UNIVERSITE DE STRASBOURG

FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année 2022 N° 82

THESE

Présentée pour le Diplôme d'État de Docteur en Chirurgie Dentaire
le 15/12/2022

par

Philippine SIMONIS
Née le 15/12/1996 à LYON

NOUVEAUX DISPOSITIFS DE RESTAURATION POST-ENDODONTIQUE : LES TENONS FIBRÉS FASCICULÉS

Président : Professeur HAIKEL Youssef
Assesseurs : Docteur FIORETTI Florence
Docteur MANCINO Davide
Docteur REITZER François

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	Ingénieurie Chimique, Energétique - Génie des Procédés
Agnès BLOCH-ZUPAN	Sciences Biologiques
François CLAUSS	Odontologie Pédiatrique
Jean-Luc DAVIDEAU	Parodontologie
Youssef HAÏKEL	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 *Délégation (Juin 2024)*	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	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 *Disponibilité (Déc. 2022)*	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 HAIKEL Youssef,
Président de thèse,
Vous m'avez fait l'honneur d'accepter la présidence de cette thèse. Je vous remercie pour vos enseignements théoriques et cliniques, votre disponibilité ainsi que pour votre réactivité. Vos encouragements constructifs m'ont apporté la motivation nécessaire pour mener ce projet à bien. Veuillez trouver ici le témoignage de mon plus profond respect.

A Monsieur le Docteur MANCINO Davide,
Directeur de thèse,
Je vous remercie chaleureusement d'avoir accepté de diriger ce travail de thèse. La qualité de vos enseignements et vos connaissances ont été d'une grande richesse pour moi. Je suis honorée de votre confiance et de votre soutien lors de la rédaction de cette thèse, et du temps que vous y avez passé. Votre disponibilité, malgré vos engagements hospitalo-universitaires, a été pour moi un soutien incontestable. Veuillez accepter mon plus profond respect et ma reconnaissance.

A Madame le Docteur FIORETTI Florence,
Jury de thèse,
Je vous suis reconnaissante d'avoir accepté de prendre part à ce jury. J'ai toujours admiré votre humanité et votre bienveillance envers les étudiants et les patients ; ce sont des qualités dont j'espère faire preuve au cours de ma carrière. De ma scolarité je retiendrai le stage en gériatrie ainsi que mon enseignement complémentaire Handident qui m'ont énormément plu. Veuillez trouver dans ce travail l'expression de toute ma gratitude.

A Monsieur le Docteur REITZER François,

Jury de thèse,

Vous m'avez fait l'honneur d'accepter de prendre part au jury de cette thèse. Je vous remercie pour votre sympathie la rigueur de vos apprentissages et de votre pédagogie. Je mesure pleinement votre volonté de réussite des étudiants et le partage constant de votre expérience, dont vous nous avez notamment fait profiter lors des travaux pratiques sur les composites esthétiques antérieurs. Que ce travail soit le témoignage de ma sincère gratitude.

UNIVERSITE DE STRASBOURG

FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année 2022 N° 82

THESE

Présentée pour le Diplôme d'État de Docteur en Chirurgie Dentaire
le 15/12/2022

par

Philippine SIMONIS
Née le 15/12/1996 à LYON

NOUVEAUX DISPOSITIFS DE RESTAURATION POST-ENDODONTIQUES : LES TENONS FIBRÉS FASCICULÉS

Président : Pr HAIKEL Youssef
Assesseurs : Dr FIORETTI Florence
Dr MANCINO Davide
Dr REITZER François

Table des matières

1. INTRODUCTION 6

2. MATERIAUX ET METHODES 10

2.1. PREPARATION DES ECHANTILLONS 10

2.1.1. Obtention des échantillons 10

2.1.2. Traitements des échantillons 10

2.1.3. Sélection des échantillons 11

2.2. LES DIFFERENTS GROUPES EXPERIMENTAUX 12

2.2.1. Création des groupes 12

2.2.2. Classification des différents groupes 12

2.3. PREPARATION DES CAVITES D'ACCES 12

2.4. MISE EN FORME CANALAIRE 14

2.4.1. Le cathétérisme 14

2.4.2. Préparation canalaire 14

2.4.3. L'irrigation 15

2.4.4. L'obturation 16

2.5. PROCEDURES DE RESTAURATION 17

2.5.1. Comblement canalaire 17

2.5.1.1. Obturation complète à la gutta-percha 17

2.5.1.2. Restauration par les Single-Fiber-Reinforced-Composite (sFRC) (Bioligth, Tullins, France) 17

2.5.1.3. Restauration par micro-Fiber-Reinforced-Composite (mFRC) (Bioligth, Tullins, France)... 18

2.5.2. Restauration coronaire 19

2.5.2.1. Restauration au composite 19

2.6. ÉVALUATION DE LA CAPACITE DE REMPLISSAGE 20

2.7. MISE EN PLACE DES ECHANTILLONS DANS UN BLOC DE RESINE (FIG. 14) 21

2.8. FATIGUE THERMO-MECANIQUE 22

2.8.1. Fatigue thermique 22

2.8.2. Fatigue mécanique 22

2.9. DETERMINATION DE LA RESISTANCE A LA CHARGE 24

2.10. ÉVALUATION DES MODES DE FRACTURES 24

3. STATISTIQUES 25

4. RESULTATS 26

4.1. RESULTAT DE LA RESISTANCE A LA CHARGE 26

4.2. RESULTATS DE L'IMPACT DES RESTAURATIONS ET DES CAVITES SUR LE MODE DE FRACTURE 27

4.3. RESULTATS DE LA CAPACITE DE REMPLISSAGE. 32

5. DISCUSSION 33

6. CONCLUSION 44

ABREVATIONS FIGURES ET TABLEAUX :

TE : Traitement endodontique

RPE : Restauration post endodontique

DTE : Dent traitée endodontiquement

PM : Prémolaires

LOT : longueur opératoire de travail

sFRC : single-Fiber-Reinforced-Composite

mFRC : micro-Fiber-Reinforced-Composite

0 : Occlusale

MO : mésio-occlusales

MOD : Mésio-occlusales-distales

JAC : Jonction amélo-cémentaire

MTs : micro-tenon

Figure 1: PM en cours de débridement et de numérotation, avant la sélection 10
Figure 2 : PM conservées dans des eppendorphs à température ambiante avant la sélection 11
Figure 3 : Cavité MOD (a), cavité O (b), fraise diamantée pour inlays (c) 13
Figure 4 : Plateau technique nécessaire au cathétérisme 14
Figure 5 : Instruments rotatif utilisés pour la préparation canalaire 14
Figure 6 : Plateau technique nécessaire à l'obturation 16
Figure 7 : Système EQ-V 16
Figure 8 : Plateau technique nécessaire à la restauration des PM avec les sFRC (a), restauration sous microscope (b), PM restaurées avec des micro-tenons fasciculés (c), foret biolight 1.2 (d), contre angle avec un foret biolight 1.2 (e) 17
Figure 9 : Les différentes tailles de mFRC (a), la VersaBrush utilisée afin de nettoyer le canal (b), PM restaurée avec les mFRC (c) Indicateur de taille utilisé afin de sélectionner le mFRC (d) 18
Figure 10 : Polissage du composite à l'aide d'un contre-angle rouge (a), PM avant polissage (b), PM après polissage (c) 19
Figure 11 : Scanner utilisé pour mesurer le pourcentage de vide 20
Figure 12 : Image scanner d'une PM restaurée avec les micro-tenons 20
Figure 13 : Radiographies de PM restaurées : Gutta, sFRC, mFRC 20
Figure 14 : Étapes de la mise en résine des échantillons 21
Figure 15 : Machine de thermocyclage 22
Figure 16 : Machine d'essai dynamique 23
Figure 17 : Cube de résine disposé dans le dispositif métallique fabriqué par le laboratoire Icube ainsi que la tige en acier à 45° par rapport à la PM 23
Figure 18 : Microscope optique numérique 24
Figure 19 : PM133 - Fracture catastrophique, restauration composite 28
Figure 20 : PM138 - Fracture réparable, restauration composite 29
Figure 21 : PM44 - Fracture catastrophique, restauration sFRC 29
Figure 22 : PM156 - Fracture réparable, restauration sFRC 30
Figure 23 : PM55 - Fracture catastrophique, restauration mFRC 30
Figure 24 : PM99 - Fracture réparable, restauration mFRC 31
Figure 25 : PM4 - Fracture catastrophique, restauration sFRC 31
Figure 26 : PM119 - Fracture catastrophique, restauration composite 32
Figure 27 : Différentes tailles de mFRC 39

Tableau 1: Classification des différents groupes expérimentaux et témoin 12
Tableau 2 : Résultat en Newtons (N) de la force de rupture..... 26
Tableau 3 : Pourcentage des restaurations favorables ou défavorable en fonction du type de restaurations. 28
Tableau 4 : Résultats de la capacité de remplissage des différents tenons en pourcentage (vides / volume canalaire) 32

1. Introduction

Les étapes clés du traitement endodontique (TE) incluent la création de la cavité d'accès, la mise en forme canalaire, la détersion finale du réseaux endodontique, l'obturation canalaire (1)(2) et la réalisation d'une restauration post-endodontique (RPE) directe ou indirecte avec ou sans tenon intra-radiculaire.

La RPE se doit de respecter un cahier des charges précis, elle doit être étanche, afin de protéger l'obturation canalaire, fonctionnelle et esthétique. (3) La RPE, si elle n'est pas appropriée, peut, dans de nombreux cas, être responsable de l'échec du traitement endodontique pour des raisons biomécaniques. (4)(5) En effet, une dent traitée endodontiquement (DTE) est d'avantage sujette à la fracture qu'une dent vitale. Cette vulnérabilité est principalement due à une perte des tissus durs de la dent (6)(7) mais aussi au TE lui-même. (8)(9) Effectivement, la préparation de la cavité d'accès, la mise en forme canalaire, avec toutes les modifications biologiques que cela implique ainsi que l'utilisation d'irrigants et de médications intra-canalaires peuvent influencer la résistance et la ténacité de la dent et *in fine* être responsables de la fracture de la dent. (10)

La structure et la composition d'une dent vitale et saine s'adaptent parfaitement aux besoins fonctionnels de la bouche et sont de bien meilleure qualité que n'importe quel matériau artificiel, (9) c'est pourquoi il est important que les restaurations endodontiques et post-endodontiques soient conservatrices. À la lumière de ce qui est susmentionné, il est évident que le TE devrait être effectué de manière routinière sous aide optique avec une illumination du champ opératoire convenable afin de retirer le moins de tissu possible. Dans l'idéal, les tissus éliminés ou manquants devraient être remplacés par des matériaux de restauration qui miment au mieux les caractéristiques de la pulpe, de la dentine et de l'émail perdu (11), afin que les contraintes que subissent les matériaux durant la mastication se répartissent de manière physiologique au niveau de l'élément dentaire. (12) (13)

Il existe une multitude de techniques et de matériaux pour réaliser des RPE. Cependant, malgré le nombre impressionnant d'articles scientifiques, la littérature n'a pas encore été en mesure de fournir des indications claires, en fonction des différentes

situations cliniques, quant à la restauration post-endodontique la plus efficace. De plus, les résultats des différentes études sont parfois diamétralement opposés. La réalisation des RPE représente un véritable défi pour le clinicien, surtout lorsque la dent est structurellement compromise. Par ailleurs, aujourd'hui, avec la crise économique que nous connaissons, le clinicien doit souvent proposer une solution de compromis qui puisse être économiquement viable pour le patient.

Souvent, les dents extrêmement compromises, et notamment les prémolaires (PM) supérieures, sont restaurées à l'aide d'un tenon intra-canalaire. (4)(5) Durant de nombreuses années, différents types de tenons intra-canalaires ont été proposés afin de restaurer les DTE de manière à réduire au mieux le taux d'échec des restaurations. Leur utilisation augmente la rétention des restaurations coronaires ainsi que la résistance à la fracture des tissus dentaires résiduels.(14) Différents matériaux sont proposés pour ces tenons intra-canalaires. Cependant ayant des caractéristiques mécaniques proches de la dentine, l'utilisation de tenons en fibre est suggérée (14) depuis maintenant plus de 30 ans. (15) Ces tenons en fibre réduisent l'incidence des fractures non réparables des DTE. (8)(11)

Cliniquement, la réalisation d'un logement intra-canalaire est nécessaire avant la pose d'un tenon intra-canalaire. Il est manifeste que cette étape amincit les parois radiculaires. Il est donc recommandé de placer ces tenons dans le canal en sacrifiant le moins de dentine radiculaire possible afin de préserver les tissus dentaires résiduels. (16)(17) Effectivement, enlever trop de tissu dentinaire lors de la préparation du logement du tenon favorise le risque de fracture. (18)(19)

Idéalement, la préparation du logement du tenon devrait simplement être effectuée en nettoyant les parois de la boue dentinaire, sans sacrifier plus de dentine après la mise en forme canalaire et l'obturation apicale, toutefois, cela n'est pas possible si l'on considère que le tenon a une forme cylindro-conique avec un certain diamètre et une certaine conicité et qu'il doit être placé à 5 mm de la longueur de travail (LOT). Il convient donc d'utiliser des tenons ayant le plus petit diamètre possible et un bon ajustement apical, afin d'avoir un protocole de mise en forme intra-canalaire peu invasif. (20)

Cependant, la littérature encore une fois n'est pas unanime sur ce sujet. Selon une étude, l'insertion d'un tenon en fibre sur des incisives maxillaires entraînerait une diminution de la résistance à la fracture et une augmentation des fractures

irréparables, (18) alors que selon une autre étude assez récente, les PM maxillaires restaurées avec un mono-tenon fibré présentent une résistance à la fracture significativement plus élevée que les restaurations directes sans aucune rétention intra-radiculaire. Cela s'observe indépendamment du nombre de parois résiduelles puisque c'est aussi le cas pour les PM dépulpées avec 4 parois résiduelles ayant simplement une cavité occlusale. (20)

Dans un essai clinique randomisé, Ferrari *et al* ont conclu que l'utilisation d'un tenon fibré est un facteur significatif pour la survie de la dent et le succès de la restauration des PM traitées endodontiquement quelle que soit leur perte de tissu dentaire coronaire. (21)
De même, Guldener *et al*, dans une étude rétrospective sur une période de suivi de 8,8 ans, ont démontré que les dents restaurées avec un tenon fibré présentaient des taux de réussite statistiquement plus élevés que les dents restaurées sans tenon. Et cela, qu'elles aient été restaurées avec ou sans couronne.(22)

Par ailleurs, une étude récente montre que l'utilisation de tenons fibrés multiples dans des canaux ovales, à la place d'un seul, permet un meilleur renforcement et une meilleure répartition des contraintes au niveau des tissus dentaires.(20) (23)
Le volume de ces tenons, en général de plus faible diamètre, leur permet de s'adapter à l'anatomie du canal sans avoir à préparer de façon délabrante le logement intracanalaire dans le but d'adapter un tenon, qui lui est circulaire, à un canal à la base ovalaire (24)(15).
De nouveaux tenons en fibre, appelés micro tenons fasciculés (mFRC), ont été lancés sur le marché. Ils peuvent être utilisés sans préparation préalable de l'espace intracanalaire et, selon le fabricant (Bio composants médicaux), sont parfaitement adaptés à n'importe quelle anatomie canalaire.
Les objectifs de cette étude *ex vivo* sont d'étudier la résistance à la fracture, le type de fracture et la capacité de remplissage de nouveaux mFRC.

