

UNIVERSITE DU DROIT ET DE LA SANTE DE LILLE 2

FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année de soutenance : 2017

N°:

THESE POUR LE

DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement le 22 Novembre 2017

Par Guillaume HERLEM

Né le 29 Décembre 1992 à Cambrai (France)

Les fractures des prémolaires reconstituées par restauration
corono-radiculaire : facteurs de risques, diagnostic et traitements

JURY

Président : Monsieur le Professeur Etienne DEVEAUX

Assesseurs : Monsieur le Docteur Jérôme VANDOMME

Monsieur le Docteur Thibault BÉCAVIN

Madame le Docteur Marion DEHURTEVENT

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

PERSONNEL ENSEIGNANT DE L'U.F.R.

PROFESSEURS DES UNIVERSITES :

| | |
|------------|--|
| P. BEHIN | Prothèses |
| T. COLARD | Sciences Anatomiques et Physiologiques, Occlusodontiques, Biomatériaux, Biophysiques, Radiologie |
| E. DEVEAUX | Odontologie Conservatrice - Endodontie Doyen de la Faculté |
| G. PENEL | Responsable de la Sous-Section des Sciences Biologiques |

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

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

Monsieur le Professeur Etienne DEVEAUX

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier des CSERD

Sous-Section Odontologie Conservatrice – Endodontie

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur en Sciences Odontologiques

Docteur en Odontologie de l'Université de Lille 2

Habilité à Diriger des Recherches

Doyen de la Faculté de Chirurgie Dentaire de Lille

Membre associé national de l'Académie Nationale de Chirurgie Dentaire

Responsable des Relations Internationales de la Faculté de Chirurgie Dentaire de Lille

Personne Compétente en Radioprotection

Ancien Président de la Société Française d'Endodontie

Je suis très honoré que vous ayez accepté de présider ce jury.

Je vous remercie, de par votre fonction de Doyen et vos actions, de m'avoir permis de grandir et de m'épanouir au sein de cette faculté de Chirurgie Dentaire.

Soyez assuré de mes remerciements sincères et de mon plus grand respect.

Monsieur le Docteur Thibault BÉCAVIN

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier des CSERD

Sous-Section Odontologie Conservatrice – Endodontie

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

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur en Biologie et Santé de l'Université de Lille 2

Master I Informatique Médicale – Lille 2

Master II Biologie et Santé – Lille 2

Vous avez accepté de siéger parmi les membres de ce jury de thèse et je vous en suis reconnaissant.

Je tiens à vous exprimer toute ma reconnaissance pour l'ensemble des conseils prodigués en endodontie aussi bien lors des travaux pratiques et des vacations cliniques que lors des séances à vous assister au microscope.

Veillez recevoir l'expression de toute mon estime.

Madame le Docteur Marion DEHURTEVENT

Assistante Hospitalo-Universitaire des CSERD

Sous-Section Prothèses

Docteur en Chirurgie Dentaire

Master I Informatique Médicale – Lille 2

Master II Biologie et Santé – Lille 2

CES Prothèses Conjointes

DU Prothèses Amovibles Complète – Lille 2

DU Occlusodontie Lille – 2

Je vous suis reconnaissant d'avoir accepté de juger cette thèse en faisant partie des membres de ce jury. J'ai eu peu l'occasion de travailler avec vous mais votre gentillesse et votre attitude bienveillante m'ont marqué.

J'espère que ce travail trouvera valeur à vos yeux.

Veillez trouver ici l'expression de ma profonde considération.

Monsieur le Docteur Jérôme VANDOMME

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier des CSERD

Sous-Section Prothèses

Responsable de la Sous-Section Prothèses

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur en Biologie de l'Université de Lille 2

Maîtrise des Sciences Biologiques et médicales

Master II de l'Université de Lille 2

Je vous remercie d'avoir accepté de reprendre ce travail de thèse et de m'avoir accompagné pour me permettre de le mener à bien. J'espère que cette thèse est à la hauteur de vos espérances.

Je vous suis également reconnaissant pour votre soutien lors de mes premiers pas en clinique. Je garde en mémoire l'attitude de mon premier patient très peu coopératif et particulièrement mordant.

Je vous remercie pour vos précieux conseils tout au long de mon parcours universitaire. J'ai apprécié votre disponibilité et votre implication, des travaux pratiques jusqu'à la rédaction de cette thèse.

Veillez trouver ici le témoignage de ma sincère gratitude et de mon profond respect.

Table des matières

| | |
|---|-----------|
| Introduction | 11 |
| 1 Epidémiologie | 12 |
| 1.1 Prévalence des fractures radicaires des dents dépulées reconstituées par restauration corono-radicaire..... | 12 |
| 2 Facteurs de risques inhérents à la dent support. | 14 |
| 2.1 Transformations biologiques..... | 14 |
| 2.1.1 Teneur en eau de la dentine..... | 14 |
| 2.1.2 Proprioception | 14 |
| 2.2 Transformations mécaniques et structurelles | 16 |
| 2.2.1 Perte de substance tissulaire | 16 |
| 2.2.2 Traitements chimiques | 19 |
| 2.3 Incidence des charges occlusales | 20 |
| 2.4 Incidence du type de restauration globale | 21 |
| 3 Les différents types de restaurations corono-radicales | 25 |
| 3.1 Choix du type de restauration..... | 26 |
| 3.2 Principes de préparation communs aux différentes restaurations corono-radicales..... | 26 |
| 3.2.1 Préparation du logement canalaire..... | 26 |
| 3.2.1.1 Rappel anatomique | 27 |
| 3.2.1.1.1 La première prémolaire maxillaire | 27 |
| 3.2.1.1.2 La deuxième prémolaire maxillaire..... | 28 |
| 3.2.1.1.3 La première prémolaire mandibulaire..... | 29 |
| 3.2.1.1.4 La deuxième prémolaire mandibulaire | 30 |
| 3.2.1.2 Type de tenon..... | 30 |
| 3.2.1.2.1 Tenon anatomique et tenon normalisé | 30 |
| 3.2.1.2.2 Tenon actif et tenon passif | 31 |
| 3.2.1.3 Forme du tenon | 32 |
| 3.2.1.4 Longueur du tenon | 34 |
| 3.2.1.5 Diamètre du tenon | 37 |
| 3.2.1.6 Nombre de tenon..... | 39 |
| 3.2.1.7 Influence du support parodontal | 41 |
| 3.2.1.8 Axe de forage | 43 |
| 3.2.1.9 Module d'élasticité | 43 |
| 3.2.2 L'effet ferrule..... | 46 |
| 3.2.2.1 Définition | 46 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3.2.2.2 | Influence de l'effet ferrule | 47 |
| 3.3 | Les restaurations corono-radicairees foulées | 50 |
| 3.3.1 | Les matériaux du noyau coronaire | 50 |
| 3.3.2 | Les matériaux de la partie radicaire..... | 50 |
| 3.4 | Les restaurations corono-radicairees coulées..... | 51 |
| 3.4.1 | Préparation spécifique pour inlay-core | 51 |
| 3.4.1.1 | Préparation périphérique | 52 |
| 3.4.1.2 | Préparation de la cavité pulpaire | 52 |
| 3.4.1.3 | Conséquence sur la résistance à la fracture | 52 |
| 3.5 | Performance des dents reconstituées par restauration corono-radicaire face à la fracture | 53 |
| 4 | Remise en cause de l'utilisation du tenon radicaire..... | 58 |
| 5 | Diagnostic des fractures radicairees | 61 |
| 5.1 | Anamnèse | 62 |
| 5.2 | Diagnostic clinique..... | 62 |
| 5.2.1 | Les fractures horizontales | 62 |
| 5.2.2 | Les fractures verticales | 63 |
| 5.3 | Diagnostic radiologique | 66 |
| 5.3.1 | Apport de la radiographie 3D | 68 |
| 5.4 | Nouvelles méthodes de détection..... | 70 |
| 5.4.1 | Tomographie par Cohérence Optique (OCT) | 70 |
| 5.4.2 | Profilométrie optique | 72 |
| 6 | Traitements..... | 74 |
| 6.1 | Traitements conventionnels | 74 |
| 6.1.1 | Les fractures horizontales | 74 |
| 6.1.2 | Les fractures verticales | 74 |
| 6.2 | Les traitements expérimentaux des fractures verticales | 75 |
| 6.2.1 | Protocole de traitement des fractures sans extraction des fragments de Da Silva et coll | 75 |
| 6.2.2 | Protocoles de traitement des fractures avec extraction des fragments | 76 |
| 6.2.2.1 | Protocole de traitement par collage des fragments et réimplantation après leurs extractions..... | 76 |
| 6.2.2.2 | Protocole de Sugaya et coll..... | 78 |
| 6.2.2.3 | Protocole de Hadrossek et coll..... | 79 |
| 7 | Conclusion | 80 |
| | Références bibliographiques | 81 |
| | Table des figures | 89 |

Introduction

Les fractures des dents dépulpées sont un problème majeur auquel les chirurgiens-dentistes doivent faire face.

Une des causes de ces fractures est la déshydratation supposée causée par l'éviction du parenchyme pulpaire. Pour les éviter, la majorité des chirurgiens-dentistes place systématiquement un tenon radiculaire censé renforcer la dent. Les études démontrent aujourd'hui que cette pratique est injustifiée.

Pourtant le problème est bien réel : les dents reconstituées par restauration coronoradiculaire sont plus sujettes aux fractures et parmi toutes les dents, les prémolaires se démarquent par une prévalence de fracture supérieure.

Plusieurs auteurs ont essayé d'expliquer ce phénomène mais la majorité des études ne prend en compte qu'un seul facteur à la fois et non l'ensemble. Cependant une majorité d'entre eux, incrimine la quantité de tissu résiduel après le traitement endodontique.

Ainsi, connaître les facteurs à l'origine des fractures radiculaires de ces prémolaires dépulpées est un bon moyen de les éviter. C'est pourquoi dans ce travail, ils seront décrits dans leur ensemble, avant d'aborder les moyens diagnostiques à notre disposition. Enfin, les différentes solutions thérapeutiques seront développées.

1 Epidémiologie

Cette première partie vise à mettre en lumière la place des fractures radiculaires dans la perte des dents dépulpées reconstituées par restauration corono-radicaire.

1.1 Prévalence des fractures radiculaires des dents dépulpées reconstituées par restauration corono-radicaire

L'analyse de Yoshino et coll. [1] de 2015 révèle que sur l'ensemble des dents extraites suite à une fracture radicaire, 93.6% étaient dépulpées.

Ces résultats sont étayés par l'étude de Sugaya et coll. [2]. Ils répertorient neuf fractures radiculaires de dents vitales (avec ou sans lésions carieuses) pour 295 fractures radiculaires de dents dépulpées.

Les dents ayant subi un traitement endodontique sont donc plus sensibles aux fractures radiculaires que les dents vitales.

Parmi l'ensemble des dents dépulpées, nous allons nous concentrer uniquement sur les dents reconstituées par restauration corono-radicaire scellée ou collée.

Une étude de 2015 décrit un taux de survie à 5 ans compris entre 83.9% et 90%, en fonction du type de restauration corono-radicaire utilisé. La prévalence de fractures radiculaires y est de 5% [3].

Sarkis-Onofre et coll. [4] ont observé 72 dents dépulpées reconstituées par restauration corono-radicaire sur trois ans. Ils ne décrivent que deux fractures radiculaires soit une prévalence de 2.8%. Le taux de survie fonctionnelle est de 94.5%.

Bien d'autres études ont évalué la prévalence des fractures radiculaires parmi les dents dépulpées. Il existe une variabilité importante de cette valeur entre les différentes publications. Elle peut être de 4.4% [5], 8.8% [6], 10.6% [7], 13.4% [8], 20% [9] ou encore de 31.7% [1].

L'incohérence des valeurs de prévalence peut être attribuée à la durée d'observation différente entre les études ou à des formes de préparations différentes. Il en est de même pour les différents types de restaurations corono-radiculaires. L'ensemble des restaurations n'est jamais étudié en même temps dans une seule et même étude.

Le diagnostic des fractures radiculaires est complexe à réaliser ce qui ne permet pas d'évaluer avec précision la prévalence de ces dernières.

Les différentes études n'utilisent pas la même démarche pour leur mise en évidence. Les valeurs de prévalence les plus importantes peuvent être expliquées par le fait que le diagnostic de fracture radiculaire soit posé après leur extraction : la visualisation d'une fracture radiculaire y est plus aisée.

Les études se basant uniquement sur un examen clinique et/ou radiologique concluent, en raison de la difficulté de diagnostic, à un plus faible pourcentage de prévalence de fractures.

2 Facteurs de risques inhérents à la dent support

Les dents dépulpées sont plus sensibles aux fractures que les dents vitales, ce qui a pour conséquence leur extraction dans les cas où les fractures sont les plus défavorables. Cela pourrait être évité, si les risques de fractures inhérents aux dents dépulpées sont identifiés [10].

2.1 Transformations biologiques

2.1.1 Teneur en eau de la dentine

On a longtemps pensé qu'une des causes probables de la susceptibilité à la fracture des dents dépulpées était la déshydratation, qui les rendait excessivement fragiles.

Certes, les dents dépulpées subissent des transformations biologiques dues à la perte du parenchyme pulpaire, mais cette déshydratation n'est pas significative, comme le démontre l'étude de Papa et coll. [11].

Une comparaison sur la teneur en eau entre des dents vitales et des dents traitées par endodontie d'un même individu a été réalisée et répétée sur 23 patients différents, soit 23 paires de dents.

Les résultats prouvent qu'il n'y a pas de différence significative concernant la teneur en eau entre les dents vitales et les dents dépulpées [12,13].

2.1.2 Proprioception

La proprioception des dents va également être modifiée par la suppression du parenchyme pulpaire, entraînant la perte des récepteurs intrapulpaires. En effet, ceux-ci jouent un rôle important dans la sensation de la pression occlusale. D'ailleurs, le seuil de réaction à la douleur d'une dent dépulpée, face aux forces exercées, est plus élevé que celui d'une dent saine.

Des sujets en bonne santé parodontale présentant une prémolaire dépulpée et la controlatérale vitale, ont été sélectionnés pour étudier le seuil de douleur lors de l'application d'une charge en porte-à-faux (figure 1). Les résultats ont montré que les dents dépulpées présentent un seuil de douleur moyen plus de deux fois supérieur à ceux des controlatérales vitales (tableau 1) [14].

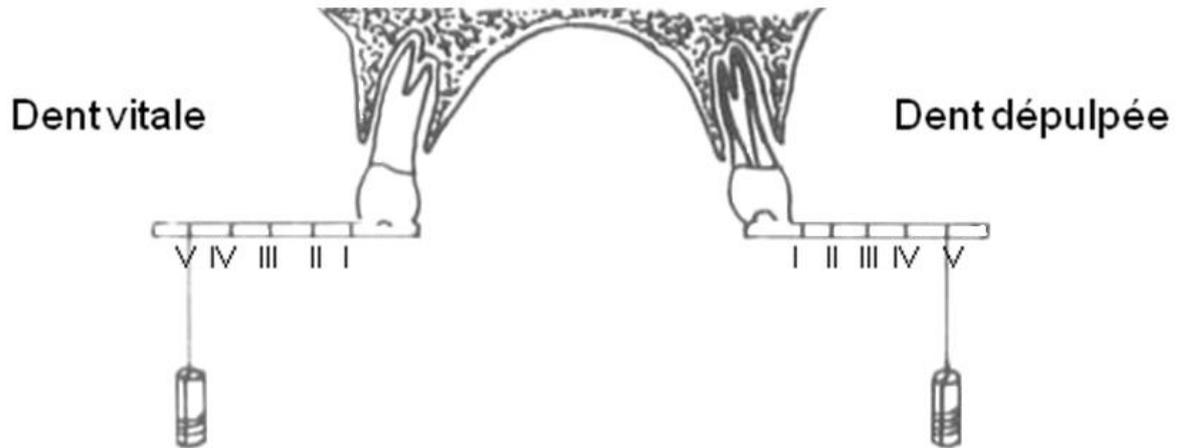


Figure 1: schéma représentant les différentes zones d'application de charge [14]

Tableau 1 : charge nécessaire (en N) pour provoquer l'apparition de la douleur en fonction des zones d'applications [14]

| Zone d'application de la charge | Dent dépulpée | Dent vitale | Rapport |
|---------------------------------|----------------|---------------|-------------|
| I | 33.1 (+/-10.3) | 20.3 (+/-6.5) | 1.63 |
| II | 21.6 (+/-1.0) | 13.1 (+/-5.7) | 1.64 |
| III | 17.7 (+/-0.0) | 8.1 (+/-1.2) | 2.18 |
| IV | 14.7 (+/-0.0) | 6.1 (+/-1.0) | 2.40 |
| V | 10.8 (+/-2.0) | 4.6 (+/-0.6) | 2.34 |
| Total | | | 2.04 |

L'expérimentation devait être effectuée sur dix paires de prémolaires. Cependant, la dent dépulpée du quatrième patient s'est fracturée au cours du test, celui-ci n'ayant ressenti aucune douleur avant la fracture. Pour des raisons éthiques, l'expérimentation a été interrompue. Seuls les résultats de trois sujets ont pu être analysés. Toutefois, ceux-ci présentent des différences suffisamment significatives permettant d'en tirer des enseignements.

