des radios. »

« J'étais beaucoup moins stressée ! J'ai pu me concentrer sur mon protocole, et pas trop sur les difficultés de la dent parce que c'était assez facile. »

« J'avais une dent faisable pour une fois, j'avais toujours eu des dents trop difficiles. »

« On avait tous la même dent, je trouve ça équitable surtout pour les examens. »

« J'ai préféré les simulateurs car j'avais toujours des dents trop difficiles »

L'intérêt pédagogique des simulateurs a été soulevé par 59 étudiants sur 76.

Dans un premier temps, une partie des étudiants a trouvé que l'anatomie parfaite du simulateur leur a permis de mettre en pratique tous les préceptes appris en cours : la préservation des structures anatomiques importantes lors de la cavité d'accès, la recherche du MV2 sous un surplomb dentinaire, mais également l'instrumentation

progressive dans des canaux simples. L'anatomie était sans imprévu : ni calcification, ni courbure excessive et surtout, la présence de 4 canaux traitables.

D'autre part, ils ont pu mettre en pratique leur autocritique en comparant leur travail à celui de leur camarade. Puisqu'ils avaient tous la même dent, certains en ont profité pour faire des feedbacks en petit groupe.

Cependant, sur ces 59 étudiants, 57 estiment qu'une formation sur dent artificielle est moins représentative de la réalité. A leur sens, les simulateurs ne peuvent pas remplacer les dents naturelles, mais ils sont un bon outil pédagogique complémentaire. Un point revient d'ailleurs régulièrement : l'initiation à l'endodontie sur simulateur, suivie d'une formation sur dent naturelle. A leur sens, le simulateur serait adapté à une première séance, pour se familiariser avec l'anatomie de la dent la plus parfaite possible et avec le matériel. Cependant, le reste de la formation devrait, selon eux, être assuré sur dents naturelles. L'un d'eux pense que le simulateur ferait un bon examen de mi-semester, afin d'évaluer de façon équitable tous les étudiants. Un étudiant a noté avoir apprécié la nouveauté apportée par le simulateur dans les travaux pratiques.

« C'est bien pour une initiation »

« J'ai vu une autre manière de m'entraîner et de l'évolution dans les TP d'endo »

« Ce TP m'a plu, mais je pense qu'il serait plus adapté en première séance, avant de passer sur dent naturelle »

« Ce TP ne m'a pas plu, et c'était frustrant car j'avais de l'espoir dans les dents artificielles »

« Pour la 1ère séance, la dent artificielle peut remplacer la dent naturelle, et pourquoi pas pour un examen de mi-semester »

« C'est intéressant en première séance en P2 en fait, pour découvrir le matériel et puis c'est trop facile à travailler »

« Un entraînement sur dent naturelle reste indispensable pour moi, c'est bien pour une première séance mais pas forcément pour le reste des TP »

Finalement, même si les points d'équité et de standardisation ont été salués, les étudiants ne semblent pas convaincus que leur performance sur dent artificielle soit

le reflet de leur performance sur dent naturelle. Plus encore, ils ne pensent pas que les simulateurs puissent les préparer à la réalité clinique. Ils estiment que les sensations sur simulateurs sont trop différentes. Les dents naturelles seraient plus représentatives de la réalité et de ce fait, plus adaptées à les préparer, notamment en raison des variations anatomiques qu'elles présentent. Un seul étudiant note que le traitement sur simulateur est représentatif de la réalité.

« Les dents naturelles préparent beaucoup mieux à la clinique à mon avis »

« Elle ne reflète pas assez bien la réalité et n'est pas comparable à la dent naturelle qui nous met dans de véritables conditions cliniques »

« J'ai trouvé que le traitement était vraiment similaire à celui sur dent naturelle ! C'est très représentatif de la réalité. »

« L'anatomie de cette dent est classique et respecte tout ce qu'on a appris en cours. Mais les dents naturelles nous entraînent sûrement plus à s'adapter et réagir aux difficultés anatomiques auxquelles nous serons forcément confrontés en clinique »

« Je trouve qu'ils peuvent remplacer les dents naturelles mais que partiellement, je trouve que les sensations sont très différentes et qu'il est important de continuer en partie avec des dents naturelles »

« Naturelles pour être plus préparé à la clinique et aux difficultés, artificielles pour un souci d'équité aux examens »

« Les simulateurs peuvent remplacer les dents pour une question d'équité, non pour une préparation à la clinique »

« La dent est trop parfaite pour préparer à la clinique »

6 étudiants ont évoqué des points d'amélioration des simulateurs : la dureté et la radio-opacité du matériau, les contrastes de couleurs. L'un d'eux estime que le simulateur n'est pas abouti.