Pour ce faire, nous avons comparé des prémolaires maxillaires présentant différentes configurations cavitaires (cavités : occlusales (O), mésio-occlusales (MO), mésio-occlusales-distales (MOD) dont certaines ont été restaurées avec des mFRC, d'autres avec un tenon en fibre conventionnel (sFRC) et d'autres encore avec du composite

sans tenon. La résistance à la fracture a été évaluée par une méthode de test de rupture, la détermination du type de fracture a été faite en utilisant une méthode visuelle et la détermination de la capacité de remplissage a été évaluée à l'aide d'un µ-CT.

La première hypothèse nulle est que la résistance à la fracture ne varie pas en fonction du type de restauration post-endodontique.
La deuxième hypothèse nulle est que la résistance à la fracture ne varie pas en fonction de la configuration de la cavité.
La troisième hypothèse nulle est que le type de fracture ne varie pas en fonction de la configuration de la cavité.
La quatrième hypothèse nulle est que le type de fracture ne varie pas en fonction du type de restauration post-endodontique.
La cinquième hypothèse nulle est que la capacité de remplissage du logement intra-canalaire ne varie pas en fonction du type de restauration post-endodontique.

La raison pour laquelle nous avons décidé de faire cette étude avec des PM maxillaires est que ce sont les dents les plus susceptibles de se fracturer.(25)

2. Matériaux et méthodes

2.1. Préparation des échantillons

2.1.1. Obtention des échantillons

200 PM maxillaires permanentes avec une longueur comprise entre 21 et 23 mm ont été avulsées pour des raisons orthodontiques ou parodontales avec le consentement éclairé du patient. Les PM sélectionnées avaient un canal unique avec l'apex entièrement fermé. Ce protocole a été approuvé par le comité d'éthique de la faculté de médecine, d'odontologie et des hôpitaux universitaires de Strasbourg (protocole n°2019-05).

2.1.2. Traitements des échantillons

Immédiatement après leur extraction, les PM ont été immergées dans un tube en verre contenant 5,25% de NaOCL pendant 5 minutes, elles ont ensuite été débridées, numérotées (**Fig. 1**) et conservées à température ambiante dans des « eppendorphs » (**Fig. 2**) contenant du sérum physiologique, une solution saline à 0,9%. Ces dents ont été utilisées au plus tard 8 semaines après leur avulsion.

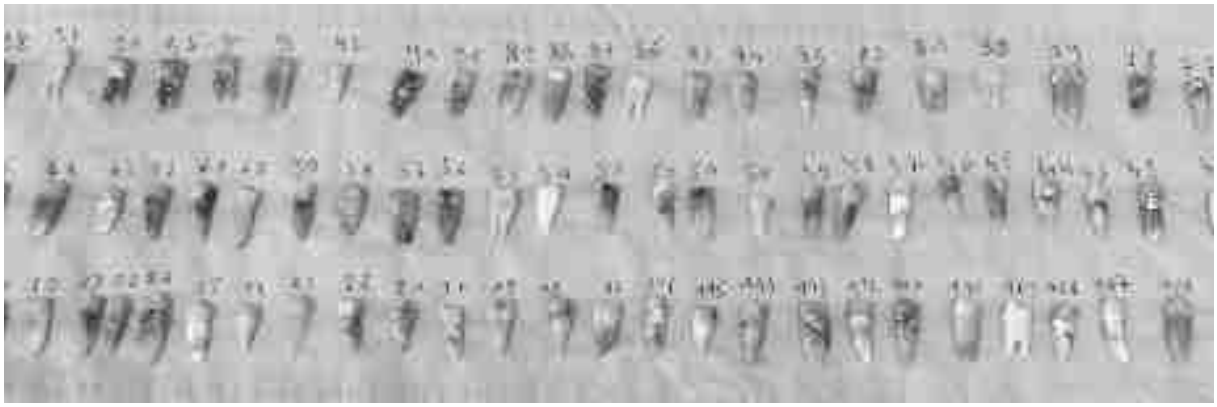

Figure 1: PM en cours de débridement et de numérotation, avant la sélection

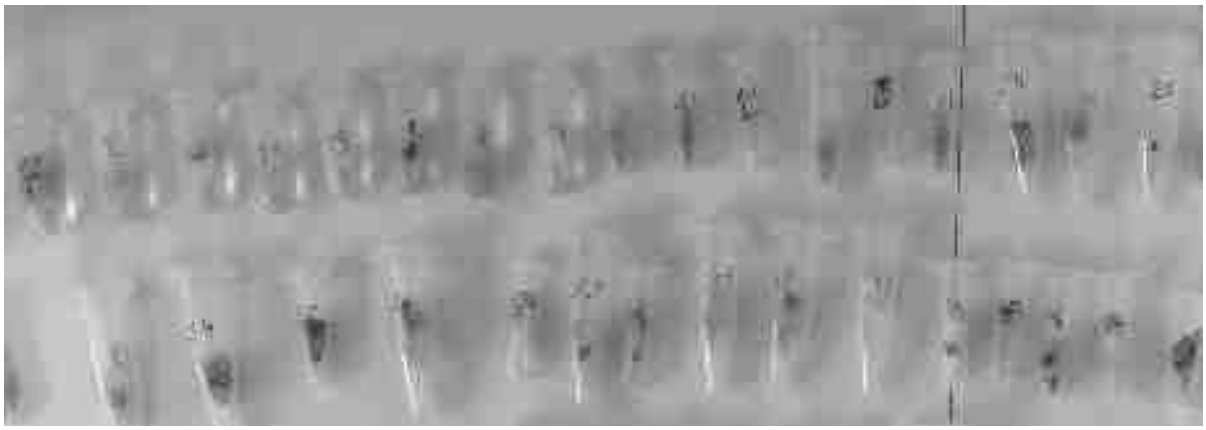

Figure 2 : PM conservées dans des eppendorphs à température ambiante avant la sélection

2.1.3. Sélection des échantillons

Après une analyse radiographique de chaque dent, 100 PM monoradiculées ont été retenues et scannées par tomographie à faisceau conique (Newtom VGI ; QR srl, Vérone, Italie ; champ de vision = 80 X 120 mm ; taille du voxel 5 150 X150 X 150 µm3).

Elles ont été sélectionnées selon les critères morphologiques suivants :
- Canal unique
- Longueur de la dent : 22 mm ± 1 mm
- Largeur mésio-distale de la couronne : 6,5 mm ± 0,4 mm
- Largeur vestibulo-lingual de la couronne : 9,0 mm ± 0,4 mm
- Rayon de courbure principal ≥ 8 mm

Les critères d'exclusions étaient :
- Calcification intracanalaire
- Résorption interne
- Pluricanalaire

2.2. Les différents groupes expérimentaux

2.2.1. Création des groupes

La taille des groupes a été calculée à l'aide de Minitab (logiciel Minitab® 20 L.L.C., Pennsylvanie, États-Unis).
10 groupes, de 10 dents ont été formés incluant le groupe témoin ($G_{contrôle}$) « dent intacte ».

2.2.2. Classification des différents groupes

Les PM ont été réparties aléatoirement dans 1 groupe témoin et 3 groupes expérimentaux en fonction de leur type de restauration post-endodontique.
Ces groupes expérimentaux ont été à leurs tour divisés en sous-groupes selon la configuration de leurs cavités : O, MO et MOD.
Le groupe témoin a été constitué en sélectionnant aléatoirement 10 PM intactes.

Groupe		Cavité occlusale	Cavité Mésiocclusale	Cavité Mésiocclusodistale
Dent intacte	$G_{contrôle}$			
Traitement canalaire	G_1	G_{1O}	G_{1MO}	G_{1MOD}
sFRC	G_2	G_{2O}	G_{2MO}	G_{2MOD}
mFRC	G_3	G_{3O}	G_{3MO}	G_{3MOD}

Tableau 1: Classification des différents groupes expérimentaux et témoin

2.3. Préparation des cavités d'accès

Les PM ont été préparées et restaurées sous microscope opératoire par un seul opérateur préalablement formé afin d'éviter les variables inter-opérateurs.
La préparation des cavités d'accès a été réalisée avec une fraise cylindrique à grande vitesse 0,14 (Komet, Lemgo, Allemagne) refroidie par un spray air-eau. La cavité

d'accès endodontique a été réalisée de manière à reproduire la morphologie du toit de la chambre pulpaire.

Pour les groupes présentant des cavités occlusales, G_{1O}, G_{2O} et G_{3O} (**Fig. 3-b**), aucune préparation additionnelle n'a été effectuée à la cavité d'accès endodontique préexistante.

Pour les PM des groupes : G_{1MO}, G_{2MO}, G_{3MO} après la préparation de la cavité d'accès la crête marginale mésiale a été éliminée, à l'aide d'une fraise diamantée pour inlay (Komet, Schaumburg, IL, USA) montée sur contre-angle rouge sous irrigation constante (**Fig. 3-c**) créant ainsi une cavité MO.

Figure 3 : Cavité MOD (a), cavité O (b), fraise diamantée pour inlays (c)

Les box mésiaux préparés sous microscope opératoire répondaient aux critères suivants :

- Plancher du box à 1,5 mm de la JAC
- Longueur mésiale distale de 3 mm
- Épaisseur des cuspides vestibulaire et palatine de 2,5 ± 0,2 mm

Pour les PM des groupes : G_{1MOD}, G_{2MOD}, G_{3MOD}, les crêtes mésiales et distales ont été retirées, créant ainsi une cavité MOD (**Fig. 3-a**).

Les box mésiaux et distaux préparés sous microscope opératoire répondaient aux critères suivants :

- Plancher du box à 1,5 mm de la JAC
- Box mésiaux et distaux reliés entre eux avec au centre l'orifice du canal pulpaire
- Épaisseur des cuspides vestibulaire et palatine de 2,5 ± 0,2 mm

2.4. Mise en forme canalaire

2.4.1. Le cathétérisme

Figure 4 : Plateau technique nécessaire au cathétérisme

L'exploration canalaire a été réalisée grâce à une lime K 10. La longueur opératoire de travail (LOT) a été déterminée sous microscope optique (Zumax Medical Co., Ltd., Suzhou, Jiangsu, Chine). Afin de conserver le foramen apical dans sa position initiale et avec un diamètre le plus petit possible, on soustrait 1 mm à la longueur mesurée sur la lime lorsque la pointe de celle-ci est visible au niveau du foramen.

2.4.2. Préparation canalaire

La préparation canalaire a été réalisée avec des instruments rotatifs en nickel-titane : Plex V (Orodeka, Shandon, Chine) (**Fig. 5**).

Figure 5 : Instruments rotatif utilisés pour la préparation canalaire

Les canaux radiculaires ont d'abord été sécurisés avec un « glider » 15/03 à l'aide d'un moteur endodontique dont le paramétrage était de 1,5 N.cm et 300 rpm. Par la suite, la mise en forme a été réalisée avec une technique « step-down » jusqu'à la LOT en utilisant dans l'ordre les instruments 20/04, 25/04, 30/04 avec un paramétrage du moteur endodontique de 2,5 N.cm et 500 rpm.
Si nécessaire, lorsque l'accès au tiers apical était difficile on utilisait l'« opener » avec un moteur endodontique paramétré à 2,5 N.cm et 500 rpm.

2.4.3. L'irrigation

Entre chaque passage d'instruments mécanisés, le canal a été irrigué par 3ml d'hypochlorite de sodium à 5,25% grâce à des aiguilles Navitip de calibre 31 (Ultradent Products, South Jordan, UT, USA) afin d'assurer la perméabilité apicale.
Une fois la mise en forme terminée, l'irrigation finale a été effectuée :
- Solution saline à 0,9%
- EDTA à 17%
- Solution saline à 0,9%
- NaOCL 5,25%
- Solution saline à 0,9%

Après le dernier passage, les canaux ont été séchés avec des pointes de papier absorbant.

2.4.4. L'obturation

Figure 6 : Plateau technique nécessaire à l'obturation

L'obturation a été effectuée par la technique de compaction verticale à chaud de la gutta-percha en utilisant L'EQ-V (**Fig. 7**) (Meta Systems, Korea) et des pointes de gutta-percha 30/04 (Roeka, Langenau, Allemagne) couplées au ciment de scellement (Sealapex, Kerr Endodontics, USA), sans effectuer la phase de remontée sauf pour les groupes où aucun tenon intracanalaire n'a été utilisé. Un maître cône était choisi pour atteindre et bloquer à LOT -1mm, il devait répondre positivement au contrôle visuel, tactile et radiographique.

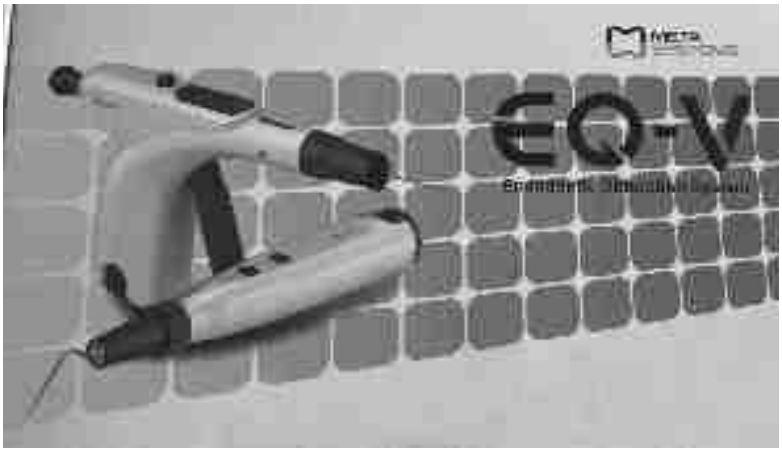

Figure 7 : Système EQ-V

2.5. Procédures de restauration

2.5.1. Comblement canalaire

2.5.1.1. Obturation complète à la gutta-percha

Pour les groupes où une reconstitution corono-radiculaire n'était pas prévue, la phase de remontée de la gutta-percha a été effectuée à l'aide du « gun » du système EQ-V.