Le réflexe visant à la protection des dents dépulpées est amoindri, elles sont donc plus exposées aux contraintes occlusales [15].

Par conséquent, les dents dépulpées vont avoir une diminution de leurs capacités à se défendre contre leur environnement occlusal. L'accumulation des agressions va affaiblir progressivement ces dents jusqu'à la fracture.

2.2 Transformations mécaniques et structurelles

Les tissus durs de la dent dépulpée sont à préserver. Leur réduction implique une diminution des capacités mécaniques de la dent.

2.2.1 Perte de substance tissulaire

Le facteur principal diminuant la résistance mécanique de la dent dépulpée est la perte de substance. Plus cette perte est conséquente, plus la résistance de la dent, qu'elle soit pulpée ou non, sera diminuée.

L'origine des pertes de substance est très variée. Elles peuvent résulter de caries, de traumatismes, mais aussi de traitements subis par la dent.

Le traitement endodontique va laisser des séquelles, notamment lors de la réalisation de la cavité d'accès à l'endodonte. Lors de celle-ci, la vigilance est recommandée : l'amincissement des parois dentinaires peut conduire à un affaiblissement de la région cervicale (figure 2).



Figure 2 : affaiblissement des parois dentinaires suite au traitement endodontique [16]

Krishan et coll. [17] proposent pour cela de réaliser des cavités d'accès endodontiques conservatrices. Celles-ci permettent de réduire le volume de dentine éliminé lors de sa réalisation ($5,82\text{mm}^3$ au lieu de $11,93\text{mm}^3$ pour les prémolaires). La cavité d'accès traditionnelle des prémolaires est 77% plus délabrante que la cavité conservatrice.

La cavité conservatrice est réalisée en fraisant une cavité d'1mm de diamètre au niveau du centre de la cavité traditionnelle, en conservant une partie du plafond de la chambre pulpaire (figure 3).

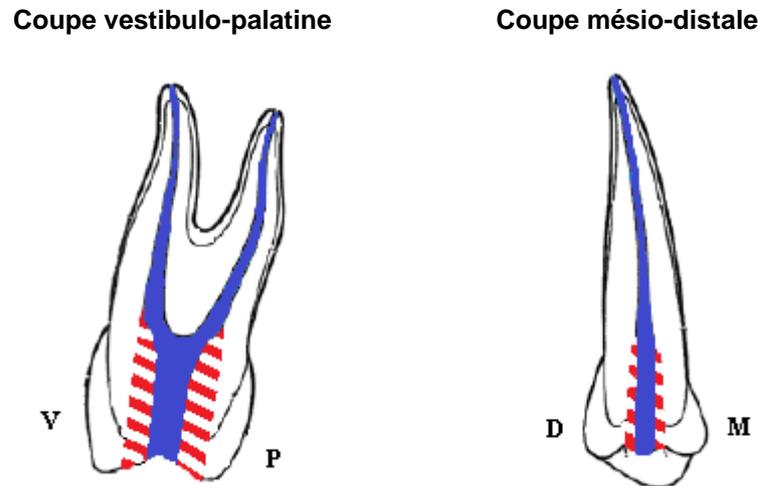


Figure 3 : cavité d'accès conservatrice (en bleu) et volume de dentine supplémentaire éliminé pour une cavité traditionnelle (en rouge) permettant l'accès à l'endodonte (schéma personnel)

Afin de vérifier l'effet de cette cavité d'accès conservatrice sur la résistance à la fracture des dents dépulpées, une charge a été appliquée au niveau du sillon occlusal selon un axe de 30°, par rapport à l'axe longitudinal de la dent.

La force à appliquer pour observer une fracture sur les dents préparées avec une cavité conservatrice est supérieure à la force nécessaire pour les dents préparées avec une cavité traditionnelle. Elle n'est pas significativement différente de celle à appliquer pour provoquer la fracture d'une dent saine (tableau 2).

Ces résultats sont confirmés en 2016 par Yuan et coll.

Tableau 2 : force à appliquer pour obtenir une fracture des prémolaires en fonction du type de cavité d'accès endodontique [17]

| Force (en N) | | |
|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| Cavité endodontique conservatrice | Cavité endodontique traditionnelle | Contrôle (dent non dépulpée) |
| 586 (+/-116.9) | 328.4 (+/-56.7) | 634 (+/-58.6) |

Le traitement canalair n'a que peu d'influence sur la résistance mécanique de la dent si celui-ci est correctement réalisé, sans sur-instrumentation.

L'étude de Reeh et coll. [18] a quantifié la perte de rigidité des prémolaires maxillaires au cours de différentes procédures opératoires. Elle conclut que le traitement endodontique n'a que peu d'effet sur la dent. Par contre, la présence d'une cavité mésio-occluso-distale avec la perte des crêtes marginales provoque la plus grande diminution de rigidité (63%), ce qui compromet la résistance de la dent.

Une autre étude arrive à la même conclusion : plus la quantité de structure résiduelle est importante, plus la résistance de cette dent à la fracture est élevée [19].

D'ailleurs, le taux de survie de la dent est en corrélation directe avec la quantité de tissu résiduel. Avec un recul de 5 ans, ce taux est de 78% lorsqu'il reste quatre parois d'au moins 2mm d'épaisseur mais de 18% s'il ne demeure que deux parois [20].

La combinaison du volume et de la topographie de la perte de substance entraîne une fragilisation de la dent (figure 4).

S'il manque une crête marginale, structure fondamentale pour la résistance de la dent, le cercle périphérique de la dent est rompu (perte de 46 % de résistance).

Si les deux sont perdues, la perte de résistance est encore plus importante (63 %). Les parois restantes risquent alors de fléchir et de se fracturer suite à la pression occlusale [18].

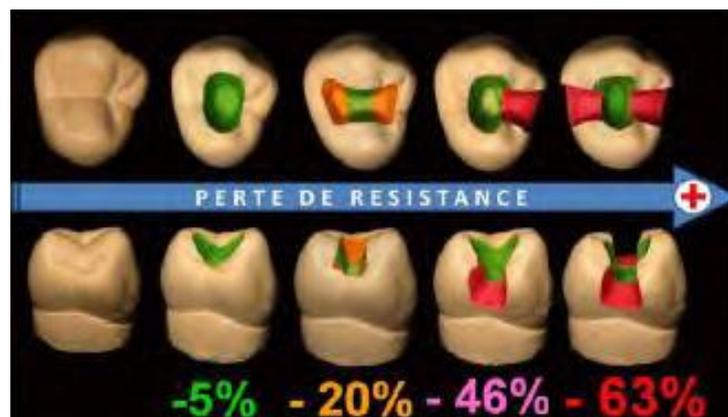


Figure 4 : réduction de la résistance de la dent en fonction de la situation de la perte tissulaire [18]

2.2.2 Traitements chimiques

Les différents produits nécessaires à nos thérapeutiques ont également une incidence sur les structures dentaires.

Notamment, l'utilisation prolongée d'hydroxyde de calcium intracanalair lors d'un traitement endodontique diminue la résistance à la fracture des dents dépulpées. D'ailleurs, après un an d'utilisation, la force nécessaire à leur fracture diminue de moitié [21].

Ces résultats sont confirmés en 2013 par Zarei et coll. [22] puis en 2015 par Yilnaz et coll. [23]. Ils décrivent une diminution significative de la microdureté de la dentine après quatre semaines d'utilisation d'hydroxyde de calcium (figure 5).

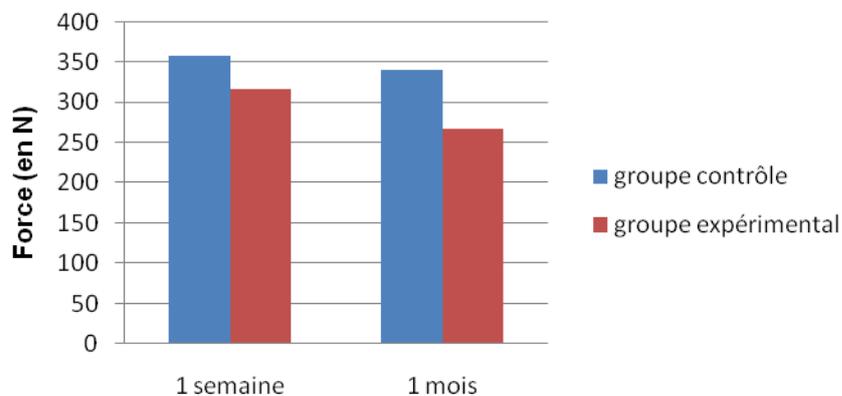


Figure 5 : graphique représentant la force nécessaire à appliquer pour obtenir une fracture (en N) du groupe contrôle et du groupe exposé à l'hydroxyde de calcium sur une période d'une semaine ou d'un mois [22]

De plus, l'exposition de la dentine radiculaire aux produits d'irrigation endocanalair (hypochlorite de sodium et EDTA : acide éthylène diamine tétra-acétique) entraîne une réduction du module d'élasticité, de la résistance à la flexion et de la microdureté de la dentine [24,25].

Les effets délétères des différents produits d'irrigation sont fonction de leur concentration et du temps d'application [26–29]. Une exposition prolongée à une concentration élevée augmente considérablement le risque de fracture.

C'est pourquoi, il faut choisir soit une concentration élevée pendant un temps court soit une concentration faible pendant un temps long.

Les irrigants endodontiques modifient défavorablement les propriétés mécaniques de la dentine radiculaire et affectent donc négativement la résistance à la fracture. Par conséquent, le traitement chimique de désinfection canalair doit être effectué de

manière raisonnée pour ne pas compromettre la survie à long terme de la dent, en adaptant la concentration et le temps d'exposition des différents produits.

Turk et coll. [30] décrivent en 2016 une procédure pour diminuer les effets négatifs des irrigants endodontiques sur la résistance aux fractures radiculaires. **Le rinçage du système endocanalaire à la chlorhexidine (CHX) à 2.5% après l'irrigation finale permet d'améliorer la résistance à la fracture** (tableau 3).

Tableau 3 : force nécessaire à appliquer sur une racine pour observer une fracture en fonction des différentes procédures d'irrigation [30]

| Groupes | Procédures d'irrigation | Force (en N) |
|---------|--------------------------------------|--------------|
| 1 | 5%EDTA + 2,5%NaOCl | 993 +/-29 |
| 2 | 17%EDTA + 2,5%NaOCl | 822 +/-60 |
| 3 | 5%EDTA + 2,5%NaOCl + 2,5%CHX | 1061 +/-57 |
| 4 | 17%EDTA + 2,5%NaOCl + 2,5%CHX | 1095 +/-84 |

2.3 Incidence des charges occlusales

L'incidence de la position occlusale de la dent (intensité et direction de la force exercée) semble jouer un rôle plus important dans la survenue de fractures que la nature du matériau de la restauration.

La dent ne supporte pas uniquement des contraintes selon son grand axe mais un ensemble de forces s'exerçant à 180° et dont l'intensité est fonction de sa situation.

Les dents antérieures subissent en grande partie des forces non axiales : elles travaillent en flexion (avec des forces de cisaillement) ce qui peut être à l'origine de fractures en biseau (figure 6) [31].

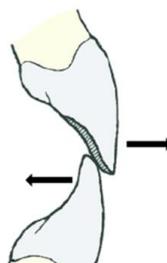


Figure 6 : force de cisaillement [31]

Par contre, les dents postérieures subissent en majorité des contraintes suivant le grand axe de la dent : lors de la mastication, elles travaillent en compression, ce qui explique que la majorité des fractures observées est verticale (figure 7).

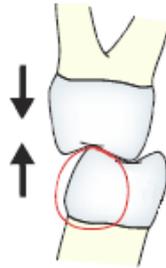


Figure 7 : force de compression [31]

Les prémolaires subissent du fait de leur position intermédiaire les deux types de contraintes. De plus, ces forces seront plus délétères en cas de rapports occlusaux néfastes. Les interférences travaillantes ou non travaillantes lors de l'occlusion dynamique (propulsion et latéralité), doivent être supprimées. Il est important de prévenir toute surcharge occlusale, afin d'éviter qu'elles ne génèrent des fractures radiculaires.

C'est pourquoi, **la mise en place d'une prothèse, avec un réglage occlusal adapté, permettra de limiter les risques de fractures des dents supports de restauration corono-radicaire.**

2.4 Incidence du type de restauration globale

Les dents dépulpées peuvent être utilisées comme pilier pour différents types de restaurations prothétiques. Elles peuvent soutenir une prothèse fixée unitaire (couronne), une prothèse fixée plurale (bridge), ou encore une prothèse amovible partielle par l'intermédiaire de crochets.

L'étude clinique de Wegner et coll. [32], rédigée en 2006, analyse sur 60 mois l'impact du type de restauration sur le taux de survie des dents dépulpées utilisées comme pilier. Toutefois, l'auteur ne précise pas le type de restauration corono-radicaire des piliers prothétiques. Ce taux de survie était respectivement de 92,7% pour les piliers de Prothèses Fixées (PF) et de 51% pour les piliers de Prothèses Amovibles (PA) (figure 8).

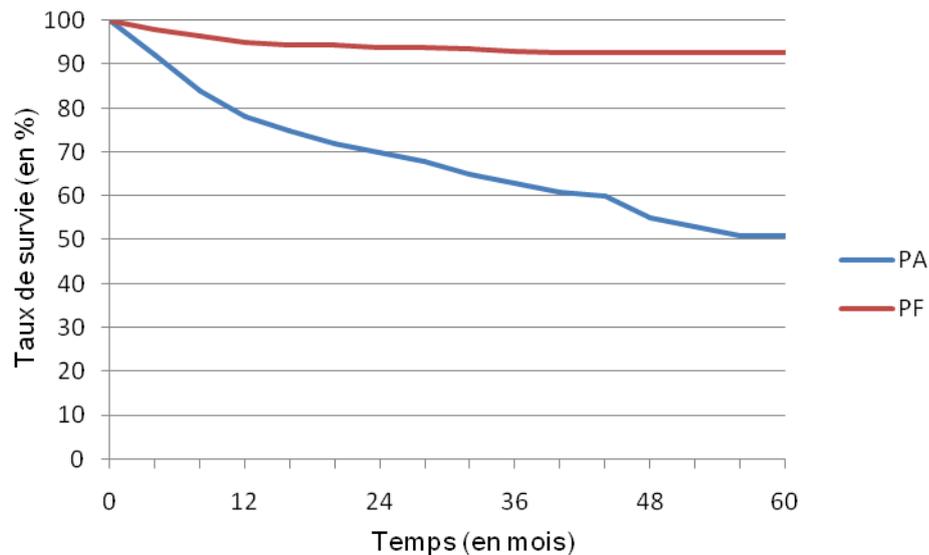


Figure 8 : graphique représentant le taux de survie des piliers de différents types de restaurations prothétiques sur une période de temps [32]

Le faible taux de survie rencontré pour les piliers de prothèses amovibles partielles s'explique par la fréquence importante d'édentements terminaux et de grandes étendues qu'elles compensent, contrairement aux prothèses fixes qui ne comblent dans la majorité des cas que des édentements encastrés de faibles étendues et rarement des cantilevers distaux.

