

UNIVERSITE DE LILLE
FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année de soutenance : 2021

N°:

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

Présentée et soutenue publiquement le 13 octobre 2021

Par Justine DUTHILLEUL

Née le 13 Août 1996 à Tourcoing - France

Evaluation de deux nouveaux modèles 3D pour l'apprentissage
de la réparation des perforations iatrogènes
par des étudiants de niveaux d'expérience différents.

JURY

Président : Monsieur le Professeur Thomas COLARD

Assesseurs : Monsieur le Docteur Alain GAMBIEZ

Monsieur le Docteur Lieven ROBBERECHT

Monsieur le Docteur Henri PERSONN

Président de l'Université	:	Pr. J-C. CAMART
Directeur Général des Services de l'Université	:	M-D. SAVINA
Doyen	:	E. BOCQUET
Vice-Doyen	:	A. de BROUCKER
Responsable des Services	:	S. NEDELEC
Responsable de la Scolarité	:	M. DROPSIT

PERSONNEL ENSEIGNANT DE L'U.F.R.

PROFESSEURS DES UNIVERSITES :

P. BEHIN	Prothèses
T. COLARD	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
E. DELCOURT-DEBRUYNE	Professeur Emérite Parodontologie
C. DELFOSSE	Responsable du Département d' Odontologie Pédiatrique
E. DEVEAUX	Dentisterie Restauratrice Endodontie

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

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

Réglementation de présentation du mémoire de Thèse

Par délibération en date du 29 octobre 1998, le Conseil de la Faculté de Chirurgie Dentaire de l'Université de Lille a décidé que les opinions émises dans le contenu et les dédicaces des mémoires soutenus devant jury doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'ainsi aucune approbation, ni improbation ne leur est donnée.

Aux membres du jury,

Monsieur le Professeur Thomas COLARD

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier des CSERD

Section Réhabilitation Orale

Département Sciences Anatomiques

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur au Muséum National d'Histoire Naturelle en Anthropologie Biologique

Habilitation à Diriger des Recherches

Assesseur à la Recherche

Vous m'avez fait l'honneur d'accepter spontanément la Présidence de mon jury de thèse et de vous être rendu disponible pour ma soutenance ; je vous en suis sincèrement reconnaissante. Je vous remercie pour votre enseignement, en particulier au cours de cette dernière année lors de la vacation d'apnée du sommeil qui était un réel plaisir de par votre pédagogie et votre sympathie qui vous caractérise. À travers ce travail, veuillez trouver cher Professeur, l'expression de mon respect le plus sincère.

Monsieur le Docteur Alain GAMBIEZ

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier des CSERD

Section Réhabilitation Orale

Département Dentisterie Restauratrice Endodontie

Docteur en Chirurgie Dentaire

Diplôme d'Etudes Approfondies Sciences de la Vie et de la Santé

Vous me faites l'honneur de faire partie de mon jury et je vous en suis sincèrement reconnaissante. Je reste admirative face à votre passion à transmettre vos connaissances, vos précieux conseils, votre calme en toutes circonstances et votre sympathie qui auront accompagnés mon apprentissage en endodontie tout au long de ce cursus universitaire. Veuillez trouver dans ce travail l'expression de ma reconnaissance et de mes sincères remerciements.

Monsieur le Docteur Lieven ROBBERECHT

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier des CSERD

Section Réhabilitation Orale

Département Dentisterie Restauratrice Endodontie

Docteur en Chirurgie Dentaire

Assesseur Développement Durable

Je vous remercie infiniment d'avoir accepté avec spontanéité et enthousiasme la direction de ma thèse. Tout au long de ce cursus universitaire, ce fut un réel plaisir de découvrir la spécialité de l'endodontie à vos côtés grâce à votre patience, votre bienveillance et vos précieux conseils. Vous m'avez énormément appris et je vous en suis très reconnaissante. Je vous remercie pour votre disponibilité, votre perfectionnisme et l'intérêt que vous avez porté à ma thèse mais aussi pour votre humour et votre bonne humeur. Veuillez accepter mes remerciements les plus sincères.

Monsieur le Docteur Henri PERSOON

Assistant Hospitalo-Universitaire des CSERD

Section Réhabilitation Orale

Département Dentisterie Restauratrice Endodontie

Docteur en Chirurgie Dentaire

Certificat d'Etudes Supérieures d'Odontologie Chirurgicale mention Odontologie

Chirurgicale – Université de Lille

Je te remercie pour avoir accepté spontanément de faire partie de mon jury. Mais je te remercie également pour cette belle amitié qui est née dès mon entrée en deuxième année où j'ai pu te découvrir dans toute ta splendeur ; Henri le fêtard, le pilier de bar mais aussi Henri plein d'attention et de gentillesse. Ta soutenance de thèse fut la toute première à laquelle j'ai pu assister et maintenant je suis fière de t'avoir auprès de moi en tant que Docteur pour mon passage dans la cour des grands.

Merci pour tout.

À ma famille, à mes amis,

Table des matières

1	Introduction.....	12
2	Matériels et Méthodes	14
2.1	Conception, fabrication et préparation des modèles 3D	14
2.2	Perception et difficulté renvoyées par les modèles 3D perforés chez les étudiants	17
2.3	Analyse statistique.....	19
3	Résultats	20
4	Discussion	26
5	Conclusion	29
	Références bibliographiques.....	30
	Table des illustrations.....	32

1 Introduction

L'endodontie est une discipline clinique en développement qui représente une part importante de l'enseignement. C'est une branche de la dentisterie qui concerne la morphologie, la physiologie et la pathologie de la pulpe dentaire et des tissus péri-radicaux. Son étude et sa pratique portent sur la pulpe saine mais aussi sur l'étiologie, le diagnostic, la prévention et le traitement de la pulpe pathologique et des conditions péri-radicaux associées [1].

Les perforations sont des communications endo-parodontales entre le système canalaire et la surface externe de la dent. Elles peuvent être iatrogènes lors d'une erreur de procédure endodontique de la part du chirurgien-dentiste, ou pathologiques lors d'une lésion carieuse ou d'une résorption [1–3]. Les perforations iatrogènes peuvent survenir à n'importe quelle étape du traitement endodontique et entraîner un échec [4]. Elles peuvent survenir lors de l'étape de la cavité d'accès, lors de la préparation canalaire ou lors de l'aménagement d'un logement radicaux pour la mise en place d'un ancrage [3,5]. L'objectif de la réparation d'une perforation est de l'obturer avec un substitut dentinaire étanche et biocompatible comme le MTA ou la Biodentine qui sont actuellement les plus utilisés [6,7]. Ceci permet de retrouver des conditions favorables à la cicatrisation des tissus péri-radicaux et de renforcer la dent mécaniquement.

Pour tenter de palier à cela, la Société Européenne d'Endodontologie (ESE) a défini des lignes directrices regroupant les compétences minimales à acquérir lors de la formation initiale et continue des étudiants. Cette discipline clinique repose principalement sur le développement de compétences tactiles, ce qui rend primordial l'entraînement pratique pré-clinique des étudiants [8,9]. La formation peut se faire avec l'utilisation de dents humaines extraites, mais est à l'origine de problèmes éthiques, d'asepsie, d'approvisionnement et de standardisation [10]. Afin de pallier ces limites, plusieurs modèles synthétiques ont été développés. Dummer et coll ont introduit et largement répandu l'utilisation de blocs de résine transparente pouvant reproduire les canaux radicaux et respectant l'asepsie. Cependant, des problèmes sont rencontrés comme la dureté insuffisante, l'instrumentation irréaliste,

l'anatomie simplifiée et la faible radio-opacité [11]. L'émergence de l'impression 3D a permis de nombreux progrès dans ce domaine en rendant possible la fabrication de modèles à la morphologie plus complexe pour l'implantologie ou l'endodontie à visée clinique et d'enseignement [12–14]. Parmi ces procédés, la stéréolithographie (SLA) est particulièrement adaptée à la fabrication de modèles pédagogiques en résine pour l'endodontie en photopolymérisant des couches successives d'un monomère [15–17]. Actuellement, aucun modèle pour l'apprentissage pratique de la réparation des perforations n'a été décrit dans la littérature.