2.5.1.2. Restauration par les Single-Fiber-Reinforced-Composite (sFRC) (Bioligth, Tullins, France)

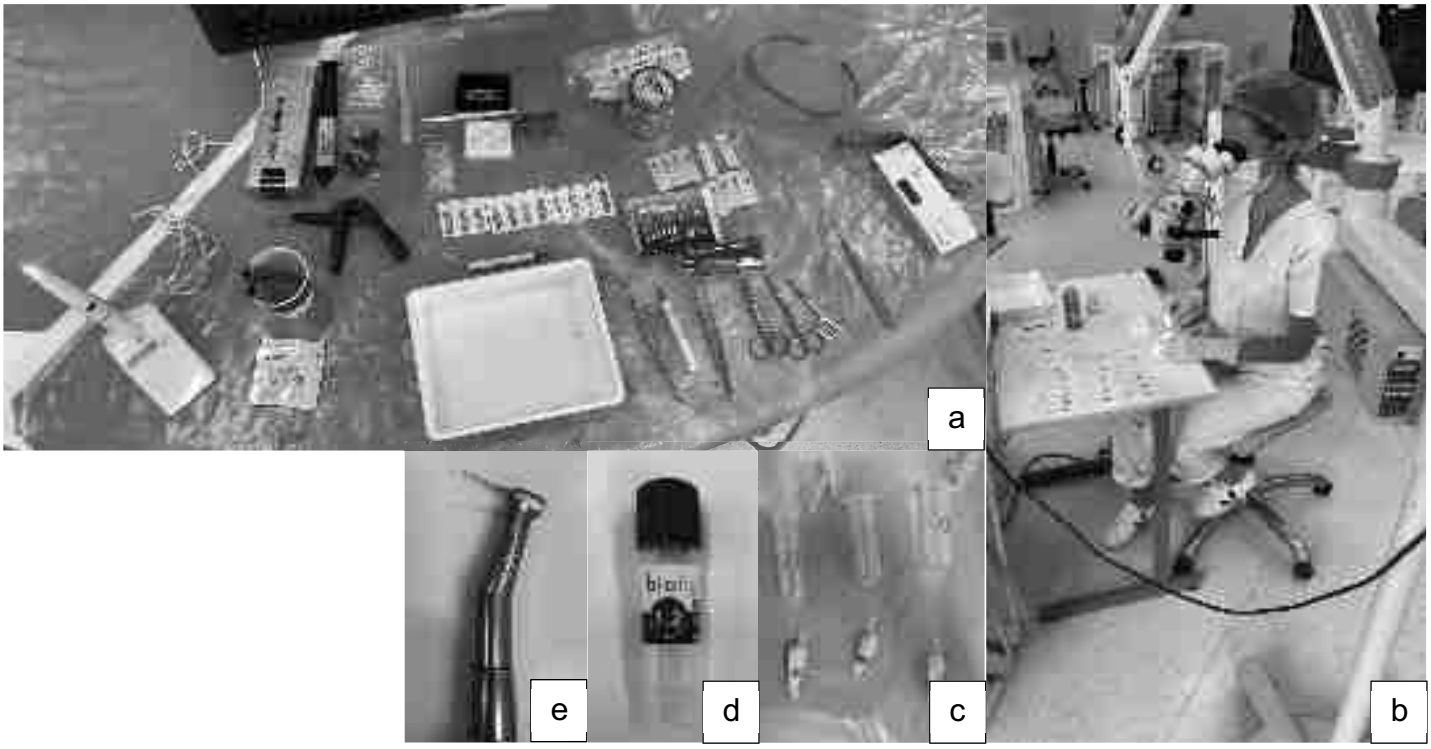

Figure 8 : Plateau technique nécessaire à la restauration des PM avec les sFRC (a), restauration sous microscope (b), PM restaurées avec des micro-tenons fasciculés (c), foret biolight 1.2 (d), contre angle avec un foret biolight 1.2 (e)

Les logements des tenons des 30 PM restaurées par les sFRC ont été préparés à l'aide d'un foret #1.2 (biolight, Tullins, France) (**Fig. 8-d ; Fig. 8-e**) à partir de la LOT -5mm jusqu'à la jonction amélo-cémentaire (JAC). Par la suite, une solution d'EDTA liquide à 17% a été utilisée suivie par un rinçage au sérum physiologique afin d'éliminer la boue dentinaire générée par le foret.

Les canaux ainsi que les cavités coronaires ont été mordancés avec de l'acide phosphorique liquide à 37% durant 60 secondes dans les canaux, 30 secondes sur l'émail et 15 secondes sur la dentine coronaire. Ensuite, ils ont été rincés avec du sérum physiologique.

Pour le collage, un système d'adhésif universel auto-photo et un ciment également auto-photo (Clearfil core build-up kit, Kuraray Europe GMBH) a été utilisé.

Le ciment-résine a été introduit dans les canaux sous microscope optique (**Fig. 8-b**), puis les mono-tenons ont été mis en place. Après le retrait de l'excès de résine, une polymérisation a été effectuée pendant 20 secondes grâce à un système de polymérisation à LED (Luxite Lampe LED, ITENA Clinical, Paris, France).

2.5.1.3. Restauration par micro-Fiber-Reinforced-Composite (mFRC) (Bioligth, Tullins, France).

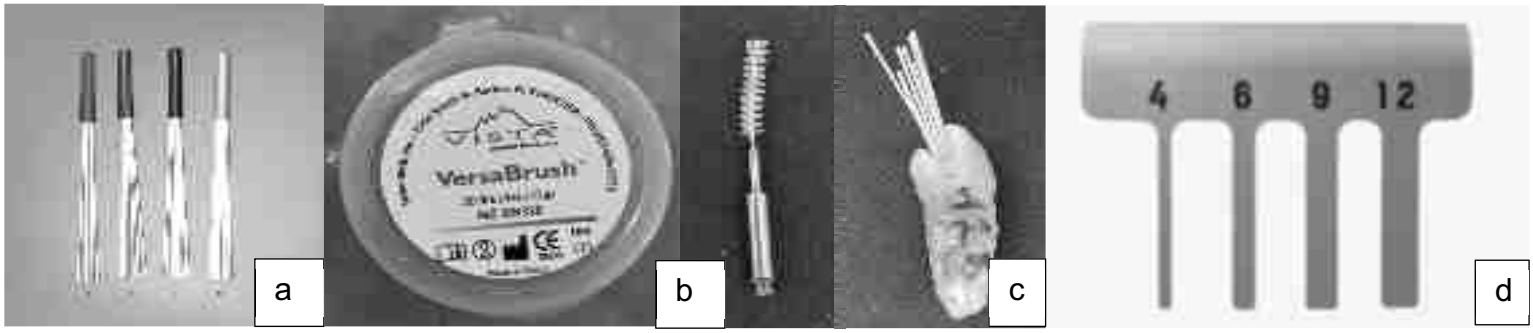

Figure 9 : Les différentes tailles de mFRC (a), la VersaBrush utilisée afin de nettoyer le canal (b), PM restaurée avec les mFRC (c) Indicateur de taille utilisé afin de sélectionner le mFRC (d)

Les 30 PM restaurées par mFRC ne nécessitaient aucune préparation avant la mise en place des micro-tenons. Cependant, la partie du canal coronaire aux 5 mm obturés par de la gutta a été nettoyée et rincée grâce à VersaBrush (**Fig. 9-b**) utilisée à 500 tr/min avec de l'eau.

Les canaux ainsi que les cavités coronaires ont été mordancés avec de l'acide phosphorique liquide à 37%, durant 60 secondes dans les canaux, 30 secondes sur l'émail et 15 secondes sur la dentine coronaire. Ils ont ensuite été rincés avec du sérum physiologique.

Pour le collage un système d'adhésif universel et un ciment (Clearfil core build-up kit, Kuraray Europe GMBH) auto-photo polymérisable a été utilisé.

Le mFRC est choisi grâce à un indicateur de taille (**Fig 9-d**). Après mise en place, sous microscope optique, de la colle dans le canal, les micro-tenons ont été insérés manuellement. Ils ont ensuite été coupés à l'aide de ciseaux et répartis dans les différentes directions (**Fig. 9-c**) grâce à une précelle. Les excès ont ensuite été éliminés et une polymérisation a été effectuée durant 20 secondes. Lien protocole video (26)

2.5.2. Restauration coronaire

2.5.2.1. Restauration au composite

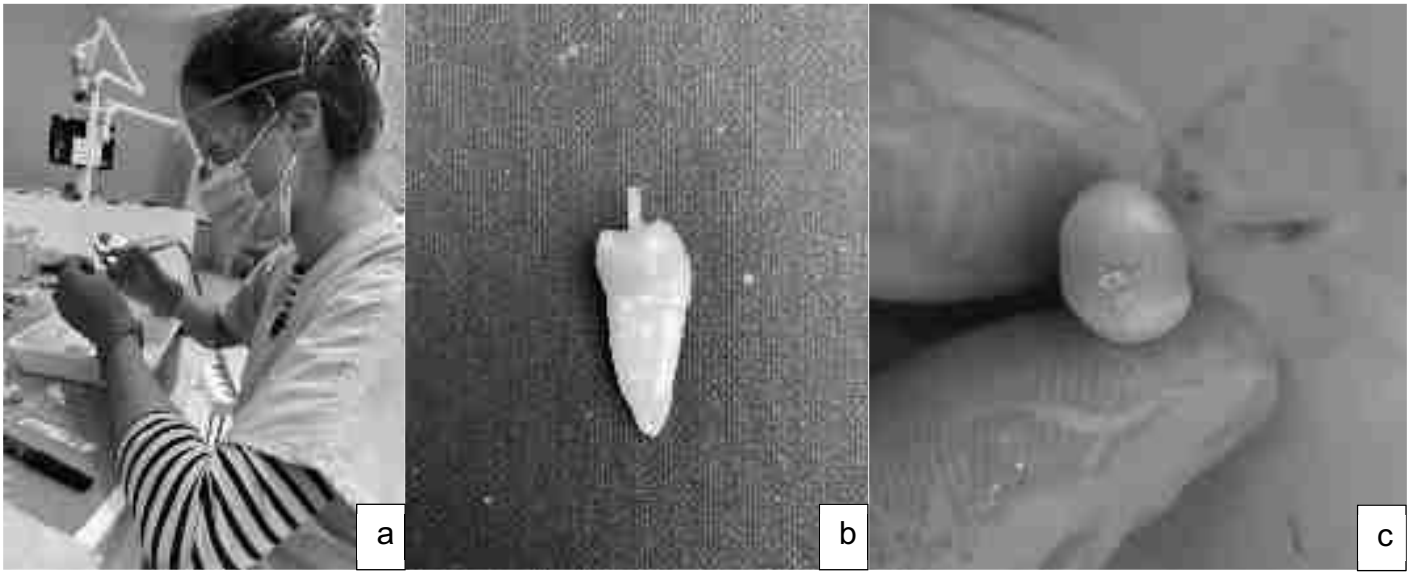

Figure 10 : Polissage du composite à l'aide d'un contre-angle rouge (a), PM avant polissage (b), PM après polissage (c)

Après les PM obturées ont reçu une restauration directe en composite par le même opérateur.

Un adhésif (Prime&Bond XP, Dentsply DeTrey) a été appliqué pendant 20 secondes avec un microbrush sur toutes les surfaces de la cavité puis séché à l'air pendant 5 secondes et polymérisé pendant 40 secondes. La cavité a ensuite été remplie par apports successifs avec du composite (Ceramix, Dentsply DeTrey), lui-même polymérisé pendant 40 secondes. Les PM ont ensuite subi une procédure de polissage (**Fig. 10-a**). Enfin, une radio de contrôle a été effectuée.

2.6. Évaluation de la capacité de remplissage

Sept dents de chaque groupe ont été analysées à l'aide d'un µ-CT (**Fig. 12**) (IRIS PET CT, Inviscan, Strasbourg, France) afin d'évaluer les pourcentages de vide dans la zone restaurée. Le logiciel Slicer a été utilisé pour calculer les pourcentages de vide.

Figure 13 : Radiographies de PM restaurées : Gutta, sFRC, mFRC

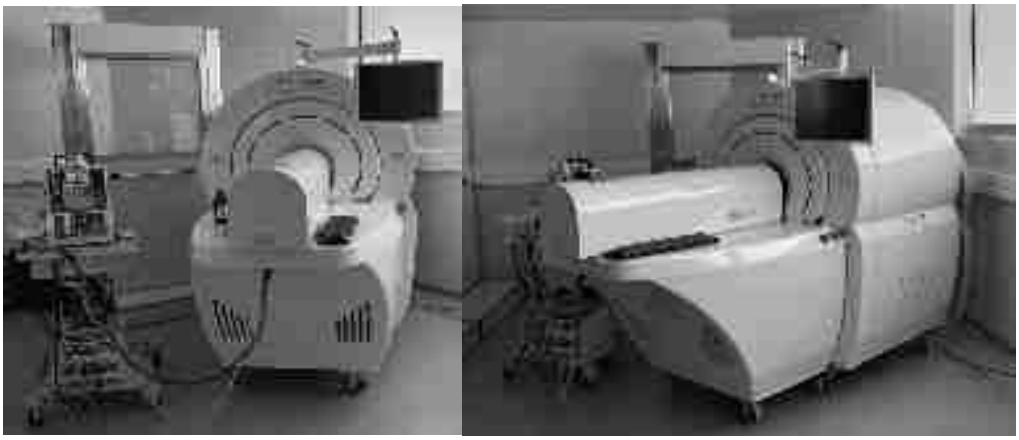

Figure 11 : Scanner utilisé pour mesurer le pourcentage de vide

Figure 12 : Image scanner d'une PM restaurée avec les micro-tenons

2.7. Mise en place des échantillons dans un bloc de résine (Fig. 14).

Les racines des PM ont été recouvertes de l'apex jusqu'à 2 mm sous la JAC, d'une couche de cire de 0,3 mm afin de simuler un ligament. La dent était fixée au centre d'un moule cubique (25x25x25mm) grâce à une bande de cire. Une résine acrylique autopolymérisable était alors versée, pour simuler l'os alvéolaire (OrthocrylEQ ; Dentaurum, Ispringen, Allemagne) jusqu'à 2 mm sous la JAC. Lorsque les premiers signes de polymérisation apparaissaient, la PM était retirée de la résine. La couche de cire sur la racine était enlevée grâce à de l'eau chaude et l'on plaçait dans le logement créé par la racine et la cire un silicone d'empreinte (Aquasil Ultra XLV, Dentsply ; Heraus Kulzer, Hanau, Allemagne).
La dent sans la cire était ensuite replacée dans le bloc de résine. Une fois durcie, on pouvait retirer le bloc du moule et les échantillons étaient placés dans de l'eau distillée. Le silicone ligth simulait le ligament parodontal.

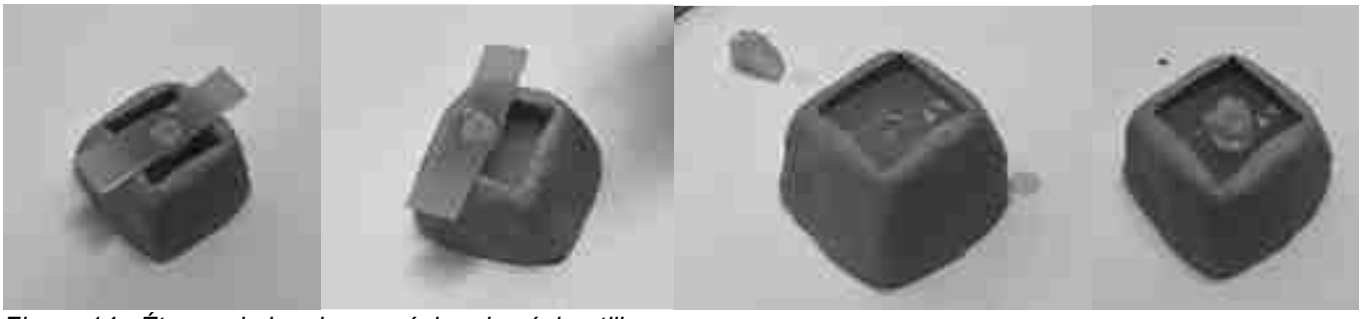

Figure 14 : Étapes de la mise en résine des échantillons

2.8. Fatigue thermo-mécanique

2.8.1. Fatigue thermique

Les échantillons ont subi un vieillissement thermique à l'aide d'une machine de thermocyclage (**Fig. 15**) afin de simuler les variations des températures que subissent les dents en bouche pendant 5 ans.
Cette machine était programmée pour effectuer 10.000 cycles thermiques pendant 2 semaines. Les températures des deux récipients, remplis d'eau, recevant les échantillons tour à tour étaient de 5°C pour l'un et 55°C pour l'autre. Le passage d'un récipient à l'autre prenait 7 secondes et chaque dent était immergée 30 secondes.