Les contraintes s'exerçant sur les dents supports de prothèses amovibles partielles métalliques sont plus importantes. Il existe un enfoncement de la selle prothétique en cas d'édentement terminal, accompagné d'une rotation autour d'un axe passant par les deux appuis dentaires les plus distaux (figure 9). Celle-ci est due à la différence de dépressibilité entre la fibromuqueuse (1mm) et le desmodonte de la dent support (20µm). La rotation autour de cet axe transversal est accentuée pour les dents bordant un édentement de classe II de Kennedy. Cela entraîne une traction distale (figure 9) des dents supports qui sera d'autant plus importante que le segment édenté est étendu.

La localisation des piliers a également une incidence sur leur taux de survie lorsqu'ils sont utilisés comme support des prothèses amovibles. **Les prémolaires ont le taux le plus faible de survie soit 38,3% après 54 mois [32].**

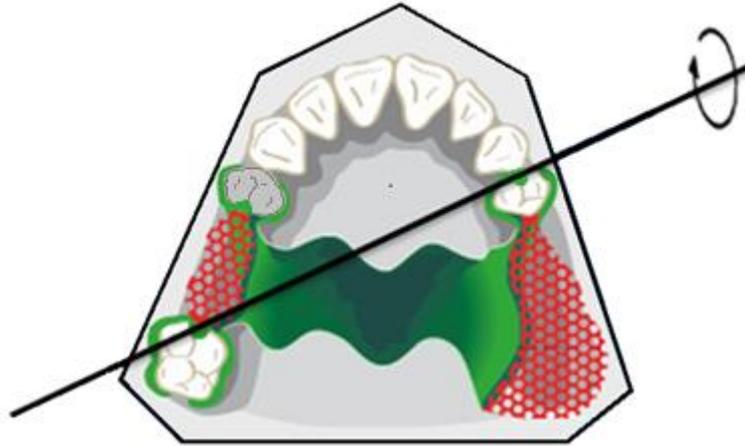


Figure 9 : mouvement de rotation spécifique d'un édentement de classe II de Kennedy (schéma personnel)

En ce qui concerne les prothèses fixées plurales, les forces occlusales appliquées sur la travée vont entraîner sa flexion. Celle-ci provoque des contraintes qui sont alors transmises aux piliers. La flexion de la travée est proportionnelle au carré de la longueur de cette dernière (figure 10).

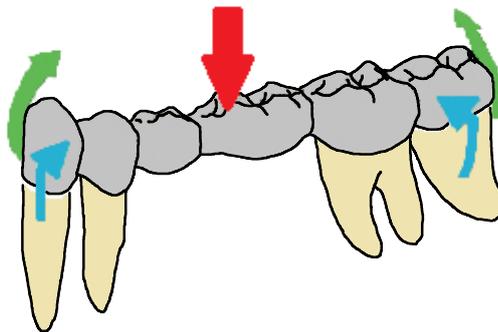


Figure 10 : force de flexion exercée sur un bridge : les forces de désinsertion (en vert) entraînent des micromouvements de flexion (en bleu) des dents en direction de l'intermédiaire de bridge lorsque celui-ci est sollicité en compression (flèche rouge) (schéma personnel)

Plus récemment, Ploumaki et coll. [33] ont étudié sur six ans, le taux de réussite des différentes restaurations prothétiques utilisant des dents dépulpées comme piliers. Une restauration est considérée comme réussie lorsqu'aucune réintervention n'est nécessaire durant la période d'étude. Ce taux est de 92% pour les couronnes unitaires, mais il n'est que de 79% pour les prothèses fixées plurales et de 66% pour les dents supports de prothèses amovibles partielles.

La réussite accrue des prothèses unitaires résulte du faible niveau de contraintes occlusales qu'elles subissent en comparaison aux autres types de restaurations prothétiques. Celles-ci ne supportent que leur propre charge occlusale.

De même, si l'on compare les prothèses amovibles partielles et les prothèses fixées plurales, les premières supporteront généralement plus de pressions occlusales du fait du nombre de dents remplacées. L'accumulation de ces forces dans le temps aboutit à un taux d'échec beaucoup plus important.

Les fractures radiculaires sont la deuxième cause d'échec rencontrée pour les restaurations prothétiques plurales. La première cause est le descellement prothétique.

Ces résultats sont confirmés en 2016 par l'étude de Sorrentino et coll. [34] réalisée sur dents déulpées reconstituées par l'intermédiaire d'un tenon fibré. **Les taux de survie des dents supports de couronnes unitaires sont plus élevés que celui des piliers de restaurations prothétiques plurales.**

3 Les différents types de restaurations corono-radicales

Il existe 2 types principaux de restaurations de la dent dépulpée avec ancrage radiculaire :

- les restaurations corono-radicales foulées réalisées directement au fauteuil, sans étape de laboratoire grâce à un matériau inséré en phase plastique (RMIPP).
- les restaurations corono-radicales coulées métalliques nécessitant une étape de laboratoire (inlay-core et inlay-clavette).

Un troisième type de restauration existe : l'endocouronne. La rétention de cette restauration provient des parois de la chambre pulpaire, donc sans ancrage radiculaire. Néanmoins, dans certains cas où la rétention est insuffisante, quelques auteurs préconisent la préparation des entrées canalaire sur 1 à 2mm. La préparation ne doit pas être plus importante, sinon les avantages de la technique de l'endocouronne qui épargnent les contraintes radicales sont perdus. Ce type de traitement est plutôt destiné aux molaires du fait de l'anatomie de la chambre pulpaire et de la surface de collage. Quant aux prémolaires, aucun consensus n'est établi sur l'indication de l'endocouronne sur ce type de dents (figure 11).

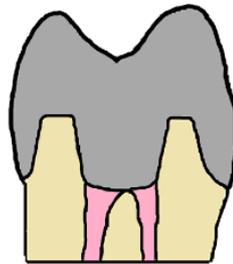


Figure 11 : schéma représentant une endocouronne (schéma personnel)

La perte de substance étant la cause principale de fracture de la dent support, le principe d'économie tissulaire doit être le facteur primordial dans notre choix thérapeutique.

D'ailleurs, la restauration corono-radicaire idéale doit préserver le maximum de tissu dentaire résiduel. De même, elle doit posséder un module d'élasticité proche du tissu dentinaire et bénéficier d'une bonne cohésion de ses différents constituants.

3.1 Choix du type de restauration

Après avoir réalisé la préparation coronaire périphérique totale de la dent, il faut dénombrer les parois résiduelles. Est considérée comme une paroi, toute hauteur coronaire représentant au minimum 1/3 de la hauteur de la couronne clinique. De plus, l'épaisseur doit être d'au moins 1mm. Il faut également tenir compte de leur situation par rapport aux limites de la future restauration (tableau 4).

Tableau 4 : guide pour le choix du type de restauration en fonction du nombre de parois, de la hauteur des parois et de l'épaisseur des parois restantes [35]

| | | Restaurations foulées ou RCR foulées | | | | |
|----------------------|-------------------|--------------------------------------|-----|-----|------------------|---|
| Nombre de parois | | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| Hauteur des parois | | Totale | 2/3 | 1/3 | 0 | |
| Epaisseur des parois | Supérieure à 1 mm | | | | Inférieure à 1mm | |
| | | RCR | | | Coulées | |

3.2 Principes de préparation communs aux différentes restaurations corono-radicales

3.2.1 Préparation du logement canalaire

La préparation radiculaire pour la réalisation d'un ancrage radiculaire est souvent mise en cause dans les études [36–39]. En effet, elle est responsable de l'affaiblissement de la racine avant même l'insertion du tenon. D'ailleurs, dans le cas de tenon scellé, celui-ci augmente à son tour le risque de fracture.

La forme, la longueur et le diamètre du tenon que l'on va utiliser, doivent s'adapter à l'anatomie canalaire. Les caractéristiques anatomiques doivent ainsi être déterminées avant de commencer le traitement.

3.2.1.1 Rappels anatomiques

Les prémolaires font partie des dents cuspidées qui ont pour fonction l'écrasement du bol alimentaire lors de la mastication. Ces dents permettent le calage de la mandibule sur le maxillaire ainsi que le maintien de la dimension verticale d'occlusion. Chaque individu possède huit prémolaires (deux par hémis-arcade).

3.2.1.1.1 La première prémolaire maxillaire

Elle est généralement biradiculaire (68%) (figure 12) : une racine vestibulaire et une racine palatine.

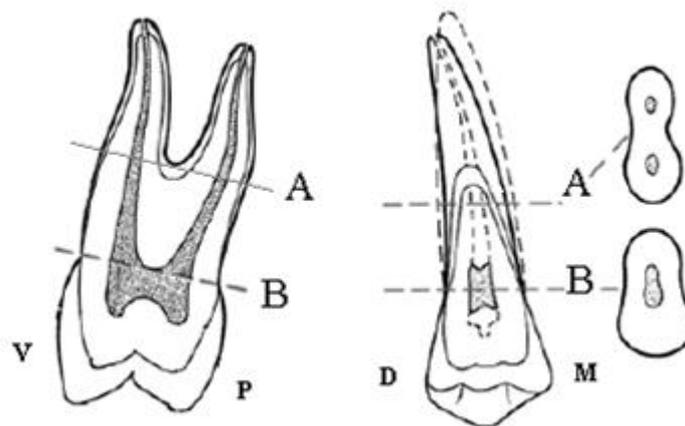


Figure 12 : coupes vestibulo-palatine (à gauche) et mésio-distale (à droite) d'une première prémolaire maxillaire droite [41]
A- Coupe horizontale de la racine au 1/3 médian
B- Coupe horizontale de la racine au 1/3 cervical

Parfois, elle est monoradiculée (30%) ou encore triradiculée (2%) avec deux racines vestibulaires et une racine palatine (figure 13).



Figure 13 : radiographie (cone beam) d'une première prémolaire triradiculée (coupe horizontale) (radiographie personnelle)

Les racines de la première prémolaire maxillaire se séparent à une hauteur variable. La face palatine de la racine vestibulaire possède un sillon plus ou moins profond prémisses de la séparation de la racine vestibulaire en deux racines (figure 14).

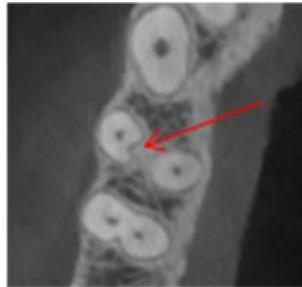


Figure 14 : radiographie (cône beam) mettant en évidence le sillon palatin de la racine vestibulaire d'une première prémolaire maxillaire droite (coupe horizontale) (radiographie personnelle)

Pour le cas d'une biradiculée, il existe quatre dispositions fréquemment rencontrées :

- des racines longues et divergentes avec un tronc radicaux court ;
- un tronc radicaux occupant la moitié de la hauteur radicaux avec des racines moins divergentes ;
- un tronc radicaux très long qui occupe les 2/3 de la hauteur radicaux et des racines très courtes presque parallèles ;
- des racines très courtes et fines et un tronc radicaux allant jusqu'au 1/3 apical.

Les apex sont très grêles et souvent inclinés dans des positions très variables.

L'anatomie de la première prémolaire maxillaire est très complexe avec un tronc radicaux de forme et de longueur variable. Les racines sont difficiles à exploiter pour les restaurations corono-radicaux, compte tenu de la diversité de leurs formes et de l'inflexion fréquente des apex [40,41].

3.2.1.1.2 La deuxième prémolaire maxillaire

Dans seulement 15% des cas, la deuxième prémolaire maxillaire possède deux racines pouvant s'individualiser à différents niveaux, chacune comportant un canal. Une racine unique est donc retrouvée dans 85% des cas (figure 15). Cette racine est grêle et aplatie dans le sens mésio-distal.

Une dépression verticale médiane se situe sur les faces mésiale et distale de cette racine. Ces sillons plus ou moins profonds provoquent un étranglement longitudinal médian, prémisses de la division ou de la fusion de deux racines.

La chambre pulpaire se poursuit généralement par un canal unique, se divisant parfois en deux au niveau du 1/3 apical.

La section horizontale de la racine au collet est ovoïde, le canal est lui ovale, très aplati à grand axe vestibulo-palatin. Puis, la section prend la forme d'un « 8 » en direction apicale du fait de l'étranglement de la partie médiane. L'utilisation d'un tenon radiculaire requiert donc de la prudence [41,42].

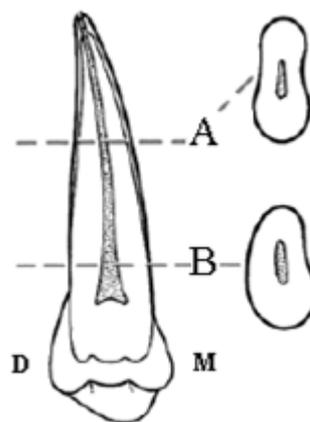


Figure 15 : coupe mésio-distale d'une deuxième prémolaire maxillaire droite [41]

- A- Coupe horizontale de la racine au 1/3 médian
- B- Coupe horizontale de la racine au 1/3 cervical

3.2.1.1.3 La première prémolaire mandibulaire

Elle est monoradiculée dans la majorité des cas (figure 16) et parfois bifide. La racine est rectiligne et aplatie dans le sens mésio-distal.

La réalisation d'un traitement endodontique correct de ces dents est très difficile car le système canalaire peut être très complexe. Le canal principal peut se diviser en deux canaux (15%) et posséder de nombreux canaux secondaires.

La section horizontale de la racine au collet est ovoïde, le volume pulpaire est lui circulaire.

Il est important lors de la réalisation d'un ancrage radiculaire sur ces dents de se méfier de la multiplicité des canaux radiculaires [41,43].

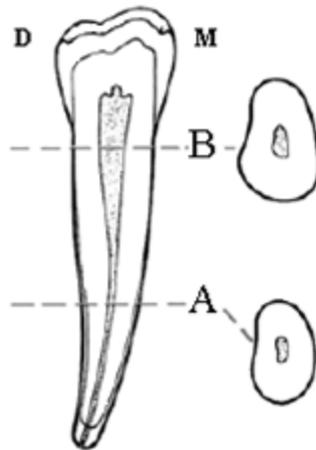


Figure 16 : Coupe mésio-distale d'une première prémolaire mandibulaire droite [41]

- A- Coupe horizontale de la racine au 1/3 médian
- B- Coupe horizontale de la racine au 1/3 cervical

3.2.1.1.4 La deuxième prémolaire mandibulaire

L'anatomie de la deuxième prémolaire mandibulaire est très proche de celle de la première prémolaire mandibulaire.

3.2.1.2 Type de tenon

3.2.1.2.1 Tenon anatomique et tenon normalisé

Le tenon anatomique permet d'exploiter au mieux la forme du canal dans les racines oblongues. Il épouse la morphologie de la racine grâce à une préparation canalaire homothétique (figure 17). Le tenon anatomique a l'avantage d'éviter l'affaiblissement mésio-distal de ce type de racine. De plus, il utilise toute la surface disponible pour assurer sa rétention dans la racine [44].

En opposition aux tenons anatomiques s'adaptant à la forme du canal radiculaire, se trouvent les tenons normalisés. Ces tenons préfabriqués ne correspondent que partiellement à l'anatomie des canaux radiculaires. D'ailleurs, ils nécessitent un calibrage du canal grâce à des forets spécifiques à chaque tenon, pour permettre l'adaptation du tenon aux parois canalaire (figure 17). Cette ablation supplémentaire de tissu compromet la pérennité des dents reconstituées en augmentant le risque de fracture radiculaire.