C'est pourquoi, le but de cette étude est de développer deux modèles imprimés en 3D (modèles 3D) (36 et 46) pour l'apprentissage pratique pré-clinique de la réparation des perforations iatrogènes puis d'évaluer la perception (caractéristiques, utilisation et place des modèles 3D dans la formation) et la difficulté renvoyées par ces modèles chez des étudiants en formation initiale avec différents niveaux d'expérience (4^e et 6^e année). L'hypothèse nulle H0 est qu'il n'y a pas de différence de perception et de difficulté entre les modèles 3D et entre le niveau d'expérience des étudiants.

2 Matériels et Méthodes

2.1 Conception, fabrication et préparation des modèles 3D

Deux molaires mandibulaires humaines extraites, saines et matures (l'une à gauche, la 36 et l'autre à droite, la 46) ont été sélectionnées (accord du Comité d'éthique local DC-2008-642). Une cavité d'accès type et une perforation iatrogène ont été réalisées sur chaque dent (36 : 1/3 coronaire latéro-radiculaire du canal mésio-vestibulaire, 46 : plancher pulpaire) (figure 1).

Les dents ont été scannées à l'aide d'un microtomographe (micro-CT) (SkyScan 1172 ; Bruker) (100 kV, 100 μ A, résolution isotropique : 20 μ m, rotation 180°, pas de rotation : 0.6°, filtre aluminium et cuivre). Les images ont été reconstruites par le logiciel NRecon (Bruker) (ring artefact correction : 2, beam hardening correction : 40%, smoothing : 2) puis exportées au format .TIF 8 bits à 256 niveaux de gris. La région d'intérêt a été définie pour individualiser les dents à l'aide du logiciel CTAn (v1.17.7.2, Bruker) puis les données ont été exportées au format .STL. Ces données ont été ensuite chargées dans le logiciel Avizo (2019.4, Thermo Fisher Scientific) puis segmentées par l'outil 'Edit New Label Field' afin de générer un modèle 3D virtuel des dents perforées au format .STL. Ensuite, les fichiers .STL des modèles 3D virtuels de 36 et 46 perforées ont été transférés sur le logiciel Preform (FormLabs) pour impression par stéréolithographie (SLA) (3D Form 2, FormLabs) (résine Dental model, résolution : 50 μ m, épaisseur des points de contact : 0,4 mm épaisseur des piliers : 1 mm) (figure 2). 478 modèles 3D ont été imprimés puis rincés dans un bain d'alcool isopropylique (FormWash) pendant 20 minutes pour éliminer la résine non polymérisée (figure 3). Une post-polymérisation a été réalisée pendant 60 minutes à 60°C (FormCure) puis les piliers ont été sectionnés à la main.

Afin de simuler la réalité clinique, les modèles 3D ont été fixés sur un support en cire (A-R, Frasco) puis l'ensemble a été monté sur une tête fantôme équipée d'un masque facial (P-6 GMN, Frasco) (figure 4).

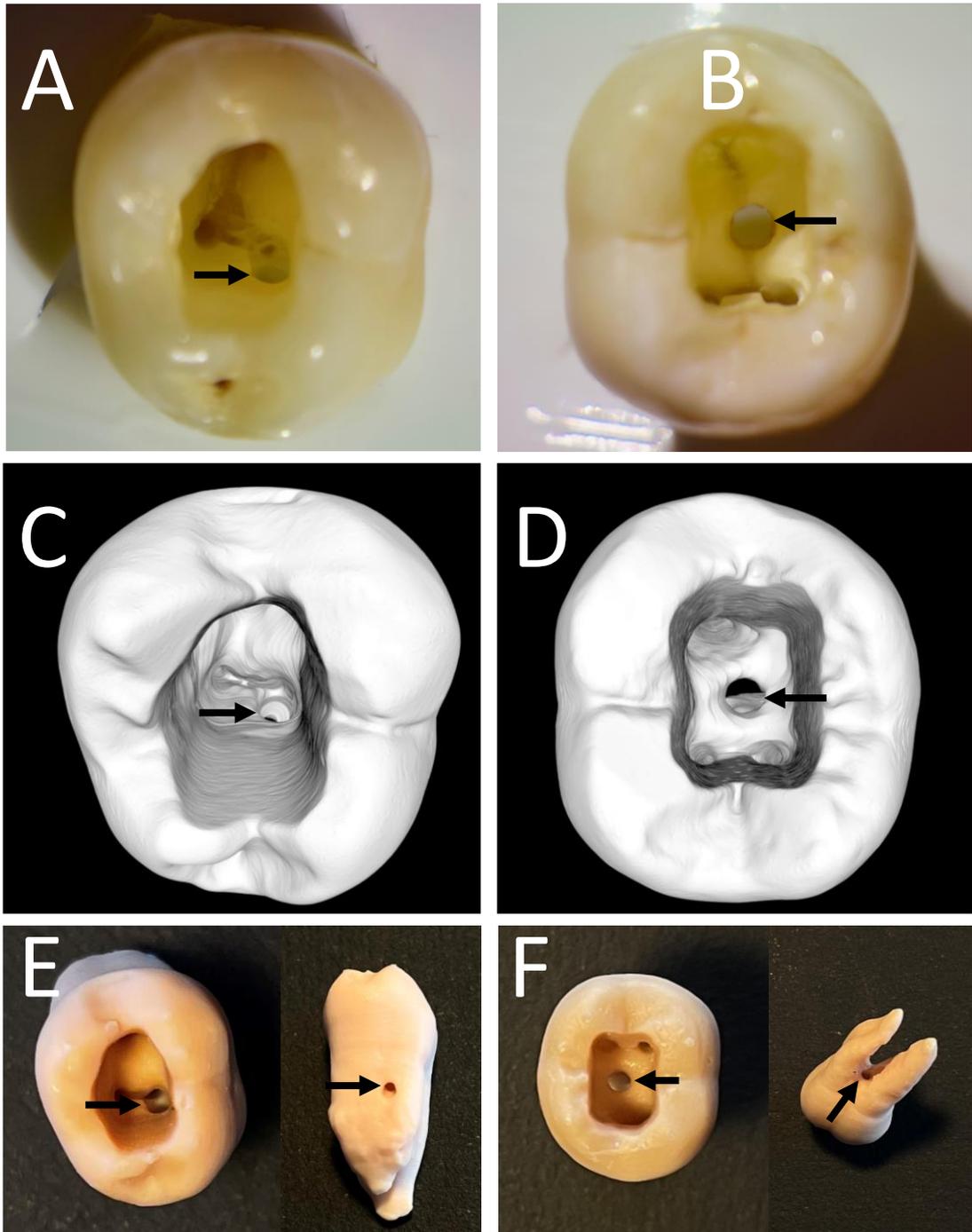


Figure 1: Conception et fabrication des modèles 3D avec perforation du 1/3 coronaire radiculaire (A, C, E) et du plancher (B, D, F) : dents naturelles (A, B), modèles virtuels (C, D) et modèles 3D (E, F). Courtoisie du Dr. Margot Audineau.