Figure 15 : Machine de thermocyclage

2.8.2. Fatigue mécanique

Après avoir simulé les chocs thermiques que subissent les dents dans la cavité buccale pendant 5 ans, il fallait simuler les forces masticatoires que subissent ces dents durant la même période. Pour cela, la fatigue mécanique a été réalisée dans une machine d'essai dynamique (**Fig. 16**) (Instron ; Electropuls 10.000, High Wycombe, UK).
Un dispositif métallique a été fabriqué par le laboratoire ICube (**Fig. 17**) (Strasbourg, France). L'échantillon entouré du bloc de résine est disposé dans ce dispositif de manière à ce que la dent, et plus précisément le milieu du sillon mésio-distal, ait un

Figure 16 : Machine d'essai dynamique

angle de 45°avec la tige antagoniste (**Fig. 17**) en acier inoxydable d'un diamètre de 6mm.

Un effort oscillant entre 5N et 50N a été appliqué 20000 fois en suivant une sinusoïde de fréquence 2Hz et d'amplitude 22.5N. Le rapport Fmin/Fmax valait 0,1.

Pendant l'essai, la force a été enregistrée à l'aide d'une cellule de force dynamique (10kN) et a été traité grâce au logiciel Matrix (Instron, High Wycombe, UK).

Figure 17 : Cube de résine disposé dans le dispositif métallique fabriqué par le laboratoire Icube ainsi que la tige en acier à 45° par rapport à la PM

2.9. Détermination de la résistance à la charge

Lorsque les 20000 cycles sont effectués, l'échantillon était soumis à une force statique jusqu'à sa rupture grâce à la même machine **(Fig. 16).**
La tige en acier positionnée à 45° (**Fig. 17**) par rapport aux échantillons les a chargés jusqu'à la rupture avec une vitesse de traverse de 0,1 mm/min. Son point de contact était situé au milieu du sillon mésio-distal.
Grâce au capteur dynamique de la cellule de force, une diminution soudaine de plus de 30N a été considéré comme une indication de rupture. La force maximale jusqu'à ce point a été enregistrée comme la force de rupture en Newtons (N).

2.10. Évaluation des modes de fractures

Les échantillons fracturés ont ensuite été analysés à l'aide d'un microscope optique numérique (Keyence VHX5000, Osaka, Japon) (**Fig. 18**)pour déterminer les types de fracture, divisés en favorables, défavorables ou catastrophiques selon qu'ils franchissent ou non la jonction émail-cément.

Figure 18 : Microscope optique numérique

3. Statistiques

Dans cette étude, nous avons utilisé le logiciel SigmaPlot version 11.2 (Systat Software, Inc., San Jose, CA, USA) afin d'analyser les données. Le test de Shapiro-Wilk nous a permis de vérifier si nos données suivaient la loi normale. Celles-ci ne suivant pas cette loi normale, nous avons alors utilisé le test de Kruskal-Wallis (analyse unidirectionnelle de la variance sur les rangs) incluant de multiples procédures de comparaison (test de Tukey), afin de déterminer s'il existait des différences significatives dans la résistance à la fracture et le vide entre les différents groupes et sous-groupes. Le test Chi-square a été utilisé pour déterminer s'il existait des différences significatives entre les types de fracture en fonction des différents groupes et sous-groupes. Dans tous nos tests statistiques le risque alpha a été fixé à un niveau de signification de $\alpha = 0,05$.

4. Résultats

4.1. Résultat de la résistance à la charge

Groupe	Dent intacte	Cavité occlusale	Cavité Mésioocclusale	Cavité Mésioocclusodistale
Dent intacte	$G_{contrôle}$: 688 [±110]			
Traitement canalaire		G_{1O} : 506 [± 74]	G_{1MO} : 414 [± 96]	G_{1MOD} : 307 [± 106]
sFRC		G_{2O} : 507 [± 89]	G_{2MO} : 436 [± 135]	G_{2MOD} : 372 [± 138]
mFRC		G_{3O} : 724 [± 217]	G_{3MO} : 656 [± 118]	G_{3MOD} : 631 [± 103]

Tableau 2 : Résultat en Newtons (N) de la force de rupture

Moyenne et écart type de chaque sous-groupe, nous y retrouvons les résultats de la force de rupture à la charge collectés.

Indépendamment de la configuration de la cavité, le groupe G_1, restauré avec du composite, sans préparation intracanalaire du logement du tenon, et le groupe G_2, restauré avec un seul tenon en fibre conventionnel, présentent une résistance à la fracture (N) statistiquement inférieure à celle du $G_{contrôle}$ ($P<0,05$), tandis que le G_3, restauré avec le m-FRC, ne présente aucune différence statistiquement significative par rapport au $G_{contrôle}$ ($P>0,05$).

En ce qui concerne le type de restauration, lorsque les sous-groupes expérimentaux ont été comparés, aucune différence statistique n'a été mise en évidence respectivement entre G_{1O} et G_{2O}, G_{1MO} et G_{2MO}, G_{1MOD} et G_{2MOD} ($P>0,05$), alors que respectivement G_{3O}, G_{3MO}, G_{3MOD} présentent une résistance à la fracture (N) statistiquement plus élevée que G_{1O} et G_{2O}, G_{1MO} et G_{2MO}, G_{1MOD} et G_{2MOD} ($P<0,05$).

En ce qui concerne la configuration cavitaire, une analyse d'interaction entre les sous-groupes ayant le même type de restauration post-endodontique a été réalisée. Concernant le groupe G_1, son sous-groupe G_{1O} présentait une résistance à la fracture (N) statistiquement plus élevée que G_{1MOD} ($P<0,05$), ainsi que G_{1MO} présente une résistance à la fracture (N) statistiquement plus élevée que G_{1MOD} ($P<0,05$), alors qu'aucune différence n'a été montrée entre G_{1O} et G_{1MO}.

Concernant le groupe G_2, G_{2O} présentait une résistance à la fracture (N) statistiquement plus élevée que G_{2MOD} ($P<0,05$), alors qu'aucune différence n'a été montrée entre G_{2O} et G_{2MO} et entre G_{2MO} et G_{2MOD}.
Concernant le groupe G_3, aucune différence statistique a été montré entre G_{3O}, G_{3MO} et G_{3MOD} ($P>0,05$).

4.2. Résultats de l'impact des restaurations et des cavités sur le mode de fracture

Une fracture favorable/réparable est une fracture de la couronne située au-dessus de la JAC contrairement à une fracture non réparable qui elle, impacte la racine de la dent et est située en dessous. (27)(28)(29)
Les modes de fracture du groupe témoin $G_{contrôle}$, des groupes expérimentaux et des sous-groupes sont résumés dans le tableau 3.
La hiérarchie du mode de fracture favorable parmi les 3 groupes expérimentaux était le suivant : $G_3 > G_2 > G_1$. Néanmoins, aucune différence statistique entre les différents groupes n'a été observée.
En ce qui concerne la configuration de la cavité, la hiérarchie du mode de fracture favorable était le suivant : O > MO > MOD. Néanmoins, aucune différence statistique n'a été observée entre les différents groupes.
Si l'on considère la configuration de la cavité comme une variable fixe, La hiérarchie du mode de fracture favorable était :
- $G_{3O} > G_{2O} > G_{1O}$ pour la configuration de cavité O.
- $G_{3MO} > G_{2MO} > G_{1MO}$ pour la configuration de cavité MO
- $G_{3MOD} > G_{2MOD} > G_{1MOD}$ pour la configuration de cavité MOD.

Néanmoins, aucune différence statistique entre les différents sous-groupes n'a été observée.

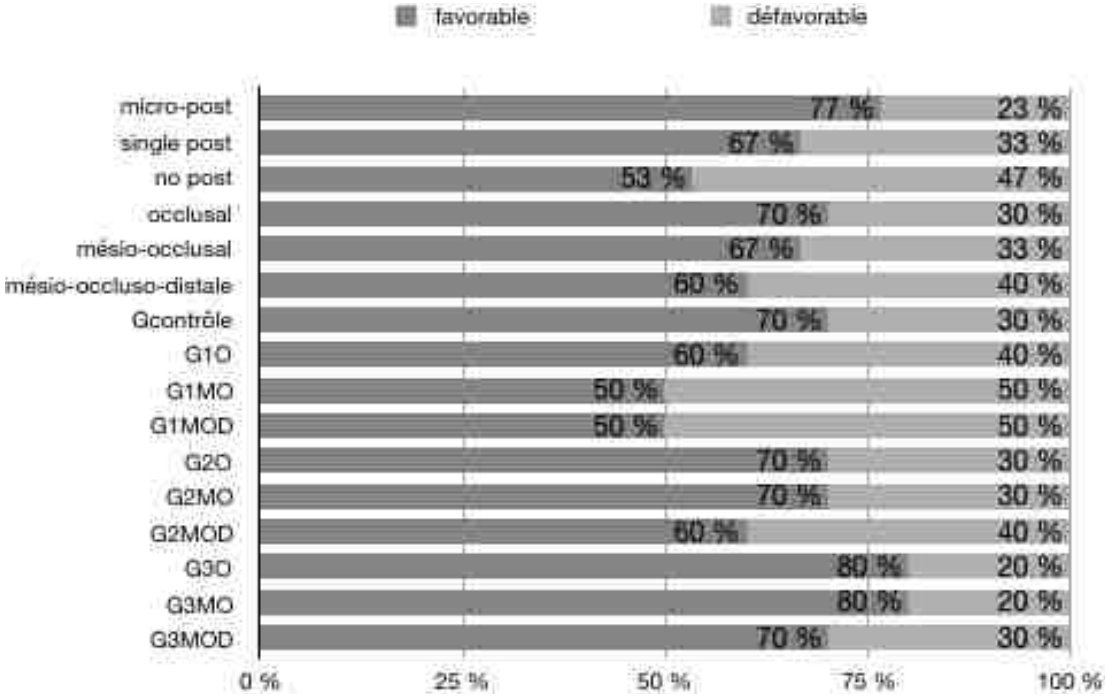

Tableau 3 : Pourcentage des restaurations favorables ou défavorable en fonction du type de restaurations.