C'est pourquoi, ce type de tenon est réservé aux racines présentant une coupe circulaire.

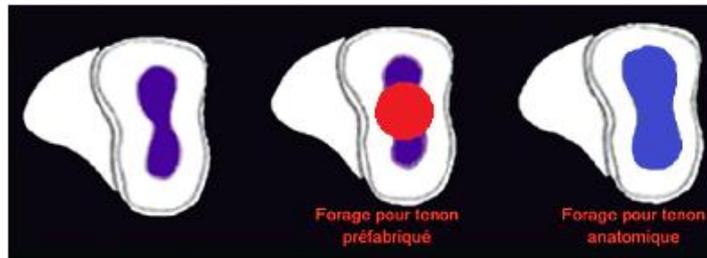


Figure 17 : schéma illustrant la fragilisation des parois radiculaires lors de l'utilisation d'un tenon préfabriqué et l'homothétie du tenon anatomique [44]

3.2.1.2.2 Tenon actif et tenon passif

Les tenons peuvent être dits « actifs » lorsque leur rétention est assurée par le filetage à leur surface (figure 18).



Figure 18 : exemples de tenons filetés métalliques (photographie personnelle)

Celui-ci permet de les visser dans la dentine radiculaire. Par conséquent, ce type de tenon crée plus de contraintes lors de sa mise en place et de sa mise en fonction, que tout autre type de tenon radiculaire (figure 19) [45,46].

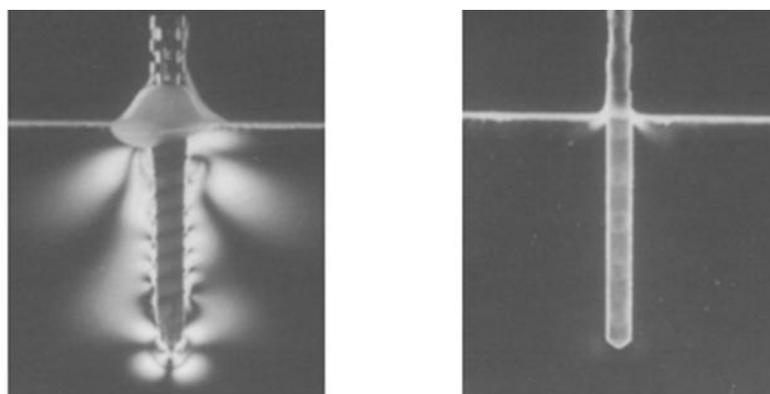


Figure 19 : distribution des contraintes après insertion d'un tenon actif (à droite) et d'un tenon passif (à gauche) [46]

En effet, lors du vissage du tenon, le risque de fracture est très élevé (fig. 20). Ils sont donc très iatrogènes pour la pérennité de la dent support et sont à éviter.



Figure 20 : exemple de fracture radiculaire suite à l'utilisation d'un tenon actif (radiographie personnelle)

Les tenons dits « passifs » ne sont en contact avec les parois radiculaires que par l'intermédiaire du ciment de scellement ou de collage (figure 21). Ce type de tenon est à privilégier.



Figure 21 : exemples de tenons cylindro-coniques lisses (passifs) métalliques (à gauche) et en fibres de verre (à droite) (photographies personnelles)

3.2.1.3 Forme du tenon

Il existe trois types de morphologies de tenons :

- les tenons coniques sont utilisés uniquement pour les racines coniques. Leur diamètre croît rapidement, les rendant très mutilants au niveau de la partie cervicale de la racine (figure 22). Par ailleurs, cette partie radiculaire est déjà particulièrement sujette aux fractures [45].

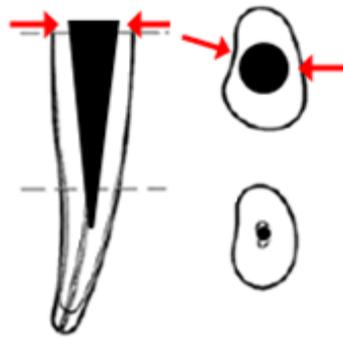


Figure 22 : tenon conique (schéma personnel)

- les tenons cylindriques sont également dangereux. Ils présentent des angles aigus à leur extrémité apicale. De même, la mutilation résultante de la préparation canalaire diminue la quantité de dentine radicaux au niveau apical. Les contraintes vont s'y concentrer, accentuant le risque de fêlure ou de fracture (figure 23) [45].

Par conséquent, leur utilisation se fera éventuellement dans le cas de racine particulièrement forte.

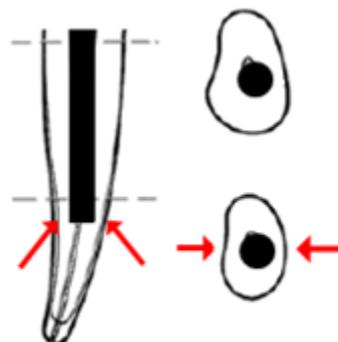


Figure 23 : tenon cylindrique (schéma personnel)

- les tenons cylindro-coniques avec une partie cervicale cylindrique et une partie apicale conique sont les plus indiqués. Ils permettent de concilier la rétention et la préservation tissulaire (en respectant au maximum la morphologie radicaux) tant au niveau cervical qu'au niveau apical (figure 24).

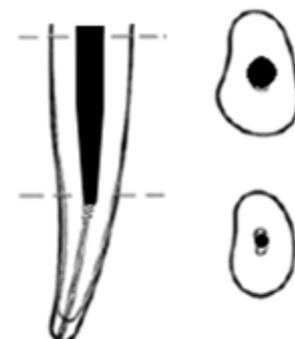


Figure 24 : tenon cylindro-conique (schéma personnel)

3.2.1.4 Longueur du tenon

Mécaniquement, la longueur du tenon devrait être la plus importante possible pour permettre une répartition uniforme des contraintes et assurer une rétention maximale.

Cette nécessité est mise en évidence par différentes études [48,49].

Pour Kiliç et coll. [50], l'augmentation de la longueur du tenon de 5mm à 10mm permet d'améliorer la résistance à la fracture des prémolaires.

Pour obtenir ce résultat, ils ont soumis des dents à une charge appliquée à 45° sur la couronne recouvrant la restauration corono-radiculaire (avec présence d'une ferrule de 1mm). Les résultats démontrent qu'un long tenon fibré permet une meilleure distribution du stress occlusal et prévient les fractures radiculaires (figure 25).

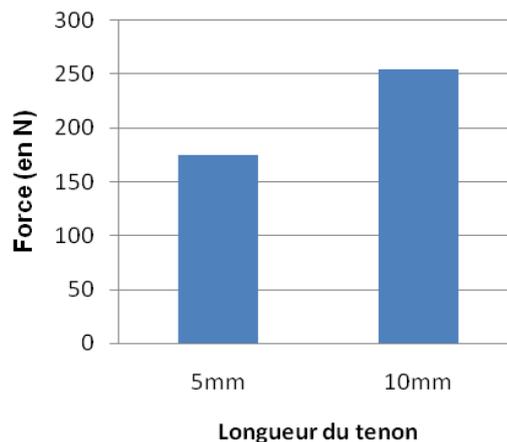


Figure 25 : graphique représentant la force à appliquer pour obtenir une fracture en fonction de la longueur du tenon [50]

L'étude d'Al-Omiri et coll. [36] exprime également l'idée que l'augmentation de la longueur du tenon permet d'améliorer la répartition des contraintes au niveau de la racine quel que soit le matériau constitutif du tenon (métallique ou fibré). Un tenon d'une longueur au moins égale au tiers de la longueur de la racine suffit à améliorer la résistance à la rupture. Celle-ci n'évolue pas lorsque la longueur du tenon est comprise entre deux tiers (environ 12mm) et un tiers (environ 8mm) de celle de la racine. Par contre, au-delà de deux tiers, les contraintes au niveau apical augmentent.

Inversement, pour Zicari et coll. [51], l'augmentation de la longueur du tenon fibré affecte négativement la résistance à la fracture des prémolaires (figure 26).

Les dents sont dans cette étude soumises à une charge appliquée à 45° directement sur la restauration en composite. Les résultats décrivent une force nécessaire à la fracture radriculaire plus faible pour une longueur de tenon de 10mm. Par contre, elle est la plus élevée pour un tenon de 5mm de long.

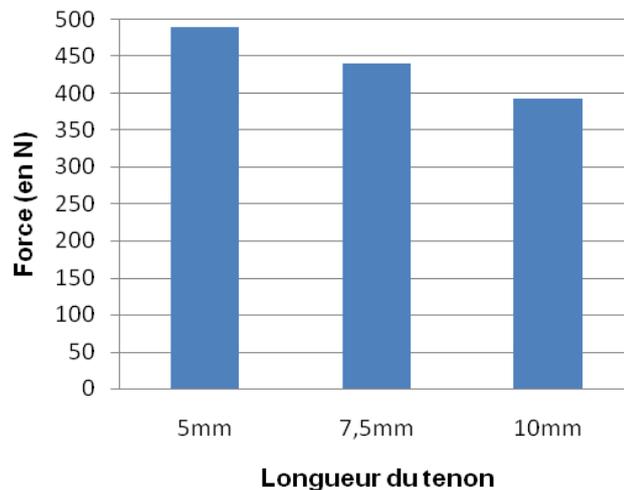


Figure 26 : graphique représentant la force à appliquer pour obtenir une fracture en fonction de la longueur du tenon [51]

La réduction de la longueur du tenon entraîne la préservation d'une grande quantité de tissu dentaire permettant de réduire le nombre de défaillances catastrophiques. Cette approche moins invasive offre un meilleur potentiel de réparation en cas de défaillance. Un tenon de 5mm présente une prévalence de défaillance réparable de 75% contre 30% pour un tenon de 10mm de long (figure 27).

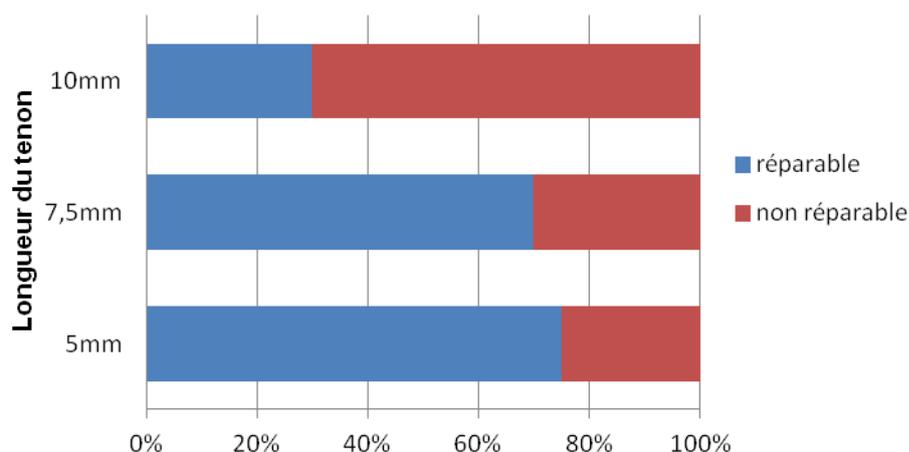


Figure 27 : répartition du type de défaillance en fonction des différentes longueurs de tenon [51]

D'autres études [52,53] concluent à l'absence d'impact de la longueur du tenon sur la résistance à la fracture des prémolaires.

Nissan et coll. [54] exposent dans leur étude que l'utilisation d'un système adhésif peut annuler l'effet de la réduction de la longueur du tenon. L'adhésif permet de compenser la diminution de rétention induite par la réduction de la longueur du tenon. L'augmentation de la préservation de structures dentaires améliore la résistance de la racine (figure 28).

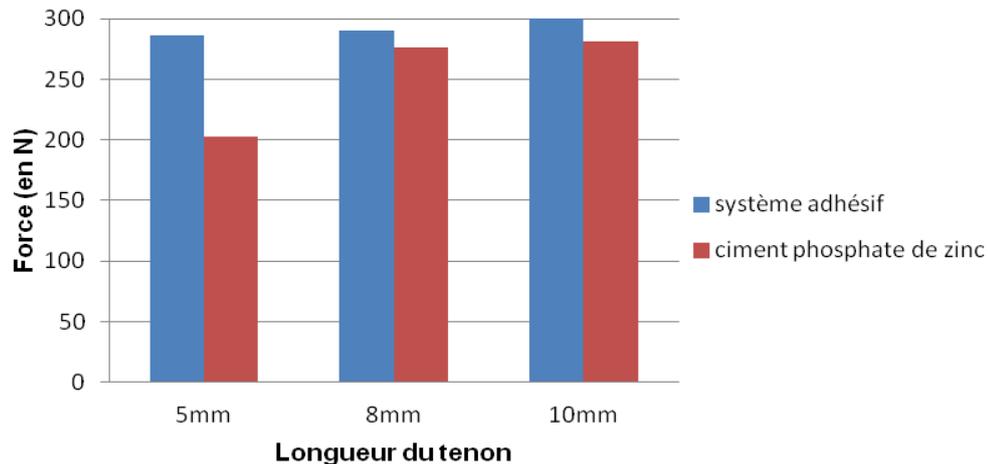


Figure 28 : graphique représentant la force à appliquer pour obtenir une fracture en fonction de la longueur du tenon et du système d'assemblage [54]

Comme le démontre ces études contradictoires, il n'y a pas de longueur idéale de tenon. La longueur optimale dépend de plusieurs facteurs. Elle dépend notamment de la morphologie spécifique de la racine que l'on va utiliser. Le forage sera moins long pour une racine grêle que pour une racine forte. Il ne devra jamais dépasser l'amorce des éventuelles courbures (figure 29) : cela affaiblirait les parois radiculaires au niveau de la courbure et du tiers coronaire radulaire. De plus, les contraintes occlusales exercées par l'intermédiaire du tenon se concentreront au niveau de cette zone fragilisée, accentuant le risque de fracture radulaire.

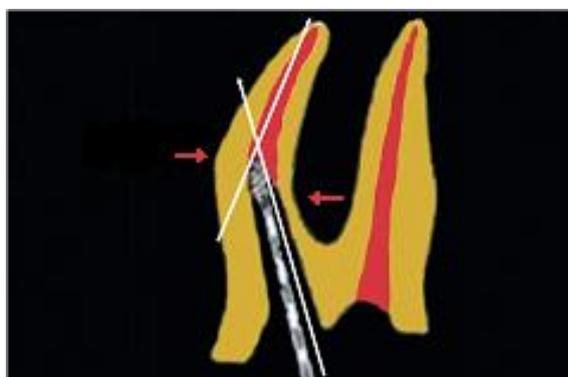


Figure 29 : forage d'une racine courbe [44]

La longueur du tenon dépend également de la longueur de la racine, de la hauteur de la couronne, de la technique d'assemblage, de la présence d'une ferrule (cf 3.2.2) ou encore du niveau du support parodontal.



Figure 30 : exemples de tenons dont la longueur est excessive [55]

3.2.1.5 Diamètre du tenon

Un diamètre important n'augmente pas la rétention de la restauration mais va fragiliser la racine. Le diamètre ne devra pas dépasser le tiers du diamètre radiculaire le plus fin, en conservant au moins 1mm de paroi radiculaire [34].

L'étude de Grieznis et coll. [56] analyse en 2006 la résistance à la fracture de prémolaires restaurées par l'intermédiaire de tenons métalliques de différents diamètres. Lors de l'expérimentation, une charge est appliquée à 35° au niveau du sillon occlusal.

Il en résulte qu'il faut appliquer une force plus importante sur un tenon de plus petit diamètre que sur un gros pour obtenir une fracture radiculaire (figure 31).