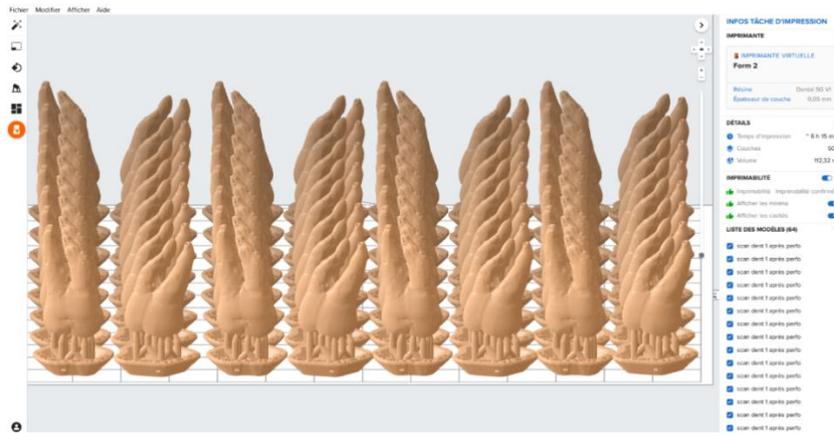


Figure 2: Préparation d'un plateau avec les modèles virtuels avant impression sur le logiciel Preform (FormLabs).

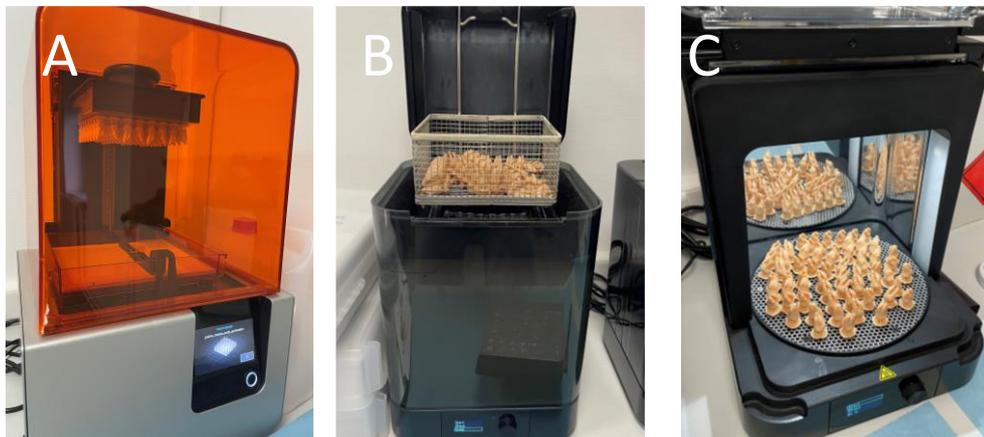


Figure 3: Fabrication des modèles 3D par stéréolithographie : mise en forme (Form 2, FormLabs) (A), rinçage (FormWash, FormLabs) (B) et post-polymérisation (FormCure, FormLabs) (C).

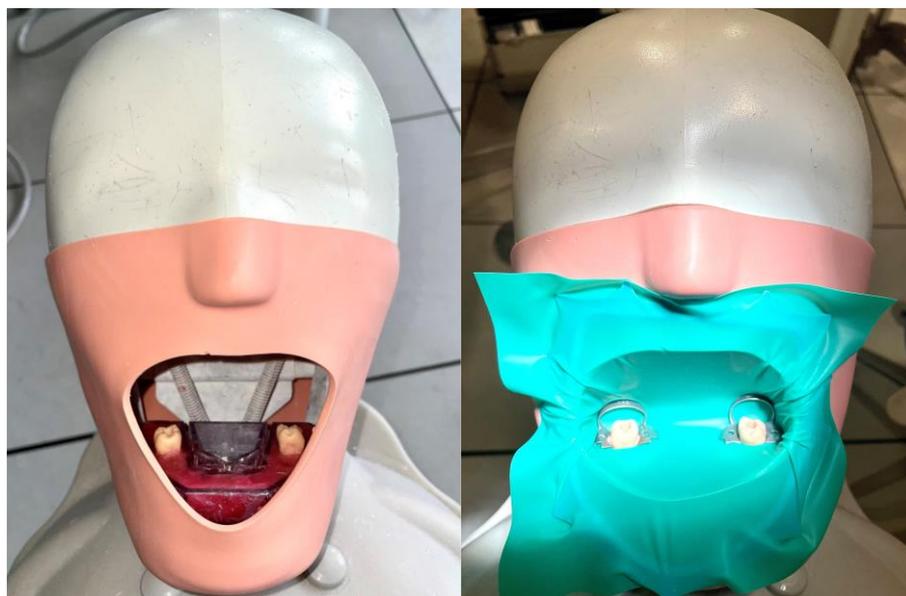


Figure 4 : Modèles 3D perforés montés sur une tête fantôme

2.2 Perception et difficulté renvoyées par les modèles 3D perforés chez les étudiants

Une séance de travaux pratiques non obligatoire en dehors des horaires universitaires a été proposée aux élèves de 4^e et de 6^e année de la Faculté de Chirurgie dentaire de Lille. 114 étudiants de 4^e année et 125 étudiants de 6^e année ont été inclus et ont signé un formulaire de non opposition. Chaque étudiant a reçu l'ensemble de l'enseignement en endodontie dans la même faculté, était volontaire et s'est vu attribuer un numéro d'anonymat unique. Une vidéo de démonstration (réalisée par le Dr. Mélanie Wagner) a été projetée afin de fournir les compétences techniques nécessaires à la réparation des modèles 3D perforés (mise en place du champ opératoire, accès, mise en forme des entrées canalaires, nettoyage, hémostase, assèchement, protection des entrées canalaires, mise en place d'un ciment silicate de calcium, contrôle radiographique). Il a ensuite été demandé aux étudiants de réparer chacun 2 modèles 3D perforés (modèle 3D de 36 et de 46). Afin de pallier le biais créé par l'apprentissage de la première réparation sur la perception des étudiants, l'ordre de réparation (36 puis 46 ; 46 puis 36) a été randomisé.

La perception (caractéristiques, utilisation et place du modèle 3D dans la formation) et la difficulté renvoyées par les modèles 3D perforés ont été mesurées chez les étudiants par un questionnaire basé sur la littérature (Tab 1) en utilisant une échelle d'accord (Q1-Q12 et Q17 : 0 : pas du tout d'accord, 1 : pas d'accord, 2 : indifférent, 3 : d'accord, 4 : tout à fait d'accord) et une échelle scorant le niveau de difficulté (Q13-Q16 : 0 : très facile, 1 : facile, 2 : adapté, 3 : difficile, 4 : très difficile) [15,18–20].