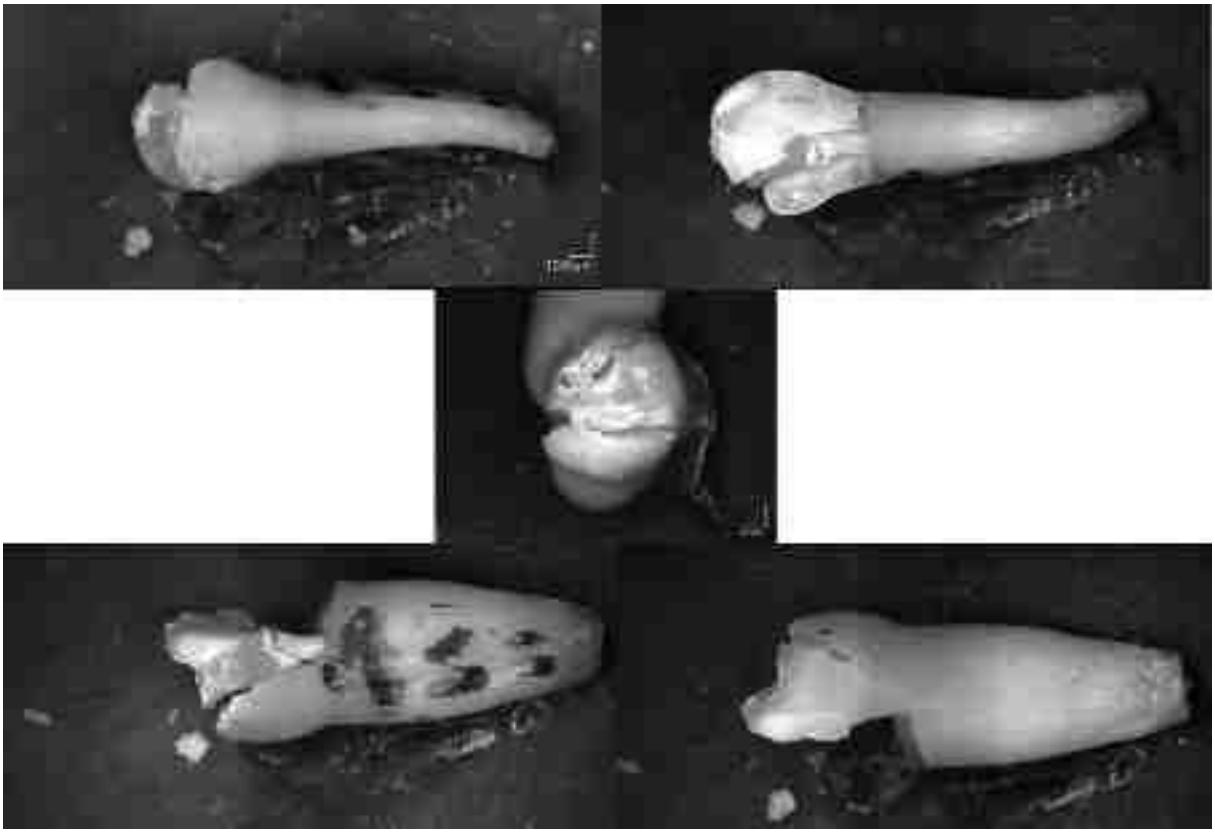

Figure 19 : PM133 - Fracture catastrophique, restauration composite

Figure 20 : PM138 - Fracture réparable, restauration composite

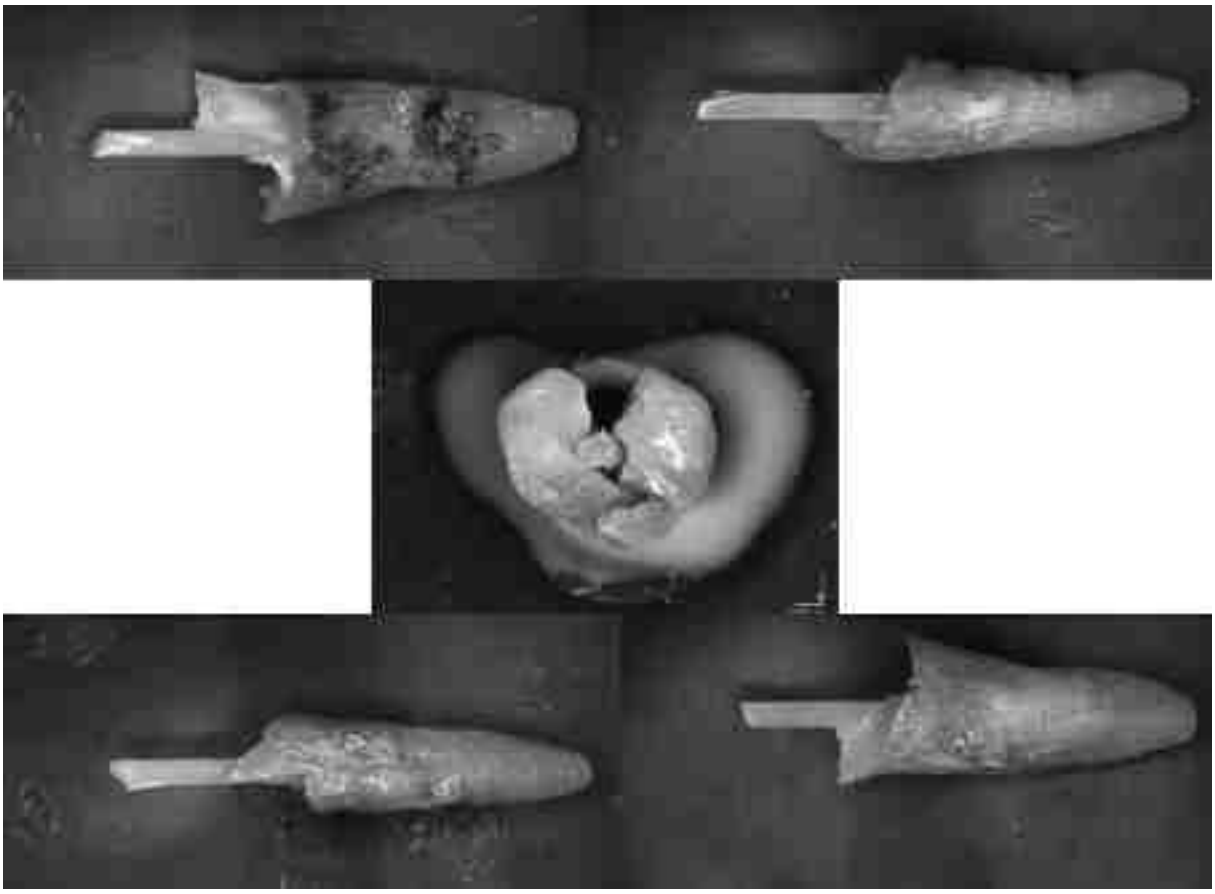

Figure 21 : PM44 - Fracture catastrophique, restauration sFRC

Figure 22 : PM156 - Fracture réparable, restauration sFRC

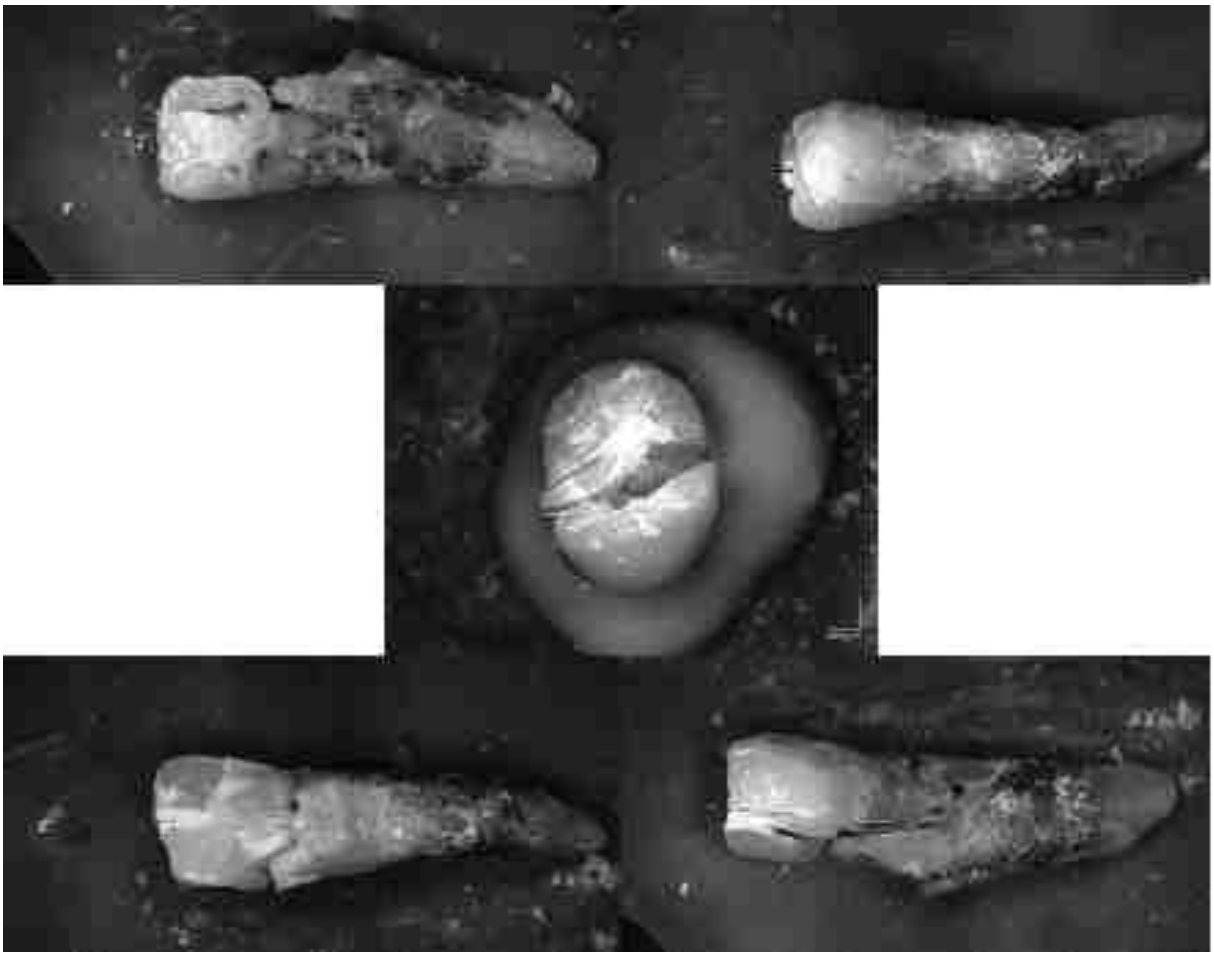

Figure 23 : PM55 - Fracture catastrophique, restauration mFRC

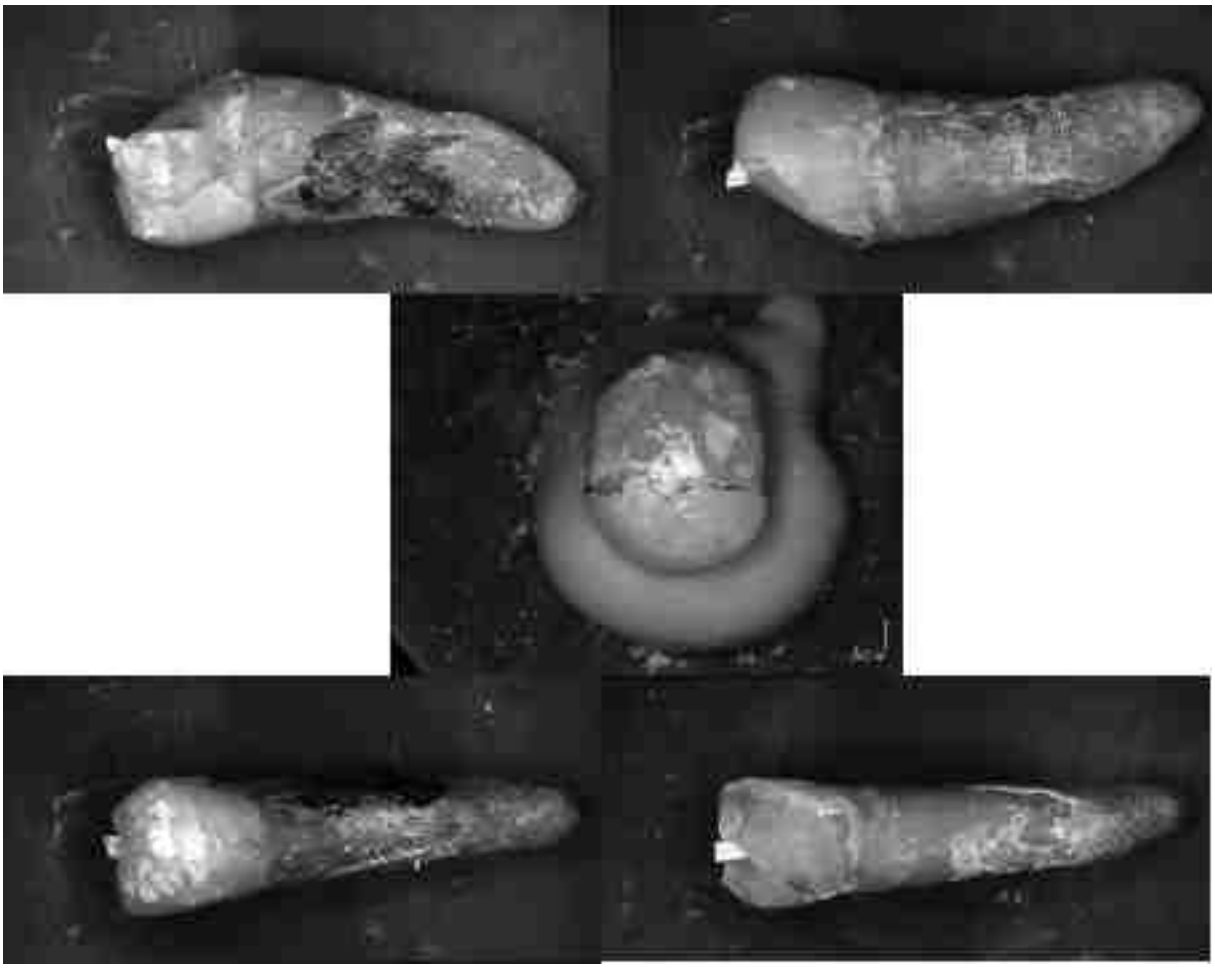

Figure 24 : PM99 - Fracture réparable, restauration mFRC

Figure 25 : PM4 - Fracture catastrophique, restauration sFRC

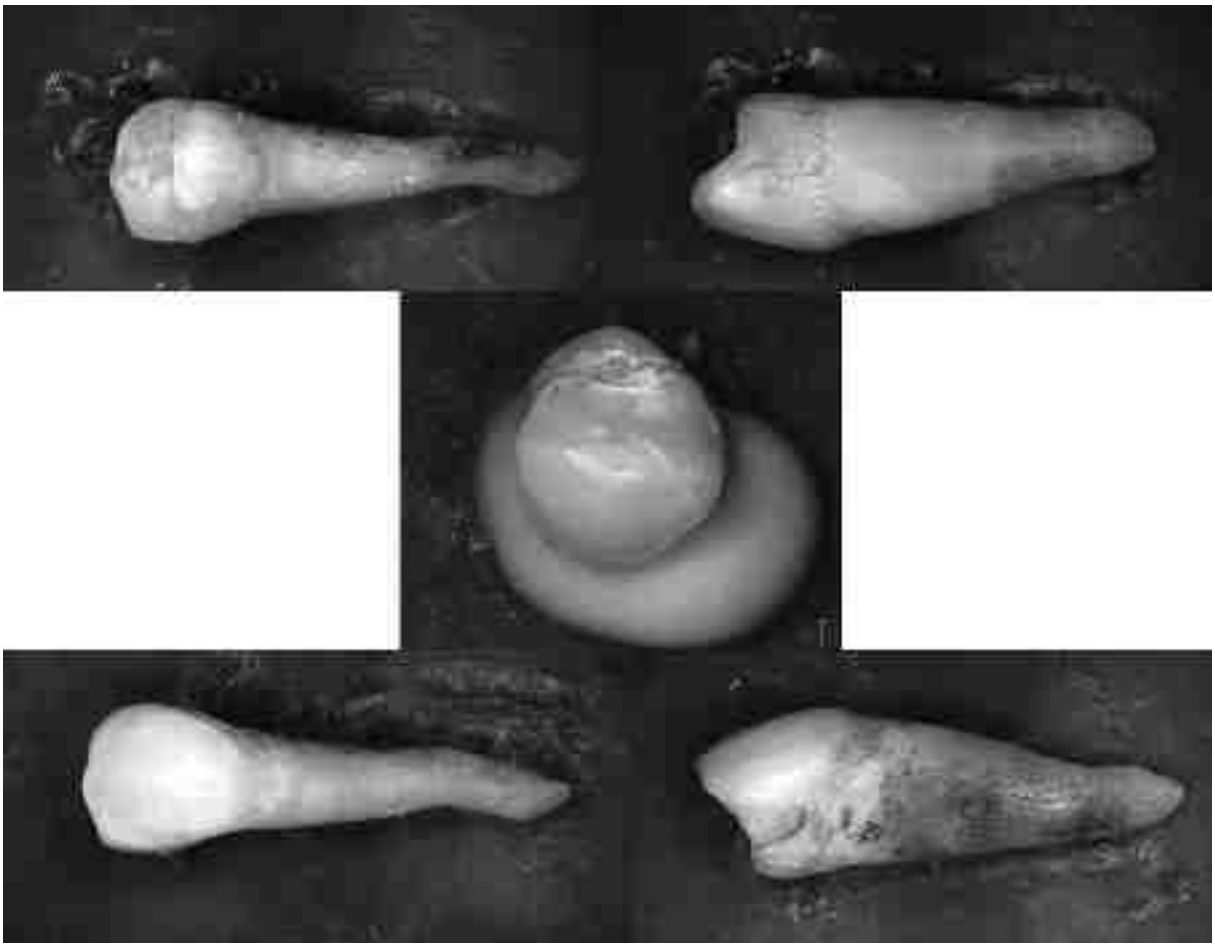

Figure 26 : PM119 - Fracture catastrophique, restauration composite

4.3. Résultats de la capacité de remplissage.

Le groupe G_3, restauré avec des mFRC, présente un pourcentage de vide intracanalaire statistiquement inférieure à celle du G_2.

Groupe	G_2	G_3
Pourcentage de vide (%vol)	3.92	1.23

Tableau 4 : Résultats de la capacité de remplissage des différents tenons en pourcentage (vides / volume canalaire)

5. Discussion

La restauration post endodontique doit être considérée comme une étape clé assurant le succès final du traitement endodontique. Effectivement, sa qualité et sa longévité jouent un rôle primordial dans les résultats au long terme. (30) La restauration post-endodontique idéale, en particulier dans les zones postérieures, a pour objectif d'améliorer la résistance mécanique de l'élément traité, de prévenir les fractures défavorables ainsi que de rétablir l'anatomie et la fonction de l'élément dentaire. (31)
Dans cette étude, des prémolaires maxillaires ont été utilisées car elles présentent une anatomie coronaire et un rapport couronne/racine défavorable. Celles-ci sont soumises à une combinaison de forces de compression (occlusales) et de cisaillement (latérales) les rendant plus susceptibles à la fracture que les molaires soumises à une charge occlusale. (32)(33)
Contrairement à de nombreuses études *ex vivo* sur les DTE, nous n'avons pas étudié le « pire scénario » se caractérisant par l'absence de toutes les parois résiduelles. Nous avons plutôt étudié une situation moins fréquente : une perte tissulaire mineure où la PM traitée endodontiquement a une configuration cavitaire O. Mais aussi, deux situations cliniquement plus fréquentes où la PM présentait respectivement une configuration cavitaire MO et MOD.
Dans cette étude, les PM ont été réparties aléatoirement dans 3 groupes expérimentaux en fonction du type de restauration post-endodontique et dans un groupe témoin. Ces groupes ont à leur tour été divisés en sous-groupes selon la configuration de leurs cavités : occlusale (O), mésio-occlusale (MO), mésio-occlusale-distale (MOD).
Au niveau des DTE, connaître la relation complexe entre les parois résiduelles, le type de restauration, la résistance à la fracture et la distribution des contraintes est important afin de prédire le pronostic clinique.
Si, la probabilité de fracture d'une PM avec une cavité MOD pourrait être très élevée d'un point de vue biomécanique de par ses cuspides vestibulaires et cuspides linguales qui se comporteraient comme des cantilevers dont la déflexion sous charge serait directement proportionnelle à l'épaisseur de la cuspide au niveau cervical et à la profondeur de la cavité d'accès, alors, dans le cas de PM avec des cavités MO et O, la probabilité à la fracture devrait être plus faible.