« Je pense que les industriels ont besoin d'optimiser leur modèle, parce qu'on dirait que c'est inachevé »

« Satisfaisante à travailler, il ne manque pas grand chose pour que ça remplace les dents naturelles selon moi : la dureté des matériaux + repères visuels au plancher »

« Ce serait bien si on trouvait une solution pour rendre les canaux et la chambre visible à la radio, comme injecter un produit dedans »

4.5. Discussion

La première considération est la nouveauté. Les étudiants n'ont jamais travaillé sur des simulateurs endodontiques avant cette séance, mais tous ont bénéficié de la formation initiale classique sur dents naturelles. La nouveauté apporte son lot de doutes et d'avis extrêmes. D'une part, les étudiants sans-avis sont nombreux : environ $\frac{1}{3}$ de la promotion. Ce sont des étudiants qui restent à convaincre ou non de l'intérêt des simulateurs. Il aurait été intéressant de refaire le même TP avec la même promotion pour comparer les résultats. Il est fort probable que les étudiants, s'étant familiarisés avec les simulateurs, auraient commis moins d'erreurs. Cependant, pour des raisons de temps et de budget, il n'a pas été possible d'organiser une séance supplémentaire avec les simulateurs. Certains ont été mis en échec alors qu'ils ont toujours réalisé un traitement correct sur dents naturelles, entraînant irrémédiablement le rejet du simulateur. *A contrario*, d'autres se sont souvent entraînés sur des cas complexes : le simulateur a été d'une difficulté abordable, et leur traitement plus facile que d'ordinaire.

Le nombre de participant est faible et surtout, issu d'une seule et même promotion. Des études complémentaires devraient inclure des étudiants cliniciens, des référents en endodontie notamment sur la question de l'intérêt du simulateur.

Les problèmes de matériaux et de radio-opacité sont connus au travers de la littérature, et nous avons basé notre séance sur un seul et unique simulateur. La diversité du marché reste à explorer. Il aurait été intéressant de pousser l'étude, et mélanger deux simulateurs de marques différentes, ou de baser une seconde séance sur un autre simulateur. Mais un problème persiste : le flou des entreprises sur les propriétés physiques et radiologiques des simulateurs. Comme vu dans l'étude de Reymus *et al* [29], la diversité des simulateurs s'accompagnent

notamment d'une diversité de dureté : certains sont 3 fois plus durs que d'autres. De plus, le modèle utilisé n'était pas optimal. Le simulateur RightNao® s'accompagne d'un support, qui optimise ses paramètres radiographiques. Nous n'avons malheureusement pas pu nous en procurer pour des raisons financières.

Des biais existent. Les étudiants devaient rendre le questionnaire en même temps que le modèle et se sont parfois pressés pour le remplir. Chaque étudiant a sa propre implication personnelle et sa propre expérience pré-clinique. Le matériel utilisé n'était pas neuf : des instruments usés se fracturent plus vite.

Néanmoins, cette étude d'observation préliminaire permet de mettre en lumière les avantages et limites des simulateurs. L'équité et la standardisation sont saluées, mais elles trouvent leurs limites dans les propriétés mécaniques, radiographiques et chromatiques des matériaux. Si certains problèmes soulevés par les dents naturelles sont résolus, comme l'éthique ou la disponibilité, d'autres émergent, propres au simulateur.

Un des principaux problèmes qui n'a pas été exploré lors de cette étude est la notation des performances sur de tels simulateurs.

5. Conclusion

Si la dent artificielle répond à de nombreuses limites retrouvées dans les dents naturelles, comme leur disponibilité, l'éthique, la standardisation ou encore la faisabilité, elle possède ses propres limites.