Tableau 1: Questionnaire d'évaluation de la perception des modèles 3D perforés et de la difficulté liée à leur utilisation en travaux pratiques par des étudiants en chirurgie dentaire

	Catégorie	Question	Score
Perception	Caractéristiques du modèle 3D	Q1 : Aspect général réaliste Q2 : Anatomie réaliste Q3 : Couleur réaliste	0 – 4 (Pas du tout d'accord – tout à fait d'accord)
	Utilisation du modèle 3D en travaux pratiques	Q4 : Préparation des entrées canalaires réaliste Q5 : Dureté réaliste Q6 : Visualisation radiographique de la réparation réaliste Q7 : Simulation réaliste Q8 : Amélioration de mes compétences	0 – 4 (Pas du tout d'accord – tout à fait d'accord)
	Place du modèle 3D dans la formation	Q9 : Meilleure préparation pour la réparation d'une perforation Q10 : Standardisation du niveau de difficulté Q11 : Je souhaite d'autres TP avec des modèles 3D Q12 : L'idée de ce modèle est bonne	0 – 4 (Pas du tout d'accord – tout à fait d'accord)
Difficulté		Q13 : Difficulté du TP Q14 : Difficulté de la préparation des entrées canalaires Q15 : Difficulté de la protection des entrées canalaires Q16 : Difficulté de la mise en place de la Biodentine Q17 : Difficulté adaptée au niveau de formation	0 – 4 (Très facile – très difficile)
			0 – 4 (Pas du tout d'accord – tout à fait d'accord)

2.3 Analyse statistique

La normalité de la distribution des données a été contrôlée par un test de D'Agostino Pearson pour toutes les questions. Une différence statistiquement significative de la distribution des scores de perception a été recherchée à l'aide d'un test non-paramétrique de Mann-Whitney entre les étudiants de 4^e et de 6^e année pour les questions Q1-12. Les scores de difficulté (Q13-17) ont été comparés entre les 4^e et 6^e année et entre les modèles 3D 36 et 46 par un test non-paramétrique de Kruskal-Wallis suivi d'une comparaison multiple de Dunn. L'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel GraphPad Prism 5 (version 5.01) ($\alpha=5\%$).

3 Résultats

Le taux de réponse des étudiants était de 100%. Les résultats de cette étude sont présentés sous forme médiane (Q1 ; Q3) dans des tableaux récapitulatifs (Tab 2 et 3). Les résultats sont également présentés sous forme de moyenne \pm écart-type et de « box-plot » pour faciliter la compréhension (Fig 5 et 6).

Toutes les médianes des scores de perception des questions 1 à 12 étaient comprises entre 3 et 4, ce qui montre que les étudiants de 4^e et de 6^e année étaient en accord avec les caractéristiques, l'utilisation en travaux pratiques et la place du modèle 3D dans leur formation. La distribution des scores attribués par les étudiants de 6^e année était supérieure à celle des scores attribués par les étudiants de 4^e année pour les questions 6 (visualisation radiographique de la réparation) (4(3 ; 4) et 3,5(3 ;4)) et 11 (je souhaite d'autres TPs avec des modèles 3D) (4(4 ; 4) et 4(3 ; 4)) respectivement ($p < 0,05$). Les autres questions relatives à la perception du modèle 3D n'ont pas montré de différence de distribution des scores entre les 4^e et les 6^e année ($p > 0,05$).

La distribution des scores de difficulté liée à l'utilisation de la 36 (Q13) attribués par les 4^e (3(2 ;4)) et les 6^e année (3(3 ;4)) était supérieure à celle des scores de la 46 (2(1 ;2) et 2(1 ;2), respectivement) ($p < 0,05$). Cependant, seuls les 4^e année ont ressenti que la difficulté liée à l'utilisation de la 36 (3(2 ;4)) était moins adaptée à leur niveau de formation que celle de la 46 (4(3 ;4)) ($p < 0,05$). La distribution des scores de difficulté attribués par les 6^e année à la 36 (2(1 ;3), 3(2 ;3), 3(3 ;4)) était supérieure à celle attribuée à la 46 (1(0 ;2), 1(1 ;2), 2(1 ;2)) pour la préparation et la protection des entrées canalaires et la mise en place de la Biodentine (Q14 – Q16), respectivement ($p < 0,05$). Concernant les 4^e année, seule la distribution des scores de difficulté de la mise en place de la Biodentine (Q16) dans la 36 (3(2 ;4)) était supérieure à celle de la 46 (2(1 ;2,25)) ($p < 0,05$). La distribution des scores de difficulté de protection des entrées canalaires (Q15) de la 36 (3(2 ;3)) par les 6^e année était supérieure à celle des 4^e année (2(1 ;3)) ($p < 0,05$).

Tableau 2: Perception des modèles 3D perforés par les étudiants en chirurgie dentaire. La même lettre signifie une différence statistiquement significative ($p < 0,05$).

Questions	4 ^e année		6 ^e année		P-value
	Médiane (Q1 ;Q3)	Moyenne ± écart-type	Médiane (Q1 ;Q3)	Moyenne ± écart-type	
Q1	4,0 (3 ; 4)	3,693 ± 0,566	4,0 (3 ; 4)	3,584 ± 0,650	0,1335
Q2	4,0 (3 ; 4)	3,684 ± 0,521	4,0 (3 ; 4)	3,640 ± 0,560	0,5398
Q3	3,0 (2 ; 4)	2,947 ± 0,939	3,0 (2 ; 4)	2,864 ± 0,962	0,5378
Q4	4,0 (3 ; 4)	3,482 ± 0,694	4,0 (3 ; 4)	3,360 ± 0,756	0,1957
Q5	3,0 (2 ; 4)	2,947 ± 0,829	3,0 (2 ; 4)	2,776 ± 1,054	0,2766
Q6	3,5 (3 ; 4) ^a	3,246 ± 0,937	4,0 (3 ; 4) ^a	3,520 ± 0,768	0,0157
Q7	4,0 (3 ; 4)	3,579 ± 0,608	4,0 (3 ; 4)	3,512 ± 0,577	0,2313
Q8	4,0 (3 ; 4)	3,649 ± 0,564	4,0 (3 ; 4)	3,504 ± 0,758	0,1818
Q9	3,0 (3 ; 4)	3,289 ± 0,773	3,0 (3 ; 4)	3,128 ± 0,942	0,2556
Q10	4,0 (3 ; 4)	3,489 ± 0,842	4,0 (3 ; 4)	3,560 ± 0,712	0,3266
Q11	4,0 (3 ; 4) ^b	3,379 ± 0,664	4,0 (4 ; 4) ^b	3,712 ± 0,716	0,0139
Q12	4,0 (4 ; 4)	3,789 ± 0,431	4,0 (4 ; 4)	3,864 ± 0,409	0,0879

Figure 5: Box-plot de la perception des modèles 3D perforés par les étudiants en chirurgie dentaire (score 0 – 4 : pas du tout d'accord – tout à fait d'accord). Barre : médiane ; boîte : Q1 et Q3 ; + : moyenne. La même lettre signifie une différence statistiquement significative ($p < 0,05$).