Cliniquement, selon Grandini *et al* la tendance est de réserver aux PM ayant une configuration cavitaire MO et O, une restauration directe sans tenon. (34) Cette option étant relativement peu coûteuse, c'est une alternative esthétique aux restaurations à couverture cuspidienne. (35) Tandis que pour les PM avec des cavités MOD, la tendance est de les restaurer avec une restauration indirecte à recouvrement cuspidien, (36)(37) sans tenon selon Grandini *et al* et avec tenon selon Mohammadi *et al* (34)(38).

Par ailleurs, le protocole des traitements restaurateurs doit être basé sur des preuves scientifiques et non sur des impressions cliniques. Néanmoins il peut être important de prendre en compte la situation économique mondiale qui pourrait décourager plus d'un patient à bénéficier d'une restauration prothétique indirecte telle qu'une couronne complète ou un overlay en céramique ou en composite.

En ce qui concerne les avantages d'une reconstruction avec des tenons, les résultats sont controversés. Effectivement, certaines études affirment que les tenons augmentent la résistance des PM traitées endodontiquement (29), tandis que d'autres démontrent que les tenons ne renforcent pas les dents mais réduisent l'incidence des fractures non réparables. (39)(40)(41)

Une étude très récente (42) semble suggérer que la présence d'un tenon ne réduirait pas l'incidence des fractures non réparables. Après une lecture attentive de ce travail, certains éléments nuancent ces conclusions. De fait, dans l'étude ci-dessus, les éléments dentaires utilisés sont des incisives bovines préparées sans férule afin de recevoir des couronnes en disilicate de lithium. Par conséquent, les conclusions de cette étude ne sont valables que pour les incisives bovines sans férule avec une couronne.

Selon plusieurs auteurs, 20% des DET avec tenons coulés ou en fibre connaitraient une fracture verticale. (43)(44) Il semblerait que la dentine présente des mécanismes de résistance à la rupture réduisant la possibilité de progression des fêlures. (6)(45)

Par ailleurs, il existe un consensus au niveau de la communauté scientifique sur le fait que l'insertion du tenon ne devrait pas se faire au détriment de la dentine radiculaire. (16)(46) Effectivement, la préparation du « post-space » pourrait diminuer l'épaisseur de la dentine radiculaire augmentant théoriquement le risque de fracture. Il existe un certain nombre de matériaux différents pour les tenons intra-radiculaires. Afin de réduire l'occurrence des fractures radiculaires non réparables, les tenons en fibre avec

des caractéristiques mécaniques proches de la dentine sont recommandés depuis plus de 30 ans.

Il est important de rappeler que l'échec clinique d'une restauration est souvent dû à la fatigue, c'est pourquoi dans notre étude, tous les échantillons ont été soumis à un vieillissement thermomécanique en utilisant des paramètres retrouvés dans la littérature. (47)(48)

Effectivement, chaque échantillon a subi 1000 cycles thermiques durant 2 semaines. Les échantillons sont passés d'un bain froid à 5°C à un bain chaud à 55°C avec un temps de séjour dans le bain de 30 secondes. Quant au vieillissement mécanique, il a été simulé grâce à des charges dynamiques appliquées avec un angle de 45° par rapport à l'axe longitudinal des racines.

D'autres paramètres pourraient aussi affecter les résultats des tests biomécaniques *in vitro* : le diamètre de l'antagoniste sphérique en acier inoxydable, la direction dans laquelle la sphère entre en contact avec l'échantillon, la simulation ou non du ligament parodontal, la vitesse de l'effort appliqué. En effet, d'après différentes études (49)(50), la direction de l'antagoniste sphérique affecterait la distribution et l'accumulation des contraintes au niveau de la couronne et de la racine. Effectivement, une direction angulaire pourrait entraîner une augmentation des contraintes dans la racine, tandis qu'une direction axiale n'entraînerait aucune accumulation significative des contraintes au niveau de la racine. Compte tenu de la direction des forces de mastication, une application angulaire lors d'un test de résistance à la fracture se rapproche plus d'une véritable situation clinique. Quant au diamètre de la sphère, celui-ci peut entraîner des variations de contraintes au niveau de la zone de contact de la couronne, mais pas au niveau radiculaire. (50) De fait, le diamètre semble être un paramètre moins important.

La simulation du ligament parodontale (PLD) pourrait entrainer une augmentation de la concentration des contraintes, en particulier au niveau de la région cervicale de la racine, l'une des zones les plus sensibles aux fractures radiculaires. (50)(51)

Par conséquence dans notre étude, le PLD a été simulé.

Les données relatives à la résistance à la fracture dans différentes études présentent un écart type élevé assez significatif, allant de 17% à 37%. (52) Les variations individuelles entrainant des variations physiques du tissu dentaire, l'âge ainsi que les différentes dimensions mésio-distales, vestibulo-linguale, apico-coronaire de l'élément dentaire pourraient expliquer ces écarts-types élevés. Ayant essayé, dans notre étude, de standardiser la taille de nos échantillons cela pourrait expliquer le fait

que l'écart-type obtenu dans les différents groupes se situe dans la fourchette basse des valeurs habituelles.

Les forces physiologiques auxquelles les PM maxillaires sont généralement confrontées sont comprises entre 250 N et 290 N. Or, si l'on juge le risque de fracture d'une PM non vitale en fonction de sa résistance à la fracture déterminée dans une expérience *ex-vivo* comme la nôtre, alors on pourrait dire qu'indépendamment des différentes configurations cavitaires et des matériaux utilisés, tous les groupes dépassent ces forces physiologiques. (53)

Toutefois, pour un sujet bruxomane ou lorsque la dent est soumise à des forces pathologiques, celle-ci peuvent dépasser 770N. Dans ce cas, aucun de nos groupes ne dépasse ces valeurs. (54)

Selon une étude récente, la valeur des forces de mastication varie fortement d'un sujet à l'autre et est plus élevée chez les hommes. (55) Mais il est important de rappeler que la fatigue joue un rôle non négligeable dans une fracture dentaire. En effet, celle-ci peut entraîner des fractures sur une dent soumise à des valeurs inférieures à celles qui entraîneraient une fracture sur une dent plus jeune.

Dans notre étude, la vitesse de la force d'application était de 0,1 mm/min. Une étude indique que des vitesses plus faibles s'accompagnent d'une déformation plastique plus importante et que, par conséquent, des mesures de résistance à la fracture plus élevées sont enregistrées. (56)

Il parait évident que le matériau constituant le support des échantillons puisse simuler la capacité d'absorption de l'os à la charge masticatoire et donc résister à la charge appliquée lors des tests mécaniques. Cependant, il n'existe pas de consensus sur le matériel idéal à utiliser. Cela varie d'une étude à l'autre : résine acrylique, résine de polystyrène, plâtre renforcé par de la résine (57)(58)(59). Dans cette étude, nous avons décidé d'utiliser de la résine acrylique (OrthocrylEQ ; Dentaurum, Ispringen, Germany).

D'après les résultats de notre étude les deux groupes restaurés respectivement avec du composite (G_1) et avec composite plus un mono-tenon conventionnel en fibre (G_2), ont montré des valeurs de résistance significativement inférieures au groupe des dents intactes ($G_{contrôle}$). Au contraire, pour le groupe restauré avec des micro-tenons (G_3) et du composite, aucune différence statistique, quelle que soit la configuration de la cavité, n'a été démontrée par rapport au groupe de dents intactes.

De plus, lorsque la dent est soumise à des forces pathologiques, l'hypothèse nulle selon laquelle le protocole de restauration n'a aucun effet sur la résistance à la fracture a été rejetée, puisque le groupe G_3, restauré avec des micro-tenons fasciculés, présentait une résistance à la fracture statistiquement plus élevée ($P<0,05$) que les groupes G_1 et G_2 restaurés respectivement avec du composite et un tenon en fibre conventionnel, quelle que soit la configuration de la cavité. Ceci est en accord avec des études récentes qui ont montré que l'utilisation de plusieurs tenons en fibre au lieu d'un seul dans des canaux ovales permet une meilleure répartition des contraintes et donc un renforcement de l'unité dentaire. (43)(29)(60) Cependant, dans notre étude, le logement intracanalaire n'a pas été préparé, ce qui limite la perte de dentine radiculaire pendant la préparation du tenon intracanalaire (24)(15). Cette différence pourrait expliquer le fait que dans notre étude, les échantillons préparés avec des micro-tenons fasciculés présentaient une résistance à la fracture comparable à celle d'une dent intacte.
Cependant, aucune différence statistiquement significative en termes de résistance à la fracture n'a été montrée entre les groupes G_{1O} et G_{2O}, G_{1MO} et G_{2MO}, G_{1MOD} et G_{2MOD}.

L'hypothèse nulle selon laquelle la configuration cavitaire n'aurait pas d'effet sur la résistance à la fracture des PM maxillaires non vitales a été également rejetée.
En effet, la présente étude a montré que dans le groupe expérimental restauré simplement avec du composite (G_1), le sous-groupe avec une configuration cavitaire O était statistiquement plus résistant que le sous-groupe avec une configuration MOD, et à son tour le sous-groupe avec une configuration cavitaire MO était plus résistant que le sous-groupe MOD, en revanche, aucune différence statistique n'a été démontrée entre le sous-groupe O et le sous-groupe MO.
En ce qui concerne le groupe restauré avec un tenon en fibre conventionnel (G_2), la présente étude a montré que le sous-groupe avec une configuration cavitaire O était plus résistant que le sous-groupe avec une configuration cavitaire MOD. En revanche, aucune différence statistique n'a été démontrée entre le sous-groupe O et le sous-groupe MO et entre le sous-groupe MO et MOD.
Pour finir, dans le groupe restauré avec les micro-tenons fasciculés (G_3), la présente étude a montré que la configuration cavitaire n'avez pas d'effet sur la résistance à la fracture.

Malgré les limites de cette étude, nous pouvons affirmer que le type de restauration influence la résistance à la fracture de l'élément dentaire et qu'une restauration par micro-tenons fasciculés semble uniformiser les valeurs de résistance à la fracture quelle que soit la configuration cavitaire.

Par conséquent, nos résultats sont partiellement en accord pour le groupes G_1 et G_2 avec des travaux antérieurs qui affirmaient que la résistance à la fracture diminue à mesure que le volume de substance dentaire coronaire résiduel diminue (29)(61) ; et en désaccord pour le groupe G_3 où les échantillons ont été restaurés avec des micro-tenons fasciculés en fibre et où la configuration cavitaire ne semble pas avoir d'impact statistiquement significatif sur la résistance à la fracture.

Il est intéressant aussi de considérer la perte de résistance à la fracture en comparant les groupes expérimentaux par rapport au groupe contrôle. Le G_1 restaurées avec du composite, présente une perte de résistance de 26.5%, 40% et 56% respectivement pour la configuration de la cavité O, MO, MOD.

En ce qui concerne le groupe restauré avec un tenon en fibre conventionnel (G_2), le G_2 présente une perte de résistance de 26.3%, 36.6% et 46% respectivement pour la configuration de la cavité O, MO, MOD.

Autrement dit, en ce qui concerne le G_1 et le G_2, la préparation de la cavité d'accès avec la perte d'une crête marginale est l'étape qui affaiblit le plus la dent, contrairement aux travaux de Reeh (12).

En ce qui concerne le groupe restauré avec les micro-tenons fasciculés (G_3), il présente une perte de résistance de 0%, 4.7% et 8.3% respectivement pour la configuration cavitaire O, MO, MOD.

En d'autres termes, comme on pouvait s'y attendre, pour les G_1 et les G_2 restaurés respectivement avec du composite et avec un tenon en fibre conventionnel il y a une relation inversée entre les valeurs moyennes de la résistance à la fracture et la quantité de tissus perdus. En revanche pour le G_3, groupe restauré avec des micro-tenons fasciculés, cette relation est beaucoup plus nuancée et en tout cas comme nous l'avons démontré aucune différence statistiquement significative existe parmi les sous-groupes G_{3O}, G_{3MO}, G_{3MOD}.

Finalement, les échantillons restaurés avec les micro-tenons fasciculés ont montré une plus grande résistance à la fracture que les groupes d'échantillons restaurés avec et sans le tenon en fibre conventionnel pour les 3 configurations cavitaires testées.

Les micro-tenons fasciculés sont disponibles en 4 tailles, chacun identifié par un code couleur différent. **(Fig . 27)**

Figure 27 : Différentes tailles de mFRC

Bien-entendu en fonction de la couleur le nombre des micro-tenons (MTs) varie : le rouge en a 4, le bleu 6, le noir 9 et le jaune 12. Cliniquement, la sélection du tenon fasciculé se fait en fonction de l'anatomie canalaire à l'aide d'un indicateur de taille. Après sélection et mise en place du micro-tenon sélectionné, il y a la possibilité d'ajouter ou non un MTs, de la même manière que la technique de condensation latérale à la gutta-percha. Le diamètre d'un MTs est de 0,3 mm, à notre connaissance, le plus petit diamètre présent sur le marché. Par conséquent, utiliser des micro-tenons fasciculés en ajoutant des MTs permet au praticien d'obturer des canaux radiculaires larges et irréguliers sans avoir besoin de préparer mécaniquement le logement canalaire pour les tenons.

Comme le confirme une étude précédente, utiliser la technique d'obturation partielle comme technique d'obturation canalaire a probablement permis d'avoir de meilleures valeurs d'adhésion qu'une technique d'obturation complète. Effectivement, cette dernière sera plus exposée à la présence de « smear plug » dans le canal. Le « smear plug » sera d'avantage présent dans le groupe ne demandant pas de préparation canalaire que dans le groupe où le logement du tenon est préparé. En effet, celui-ci se faisant sous irrigation et bénéficiant de l'action mécanique du foret verra son « smear plug » éliminé. C'est pour cela que nous avons utilisé la VersaBrush avant de procéder au collage intra-canalaire. La VersaBrush est susceptible d'être utile afin de nettoyer les parois du canal et de pouvoir coller les micro-tenons dans des conditions optimales.

Ne pas préparer le logement intra-canalaire du tenon peut surement être bénéfique afin de réduire le taux de perforations post opératoires du fait qu'aucune préparation

supplémentaire n’est demandée. Rappelons que selon KvinnslandI et selon Mancino l'incidence des perforations postopératoires est respectivement de 47% et 61%. (62)(63)

Il est classiquement admis, même pour les dents dépulpées, nous l’avons dit à plusieurs reprises, que la fragilité de l'organe dentaire dépend en partie de la perte de tissu, selon une relation inversement proportionnelle entre la quantité de tissu disponible et la résistance à la fracture. Cette observation doit conduire à une gestion judicieuse de la quantité de tissu coronaire résiduel, même au niveau de la racine. Par conséquent, l'intégrité des tissus doit être préservée pendant les étapes endodontiques et post-endodontiques.

Dans ce contexte, l'utilisation de micro-tenons en fibre fasciculée pourrait être d'une grande importance car elle permettrait d'exploiter les mérites des restaurations directes sans pour autant fragiliser la racine ou risquer de la perforer. En effet l'utilisation de micro-tenons, permet d'une part de ne pas préparer le canal radiculaire et d’autre part de ne pas fragiliser la dent et d'éviter d’éventuelles erreurs iatrogènes.