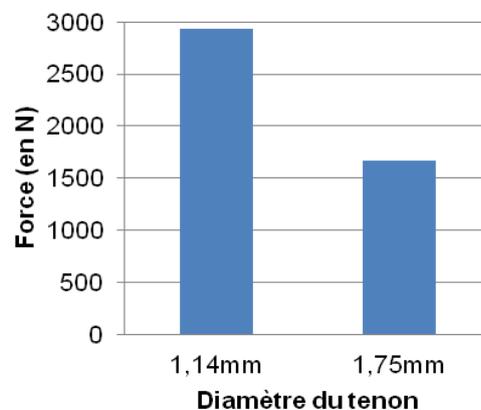


Figure 31 : graphique représentant la force à appliquer sur un tenon de 1.75 et 1.14 mm de diamètre pour observer une fracture radiculaire [56]

L'élargissement excessif affaiblit la dent et est responsable de fractures radicales sous charge occlusale fonctionnelle [48] (figure 32).

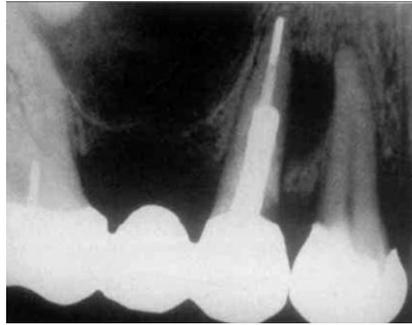


Figure 32 : exemple de tenon dont le diamètre est excessif [47]

La préparation canalaire doit être la plus conservatrice possible en tissu dentaire. En effet, il ne faut pas fragiliser à l'extrême les parois radicales, pour un hypothétique gain de rétention supplémentaire (figure 33).

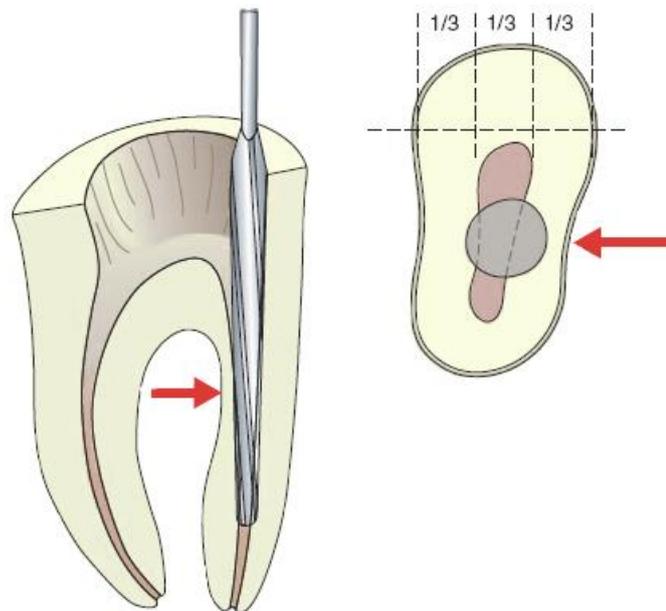


Figure 33 : diminution de la paroi radiale de la racine mésiale d'une première molaire mandibulaire due à l'augmentation du diamètre du forage et à la concavité distale de cette racine [31]

Du et coll. [57] démontrent dans leur étude de 2011, qu'un tenon dont le diamètre représente 50% de celui de la racine permet une meilleure répartition des contraintes (figure 34). Néanmoins, ils précisent que la surpréparation du canal radiculaire provoque l'affaiblissement de la racine. Cela entraîne une augmentation des risques de fractures radicales.

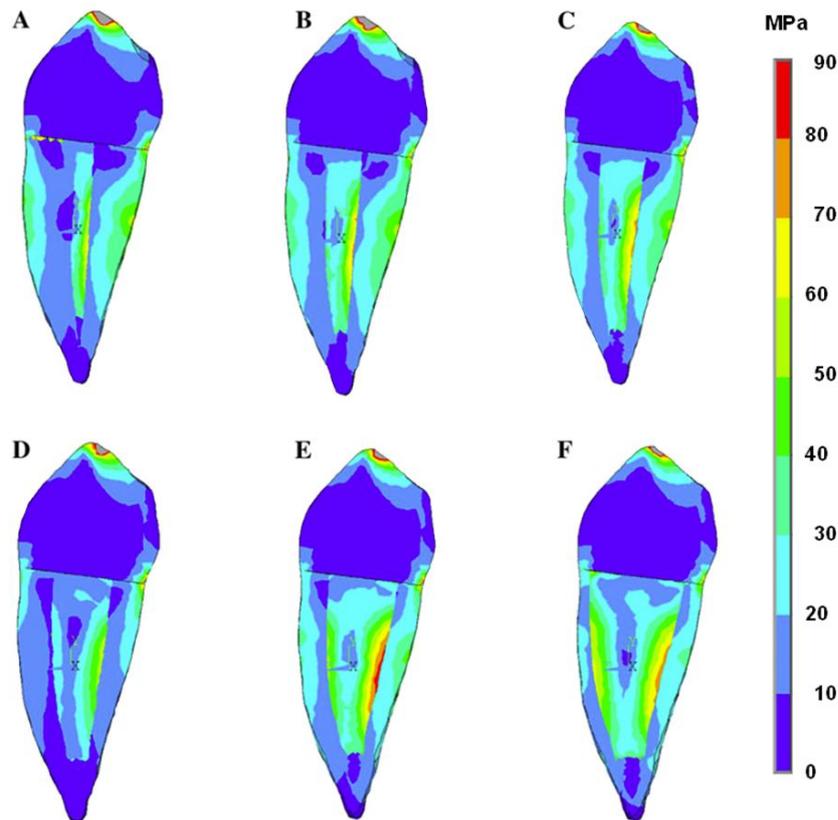


Figure 34 : schéma représentant la répartition des contraintes (en MPa) pour différents diamètres de tenon (en pourcentage de la largeur de la racine): (A) 20% ; (B) 30% ; (C) 40% ; (D) 50% ; (E) 60% ; (F) 80% [57]

3.2.1.6 Nombre de tenon

L'utilisation de plusieurs tenons est déconseillée. En effet, les risques sont multipliés à chaque nouvel élément inséré dans les racines. Celles-ci deviennent par la même occasion moins favorables que la première racine déjà utilisée. La situation des tenons supplémentaires dans des racines souvent fines et courbées est une source de danger inutile quant au bénéfice de rétention attendu. La préparation de ces logements canalaires entraînera une augmentation des mutilations tissulaires radiculaires. Celles-ci sont susceptibles d'engendrer des faiblesses structurelles au niveau de la dent restaurée.

Par conséquent, le clavetage n'est utilisé que dans le cas où la perte de substance est telle que le blocage de la restauration avec un ancrage supplémentaire est nécessaire. Par exemple, lorsque la dent à restaurer ne présente aucune paroi résiduelle ainsi qu'une cavité pulpaire peu profonde ne permettant ni d'assurer une rétention suffisante ni une absence de rotation de la restauration (figure 35).



Figure 35 : restauration corono-radicaire coulée à deux tenons (photographies personnelles)

Dans la plupart des cas, la préparation des entrées canalaire sur 1 à 2mm en plus du tenon principal peut suffire à augmenter la rétention et éviter la rotation de la restauration tout en évitant la réalisation de forages supplémentaires (figure 36).



Figure 36 : tenon principal accompagné d'une entrée canalaire (photographie personnelle)

Cependant, d'autres études prouvent le contraire. Furuya et coll. [58] présentent en 2014 des résultats démontrant que le risque de fracture radicaire pour les prémolaires diminue grâce à l'utilisation de deux tenons fibrés en comparaison avec un tenon et l'absence de tenon. La distribution des contraintes de Von Mises¹ est plus homogène avec deux tenons (figure 37).

¹ Le critère de Von Mises prend en compte des composantes en traction, compression et cisaillement.

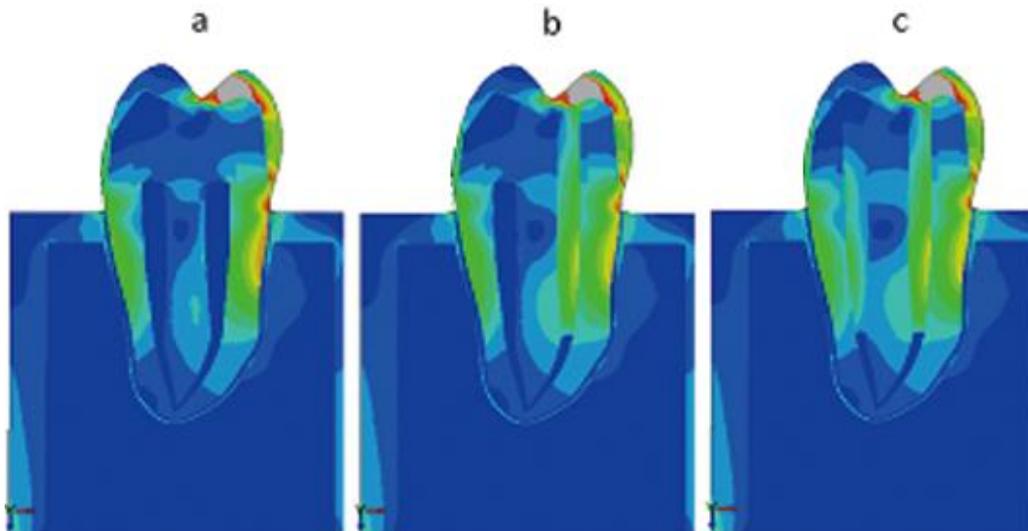


Figure 37 : schéma représentant la répartition des contraintes équivalentes de Von Mises pour 0 (a), 1 (b) et 2 (c) tenons (les zones de fortes contraintes sont représentées en rouge, les faibles contraintes en bleu) [58]

3.2.1.7 Influence du support parodontal

Les tissus de soutien de la dent ont la capacité d'absorber et de dissiper les contraintes occlusales. L'os alvéolaire a un rôle important de cerclage de la dent pour permettre le soutien mécanique des tissus dentaires lors des mouvements masticatoires. Par contre, lorsque ce tissu de soutien est réduit, la capacité de dispersion des tensions occlusales vers les tissus parodontaux est limitée [44]. Seules les parois non soutenues par l'os alvéolaire subiront ces contraintes et pourront se fracturer (figure 38).



Figure 38 : exemple de fracture radiculaire suite à la perte du soutien de l'os alvéolaire (radiographie personnelle)

Les dents restaurées par l'intermédiaire d'une restauration corono-radicalaire ont une plus faible résistance à la fracture lorsque le support parodontal est compromis.

L'association d'un tenon court avec un parodonte réduit est un risque important de fracture radiculaire. Par conséquent, l'extrémité apicale du tenon devra s'étendre au-delà du niveau de l'os alvéolaire.

La corrélation entre la perte du support parodontal et la résistance à la fracture est démontrée dans plusieurs études [59,60]. Plus le support parodontal diminue, moins la résistance à la fracture est élevée (figures 39 et 40).

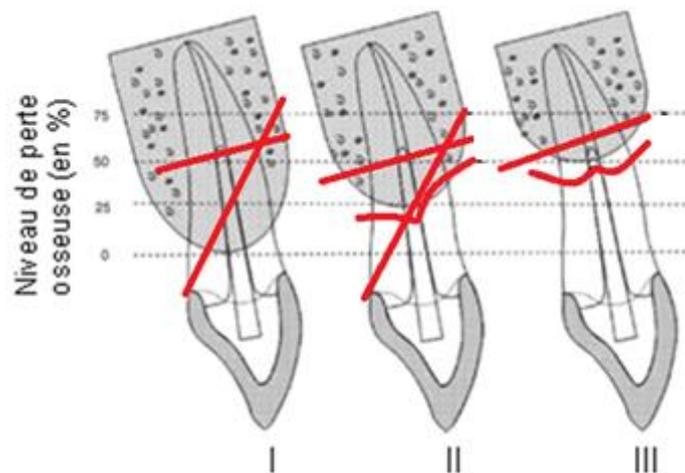


Figure 39 : schéma représentant les différents groupes de support parodontal et incidence sur la forme de la fracture radiculaire [59]

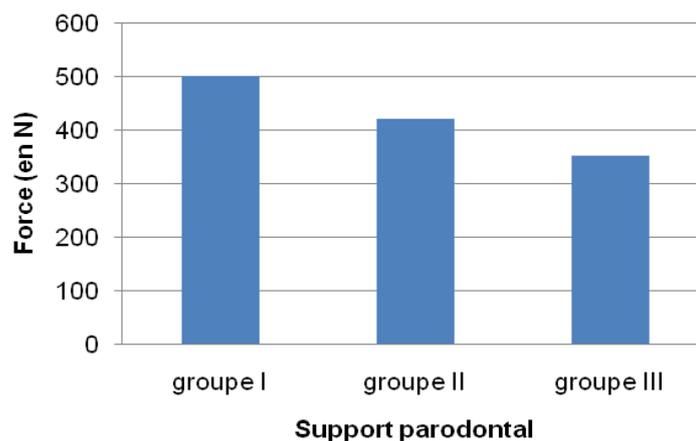


Figure 40 : graphique représentant la force moyenne à appliquer pour obtenir une fracture radiculaire en fonction du niveau du support parodontal [59]

3.2.1.8 Axe de forage

Le forage est dangereux pour l'intégrité de la dent si l'axe de réalisation n'est pas respecté : un risque de perforation est à craindre au niveau du plancher pulpaire, du 1/3 apical de la racine ou des régions latérales comportant des dépressions. L'erreur d'axe n'entraîne pas systématiquement une perforation, mais provoque toujours un affaiblissement de la paroi radulaire (figure 41 et 42). De plus, le tenon exercera un effet de coin sur la zone affaiblie, aboutissant à la fracture de la dent à court ou moyen terme.

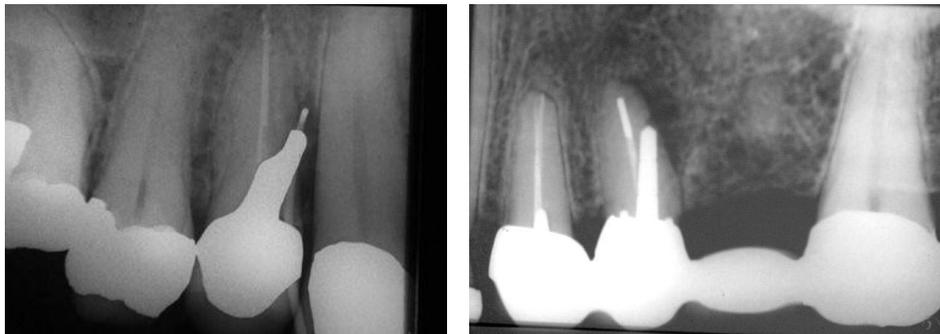


Figure 41 : exemples de déviation de l'axe de forage [61,62]

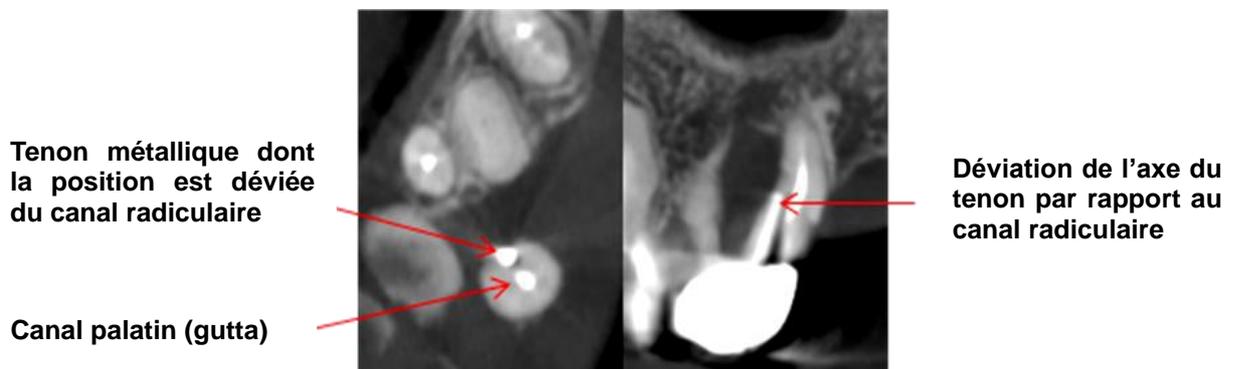


Figure 42 : radiographies (cone beam) mettant en évidence la déviation de l'axe de forage (coupe horizontale à droite et coupe verticale à gauche) (radiographies personnelles)

3.2.1.9 Module d'élasticité

Les contraintes mécaniques représentent une étiologie importante des fractures des dents supports de restaurations corono-radicales. La réduction des contraintes transmises aux tissus dentaires est un impératif majeur dans la conception des restaurations corono-radicales.