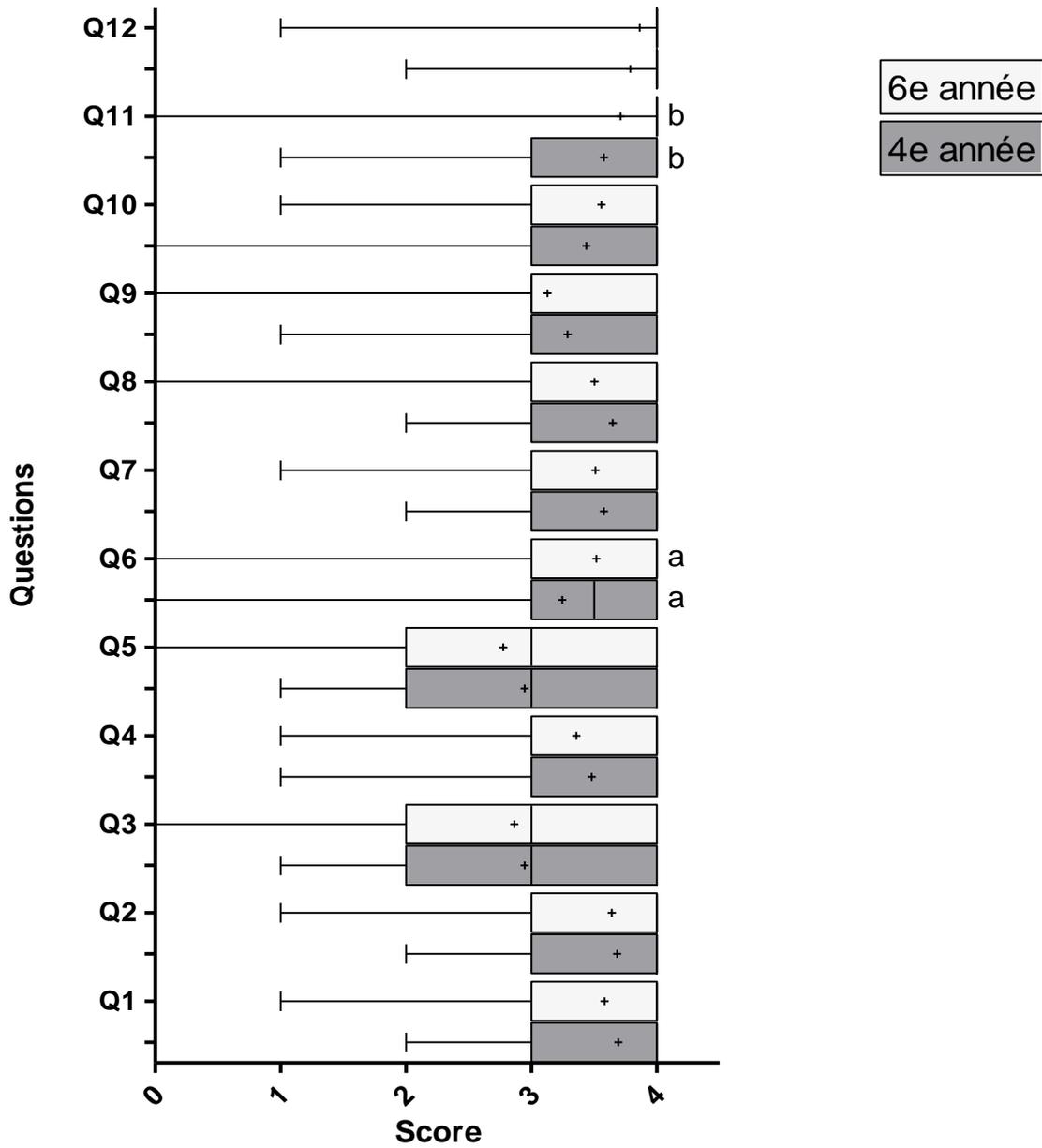
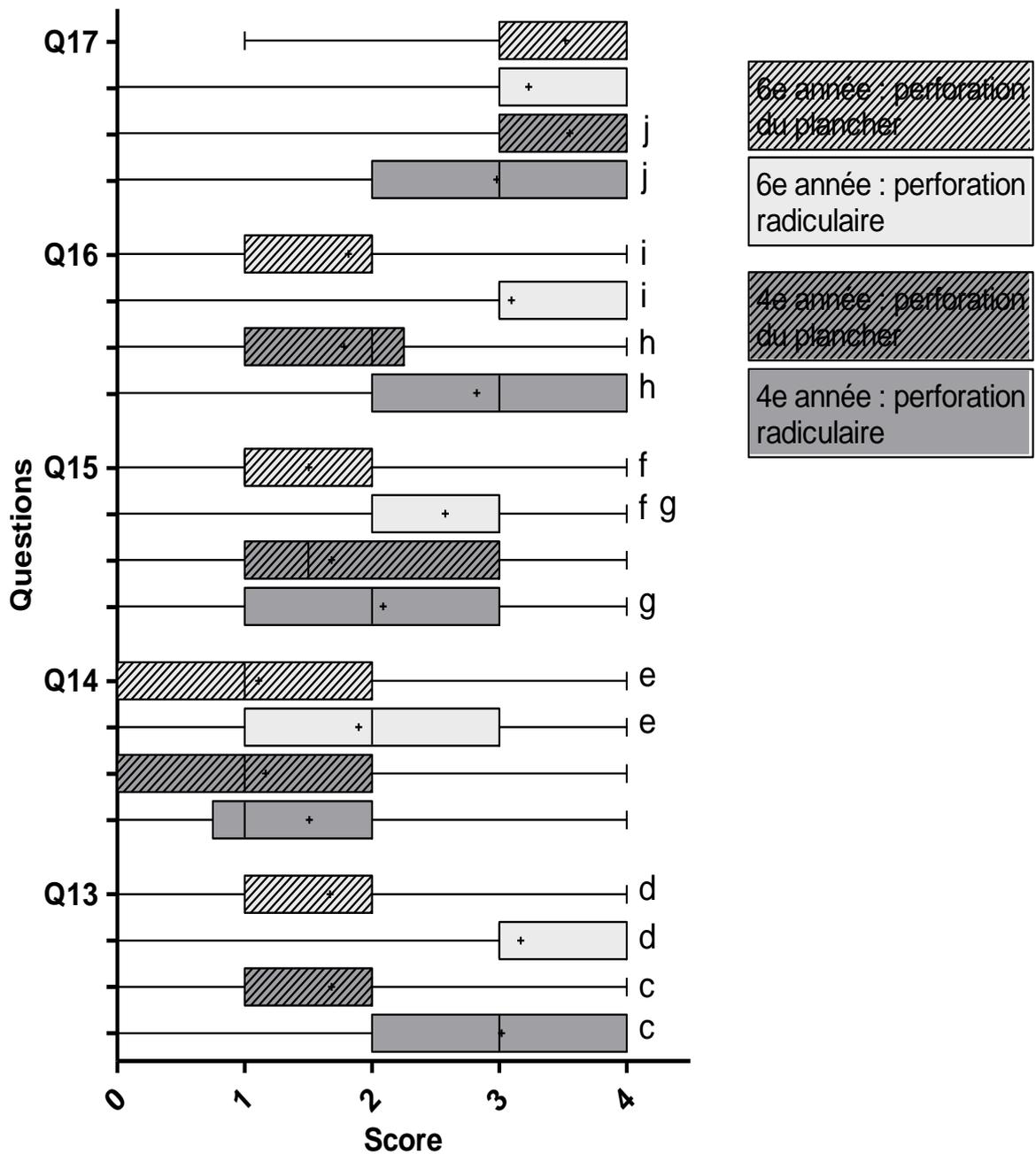


Tableau 3: Difficulté liée à l'utilisation des modèles 3D perforés en travaux pratiques par des étudiants en chirurgie dentaire. La même lettre signifie une différence statistiquement significative ($p < 0,05$).