Les micro-tenons sont répartis dans toute la lumière du canal, en respectant l'anatomie originale du canal. De plus la rétention de la partie coronaire pourrait être grandement améliorée par le fait que les différents micro-tenons ont des angles d'insertion différents.

Les micro-tenons fasciculés permettent d’optimiser l’épaisseur de résine de collage présente dans le canal. Il existe de nombreux désaccords sur l’épaisseur idéale du ciment de résine autour des tenons. (64)(65) En dépit de cela, les chercheurs s'accordent à dire qu’une épaisseur de résine de collage fine entrainerait une meilleure force d’adhésion et moins de vides.

L’utilisation d’un composite dual de collage dans le canal radiculaire favorise la rétraction de polymérisation. Il y a dans ces cas-là un facteur C défavorable.

Utiliser des micro-tenons fasciculés permet d’une part de réduire la quantité de colle intracanalaire et d’autre part de transformer un seul espace en plusieurs micro-espaces. Potentiellement, de cette manière le facteur C est infiniment moins défavorable.

La plus petite surface et le plus petit volume de vide pour tous les ciments ont été observés au niveau du tiers apical et, la plus grande surface et le plus grand volume de vide ont été obtenus au niveau du tiers coronal.

Dans le cas d'un mono-tenon, l'inadéquation entre le diamètre du tenon et celui de son espace intracanalaire est un défi clinique. (66)(67) Si ce mono-tenon ne s'adapte pas bien au niveau coronal, il y aura alors une épaisse couche de composite de collage dans laquelle il risquerait de se former des bulles, celles-ci pourraient favoriser un décollement. (66)(68)

Nous avons démontré dans la présente étude ($P<0,005$) que les micro-tenons fasciculés produisaient moins de vide le long du canal radiculaire. De fait, la géométrie du tenon, la dimension ainsi que la morphologie du canal et la distribution des micro-tenons peuvent avoir un impact sur la capacité de remplissage et la qualité de l'obturation. Effectivement, cette meilleure distribution, empêcherait l'apparition de bulles d'air durant la cimentation. Après analyse au micro-CT, il a été observé plus de vide au niveau des mono-tenons qu'au niveau des micro-tenons. C'est peut-être l'une des raisons pour lesquelles les performances des mono-tenons sont inférieures aux micro-tenons.

Nos résultats sont comparables à ceux de l'étude de Caceres et al (69) où les pourcentages de vides étaient compris entre 0,69 à 2,66%. On peut, entre autres, imaginer que ces vides, en dehors de la mauvaise influence en termes de résistance mécanique, peuvent également devenir une voie d'infiltration pour les bactéries, provocant l'échec du traitement endodontique.

Ces résultats sont en accord avec ceux de Kharouf et *al* (70), qui ont étudié la capacité de remplissage des micro et mono-tenons à l'aide d'un microscope numérique (observation 2D).

Utiliser un micro-CT est une technique non-destructive pour évaluer le complexe tenon-cément-dentine. Elle donne une vue tridimensionnelle précise du contenu du canal radiculaire sans détruire les échantillons.

Dans notre étude, le micro-CT a mis en évidence que les dents préparées avec des micro-tenons présentaient moins de vide dans leur canal que celles préparées avec des mono-tenons. Ces résultats sont différents de ceux obtenus par Raphaël et ses collaborateurs qui ont constaté qualitativement, et non pas quantitativement, une plus grande quantité de vide dans le groupe des micro-tenons.(71) Cela peut être dû au fait qu'ils ont utilisé, dans leur étude, des micro-tenons avec seulement quatre MTs. On ne peut malheureusement pas comparer nos résultats à d'autres études car celles-ci ont utilisé des micro-tenons après préparation du logement canalaire.

Par ailleurs, d'un point de vue biomécanique l'utilisation d'un seul tenon placé au centre de son logement, donc dans l'axe neutre de la dent, ne serait pas optimal. (72) Théoriquement, celui-ci devrait être le plus proche possible de la paroi dentinaire du canal, là où les contraintes de traction sont les plus importantes.(73)
Les micro-tenons, se répartissent mieux au niveau du canal et sont de fait plus adaptés aux parois canalaires, minimisant ainsi les contraintes de tractions dommageables appliquées lorsque la restauration est mise en charge. (60)

Cependant, outre la valeur numérique de la résistance à la fracture des différents échantillons en fonction des groupes et sous-groupes, sur le plan clinique, il est important d'évaluer le type de fracture que subit l'échantillon.
En fait, selon le type de fracture, qu'elle se situe au-dessus ou au-dessous de la jonction émail-cément, cliniquement, la dent sera soit réparable par une nouvelle restauration directe ou indirecte, avec ou sans allongement clinique de la couronne, soit non réparable et la dent devra donc être extraite.
Tout d'abord le groupe restauré avec composite sans tenons, le G_1, a montré un mode de fracture favorable dans un pourcentage inférieur au groupe G_2 et G_3 restaurés respectivement avec composite plus un mono-tenon conventionnel en fibre et avec des micro-tenons et composite. A son tour Le G_2 a montré un mode de fracture favorable dans un pourcentage inférieur au groupe G_3. Néanmoins d'après les analyses statistiques effectuées (Chi-square test) l'hypothèse nulle selon laquelle le protocole de restauration n'aurait pas d'effet sur le type de fracture a été acceptée. En effet, aucune différence statistique entre les différents groupes n'a été observée.

Concernant la configuration cavitaire, les échantillons présentant une configuration de cavité O présentaient un plus fort taux de fractures favorables en comparaison à une configuration MO et MOD. Néanmoins aucune différence statistique entre les différents groupes n'a été observée.
Si nous considérons la configuration cavitaire comme variable fixe, nous pouvons voir que dans les différents sous-groupes pour la configuration cavitaire O, le sous-groupe restauré avec composite, $G_{1O,}$ présentait la plus mauvaise performance car il a eu des taux de fractures favorables plus faibles que les deux autres groupes expérimentaux. A son tour le sous-groupe G_{3O} a montré un taux de fractures favorables supérieur au sous-groupe G_{2O}. Concernant la configuration cavitaire MO, le sous-groupe restauré

avec du composite, le G_{1MO} a présenté la plus mauvaise performance car il a eu des taux de fractures favorables plus faibles que les deux autres groupes expérimentaux. A son tour le sous-groupe G_{3MO} a montré un taux de fractures favorables plus important que le sous-groupe G_{2MO}.

Concernant la configuration cavitaire MOD, le sous-groupe restauré avec composite, le G_{1MOD} a présenté la plus mauvaise performance car il a eu des taux de fractures favorables plus faibles que les deux autres groupes expérimentaux. A son tour le sous-groupe G_{3MOD} a montré un mode de fracture favorable dans un pourcentage supérieur au sous-groupe G_{2MOD}. Néanmoins aucune différence statistique entre les différents sous-groupes n'a été observée.

Par conséquence l'hypothèse nulle selon laquelle la configuration cavitaire n'aurait pas d'effet sur le type de fracture des PM maxillaires non vitales a été également acceptée.

Nous pouvons affirmer que le groupe G_3 restauré avec des micro-tenons et du composite présente une incidence plus élevée de fractures favorables que les deux autres groupes expérimentaux restaurés respectivement avec du composite ou avec du composite et un tenon en fibre conventionnel, indépendamment de la configuration cavitaire. A son tour, le groupe G_2 restauré avec composite et un tenon en fibre conventionnel présente une incidence plus élevée de fractures favorables que le groupe expérimental restauré avec du composite sans tenon, et ce quelle que soit la configuration de la cavité. Néanmoins ces résultats doivent être relativisés car aucune différence statistiquement significative n'a été observée.

Il est important de rappeler que bien que des tests expérimentaux mécaniques destructifs soient souvent utilisés, ces tests sont limités dans la fourniture d'informations biomécaniques et structurelles sur le comportement des échantillons au moment précédant la fracture et leur transposition clinique doit donc être faite avec extrême prudence. Dans ces expériences, une force de compression statique est utilisée ; cependant, les forces dans la cavité buccale sont dynamiques, avec un taux, une magnitude et une direction qui changent constamment. Il est donc suggéré d'associer ces résultats à des analyses non destructives en laboratoire, telles que l'analyse par éléments finis, ainsi qu'à des études cliniques à long terme.

6. Conclusion

Les deux groupes restaurés respectivement avec du composite (G_1) et avec du composite plus un mono-tenon conventionnel en fibre (G_2), ont montré des valeurs de résistance significativement inférieure comparés à celles du groupe témoin ($G_{contrôle}$). Au contraire, pour le groupe restauré avec des micro-tenons et du composite (G_3), aucune différence statistique, quelle que soit la configuration de la cavité, n'a été démontrée par rapport au groupe de dents intactes ($G_{contrôle}$).

- L'hypothèse nulle selon laquelle le protocole de restauration n'aurait pas d'effet sur la résistance à la fracture a été rejetée :

Pour chaque configuration cavitaire, le groupe G_3, restauré avec des micro-tenons fasciculés, a une résistance à la fracture statistiquement plus élevée que le groupes G_1 et G_2 restaurés respectivement avec du composite et avec un mono-tenons conventionnels en fibre.

- L'hypothèse nulle selon laquelle la configuration cavitaire n'aurait pas d'effet sur la résistance à la fracture des PM maxillaires non vitales a été aussi partiellement rejetée : Le groupe expérimental restauré avec tout simplement du composite (G_1), le sous-groupe avec une configuration cavitaire O était statistiquement plus résistant que le sous-groupe avec une configuration MOD, et à son tour le sous-groupe avec une configuration cavitaire MO était plus résistant que le sous-groupe MOD, aucune différence statistique n'a été démontrée entre le sous-groupe O et le sous-groupe MO.

- En ce qui concerne le groupe restauré avec un tenon en fibre conventionnel (G_2), la présente étude a montré que le sous-groupe avec une configuration cavitaire O était plus résistant que le sous-groupe avec une configuration cavitaire MOD. En revanche, aucune différence statistique n'a été démontrée entre le sous-groupe O et le sous-groupe MO et entre le sous-groupe MO et MOD.

- Dans le groupe restauré avec les micro-tenons fasciculés (G_3), la présente étude a montré que la configuration cavitaire n'avait pas d'effet sur la résistance à la fracture.

En d'autres termes, comme on pouvait s'y attendre, pour les G_1 et les G_2 restaurés respectivement avec du composite et avec un tenon en fibre conventionnel il y a une

relation inversée entre les valeurs moyennes de la résistance à la fracture et la quantité de tissus perdus. En revanche pour le G_3, groupe restauré avec des micro-tenons fasciculés, cette relation est beaucoup plus nuancée et en tout cas comme nous l'avons démontré aucune différence statistiquement significative existe parmi les sous-groupes G_{3O}, G_{3MO}, G_{3MOD}.
Les échantillons restaurés avec les micro-tenons fasciculés ont montré une plus grande résistance à la fracture que les groupes restaurés avec et sans le tenon en fibre conventionnel pour les 3 configurations cavitaires testées.

- Les hypothèses nulles selon lesquelles le type de fracture ne varie pas en fonction de la configuration de la cavité et en fonction du type de restauration post-endodontique ont été acceptées. Aucune différence statistique n'a été montrée entre les différents groupes et sous-groupes, même si le groupe G_3 restauré avec des micro-tenons et du composite présentait une incidence plus élevée de fractures favorables que les deux autres groupes expérimentaux restaurés respectivement avec du composite ou avec du composite et un tenon en fibre conventionnel indépendamment de la configuration cavitaire.

- L'hypothèse nulle selon laquelle la capacité de remplissage du logement intracanalaire ne varie pas en fonction du type de restauration post-endodontique a été rejetée. En effet l'analyse faite avec un micro-CT a mis en évidence que les dents préparées avec des micro-tenons présentaient moins de vide dans leur canal que celles préparées avec des mono-tenons.

En tout point, nos résultats nous permettent de conclure que la restauration post-endodontique à l'aide de mFRC semble être une option fiable et économiquement viable, du moins à court terme, car en termes de résistance à la fracture, quelle que soit la configuration de la cavité, aucune différence statistique n'a été constatée par rapport à la résistance d'une dent intacte.

Faculté de chirurgie dentaire
Université de Strasbourg

SIGNATURE DES CONCLUSIONS

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

Nom - prénom de l'impétrant : SIMONIS Philippine

Titre de la thèse : Nouveaux dispositifs de restauration post-endodontique : les tenons fibrés fasciculés

Directeur de thèse : Docteur Davide MANCINO

VU
Strasbourg, le : 14/10/2022
Le Président du Jury,

Professeur Y. HAIKEL

VU
Strasbourg, le 15.11.2022
Le Doyen de la Faculté
de Chirurgie Dentaire de Strasbourg

Professeur F. MEYER

Faculté de Chirurgie Dentaire de Strasbourg - Service de scolarité / Bureau des thèses
8 rue Sainte Elisabeth - 67000 Strasbourg

1. Sabala CL, Biggs JT. A standard predetermined endodontic preparation concept. Compend Newtown Pa. sept 1991;12(9):656, 658, 660 passim.
2. Tomson PL, Simon SR. Contemporary Cleaning and Shaping of the Root Canal System. Prim Dent J. 1 mai 2016;5(2):46-53.
3. Sequeira-Byron P, Fedorowicz Z, Carter B, Nasser M, Alrowaili EF. Single crowns versus conventional fillings for the restoration of root-filled teeth. Cochrane Database Syst Rev. 25 sept 2015;(9):CD009109.
4. Vire DE. Failure of endodontically treated teeth: classification and evaluation. J Endod. juill 1991;17(7):338-42.
5. Fuss Z, Lustig J, Tamse A. Prevalence of vertical root fractures in extracted endodontically treated teeth. Int Endod J. août 1999;32(4):283-6.
6. Al-Omiri MK, Mahmoud AA, Rayyan MR, Abu-Hammad O. Fracture resistance of teeth restored with post-retained restorations: an overview. J Endod. sept 2010;36(9):1439-49.
7. Sedgley CM, Messer HH. Are endodontically treated teeth more brittle? J Endod. juill 1992;18(7):332-5.
8. Zelic K, Vukicevic A, Jovicic G, Aleksandrovic S, Filipovic N, Djuric M. Mechanical weakening of devitalized teeth: three-dimensional Finite Element Analysis and prediction of tooth fracture. Int Endod J. sept 2015;48(9):850-63.
9. Kishen A. Mechanisms and risk factors for fracture predilection in endodontically treated teeth. Endod Top. 2006;13(1):57-83.
10. Currey JD. The design of mineralised hard tissues for their mechanical functions. J Exp Biol. déc 1999;202(Pt 23):3285-94.
11. Lanza A, Aversa R, Rengo S, Apicella D, Apicella A. 3D FEA of cemented steel, glass and carbon posts in a maxillary incisor. Dent Mater Off Publ Acad Dent Mater. août 2005;21(8):709-15.
12. Reeh ES, Messer HH, Douglas WH. Reduction in tooth stiffness as a result of endodontic and restorative procedures. J Endod. nov 1989;15(11):512-6.
13. Giachetti L, Scaminaci Russo D, Baldini M, Bertini F, Steier L, Ferrari M. Push-out strength of translucent fibre posts cemented using a dual-curing technique or a light-curing self-adhering material. Int Endod J. mars 2012;45(3):249-56.
14. Sornkul E, Stannard JG. Strength of roots before and after endodontic treatment and restoration. J Endod. sept 1992;18(9):440-3.
15. King PA, Setchell DJ. An in vitro evaluation of a prototype CFRC prefabricated post developed for the restoration of pulpless teeth. J Oral Rehabil. 1990;17(6):599-609.