D'une part, les matériaux actuels disponibles sur le marché, essentiellement des résines, sont insatisfaisants avec une dureté faible comparée à la dentine naturelle. Cette dureté mène à des sensations tactiles erronées, or les travaux pratiques doivent préparer l'étudiant de la façon la plus authentique possible. Comme observé dans cette étude, l'étudiant est capable de distinguer quelque chose de très « dur » de quelque chose de plus « mou », comme l'émail à la dentine. On peut alors se demander si la dureté faible peut s'accompagner d'intérêts pédagogiques particuliers : apprendre à l'étudiant à utiliser ses instruments avec précaution pour éviter les perforations, ou à maîtriser le dessin de la cavité d'accès.

D'autre part, le contraste radiologique est faible, voire inexistant, et la lecture radiographique est une compétence que l'étudiant doit acquérir. Il faut néanmoins considérer les options proposées par les entreprises, comme les supports qui entraînent un coût supplémentaire à l'achat du simulateur. Ces supports s'accompagnent d'autres limites : la dent est visible et peut être retirée facilement, ce qui peut aboutir à des triches aux examens.

Le traitement de la dent artificielle est rendu complexe par plusieurs points : le manque de contraste de couleurs qui rend la cavité d'accès périlleuse, et la boue qui mêle matériau support et les débris de résine serait à l'origine de bouchons.

L'anatomie des simulateurs est idéale en présentant une morphologie coronaire et canalaire satisfaisante. Mais cette même anatomie est critiquée par les étudiants pour sa « simplicité » comparée à la variabilité anatomique naturelle.

Finalement, les performances sur dent artificielle ne semblent pas représentatives des performances sur dent naturelle : les étudiants ont mieux réussi sur dent naturelle, en commettant moins d'erreurs iatrogènes.

Ces limites sont connues de la littérature, et retrouvées dans notre expérimentation menée à Strasbourg.

L'intérêt pédagogique des simulateurs semble pour le moment limité, et les étudiants sont les premiers à le notifier. Les dents artificielles sont de beaux modèles

avec une position caricaturée des entrées canalaires permettant à l'étudiant de mieux se représenter leur localisation. Leur niveau de difficulté rassure les étudiants malgré les erreurs-types plus fréquentes (sous-obturation, dépassement, canal oublié, perforation). Mais c'est bien cette place de dent idéale, parfaite, qui dérange les étudiants : ils ne pensent pas que le simulateur puisse les préparer à la réalité clinique et aux difficultés des dents naturelles. Ils estiment que le simulateur est intéressant comme premier modèle de travail, pour se familiariser avec l'instrumentation et la morphologie de la dent. Le simulateur semble indiqué pour une première contextualisation de l'étudiant.

Les dents naturelles semblent rester le gold-standard malgré le développement des simulateurs. Ces derniers ne semblent pas adaptés au remplacement complet des dents naturelles dans la formation préclinique des étudiants en endodontie. Il est prudent de les intégrer à cette formation comme un outil complémentaire.

Il convient de se pencher sur le futur de ces modèles. Les matériaux et techniques sont en proie à des évolutions et améliorations, diverses entreprises se développent avec chacune des simulateurs différents. Certaines facultés forment actuellement leurs étudiants précliniques sur simulateurs. Il serait intéressant de se pencher sur les performances précliniques et cliniques de ces étudiants, afin de les comparer aux performances des étudiants formés sur dents naturelles.



SIGNATURE DES CONCLUSIONS

Thèse en vue du Diplôme d'Etat de Docteur en Chirurgie Dentaire

Nom - prénom de l'impétrant : RACHDI Nora

Titre de la thèse : Dents artificielles en préclinique : une alternative aux dents naturelles dans la formation endodontique ?