Questions	4 ^e année						6 ^e année						P-value
	Perforation radiculaire			Perforation du plancher			Perforation radiculaire			Perforation du plancher			
	Médiane (Q1 ; Q3)	Moyenne \pm écart-type	Médiane (Q1 ; Q3)	Moyenne \pm écart-type	Médiane (Q1 ; Q3)	Moyenne \pm écart-type	Médiane (Q1 ; Q3)	Moyenne \pm écart-type	Médiane (Q1 ; Q3)	Moyenne \pm écart-type	Médiane (Q1 ; Q3)	Moyenne \pm écart-type	
Q13	3,00 (2,00 ; 4,00)	3,018 \pm 1,013 ^e	2,00 (1,00 ; 2,00)	1,684 \pm 0,876 ^e	3,00 (3,00 ; 4,00)	3,168 \pm 0,859 ^d	2,00 (1,00 ; 2,00)	1,672 \pm 0,990 ^d	2,00 (1,00 ; 2,00)	1,672 \pm 0,990 ^d	2,00 (1,00 ; 2,00)	1,672 \pm 0,990 ^d	< 0,0001
Q14	1,00 (0,75 ; 2,00)	1,509 \pm 1,236	1,00 (0,00 ; 2,00)	1,167 \pm 0,995	2,00 (1,00 ; 3,00)	1,896 \pm 1,269 ^e	1,00 (0,00 ; 2,00)	1,112 \pm 1,109 ^e	1,00 (0,00 ; 2,00)	1,112 \pm 1,109 ^e	1,00 (0,00 ; 2,00)	1,112 \pm 1,109 ^e	< 0,0001
Q15	2,00 (1,00 ; 3,00)	2,088 \pm 1,231 ^g	1,50 (1,00 ; 3,00)	1,684 \pm 1,083	3,00 (2,00 ; 3,00)	2,576 \pm 1,145 ^g	1,00 (1,00 ; 2,00)	1,504 \pm 1,161 ^f	1,00 (1,00 ; 2,00)	1,504 \pm 1,161 ^f	1,00 (1,00 ; 2,00)	1,504 \pm 1,161 ^f	< 0,0001
Q16	3,00 (2,00 ; 4,00)	2,825 \pm 1,115 ^h	2,00 (1,00 ; 2,25)	1,781 \pm 1,188 ^h	3,00 (3,00 ; 4,00)	3,096 \pm 0,987 ^f	2,00 (1,00 ; 2,00)	1,816 \pm 1,124 ^f	2,00 (1,00 ; 2,00)	1,816 \pm 1,124 ^f	2,00 (1,00 ; 2,00)	1,816 \pm 1,124 ^f	< 0,0001
Q17	3,00 (2,00 ; 4,00)	2,982 \pm 1,030 ⁱ	4,00 (3,00 ; 4,00)	3,553 \pm 0,742 ⁱ	4,00 (3,00 ; 4,00)	3,232 \pm 0,968	4,00 (3,00 ; 4,00)	3,520 \pm 0,789	4,00 (3,00 ; 4,00)	3,520 \pm 0,789	4,00 (3,00 ; 4,00)	3,520 \pm 0,789	< 0,0001

Figure 6: Box-plot de la difficulté liée à l'utilisation de modèles 3D perforés en travaux pratiques par des étudiants en chirurgie dentaire (score 0 – 4 : très facile – très difficile).
 Barre : médiane ; boîte : Q1 et Q3 ; + : moyenne. La même lettre signifie une différence statistiquement significative ($p < 0,05$).



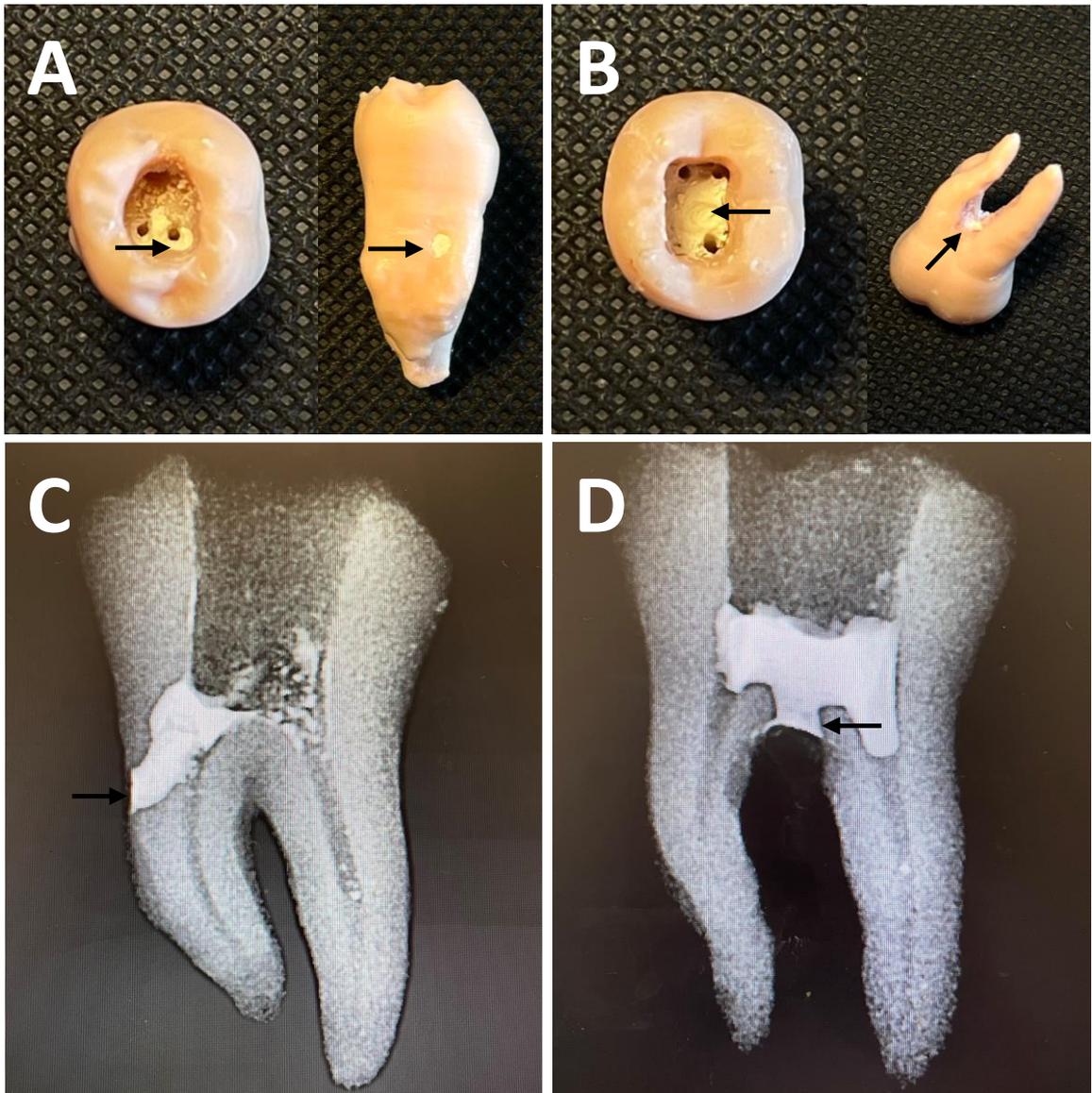


Figure 7: modèles 3D avec les perforations iatrogènes réparées et les radiographies associées : au 1/3 coronaire radulaire (A, C) et au plancher (B, D)

4 Discussion

Plusieurs études ont développé des modèles innovants imprimés en 3D et évalué leur perception par des étudiants pour l'enseignement de la pédiodontie, l'implantologie, la restauratrice et l'endodontie [12–15,18–22]. Cette étude est la première à développer et à mesurer la perception d'étudiants renvoyée par deux nouveaux modèles 3D pour l'apprentissage de la réparation des perforations. C'est également la première fois que le niveau de difficulté de la réparation d'une perforation est mis en adéquation avec le niveau d'expérience sur un large échantillon d'étudiants.

L'hypothèse nulle a été rejetée et les deux modèles développés dans cette étude ont obtenu une évaluation favorable pour la plupart des questions, suggérant que leur utilisation en formation initiale pourrait être envisagée. De plus, ces modèles sont perçus comme une simulation réaliste standardisée qui permet d'améliorer sa confiance dans la réparation d'une perforation.