Le tenon a un rôle de distribution des contraintes occlusales. Le mode de distribution dépend du module d'élasticité² du matériau constituant le tenon.

Lorsque le module d'élasticité est élevé, les forces sont transmises brutalement et sont concentrées dans les zones de forte friction.

Il empêche la diffusion des forces de manière harmonieuse : la répartition ne se fait pas sur l'ensemble de la dentine radulaire mais se concentre uniquement sur l'extrémité apicale du tenon (figure 43).

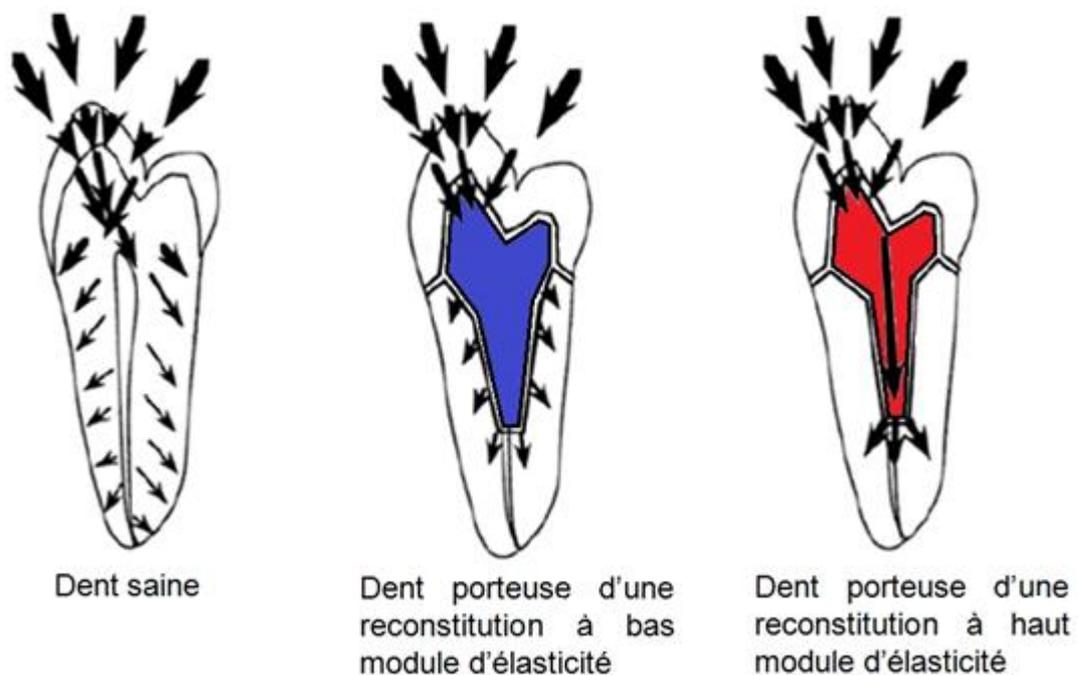


Figure 43 : schéma représentant la répartition des forces selon le module d'élasticité [63]

Cela augmente le risque d'observer une fracture dans cette zone comme c'est le cas avec les tenons métalliques (figure 44).



Figure 44 : fracture verticale d'une prémolaire supportant un tenon métallique (photographie personnelle)

² Le module d'élasticité est une grandeur intrinsèque d'un matériau qui relie la contrainte de traction (ou de compression) et la déformation du matériau. Il s'exprime en MPa.

Les matériaux rigides possèdent des capacités d'absorption des pressions occlusales extrêmement faibles, voire nulles, expliquant la transmission de l'ensemble des contraintes aux structures dentaires [64].

Lorsque le module d'élasticité est faible, voisin de celui de la dentine, la répartition des forces se fait de façon uniforme au sein de la totalité de la structure dentinaire. Elles s'effectuent selon des directions proches de celle de la dent saine (figure 43).

Les tenons fibrés possèdent un module d'élasticité proche de celui de la dentine (20 à 46GPa). Par conséquent, ils sont capables d'amortir les forces occlusales et de les répartir de manière plus homogène et harmonieuse au sein de la totalité de la structure dentaire que les tenons métalliques et en zircone (tableau 5).

Tableau 5 : comparatif entre les modules d'élasticité des tissus dentaires et des différents matériaux constituant les tenons [44]

| Matériaux | Module d'élasticité (GPa) |
|----------------------|---------------------------|
| Dentine | 20 |
| Titane | 140 |
| Alliage non précieux | 170 à 220 |
| Alliage précieux | 100 (Au) |
| Zircone | 170 à 200 |
| Fibre de carbone | 20 à 40 |
| Fibre de quartz | 46 |
| Fibre de verre | 40 |

Les tenons fibrés sont anisotropes, ce qui signifie que leur module d'élasticité varie en fonction de l'angle d'application des forces sur leur surface.

Il varie de 8 à 90GPa selon que l'incidence des contraintes fait un angle de 90° ou de 0° par rapport à l'axe du tenon (figure 45).

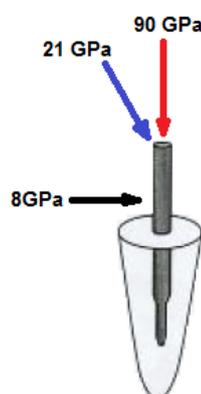


Figure 45 : schéma représentant les variations du module d'élasticité d'un matériau anisotrope en fonction de l'angle d'application des forces [63]

Dans l'axe du tenon, le module d'élasticité est de 90GPa. Les forces axiales sont presque totalement transmises à la dentine radicaux, car le tenon est trop rigide dans l'axe de ses fibres. Celui-ci reproduit alors les défauts reprochés aux tenons métalliques.

Par contre, une contrainte à 30° détermine un module d'élasticité pour le tenon de 21GPa. Il est très proche de celui de la dentine qui est de 20GPa. Cet angle de 30° représente les forces s'exerçant lors des mouvements masticatoires au niveau des prémolaires et des molaires. Ces résultats expliquent la réduction du risque de fracture radicaux accompagnant l'utilisation de ces tenons.

Les matériaux métalliques dont le module d'élasticité ne varie pas avec l'orientation des forces occlusales sont dits isotropes. Le module d'élasticité très élevé provoque de plus fréquents cas de fractures radicaux.

3.2.2 L'effet ferrule

3.2.2.1 Définition

Quel que soit le type de matériau de la restauration corono-radicaux, les contraintes les plus fortes sont exercées dans la région cervicale de la dent support. C'est pourquoi, la préservation de structure dentaire, en particulier au niveau cervical, est cruciale pour optimiser le comportement biomécanique de la dent restaurée [65].

Le maintien de tissu cervical permet de créer un effet ferrule, qui permet la protection des structures dentaires contre la fracture.

Une ferrule est un anneau circonférentiel de la couronne prothétique cerclant les structures dentaires au niveau de la limite cervicale (figure 46 et 47).

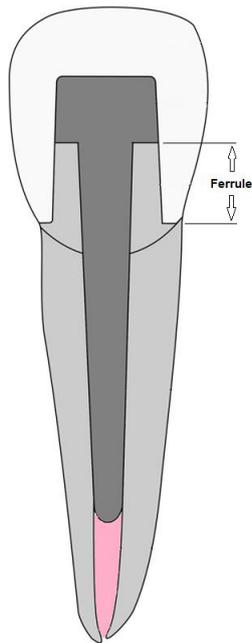


Figure 46 : schéma représentant une ferrule [65]



Figure 47 : photographie des parois radicales permettant la réalisation d'une ferrule [66]

3.2.2.2 Influence de l'effet ferrule

La présence d'une ferrule de 1,5 à 2mm a un effet positif sur la résistance à la fracture des dents reconstituées par restauration corono-radicalaire [65,66].

L'augmentation de la hauteur de ferrule de 0 à 2mm entraîne une diminution de 37% du risque de fracture (tableau 6) [67].

Tableau 6 : force à appliquer pour obtenir une fracture pour différents hauteurs de ferrule [67]

| Hauteur de ferrule (en mm) | Force (en N) |
|----------------------------|--------------|
| 0 | 679.5 |
| 0.5 | 742.6 |
| 1 | 824.7 |
| 1.5 | 854.0 |
| 2 | 932.2 |

Au-delà de 3mm de hauteur de structure dentaire, il y a peu d'amélioration de la résistance à la rupture de la dent. Les parois radicales doivent être d'au moins 1mm d'épaisseur pour être assez résistantes et contribuer à l'effet ferrule.

La présence d'une ferrule permet une transmission plus harmonieuse des contraintes occlusales sur la dent support. Par contre, sans ferrule, les forces

d'occlusion sont directement transmises à la restauration corono-radicaux, ce qui augmente le risque de fracture radicaux.

Dans une situation clinique où la réalisation d'une ferrule circonférentielle totale est impossible, la présence d'une ferrule incomplète est considérée comme une meilleure option thérapeutique que l'absence totale de ferrule [65].

Selon Jotkowitz et Samet [66], la présence de trois parois résiduelles ou de deux (buccale et vestibulaire) permet d'obtenir un effet ferrule suffisant. Cela aboutit à un risque d'échec faible ou modéré de la restauration. Cependant, le niveau des charges occlusales doit également être pris en compte.

Par contre, les restaurations possédant une seule paroi ou les deux parois proximales (mésiale et distale) présentent un risque élevé d'échec (figure 48).

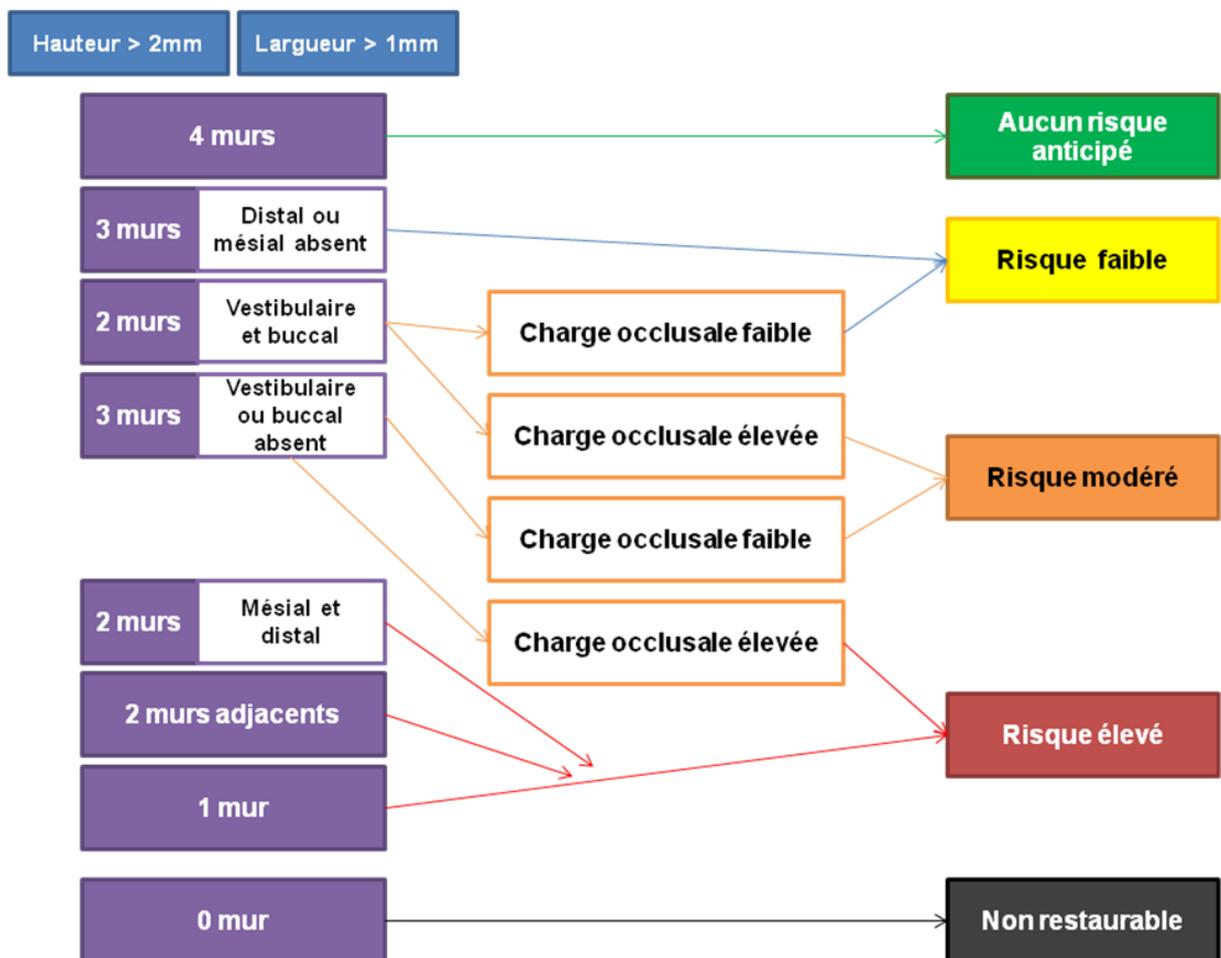


Figure 48 : schéma analysant le risque de fracture en fonction du nombre de parois, de leur position et du niveau de contraintes occlusales subi par la dent [66]

Pour les auteurs, l'absence totale de ferrule ne permet pas de réaliser une restauration durable. Par conséquent, ils préconisent leur extraction.

Le pronostic à long terme de la dent reconstituée par restauration corono-radicaux sans ferrule est défavorable. Toutes les méthodes permettant d'aboutir à la réalisation d'une ferrule sont à envisager telles que la traction orthodontique ou l'élongation coronaire (figure 49).

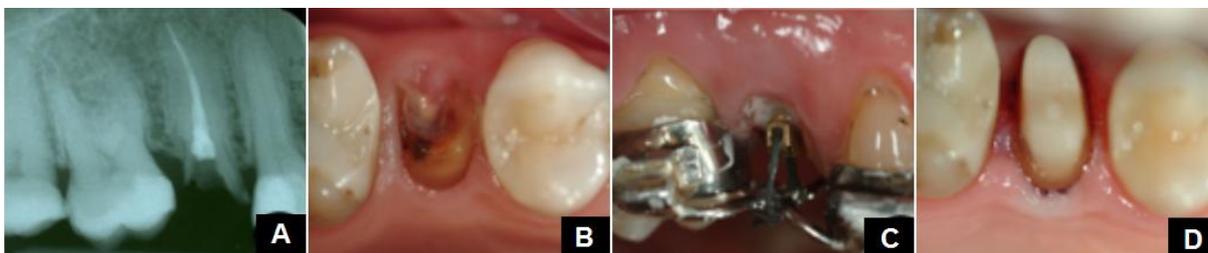


Figure 49 : exemple de traction orthodontique ; (A, B) radiographie et vue intra-orale pré-opératoire ; (C) dispositif de traction verticale ; (D) RMIPP avec ferrule [68]

A ce jour, la traction orthodontique est préconisée pour remédier à l'absence de ferrule. En effet, l'élongation coronaire (figure 50) est controversée du fait de l'élimination d'une partie de l'os alvéolaire pouvant être nécessaire par la suite, en cas de planification implantaire par exemple.