Directeur de thèse : Docteur Davide MANCINO

VU

Strasbourg, le : 01 JUIN 2023

Le Président du Jury,

Professeur Y. HAJKEL

VU

Strasbourg, le : 02 JUIN 2023

Le Doyen de la Faculté
de Chirurgie Dentaire de Strasbourg,

Professeur F. MEYER

6. Références bibliographiques

- [1] R. De Moor, M. Hülsmann, L.-L. Kirkevang, J. Tanalp, et J. Whitworth, « Undergraduate Curriculum Guidelines for Endodontology », *International Endodontic Journal*, vol. 46, n° 12, p. 1105-1114, 2013, doi: 10.1111/iej.12186.
- [2] « Simulation en santé », *Haute Autorité de Santé*. https://www.has-sante.fr/jcms/c_930641/fr/simulation-en-sante (consulté le 26 février 2023).
- [3] F. J. Vertucci, « Root canal morphology and its relationship to endodontic procedures », *Endodontic Topics*, vol. 10, n° 1, p. 3-29, mars 2005, doi: 10.1111/j.1601-1546.2005.00129.x.
- [4] « Article R1211-49 - Code de la santé publique - Légifrance ». https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000006908741 (consulté le 5 août 2022).
- [5] « Article R1335-9 - Code de la santé publique - Légifrance ». https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000006910457 (consulté le 5 août 2022).
- [6] « Article L1245-2 - Code de la santé publique - Légifrance ». https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000006686256/2004-08-07 (consulté le 6 août 2022).
- [7] « Article 511-2 - Code pénal - Légifrance ». https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000006418864/ (consulté le 7 août 2022).
- [8] « Article 511-4 - Code pénal - Légifrance ». https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000006418872/ (consulté le 7 août 2022).
- [9] K. Dobroś, J. Hajto-Bryk, et J. Zarzecka, « Application of 3D-printed teeth models in teaching dentistry students: A scoping review », *Eur J Dent Educ*, févr. 2022, doi: 10.1111/eje.12784.
- [10] M. Hülsmann, « A critical appraisal of research methods and experimental models for studies on root canal preparation », *International Endodontic Journal*, vol. 55, n° S1, p. 95-118, 2022, doi: 10.1111/iej.13665.
- [11] T. Reis *et al.*, « 3D-Printed Teeth in Endodontics: Why, How, Problems and Future—A Narrative Review », *Int J Environ Res Public Health*, vol. 19, n° 13, p. 7966, juin 2022, doi: 10.3390/ijerph19137966.
- [12] L. Gancedo-Caravia, J. Bascones, E. García-Barbero, et A. Arias, « Suitability of different tooth replicas for endodontic training: perceptions and detection of common errors in the performance of postgraduate students », *Int Endod J*, vol. 53, n° 4, p. 562-572, avr. 2020, doi: 10.1111/iej.13251.
- [13] R. Boyce et J. Mull, « Complying with the Occupational Safety and Health Administration: guidelines for the dental office », *Dent Clin North Am*, vol. 52, n° 3, p. 653-668, xi, juill. 2008, doi: 10.1016/j.cden.2008.03.002.
- [14] A. Nawrocka et M. Łukomska-Szymańska, « Extracted human teeth and their utility in dental research. Recommendations on proper preservation: A literature review », *Dent Med Probl*, vol. 56, n° 2, p. 185-190, juin 2019, doi: 10.17219/dmp/105252.
- [15] S. V. Sandhu *et al.*, « Sterilization of extracted human teeth: A comparative analysis », *J Oral Biol Craniofac Res*, vol. 2, n° 3, p. 170-175, déc. 2012, doi:

- 10.1016/j.jobcr.2012.09.002.
- [16] J. T. Dominici, P. D. Eleazer, S. J. Clark, R. H. Staat, et J. P. Scheetz, « Disinfection/sterilization of extracted teeth for dental student use », *J Dent Educ*, vol. 65, n° 11, p. 1278-1280, nov. 2001.
- [17] I. Mello, P.-L. Michaud, et N. Tanner, « Resistance to fracture of extracted teeth used for pre-clinical endodontic procedures: Influence of storage conditions », *Eur J Dent Educ*, vol. 24, n° 2, p. 272-275, mai 2020, doi: 10.1111/eje.12494.
- [18] M. A. Versiani et R. Ordinola-Zapata, « Root Canal Anatomy: Implications in Biofilm Disinfection », in *The Root Canal Biofilm*, L. E. Chávez de Paz, C. M. Sedgley, et A. Kishen, Éd., in Springer Series on Biofilms. Berlin, Heidelberg: Springer, 2015, p. 155-187. doi: 10.1007/978-3-662-47415-0_7.
- [19] H. Maeda, « Aging and Senescence of Dental Pulp and Hard Tissues of the Tooth », *Front Cell Dev Biol*, vol. 8, p. 605996, nov. 2020, doi: 10.3389/fcell.2020.605996.
- [20] « AAE Endodontic Case Difficulty Assessment Form and Guidelines ».
- [21] D. A. Decurcio, E. Lim, V. Nagendrababu, C. Estrela, et G. Rossi-Fedele, « Difficulty levels of extracted human teeth used for pre-clinical training in endodontics in an Australian dental school », *Aust Endod J*, vol. 46, n° 1, p. 47-51, avr. 2020, doi: 10.1111/aej.12355.
- [22] M. Reymus *et al.*, « A critical evaluation of the material properties and clinical suitability of in-house printed and commercial tooth replicas for endodontic training », *Int Endod J*, vol. 53, n° 10, p. 1446-1454, oct. 2020, doi: 10.1111/iej.13361.
- [23] L. Robberecht *et al.*, « A novel anatomical ceramic root canal simulator for endodontic training », *Eur J Dent Educ*, vol. 21, n° 4, p. e1-e6, nov. 2017, doi: 10.1111/eje.12207.
- [24] D. Maret *et al.*, « Comparison of the accuracy of 3-dimensional cone-beam computed tomography and micro-computed tomography reconstructions by using different voxel sizes », *J Endod*, vol. 40, n° 9, p. 1321-1326, sept. 2014, doi: 10.1016/j.joen.2014.04.014.
- [25] T. Kulczyk, M. Rychlik, D. Lorkiewicz-Muszyńska, M. Abreu-Głowacka, A. Czajka-Jakubowska, et A. Przysłańska, « Computed Tomography versus Optical Scanning: A Comparison of Different Methods of 3D Data Acquisition for Tooth Replication », *Biomed Res Int*, vol. 2019, p. 4985121, avr. 2019, doi: 10.1155/2019/4985121.
- [26] X. Liang, W. Liao, H. Cai, S. Jiang, et S. Chen, « 3D-Printed Artificial Teeth: Accuracy and Application in Root Canal Therapy », *J Biomed Nanotechnol*, vol. 14, n° 8, p. 1477-1485, août 2018, doi: 10.1166/jbn.2018.2599.
- [27] B. Msallem, N. Sharma, S. Cao, F. S. Halbeisen, H.-F. Zeilhofer, et F. M. Thieringer, « Evaluation of the Dimensional Accuracy of 3D-Printed Anatomical Mandibular Models Using FFF, SLA, SLS, MJ, and BJ Printing Technology », *J Clin Med*, vol. 9, n° 3, p. 817, mars 2020, doi: 10.3390/jcm9030817.
- [28] L. Orel *et al.*, « Evaluation of the Shaping Ability of Three Thermally Treated Nickel–Titanium Endodontic Instruments on Standardized 3D-printed Dental Replicas Using Cone-Beam Computed Tomography », *Medicina (Kaunas)*, vol. 57, n° 9, p. 901, août 2021, doi: 10.3390/medicina57090901.
- [29] M. Reymus, A. Liebermann, C. Diegritz, et A. Keßler, « Development and evaluation of an interdisciplinary teaching model via 3D printing », *Clin Exp Dent Res*, vol. 7, n° 1, p. 3-10, oct. 2020, doi: 10.1002/cre2.334.
- [30] L. B. Luz *et al.*, « Self-reported confidence and anxiety over endodontic