L'apport de l'impression 3D permet de pallier les limites des dents naturelles [10] (éthique, difficulté d'approvisionnement, variabilité et asepsie) en produisant des dents artificielles standardisées, disponibles rapidement et hygiéniques [15,17]. Cette technologie est d'autant plus intéressante qu'elle est en constant développement et en expansion dans les universités ce qui la rend disponible pour la formation pratique des futurs chirurgiens-dentistes [19,23]. Afin d'obtenir des modèles biomimétiques, s'approchant au mieux des conditions cliniques d'une dent naturelle, les modèles 3D ont été produits à partir de scans en haute résolution (micro-CT) de dents humaines extraites. En effet, cette technologie permet une acquisition tridimensionnelle non destructive avec une précision supérieure à celle du cone-beam (CBCT) [17,24] et permet ainsi d'utiliser une résolution élevée pour l'étape de fabrication par stéréolithographie sans perdre de détails [25]. Dans le futur, d'autres types anatomiques et de perforations pourront être réalisés. De plus, les modèles 3D peuvent être produits à faible coût comparé aux modèles du marché [15,19] ce qui offre aux écoles dentaires la possibilité de développer des modèles de formation individuels inaccessibles financièrement ou indisponibles sur le marché [17]. Le prix

d'un modèle 3D développé dans cette étude est estimé à 1,30 euros (amortissement plateau technique, consommable, temps opérateur).

Le questionnaire a montré que la simulation de l'aspect général et de l'anatomie d'une dent humaine étaient réalistes. La perception de la couleur était acceptable. Marty et al. ont obtenu une mauvaise perception d'une résine grise pour un modèle pédodontique, c'est pourquoi nous avons sélectionné une résine beige dans la présente étude [19]. Des améliorations futures sont envisageables parallèlement au développement de nouvelles technologies d'impression 3D permettant de mettre en forme des objets polychromes [26]. Ceci permettra de simuler des couleurs de dentines plus réalistes en différenciant la dentine des parois de la cavité d'accès, du plancher pulpaire et la dentine radiculaire [27].

La perception de la dureté des modèles 3D lors de leur instrumentation était acceptable, mais présentait les plus faibles scores. Marty et al ont obtenu des résultats similaires [19] qui s'expliquent par une dureté de la résine inférieure à celle de la dentine et de l'émail. [10,18] Une piste intéressante pour éviter cet inconvénient serait de proposer un matériau composite avec une matrice minérale comme cela a été proposé pour l'hydroxyapatite imprégnée de résine époxy [28].

Le niveau d'expérience requis pour appréhender la réparation d'une perforation étant inconnu à ce jour, nous avons comparé la perception d'étudiants inexpérimentés en 4^e année avec des étudiants de 6^e ayant terminé leur cycle de formation initiale théorique et pratique [15]. Cependant, les participants étaient volontaires, ce qui constitue un risque de n'avoir consulté que les étudiants les plus motivés. La préférence éventuelle d'un étudiant pour travailler du côté droit ou gauche pourrait également avoir un impact sur l'appréciation de la difficulté d'un exercice, mais ce biais éventuel a été éliminé par le grand effectif inclus dans ce travail. Des études ultérieures permettront d'analyser ce point. Les étudiants en 6^e année ont mieux perçu l'aspect radiographique du modèle et souhaitaient davantage d'autres TP avec des modèles 3D, ce qui peut s'expliquer par leur expérience supérieure à celle des 4^e année.

Deux modèles 3D avec différentes difficultés ont été inclus pour déterminer un niveau d'exercice adapté à l'expérience des étudiants. Afin d'y parvenir, nous nous sommes basés sur l'hypothèse qu'une perforation ponctuelle du plancher (directement visible et accessible) est plus simple à réparer qu'une perforation radiculaire (plus difficile d'accès). Nos résultats vont dans ce sens en montrant que la réparation de la perforation radiculaire était perçue comme plus difficile que celle du plancher pour la plupart des questions pour tous les étudiants. Mais ces résultats doivent être modérés sachant que les aides optiques n'ont pas été utilisées dans ce travail et améliorent l'observation des structures dans le système canalaire [29]. Étonnamment, la protection des entrées canalaires du modèle de perforation radiculaire était perçue comme plus difficile pour les 6^e année que pour les 4^e année. Ceci pourrait s'expliquer par la difficulté à différencier l'entrée canalaire et la perforation qui sont proches pour y positionner un cône de gutta-percha. Les 4^e année pourraient avoir une moins bonne représentation spatiale et ainsi ne pas avoir conscience de ce point [30]. Enfin, les 4^e année ont perçu la difficulté de la réparation de la perforation radiculaire comme étant moins adaptée à leur niveau de formation. Cet exercice devrait donc être proposé plus tard dans la formation.

5 Conclusion

Deux nouveaux modèles 3D ont été développés pour offrir une simulation réaliste standardisée permettant de former les étudiants en chirurgie dentaire à la réparation des perforations iatrogènes (perforation du plancher et radiculaire). L'analyse de la perception et de la difficulté montre le grand intérêt des étudiants pour ces modèles. Ceux-ci ont leur place dans la formation pratique préclinique pour mieux préparer les étudiants avant le traitement des patients. Le niveau de difficulté de l'exercice doit être adapté au niveau de formation des étudiants. La réparation de la perforation radiculaire est perçue comme plus difficile que celle du plancher et devrait être proposée en fin de cursus ou en formation continue.

Références bibliographiques

1. American Association of Endodontists. Glossary of Endodontic Terms. 2020.
2. Alhadainy HA. Root perforations: A review of literature. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1994;78:368-74.
3. Regan JD, Witherspoon DE, Foyle Deborahm. Surgical repair of root and tooth perforations. *Endod Top.* 2005;11:152-78.
4. Estrela C, Decurcio D de A, Rossi-Fedele G, Silva JA, Guedes OA, Borges ÁH, et al. Root perforations: a review of diagnosis, prognosis and materials. *Braz Oral Res.* 2018;32:DOI:10.1590/1807-3107bor-2018.vol32.0073.
5. Alrahabi M, Zafar MS, Adanir N. Aspects of clinical malpractice in endodontics. *Eur J Dent.* 2019;13:450-8.
6. S. Simon, P. Machtou, WJ. Pertot. *JPIO endodontie.* Editions CdP. 2012. 514 p.
7. Övsay E, Kaptan RF, Şahin F. The repair of furcal perforations in different diameters with biodentine, MTA, and IRM repair materials: a laboratory study using an E. Faecalis Leakage Model. *BioMed Res Int.* 2018;DOI: 10.1155/2018/5478796.
8. De Moor R, Hülsmann M, Kirkevang L-L, Tanalp J, Whitworth J. Undergraduate curriculum guidelines for endodontology. *Int Endod J.* 2013;46:1105-14.
9. Accreditation of postgraduate speciality training programmes in Endodontology. Minimum criteria for training Specialists in Endodontology within Europe. *Int Endod J.* 2010;43:725-37.
10. Nassri MRG, Carlik J, da Silva CRN, Okagawa RE, Lin S. Critical analysis of artificial teeth for endodontic teaching. *J Appl Oral Sci.* 2008;16:43-9.
11. Dummer PM, Alodeh MH, al-Omari MA. A method for the construction of simulated root canals in clear resin blocks. *Int Endod J.* 1991;24:63-6.
12. Güth JF, Ponn A, Mast G, Gernet W, Edelhoff D. Description and evaluation of a new approach on pre-clinical implant dentistry education based on an innovative simulation model. *Eur J Dent Educ Off J Assoc Dent Educ Eur.* nov 2010;14:221-6.
13. Lambrecht JTH, Berndt D, Christensen AM, Zehnder M. Haptic model fabrication for undergraduate and postgraduate teaching. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2010;39:1226-9.
14. Anderson J, Wealleans J, Ray J. Endodontic applications of 3D printing. *Int Endod J.* 2018;51:1005-18.
15. Hanafi A, Donnermeyer D, Schäfer E, Bürklein S. Perception of a modular 3D print model in undergraduate endodontic education. *Int Endod J.* 2020;53:1007-16.
16. Kustra P, Dobroś K, Zarzecka J. Making use of three-dimensional models of teeth, manufactured by stereolithographic technology, in practical teaching of endodontics. *Eur J Dent Educ.* 2021;25:299-304.
17. Reymus M, Fotiadou C, Kessler A, Heck K, Hickel R, Diegritz C. 3D printed replicas for endodontic education. *Int Endod J.* 2019;52:123-30.