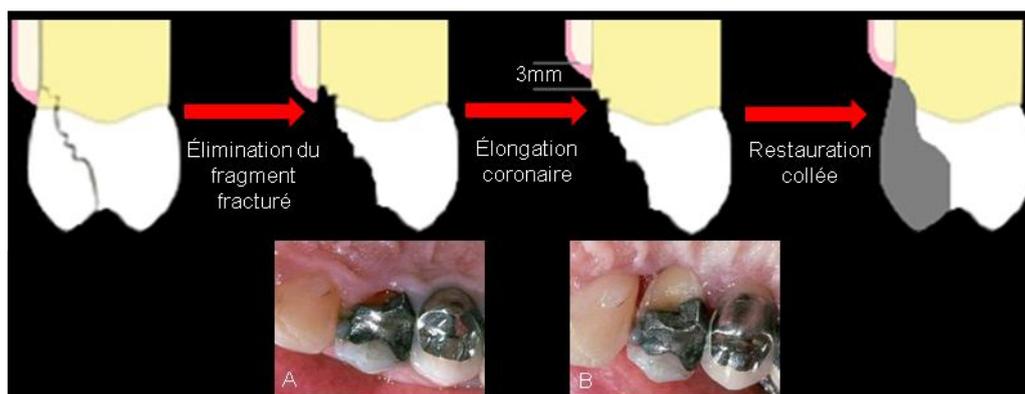


Figure 50 : schéma représentant une élongation coronaire (coupe vestibulo-palatine d'une prémolaire maxillaire) ; (A, B) photographies pré et post-opératoires [69]

Bien qu'aucun consensus ne soit établi sur l'interaction entre la ferrule et les différents types de tenons et de matériaux en raison du manque de données, une conclusion générale se dessine.

La présence d'une ferrule augmente la résistance à la fracture quelque soit le type de tenon et de matériau de restauration utilisés. De même, il semble que la ferrule diminue l'impact du matériau de restauration sur l'intensité des contraintes transmises [65,66].

Les prémolaires reconstituées avec une ferrule présentent des contraintes plus faibles au niveau des interfaces adhésives diminuant la probabilité de défaillance [70].

3.3 Les restaurations corono-radicales foulées

3.3.1 Les matériaux du noyau coronaire

Différents matériaux peuvent être utilisés pour réaliser les restaurations insérées en phase plastique.

L'amalgame n'est plus le matériau de choix. Il nécessite une mise en forme mutilante des parois dentaires. En effet, des contre-dépouilles doivent être réalisées pour obtenir une rétention mécanique du matériau. Cela est en contradiction avec la préservation des tissus dentaires résiduels promue pour permettre une meilleure pérennisation des restaurations des dents dépulpées.

De plus, il ne possède aucune capacité d'adhésion aux parois dentaires.

Les ciments verre ionomère (CVI) présentent une adhésion naturelle aux tissus dentaires, mais leurs faibles propriétés mécaniques les contre-indiquent comme matériau de restauration corono-radicalaire.

Seuls les composites répondent aux critères nécessaires pour une restauration corono-radicalaire foulée. Ceux-ci sont :

- l'adhérence aux tissus dentaires par l'intermédiaire d'un adhésif ;
- de bonnes propriétés mécaniques ;
- une liaison possible avec certains ancrages radicales (tenons fibrés).

3.3.2 Les matériaux de la partie radicalaire

La partie radicalaire de la restauration peut être constituée d'un matériau métallique (par exemple le titane ou l'acier inoxydable) (figure 21 page 32). Mais, ce type de tenon n'est pas indiqué pour les restaurations en composite.

Les tenons dits fibrés sont également utilisés. Ils sont constitués de fibres de carbone, verre ou de quartz (figure 21). Ils permettent une transmission de la lumière

(photoconduction) nécessaire pour la photopolymérisation du matériau d'assemblage jusqu'à la partie apicale du tenon.

Ces tenons vont servir à la fois de tuteur du matériau de reconstitution et de photoconducteur pour sa photopolymérisation.

Ils présentent toutes les qualités utiles pour les restaurations corono-radicales. Leur module d'élasticité est très proche de celui de la dentine en comparaison avec les autres types de tenons.

3.4 Les restaurations corono-radicales coulées

Les restaurations corono-radicales coulées ne doivent être envisagées que comme un choix par défaut. En effet, l'inlay-core impose une mutilation importante de tissu résiduel sain. Cette perte de substance supplémentaire est incontournable pour ce type de restauration (figure 51).



**Figure 51 : exemple d'inlay-core
(photographie personnelle)**

3.4.1 Préparation spécifique pour inlay-core

La réalisation de restauration corono-radicaire coulée doit être soumise à certaines précautions pour limiter le risque de fracture radiculaire et assurer la longévité de l'ensemble dento-prothétique. Néanmoins, ce risque sera augmenté par les pertes de substances induites par la préparation pour inlay-core.

3.4.1.1 Préparation périphérique

Contrairement aux restaurations corono-radicaux foulées, après avoir effectué la préparation périphérique totale, il faut supprimer toutes les parois dont l'épaisseur est inférieure à 1mm. Celles-ci seraient trop fragiles pour supporter ce type de restauration.

Le sertissage périphérique de dentine radicaux qui permet d'obtenir une limite cervicale à distance de la limite dento-prothétique, est de ce fait moins évident à obtenir de part la suppression des parois résiduelles. L'effet ferrule sera par conséquent moins efficace ou même inexistant. Les contraintes s'exerceront préférentiellement sur les parties apicales et intraradicaux et non sur la périphérie comme souhaitée avec une ferrule.

3.4.1.2 Préparation de la cavité pulpaire

Une préparation camérale est effectuée pour obtenir une cavité de dépouille, indispensable pour ce type de restauration. Cependant, il est préférable si cela est possible, de combler les contre-dépouilles (à l'aide de composite ou de CVI) pour diminuer la perte de substance au niveau cervical, soumis à de fortes contraintes.

La réalisation d'un cône de raccordement, entre le logement canalaire et la cavité pulpaire, permettra d'améliorer la répartition des contraintes sur toute la dent et non uniquement sur la partie apicale du tenon.

3.4.1.3 Conséquence sur la résistance à la fracture

Le risque de fracture radicaux est plus grand avec ce type de restauration où les pertes de tissus dentaires résiduels sont plus importantes, contrairement aux restaurations corono-radicaux foulées où seule la préparation du logement canalaire est un risque d'affaiblissement de la racine. En effet, les contre-dépouilles y sont précieuses et sont à conserver. Cette préservation de tissu dentaire, plus

importante que pour les restaurations corono-radicaux coulées, engendre une résistance accrue des dents restaurées vis-à-vis des forces occlusales susceptibles d'entraîner des fractures.

Par conséquent, les restaurations corono-radicaux coulées sont prédisposées de part leur préparation (cavité de dépouille, suppression des parois de moins de 1mm d'épaisseur, logement canalaire) à un risque accru d'échec thérapeutique par fracture radicaire. **De ce fait, les inlay-cores ne sont réalisés que dans les cas où les restaurations corono-radicaux coulées sont impossibles.**

3.5 Performance des dents reconstituées par restauration corono-radicaire face à la fracture

Sarkis-Onofre et coll. [71] ont constaté en 2017 grâce à leur revue systématique, que le taux de survie sans fracture varie suivant les études. De 71.8% à 100% lorsque des tenons rigides sont utilisés (métalliques, avec un haut module d'élasticité) contre 28.5% à 100% avec des tenons flexibles (fibrés, à faible module d'élasticité) sur une période maximale de seulement 6 ans, alors que l'on atteint 17 ans pour les tenons métalliques (tableau 7).

Les mauvaises performances des tenons fibrés sont associées à l'absence de parois résiduelles permettant l'obtention d'une ferrule.

Tableau 7 : taux de survie comparatif en fonction du module d'élasticité du tenon [71]

| Type de tenon en fonction de leur module d'élasticité | Taux de survie (en %) |
|---|-----------------------|
| Haut | 71.8 - 100 |
| Bas | 28.5 – 100 |
| Absence de tenon | 0 - 100 |

Les tenons métalliques résistent mieux aux contraintes grâce à leur module d'élasticité élevé. Par contre, ils transmettent l'intégralité des contraintes aux structures dentaires où vont se localiser l'essentiel des fractures, qui seront en majorité non récupérables [72].

Les tenons fibrés présentent une résistance mécanique plus faible que les tenons métalliques. Néanmoins, cette fragilité relative du matériau permet de localiser les fractures au niveau du matériau lui-même ou au niveau des structures dentaires susceptibles d'être réparées. Cela constitue un mécanisme de protection des structures dentaires [72].

Pour Akkayan et Gülmez [73], une fracture sur une dent restaurée par un tenon en fibre de quartz est catastrophique dans 20% des cas contre 100% avec un tenon en titane (figure 52 et 53).

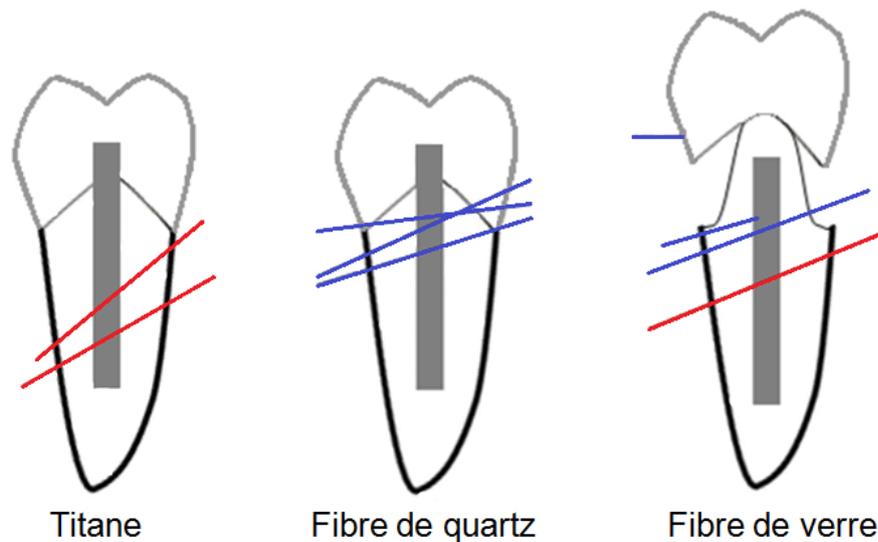


Figure 52 : incidence du type de tenon sur la forme de la fracture : réparable en bleu ; non réparable en rouge [73]

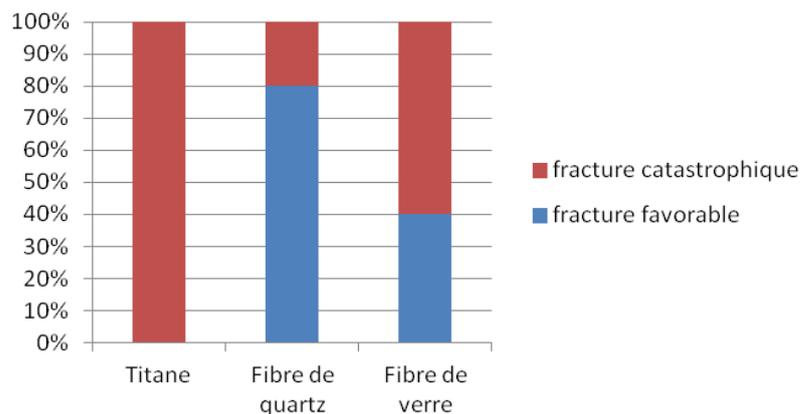


Figure 53 : graphique représentant le type de fracture en fonction de la composition du tenon [73]

Coelho et coll. [74] évaluent la répartition des contraintes équivalentes de von Mises. L'étude est réalisée sur des dents restaurées grâce à des tenons fibrés et des tenons métalliques.

Les conclusions de l'étude montrent que la répartition des contraintes est plus homogène pour les tenons fibrés, avec une concentration de stress au niveau de la racine qui est inférieure. La concentration maximale de stress est observée dans la zone cervicale pour les restaurations utilisant les tenons fibrés et au niveau apical pour les restaurations utilisant des tenons métalliques (figure 54).

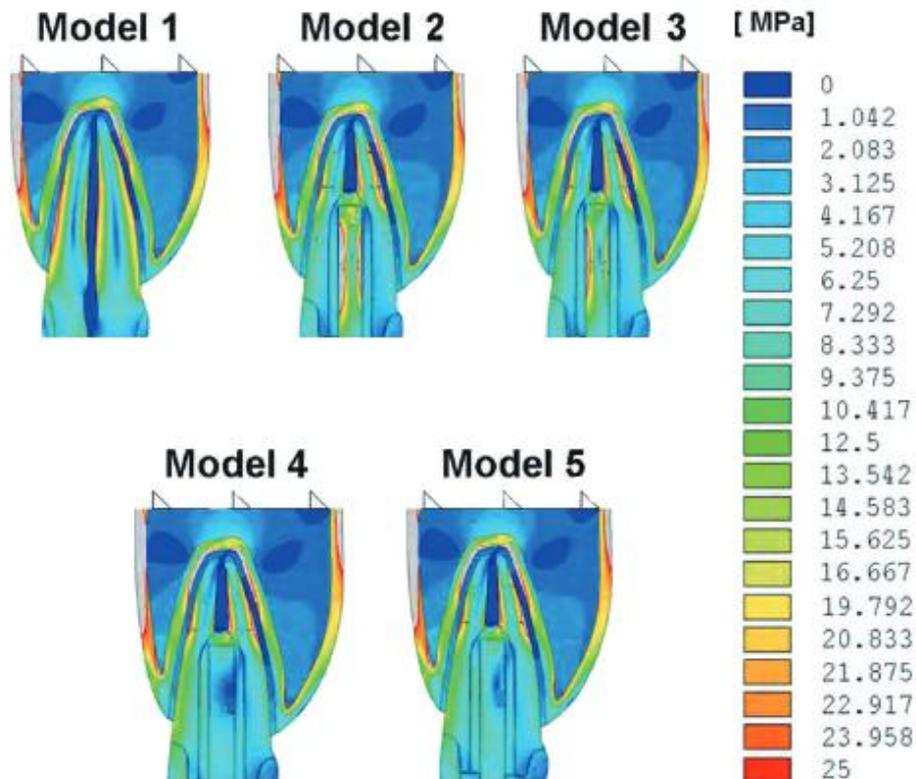


Figure 54 : schéma représentant la répartition des contraintes de Von Mises pour une dent saine (modèle 1), pour des tenons en acier inoxydable (modèle 2), en titane (modèle 3), en fibre de carbone (modèle 4), et en fibre de verre (modèle 5) [74]

Les études expérimentales *in vitro* démontrent que l'utilisation de tenons métalliques entraîne de plus fortes contraintes pouvant aboutir à des fractures catastrophiques. A l'inverse, les tenons fibrés présentent une meilleure répartition des contraintes favorisant la survie à long terme sans fracture. Les tenons fibrés sont donc les plus efficaces dans ce type d'étude.

Pourtant, les résultats des études cliniques sont en contradiction avec cela. Les taux de survie des dents restaurées par l'intermédiaire de tenons fibrés ou de tenons métalliques ne sont pas significativement différents lorsqu'une ferrule est présente [75].

Par contre, lorsqu'aucune paroi résiduelle n'est présente, les tenons métalliques sont les plus performants [71].

L'étude d'Aggawal et coll. [76] réalise une comparaison sur la résistance à la fracture entre les restaurations par inlay-core et celles par tenon fibré sur des prémolaires mandibulaires ne possédant aucune paroi résiduelle. La résistance à la fracture est supérieure pour les restaurations par inlay-core (484N contre 338N) mais 90% des fractures ne sont pas réparables. Zhou et Wang [77] rapportent les mêmes résultats.