16. Meyenberg K. The ideal restoration of endodontically treated teeth - structural and esthetic considerations: a review of the literature and clinical guidelines for the restorative clinician. Eur J Esthet Dent Off J Eur Acad Esthet Dent. 2013;8(2):238-68.
17. Manning KE, Yu DC, Yu HC, Kwan EW. Factors to consider for predictable post and core build-ups of endodontically treated teeth. Part I: Basic theoretical concepts. J Can Dent Assoc. août 1995;61(8):685-8, 690, 693-5.
18. Spicciarelli V, Marruganti C, Fedele I, Martignoni M, Ounsi H, Ferrari M, et al. Influence of remaining tooth substance and post-endodontic restoration on fracture strength of endodontically treated maxillary incisors. Dent Mater J. 29 mai 2021;40(3):697-703.
19. Bolhuis HPB null, De Gee AJ, Feilzer AJ, Davidson CL. Fracture strength of different core build-up designs. Am J Dent. oct 2001;14(5):286-90.
20. Spicciarelli V, Marruganti C, Di Matteo C, Martignoni M, Ounsi H, Doldo T, et al. Influence of single post, oval, and multi-post restorative techniques and amount of residual tooth substance on fracture strength of endodontically treated maxillary premolars. J Oral Sci. 23 déc 2020;63(1):70-4.
21. Ferrari M, Vichi A, Fadda GM, Cagidiaco MC, Tay FR, Breschi L, et al. A randomized controlled trial of endodontically treated and restored premolars. J Dent Res. juill 2012;91(7 Suppl):72S-78S.
22. Guldener KA, Lanzrein CL, Guldener BES, Lang NP, Ramseier CA, Salvi GE. Long-term Clinical Outcomes of Endodontically Treated Teeth Restored with or without Fiber Post–retained Single-unit Restorations. J Endod. 1 févr 2017;43(2):188-93.
23. Fráter M, Forster A, Jantyik Á, Braunitzer G, Nagy K, Grandini S. In vitro fracture resistance of premolar teeth restored with fibre-reinforced composite posts using a single or a multi-post technique. Aust Endod J J Aust Soc Endodontology Inc. avr 2017;43(1):16-22.
24. Asmussen E, Peutzfeldt A, Heitmann T. Stiffness, elastic limit, and strength of newer types of endodontic posts. J Dent. mai 1999;27(4):275-8.
25. Testori T, Badino M, Castagnola M. Vertical root fractures in endodontically treated teeth: A clinical survey of 36 cases. J Endod. 1 févr 1993;19(2):87-90.
26. biolight PLUS. Bio Composants Médicaux. 21 oct 2022.
27. Sorrentino R, Monticelli F, Goracci C, Zarone F, Tay FR, García-Godoy F, et al. Effect of post-retained composite restorations and amount of coronal residual structure on the fracture resistance of endodontically-treated teeth. Am J Dent. août 2007;20(4):269-74.
28. Cagidiaco MC, García-Godoy F, Vichi A, Grandini S, Goracci C, Ferrari M. Placement of fiber prefabricated or custom made posts affects the 3-year survival of endodontically treated

premolars. Am J Dent. juin 2008;21(3):179-84.
29. Spicciarelli V, Marruganti C, Di Matteo C, Martignoni M, Ounsi H, Doldo T, et al. Influence of single post, oval, and multi-post restorative techniques and amount of residual tooth substance on fracture strength of endodontically treated maxillary premolars. J Oral Sci. 2021;63(1):70-4.
30. Akman S, Akman M, Eskitascioglu G, Belli S. Influence of several fibre-reinforced composite restoration techniques on cusp movement and fracture strength of molar teeth. Int Endod J. mai 2011;44(5):407-15.
31. Scotti N, Forniglia A, Tempesta RM, Comba A, Saratti CM, Pasqualini D, et al. Effects of fiber-glass-reinforced composite restorations on fracture resistance and failure mode of endodontically treated molars. J Dent. oct 2016;53:82-7.
32. Soares PV, Santos-Filho PCF, Martins LRM, Soares CJ. Influence of restorative technique on the biomechanical behavior of endodontically treated maxillary premolars. Part I: fracture resistance and fracture mode. J Prosthet Dent. janv 2008;99(1):30-7.
33. Abe Y, Nogami K, Mizumachi W, Tsuka H, Hiasa K. Occlusal-supporting ability of individual maxillary and mandibular teeth. J Oral Rehabil. déc 2012;39(12):923-30.
34. Atlas A, Grandini S, Martignoni M. Evidence-based treatment planning for the restoration of endodontically treated single teeth: importance of coronal seal, post vs no post, and indirect vs direct restoration. Quintessence Int Berl Ger 1985. 2019;50(10):772-81.
35. Taha NA, Palamara JE, Messer HH. Fracture strength and fracture patterns of root filled teeth restored with direct resin restorations. J Dent. août 2011;39(8):527-35.
36. Manhart J, Chen H, Hamm G, Hickel R. Buonocore Memorial Lecture. Review of the clinical survival of direct and indirect restorations in posterior teeth of the permanent dentition. Oper Dent. oct 2004;29(5):481-508.
37. Kemaloglu H, Emin Kaval M, Turkun M, Micoogullari Kurt S. Effect of novel restoration techniques on the fracture resistance of teeth treated endodontically: An in vitro study. Dent Mater J. 2015;34(5):618-22.
38. Mohammadi N, Kahnamoii MA, Yeganeh PK, Navimipour EJ. Effect of fiber post and cusp coverage on fracture resistance of endodontically treated maxillary premolars directly restored with composite resin. J Endod. oct 2009;35(10):1428-32.
39. Soares CJ, Soares PV, de Freitas Santos-Filho PC, Castro CG, Magalhaes D, Versluis A. The influence of cavity design and glass fiber posts on biomechanical behavior of endodontically treated premolars. J Endod. août 2008;34(8):1015-9.
40. Trope M, Maltz DO, Tronstad L. Resistance to fracture of restored endodontically treated

teeth. Dent Traumatol. 1985;1(3):108-11.
41. Siso SH, Hürmüzlü F, Turgut M, Altundaşar E, Serper A, Er K. Fracture resistance of the buccal cusps of root filled maxillary premolar teeth restored with various techniques. Int Endod J. mars 2007;40(3):161-8.
42. de Carvalho MA, Lazari-Carvalho PC, Del Bel Cury AA, Magne P. Fatigue and failure analysis of restored endodontically treated maxillary incisors without a dowel or ferrule. J Prosthet Dent. 12 juin 2022;S0022-3913(21)00400-5.
43. Fráter M, Forster A, Jantyik Á, Braunitzer G, Nagy K, Grandini S. In vitro fracture resistance of premolar teeth restored with fibre-reinforced composite posts using a single or a multi-post technique. Aust Endod J. 2017;43(1):16-22.
44. Fuss Z, Lustig J, Katz A, Tamse A. An evaluation of endodontically treated vertical root fractured teeth: impact of operative procedures. J Endod. janv 2001;27(1):46-8.
45. Tamse A, Fuss Z, Lustig J, Kaplavi J. An evaluation of endodontically treated vertically fractured teeth. J Endod. juill 1999;25(7):506-8.
46. Paolone G, Saracinelli M, Devoto W, Putignano A. Esthetic direct restorations in endodontically treated anterior teeth. Eur J Esthet Dent Off J Eur Acad Esthet Dent. 2013;8(1):44-67.
47. DeLong R, Douglas WH. Development of an artificial oral environment for the testing of dental restoratives: bi-axial force and movement control. J Dent Res. janv 1983;62(1):32-6.
48. Krejci I, Reich T, Lutz F, Albertoni M. [An in vitro test procedure for evaluating dental restoration systems. 1. A computer-controlled mastication simulator]. Schweiz Monatsschrift Zahnmed Rev Mens Suisse Odonto-Stomatol Riv Mens Svizzera Odontol E Stomatol. 1990;100(8):953-60.
49. Yang HS, Lang LA, Molina A, Felton DA. The effects of dowel design and load direction on dowel-and-core restorations. J Prosthet Dent. juin 2001;85(6):558-67.
50. Uzunoglu-Özyürek E, Küçükkaya Eren S, Eraslan O, Belli S. Critical evaluation of fracture strength testing for endodontically treated teeth: a finite element analysis study. Restor Dent Endod. mars 2019;44(2)
51. von Arx T, Bosshardt D. Vertical root fractures of endodontically treated posterior teeth: A histologic analysis with clinical and radiographic correlates. Swiss Dent J. 12 janv 2017;127(1):14-23.
52. Nothdurft FP, Seidel E, Gebhart F, Naumann M, Motter PJ, Pospiech PR. The fracture behavior of premolar teeth with class II cavities restored by both direct composite restorations and endodontic post systems. J Dent. juin 2008;36(6):444-9.

53. Ferrario VF, Sforza C, Serrao G, Dellavia C, Tartaglia GM. Single tooth bite forces in healthy young adults. J Oral Rehabil. janv 2004;31(1):18-22.
54. Nishigawa K, Bando E, Nakano M. Quantitative study of bite force during sleep associated bruxism. J Oral Rehabil. mai 2001;28(5):485-91.
55. De Pasquale P, Rubino E, Borzelli D, Peditto M, Nastro Siniscalchi E, De Ponte FS, et al. A Low-Cost Wireless Bite Force Measurement Device. Materials. janv 2022;15(11):4000.
56. Espevik S. Stress/strain behavior of dental amalgams. Acta Odontol Scand. 1978;36(2):103-11.
57. Hürmüzlü F, Serper A, Siso SH, Er K. In vitro fracture resistance of root-filled teeth using new-generation dentine bonding adhesives. Int Endod J. nov 2003;36(11):770-3.
58. Plotino G, Buono L, Grande NM, Lamorgese V, Somma F. Fracture resistance of endodontically treated molars restored with extensive composite resin restorations. J Prosthet Dent. mars 2008;99(3):225-32.
59. Al-Wahadni A, Gutteridge DL. An in vitro investigation into the effects of retained coronal dentine on the strength of a tooth restored with a cemented post and partial core restoration. Int Endod J. nov 2002;35(11):913-8.
60. Fráter M, Lassila L, Braunitzer G, Vallittu PK, Garoushi S. Fracture resistance and marginal gap formation of post-core restorations: influence of different fiber-reinforced composites. Clin Oral Investig. janv 2020;24(1):265-76.
61. Samran A, El Bahra S, Kern M. The influence of substance loss and ferrule height on the fracture resistance of endodontically treated premolars. An in vitro study. Dent Mater Off Publ Acad Dent Mater. déc 2013;29(12):1280-6.
62. Kvinnsland I, Oswald RJ, Halse A, Grønningsaeter AG. A clinical and roentgenological study of 55 cases of root perforation. Int Endod J. mars 1989;22(2):75-84.
63. Mancino D, Meyer F, Haikel Y. Improved single visit management of old infected iatrogenic root perforations using Biodentine ®. G Ital Endodonzia. juin 2018;32(1):17-24.
64. Mirmohammadi H, Gerges E, Salameh Z, Wesselink PR. Effect of post diameter and cement thickness on bond strength of fiber posts. Quintessence Int Berl Ger 1985. déc 2013;44(10):801-10.
65. Gomes GM, Rezende EC, Gomes OM, Gomes JC, Loguercio AD, Reis A. Influence of the resin cement thickness on bond strength and gap formation of fiber posts bonded to root dentin. J Adhes Dent. févr 2014;16(1):71-8.
66. Faria-e-Silva AL, Pedrosa-Filho C de F, Menezes M de S, Silveira DM da, Martins LRM. Effect of relining on fiber post retention to root canal. J Appl Oral Sci Rev FOB. déc

2009;17(6):600-4.
67. D'Arcangelo C, Cinelli M, De Angelis F, D'Amario M. The effect of resin cement film thickness on the pullout strength of a fiber-reinforced post system. J Prosthet Dent. sept 2007;98(3):193-8.
68. Grandini S, Goracci C, Monticelli F, Borracchini A, Ferrari M. SEM evaluation of the cement layer thickness after luting two different posts. J Adhes Dent. 2005;7(3):235-40.
69. Caceres EA, Sampaio CS, Atria PJ, Moura H, Giannini M, Coelho PG, et al. Void and gap evaluation using microcomputed tomography of different fiber post cementation techniques. J Prosthet Dent. janv 2018;119(1):103-7.
70. Kharouf N, Sauro S, Jmal H, Eid MA, Karrout M, Bahlouli N, et al. Does Multi-Fiber-Reinforced Composite-Post Influence the Filling Ability and the Bond Strength in Root Canal? Bioengineering. 2021; 8(12).
71. Assis RS, Lopes FC, Roperto R, Silva Sousa YTC, Brazão EH, Spazzin AO, et al. Bond strength and quality of bond interface of multifilament fiberglass posts luted onto flat-oval root canals without additional dentin wear after biomechanical preparation. J Prosthet Dent. 1 déc 2020;124(6):738.e1-738.e8.
72. Le Bell-Rönnlöf AM, Lassila LVJ, Kangasniemi I, Vallittu PK. Load-bearing capacity of human incisor restored with various fiber-reinforced composite posts. Dent Mater Off Publ Acad Dent Mater. juin 2011;27(6):e107-115.
73. Guzy GE, Nicholls JI. In vitro comparison of intact endodontically treated teeth with and without endo-post reinforcement. J Prosthet Dent. juill 1979;42(1):39-44.

SIMONIS (Philippine) – Nouveaux dispositifs de restauration post-endodontique : les tenons fibrés fasciculés

(Thèse : 3ème cycle Sci. odontol. : Strasbourg : 2022 ; N°82)

N°43.22.22.82

Résumé :

La fonction d'une reconstitution corono-radiculaire consiste à remplacer la perte de substance dentaire afin d'assurer, le plus souvent, la rétention d'un élément prothétique. La plupart des chercheurs s'accordent à dire que la préparation des logements accueillant les tenons n'offre pas de renforcement pour les dents restaurées, au contraire, leur insertion conduit généralement à une perte supplémentaire de tissus dentinaire qui se traduit en une diminution de leur résistance à la fracture.

Les RMIPP à micro-tenons fasciculés sont de nouveaux dispositifs. Ces tenons sont mobiles les uns par rapport aux autres, afin de se conformer à l'anatomie du canal sans que celui-ci n'ait été préparé. Cependant, les performances de ces nouveaux tenons ne sont pas claires.

L'objectif de cette étude est de comparer la résistance à la fracture, le type de fracture et la capacité de remplissage du logement intra-canalaire des prémolaires restaurées avec des tenons en fibre de verre conventionnels et des tenons anatomiques fasciculés.

Rubrique de classement : Endodontie

Mots clés :- Résistance
- Anatomie
- Micro-tenons
- Adhésion

Me SH : - Mechanical strength
- Anatomy
- Micro-fiber
- Bonding

Jury :

Président : Professeur HAIKEL Youssef

Assesseurs : Docteur FIORETTI Florence

Docteur MANCINO Davide

Docteur REITZER François

Coordonnées de l'auteur :

Adresse postale :

P. SIMONIS

4 rue Wencker

67000 STRASBOURG

Adresse de messagerie : philippine.simonis@gmail.com