18. Al-Sudani DI, Basudan SO. Students' perceptions of pre-clinical endodontic training with artificial teeth compared to extracted human teeth. *Eur J Dent Educ Off J Assoc Dent Educ Eur.* 2017;21:72-5.
19. Marty M, Broutin A, Vergnes J-N, Vaysse F. Comparison of student's perceptions between 3D printed models versus series models in paediatric dentistry hands-on session. *Eur J Dent Educ Off J Assoc Dent Educ Eur.* 2019;23:68-72.
20. Höhne C, Dickhaut N, Schmitter M. Introduction of a new teaching concept for dentin post preparation with 3D printed teeth. *Eur J Dent Educ Off J Assoc Dent Educ Eur.* 2020;24:499-506.
21. Wolgin M, Wiedemann P, Frank W, Wrbas K-T, Kielbassa AM. Development and evaluation of an endodontic simulation model for dental students. *J Dent Educ.* 2015;79:1363-72.
22. Kröger E, Dekiff M, Dirksen D. 3D printed simulation models based on real patient situations for hands-on practice. *Eur J Dent Educ Off J Assoc Dent Educ Eur.* 2017;21:119-25.
23. Garcia J, Yang Z, Mongrain R, Leask RL, Lachapelle K. 3D printing materials and their use in medical education: a review of current technology and trends for the future. *BMJ Simul Technol Enhanc Learn.* 2018;4:27-40.
24. Sousa-Neto MD de, Silva-Sousa YC, Mazzi-Chaves JF, Carvalho KKT, Barbosa AFS, Versiani MA, et al. Root canal preparation using micro-computed tomography analysis: a literature review. *Braz Oral Res.* 2018;32:DOI:10.1590/1807-3107bor-2018.vol32.0066.
25. Walker JL, Santoro M. Processing and production of bioresorbable polymer scaffolds for tissue engineering. In: Perale G, Hilborn J, éditeurs. *Bioresorbable Polymers for Biomedical Applications.* Woodhead Publishing; 2017.p.181-203.
26. Dong M, Chen G, Li J, Qin K, Ding X, Peng C, et al. Three-dimensional brain arteriovenous malformation models for clinical use and resident training. *Medicine (Baltimore).* 2018;97:DOI:10.1097/MD.00000000000009516.
27. Endodontic Access & Canal Location Clinical Newsletter - AAE. American Association of Endodontists.
28. Robberecht L, Chai F, Dehurtevent M, Marchandise P, Bécavin T, Hornez J-C, et al. A novel anatomical ceramic root canal simulator for endodontic training. *Eur J Dent Educ Off J Assoc Dent Educ Eur.* 2017;21:1-6.
29. Perrin P, Neuhaus KW, Lussi A. The impact of loupes and microscopes on vision in endodontics. *Int Endod J.* 2014;47:425-9.
30. Langlois J, Bellemare C, Toulouse J, Wells GA. Spatial abilities training in the field of technical skills in health care: A systematic review. *Heliyon.* 2020;6:DOI:10.1016/j.heliyon.2020.e03280.

Table des illustrations

Figures

Figure 1: Conception et fabrication des modèles 3D avec perforation du 1/3 coronaire radiculaire (A, C, E) et du plancher (B, D, F) : dents naturelles (A, B), modèles virtuels (C, D) et modèles 3D (E, F). Courtoisie du Dr. Margot Audineau. ...	15
Figure 2: Préparation d'un plateau avec les modèles virtuels avant impression sur le logiciel Preform (FormLabs).	16
Figure 3: Fabrication des modèles 3D par stéréolithographie : mise en forme (Form 2, FormLabs) (A), rinçage (FormWash, FormLabs) (B) et post-polymérisation (FormCure, FormLabs) (C).	16
Figure 4 : Modèles 3D perforés montés sur une tête fantôme.....	16
Figure 5: Box-plot de la perception des modèles 3D perforés par les étudiants en chirurgie dentaire (score 0 – 4 : pas du tout d'accord – tout à fait d'accord). Barre : médiane ; boîte : Q1 et Q3 ; + : moyenne. La même lettre signifie une différence statistiquement significative ($p < 0,05$).	22
Figure 6: Box-plot de la difficulté liée à l'utilisation de modèles 3D perforés en travaux pratiques par des étudiants en chirurgie dentaire (score 0 – 4 : très facile – très difficile). Barre : médiane ; boîte : Q1 et Q3 ; + : moyenne. La même lettre signifie une différence statistiquement significative ($p < 0,05$).	24
Figure 7: modèles 3D avec les perforations iatrogènes réparées et les radiographies associées : au 1/3 coronaire radiculaire (A, C) et au plancher (B, D).....	25

Tableaux

Tableau 1: Questionnaire d'évaluation de la perception des modèles 3D perforés et de la difficulté liée à leur utilisation en travaux pratiques par des étudiants en chirurgie dentaire.....	18
Tableau 2: Perception des modèles 3D perforés par les étudiants en chirurgie dentaire	21
Tableau 3: Difficulté liée à l'utilisation des modèles 3D perforés en travaux pratiques par des étudiants en chirurgie dentaire	23

Evaluation de deux modèles 3D pour l'apprentissage de la réparation des perforations iatrogènes par des étudiants de niveaux d'expérience différents / **DUTHILLEUL Justine** – p. (33) : ill. (10) ; réf. (30).

Domaines : Dentisterie restauratrice et endodontie

Mots clés libres : Endodontie ; Pédagogie ; Simulateurs ; Impression 3D ; Perforation iatrogène ; Silicates

Résumé de la thèse :

Actuellement, aucun modèle pour l'apprentissage pratique de la réparation des perforations iatrogènes n'a été décrit dans la littérature.

L'objectif de cette étude est de développer et d'évaluer deux modèles imprimés en 3D (perforation du plancher et radiculaire) pour l'apprentissage pratique pré-clinique de la réparation des perforations iatrogènes par des étudiants.

Deux dents humaines (36 et 46) ont été sélectionnées puis perforées (au 1/3 coronaire radiculaire et au plancher) pour être scannées par un microtomographe, modélisées et imprimées par stéréolithographie. Les perforations ont été réparées par des étudiants en 4^{ème} et en 6^{ème} année qui ont ensuite complété un questionnaire relatif à leur utilisation.

Les modèles 3D produits étaient réalistes et utilisables dans le cadre d'une séance de travaux pratiques. Le niveau de difficulté de la réparation de la perforation doit être adapté au niveau de formation de l'étudiant. La réparation de la perforation radiculaire devrait être proposée en fin de cursus ou en formation continue.

JURY :

Président : Monsieur le Professeur Thomas COLARD

Assesseurs : Monsieur le Docteur Alain GAMBIEZ

Monsieur le Docteur Lieven ROBBERECHT

Monsieur le Docteur Henri PERSON