- procedures in undergraduate students-Quantitative and qualitative study », *Eur J Dent Educ*, vol. 23, n° 4, p. 482-490, nov. 2019, doi: 10.1111/eje.12456.
- [31] D. I. Al-Sudani et S. O. Basudan, « Students' perceptions of pre-clinical endodontic training with artificial teeth compared to extracted human teeth », *Eur J Dent Educ*, vol. 21, n° 4, p. e72-e75, nov. 2017, doi: 10.1111/eje.12223.
- [32] S. S. Yekta-Michael, C. M. Färber, et A. Heinzl, « Evaluation of new endodontic tooth models in clinical education from the perspective of students and demonstrators », *BMC Med Educ*, vol. 21, p. 447, août 2021, doi: 10.1186/s12909-021-02848-9.
- [33] M. Kolling *et al.*, « Students' perception of three-dimensionally printed teeth in endodontic training », *Eur J Dent Educ*, déc. 2021, doi: 10.1111/eje.12743.
- [34] F. Xu, Y. Zhang, Y. Gu, Y. Ping, R. Zhou, et J. Wang, « Shaping ability of four single-file systems in the instrumentation of second mesiobuccal canals of three-dimensional printed maxillary first molars », *Ann Transl Med*, vol. 9, n° 18, p. 1425, sept. 2021, doi: 10.21037/atm-21-3855.
- [35] T. Gok, I. D. Capar, I. Akcay, et A. Keles, « Evaluation of Different Techniques for Filling Simulated C-shaped Canals of 3-dimensional Printed Resin Teeth », *J Endod*, vol. 43, n° 9, p. 1559-1564, sept. 2017, doi: 10.1016/j.joen.2017.04.029.
- [36] H. Razavian et K. Hanjani, « A new teaching model with artificial teeth containing simulated pulpal tissue », *Dent Res J (Isfahan)*, vol. 18, p. 19, mars 2021.
- [37] D. A. Decurcio, E. Lim, G. S. Chaves, V. Nagendrababu, C. Estrela, et G. Rossi-Fedele, « Pre-clinical endodontic education outcomes between artificial versus extracted natural teeth: a systematic review », *International Endodontic Journal*, vol. 52, n° 8, p. 1153-1161, 2019, doi: 10.1111/iej.13116.
- [38] K. Bitter, D. Gruner, O. Wolf, et F. Schwendicke, « Artificial Versus Natural Teeth for Preclinical Endodontic Training: A Randomized Controlled Trial », *J Endod*, vol. 42, n° 8, p. 1212-1217, août 2016, doi: 10.1016/j.joen.2016.05.020.
- [39] A. J. Cresswell-Boyes, G. R. Davis, M. Krishnamoorthy, D. Mills, et A. H. Barber, « Composite 3D printing of biomimetic human teeth », *Sci Rep*, vol. 12, p. 7830, mai 2022, doi: 10.1038/s41598-022-11658-y.
- [40] J. P. Tchorz *et al.*, « Pre-clinical endodontic training with artificial instead of extracted human teeth: does the type of exercise have an influence on clinical endodontic outcomes? », *International Endodontic Journal*, vol. 48, n° 9, p. 888-893, 2015, doi: 10.1111/iej.12385.
- [41] D. dos S. Luz *et al.*, « Preparation Time and Perceptions of Brazilian Specialists and Dental Students Regarding Simulated Root Canals for Endodontic Teaching: A Preliminary Study », *Journal of Dental Education*, vol. 79, n° 1, p. 56-63, 2015, doi: 10.1002/j.0022-0337.2015.79.1.tb05857.x.
- [42] « À propos », *RightNao*. <https://www.right-nao.com/a-propos/> (consulté le 12 avril 2023).
- [43] N. Kharouf, J. Hemmerlé, Y. Haikel, et D. Mancino, « Technical Quality of Root Canal Filling in Preclinical Training at Strasbourg University Using Two Teaching Protocols », *Eur J Dent*, vol. 13, n° 4, p. 521-526, oct. 2019, doi: 10.1055/s-0039-1698848.

ANNEXE 1 : QUESTIONNAIRE

Questionnaire sur les simulateurs de dents naturelles : les dents artificielles

Echelle de Likert en 5 points:

1. Tout à fait d'accord
2. D'accord
3. Ni en désaccord ni d'accord
4. Pas d'accord
5. Pas du tout d'accord

GENERALITES	1	2	3	4	5
1. Je connaissais l'existence des dents artificielles pour l'endodontie	oui		non		
2. L'anatomie coronaire des dents artificielles est réaliste					

ANALYSE RADIOLOGIQUE PRE-OPERATOIRE	1	2	3	4	5
3. La visualisation radiographique de l'émail est comparable à celle d'une dent naturelle					
4. La visualisation radiographique de la dentine est comparable à celle d'une dent naturelle					
5. La visualisation radiographique de la chambre pulpaire est comparable à celle d'une dent naturelle					
6. La visualisation radiographique des canaux radiculaires est comparable à celle d'une dent naturelle					
7. La sensation tactile à la cavité d'accès est comparable à celle d'une dent naturelle et je ressens un drop					

CAVITE D'ACCES	1	2	3	4	5
8. La dureté du simulateur est similaire à celle de l'émail de la dent naturelle					
9. La dureté du simulateur est similaire à celle de la dentine coronaire de la dent naturelle					
<i>Le simulateur est plutôt:</i>	dur		mou		

10. La visualisation des orifices canaux est similaire à celle de la dent naturelle					
11. J'ai mieux réussi ma cavité d'accès sur dent naturelle					
ANALYSE RADIOGRAPHIQUE INTRA-OPERATOIRE					
	1	2	3	4	5
12. La détermination radiographique de la longueur de travail est similaire à celle effectuée sur une dent naturelle					
INSTRUMENTATION CANALAIRE					
	1	2	3	4	5
13. L'étape de sécurisation canalaire est similaire à celle effectuée sur une dent naturelle					
14. La progression des instruments de mise en forme vers le foramen apical est similaire à celle sur une dent naturelle					
15. La dureté du simulateur est similaire à celle ressentie pendant la mise en forme canalaire de la dent naturelle <i>Le simulateur est plutôt:</i>					
	dur		mou		
16. L'irrigation permet une bonne évacuation des débris du simulateur					
17. Mon obturation est aussi satisfaisante que sur dent naturelle					
18. J'ai mieux réussi mon traitement sur dent artificielle que sur dent naturelle					
POST-TRAITEMENT					
	1	2	3	4	5
19. La dent artificielle est plus facile à traiter qu'une dent naturelle					
20. La dent artificielle est plus adaptée pour les examens précliniques que la dent naturelle					
21. La dent artificielle est plus adaptée à mon apprentissage préclinique que la dent naturelle					
22. Je ne trouve pas qu'une dent artificielle puisse me préparer à la réalité clinique, contrairement à la dent naturelle					
23. Je suis prêt/e à payer pour acheter des dents artificielles pour 4 à 6 séances de travaux pratiques		oui		non	
Si oui: Combien êtes-vous prêt à payer pour 1 dent artificielle ?					

REMARQUES:

RACHDI (Nora) – Dents artificielles en préclinique : une alternative aux dents naturelles dans la formation endodontique ?

(Thèse : 3^{ème} cycle Sci. odontol. : Strasbourg : 2023 ; N°48)

N°43.22.23.48

Résumé :

L'endodontie est une discipline qui requiert rigueur et précision. Il est essentiel pour l'étudiant de développer sa dextérité manuelle avant son arrivée en clinique où le travail technique se mêlera à l'angoisse des premiers pas sur patient. Les deux années de pré-clinique se concentrent ainsi sur l'acquisition théorique et pratique des protocoles endodontiques via un maximum de cas en travaux pratiques. Ces derniers se doivent d'être les plus réalistes possibles afin de mimer une situation clinique : il apparaît donc naturel aux étudiants de s'exercer sur des dents humaines extraites. Mais sont-elles réellement le gold-standard ? De nombreuses questions se posent : s'en procurer et les sélectionner est parfois un véritable défi, leur faisabilité est parfois impossible pour un étudiant non-expérimenté, la standardisation aux examens est impossible et crée des inégalités entre étudiants. De plus, le protocole de stérilisation engendre une fragilisation, menant à des résistances et des sensations différentes à la situation clinique réelle. Si elles restent le reflet le plus proche d'un traitement endodontique sur patient, les dents naturelles ont leurs limites et les dents artificielles se présentent ainsi comme une alternative. Ces simulateurs doivent répondre à un cahier des charges strict ou au moins égal à celui d'une dent naturelle, tout en apportant des solutions aux difficultés soulevées, comme la mise en pratique d'un topic particulier : le traitement d'un second canal mésio-vestibulaire qui ne serait pas présent sur toutes les molaires maxillaires naturelles des étudiants. Dans le cadre de cette thèse, nous allons explorer la place des simulateurs de dents naturelles dans la formation des étudiants à l'endodontie, étudier leur intérêt d'un point de vue étudiant et comparer les performances entre traitements sur dents naturelles et simulateurs grâce à des travaux pratiques menés à Strasbourg.

Rubrique de classement : Endodontie

Mots clés : simulateur, formation préclinique, dent artificielle, endodontie, pédagogie

Me SH : simulator, artificial tooth, undergraduate training, endodontics, pedagogy

Jury :

Président : Professeur HAIKEL Youssef

Assesseurs : Docteur EHLINGER Claire
Docteur MANCINO Davide
Docteur EL OUAHABI Karima

Coordonnées de l'auteur :

Adresse de messagerie :
rachdi.nora@hotmail.com