Figueiredo et coll. [78] ont analysé de nombreuses études *in vitro* et *in vivo* sur les performances des tenons métalliques et fibrés. Les résultats démontrent un taux de fracture similaire entre les tenons rigides et les flexibles. Néanmoins, le taux de fracture des dents restaurées par tenon métallique est légèrement supérieur (5,13% / 4,78%). Le taux d'échec réparable (dent fracturée reconstituable, décollement et fracture de la restauration) est plus important pour les dents reconstituées par tenon fibré (12,69% / 19,39%).

Pourtant, le taux de survie fonctionnelle (dents non extraites) est plus important pour les tenons métalliques (90% contre 83,9% pour les tenons fibrés).

Alharbi et coll. [79] ont en 2014 comparé la résistance à la fracture de monoradiculées restaurées par inlay-core métallique ou tenon fibré. L'ensemble des spécimens de l'étude présente une ferrule de 2mm. Les résultats indiquent qu'il n'y a pas de différence significative entre les deux types de restauration. Néanmoins, les modes de fractures sont diamétralement opposés. Les tenons fibrés provoquent en majorité des fractures supracrestales (70% des cas). Par contre, la majeure partie des fractures mettant en cause les inlay-cores est verticale et non réparable (80% des cas).

Ces conclusions sont confirmées par Castro et coll. [80] (figure 55). Leur analyse est effectuée sur l'ensemble des types de dents. **Les prémolaires sont les moins résistantes quelque soit le type de restauration corono-radicaux.**

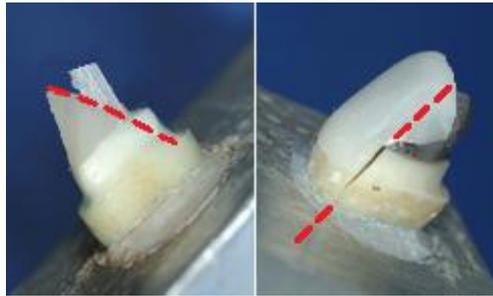


Figure 55 : fracture supracrestale à gauche (tenon fibré) et fracture verticale à droite (inlay-core) [80]

Il semble intéressant de préciser que dans les études *in vitro*, la détermination de la résistance à la fracture est réalisée en appliquant une force en un seul point et en un seul temps. *In vivo*, la fracture résulte de faibles contraintes appliquées régulièrement sur une longue période. De plus, le support parodontal permettant de soutenir la dent et d'absorber les contraintes n'est pas pris en compte dans les études *in vitro*. On peut donc légitimement se poser la question de la pertinence de ce genre d'étude.

Les auteurs soulignent souvent l'importance de la conservation des structures dentaires résiduelles pour augmenter le taux de survie sans fracture des dents reconstituées par restauration corono-radicalaire [71,81].

La présence d'une ferrule diminue l'impact du type de tenon et de la restauration finale (cf 3.2.2). C'est pourquoi, les résultats entre les différents types de tenons sont proches lorsque des structures résiduelles sont présentes.

On en déduit que pour une prémolaire possédant suffisamment de parois permettant la réalisation d'une restauration foulée (2mm de ferrule), la mise en place d'un inlay-core nécessitant une mutilation supplémentaire (cf 3.4.1) est incohérente pour limiter le risque de fracture.

De plus, les études prouvent que les performances face à la fracture sont favorables aux tenons fibrés (résistance à la fracture similaire mais net avantage vis-à-vis du mode de fracture).

Par contre, en cas d'impossibilité d'obtention d'une ferrule, la réalisation d'un inlay-core est la meilleure option pour faire face au risque de fracture.

4 Remise en cause de l'utilisation du tenon radiculaire

La mise en place systématique d'un ancrage radiculaire pour restaurer toutes les dents dépulpées est une démarche incohérente. En effet, l'unique fonction d'un tenon est de permettre la rétention d'un matériau de restauration coronaire.

Le renforcement des tissus résiduels n'est pas une indication du tenon radiculaire. Depuis longtemps, les études ont conclu que la mise en place d'un tenon radiculaire n'augmente pas la résistance à la fracture de la racine. De plus, elles démontrent que les dents restaurées en l'absence d'éléments intra-radicaux, résistent mieux aux forces occlusales que les dents ayant été restaurées avec un tenon (scellé ou collé, métallique ou fibré).

Les informations exposées précédemment, notamment sur les systèmes adhésifs permettant de réduire la longueur du tenon sans perdre de rétention et de l'importance de l'effet ferrule aboutissent au questionnement suivant : le tenon est-il indispensable ?

Certains auteurs affirment qu'il ne l'est pas.

Aurélio et coll. [82] exposent en 2016 les conclusions de leur étude. Celles-ci révèlent qu'une prémolaire comportant au moins 50% de structures résiduelles peut être restaurée sans tenon radiculaire. Cela améliore sa résistance à la fracture puisqu'aucune préparation intra-radicaire n'est réalisée.

Deux études de 2013 arrivent à des conclusions similaires [83,84]. Les expérimentations ont été effectuées sur des prémolaires comportant 0.5mm de ferrule.

L'utilisation de tenons fibrés ne permet d'obtenir une amélioration significative de la résistance à la fracture que dans les cas où moins de deux parois coronaires persistent. Aucune différence n'est observée entre l'utilisation ou non d'un tenon fibré lorsque 2 (vestibulaire et buccale), 3 ou 4 parois résiduelles sont présentes (figure 56 et 57).

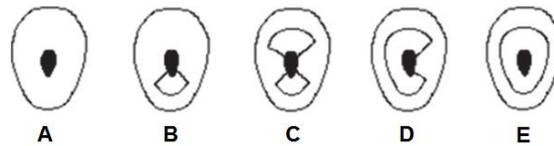


Figure 56 : schéma représentant la disposition des parois résiduelles en fonction des différents groupes (plan axial) [83]

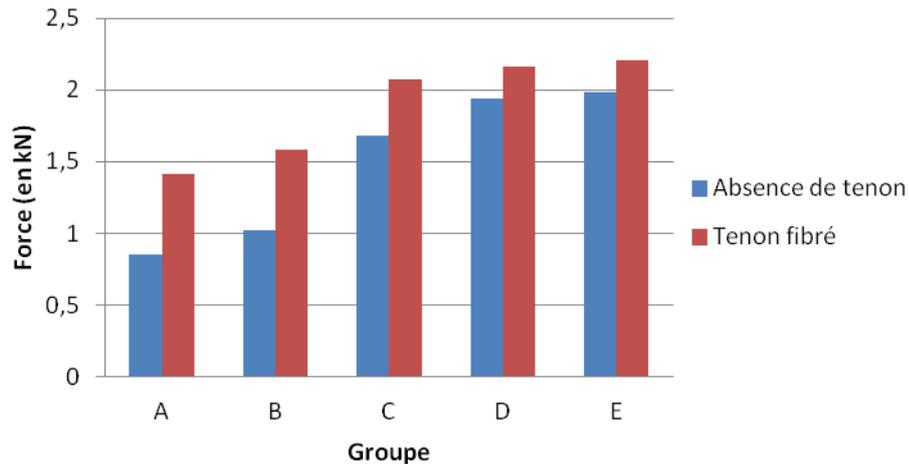


Figure 57 : graphique représentant la force nécessaire à l'obtention d'une fracture en fonction du nombre de parois résiduelles avec ou sans tenon [83]

Zicari et coll. [85] démontrent dans leur étude de 2013, qu'une prémolaire possédant une ferrule de 2mm sans tenon peut survivre aussi longtemps qu'une dent restaurée avec un tenon fibré.

Une ferrule de 2mm améliore la résistance à la fracture des prémolaires indépendamment de l'utilisation d'un tenon radiculaire. De plus, la valeur de résistance à la fracture est la plus élevée dans le groupe ferrule sans tenon (figure 58).

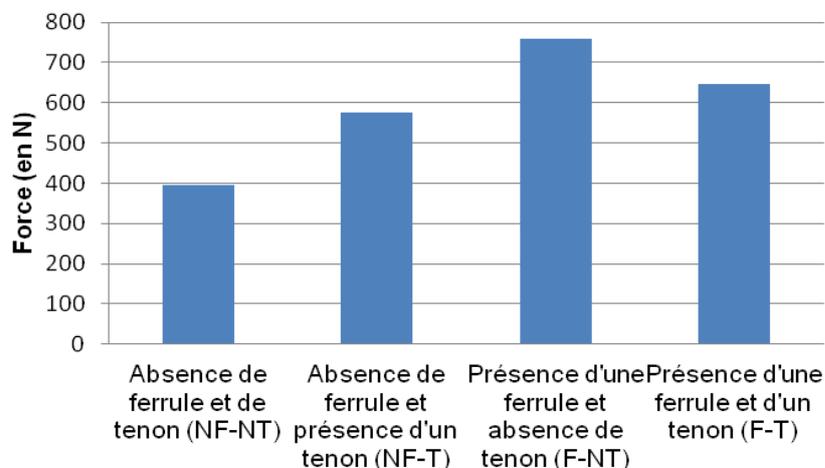


Figure 58 : graphique représentant la force à appliquer pour obtenir une fracture en fonction de la présence de tenon (T), de ferrule (F) ou de leur absence (NT, NF) [85]

L'absence de tenon évite les défaillances catastrophiques entraînant l'extraction de la dent. En effet, le groupe F-NT ne présente aucune fracture non réparable (figure 59).

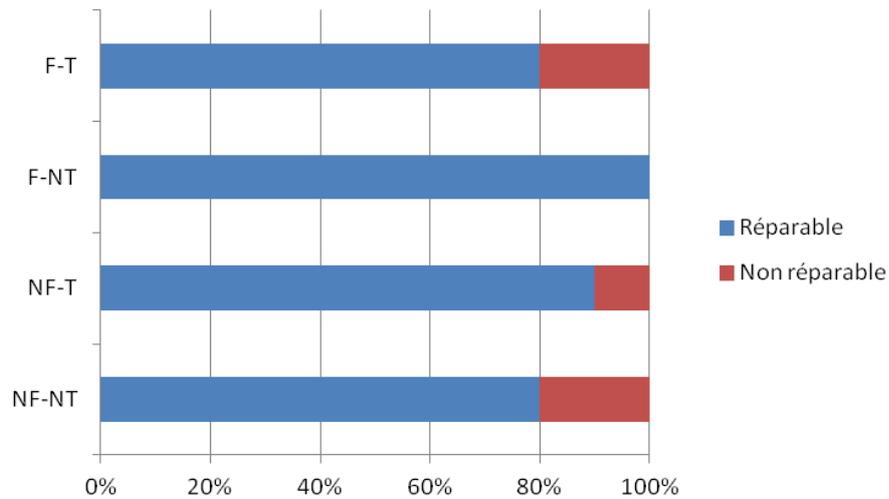


Figure 59 : répartition du type de défaillance en fonction des différents groupes [85]

Conserver le maximum de parois résiduelles est plus bénéfique pour limiter les fractures radiculaires que d'introduire un tenon dans les racines.

Le tenon améliore la rétention et la résistance de la restauration mais diminue celle de la dent. Par conséquent, seule l'absence d'autres moyens de rétention justifie de recourir à un ancrage radiculaire.

5 Diagnostic des fractures radiculaires

La mise en évidence des fractures et fêlures radiculaires est parfois complexe. Il n'y a pas de symptôme clinique unique ou de technique de radiographie conventionnelle permettant un diagnostic facile et définitif pour chaque cas. Les symptômes, signes cliniques et radiologiques sont souvent similaires à ceux associés à une lésion d'origine endodontique ou à une manifestation d'une maladie parodontale. De plus, il n'y a aucun symptôme constant (tableau 8) [86].

Tableau 8 : récapitulatif des symptômes et signes cliniques pouvant être rencontrés ainsi que leur pourcentage de survenue [86,90]

| | | |
|----------------------------|--|------------|
| Symptômes cliniques | Légère douleur à la mastication | 60 à 100% |
| | Sensibilité à la percussion | 6.66% |
| | Sensibilité à la palpation des tables osseuses | 6.66% |
| Signes cliniques | Fistule | 31 à 46.6% |
| | Poche parodontale isolée (>6mm) | 40% |
| | Gonflement localisé | 23 à 77% |
| | Écoulement purulent depuis la fistule | 6.66% |
| | Écoulement purulent depuis le sulcus | 3.33% |
| | Mobilité de la dent ou des fragments | 3 à 45% |

Pourtant, une décision rapide est nécessaire pour éviter toute perte osseuse qui entraînera des difficultés de réhabilitation implantaire après l'avulsion de la dent causale.

Des erreurs peuvent être commises si les données permettant le diagnostic exact (clinique et radiologique) sont manquantes. Selon Karteva et coll. [87] et Tsesis et coll. [88], bien souvent, le praticien établit une prédiction plutôt qu'un diagnostic.

5.1 Anamnèse

Pour réaliser le diagnostic, il est important de connaître l'historique de la dent et d'identifier sa susceptibilité à la fracture. Il est indispensable de comprendre la chronologie des traitements subis par la dent (choc, carie, traitements endodontiques successifs et mise en place d'un tenon radiculaire entre autres). L'ensemble de ces traitements a fragilisé la dent et va la rendre plus ou moins sensible à la fracture. De plus, il faut déterminer si les charges occlusales supportées par la dent sont importantes (la dent est-elle support de prothèse amovible partielle?) (cf 2.3 et 2.4). Une prédiction va pouvoir être établie sur la probabilité de détection d'une fracture [89].

5.2 Diagnostic clinique

5.2.1 Les fractures horizontales

Lorsqu'une fracture horizontale est supra-crestale, le fragment coronaire est dans la majorité des cas déjà expulsé.

Lors d'une fracture sous-crestale, le fragment coronaire présente une mobilité importante. Des signes d'inflammation vont apparaître lorsque le trait de fracture perd son asepsie. Une communication avec le milieu buccal peut avoir lieu par le sulcus ou par percolation au niveau du tenon radiculaire.

Plus la ligne de fracture s'approche du niveau apical, moins la mobilité du fragment coronaire est importante. Le risque de perte d'asepsie diminue également. Seule la percolation au niveau du tenon peut survenir.

Les fractures horizontales au niveau apical sont souvent asymptomatiques et ne présentent aucune mobilité.

Comme exposé précédemment, les dents postérieures sont plus sujettes aux fractures verticales (cf 2.3).

5.2.2 Les fractures verticales

Au début les symptômes sont minimes, le patient ne ressent rien ou une simple gêne. La ligne de fracture peut ne pas être visible si elle ne possède pas d'extension cervicale. Quand la ligne de fracture rejoint le sulcus, une communication avec la cavité buccale se crée. Les bactéries peuvent alors pénétrer la zone et initier l'inflammation. Le desmodonte de la dent devient avec le temps sensible à la percussion et à la mastication. Selon plusieurs études, plus de la moitié des patients présentant une fracture verticale confirmée après extraction, signale une douleur légère et se plaint de sensibilité à la mastication [90,91].

De nombreuses méthodes existent pour visualiser une fracture telle que l'utilisation de colorant (bleu de méthylène) (figure 60).

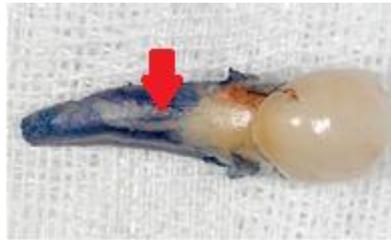


Figure 60 : coloration du trait de fracture au bleu de méthylène [90]

Des aides optiques (loupes, microscope opératoire) peuvent également être utilisées pour rechercher la ligne de fracture (figure 61).



Figure 61 : visualisation de la ligne de fracture grâce à des aides optiques [89]

La transillumination permet aussi la détection des fissures. La lumière passe à travers la dent jusqu'à ce qu'elle atteigne une fissure. La lumière se reflète lorsque l'indice de réfraction change à l'intérieur de la dent en raison d'une fracture. En

conséquence, les régions brillantes et sombres de la dent sont divisées par le trait de fracture (figure 62).

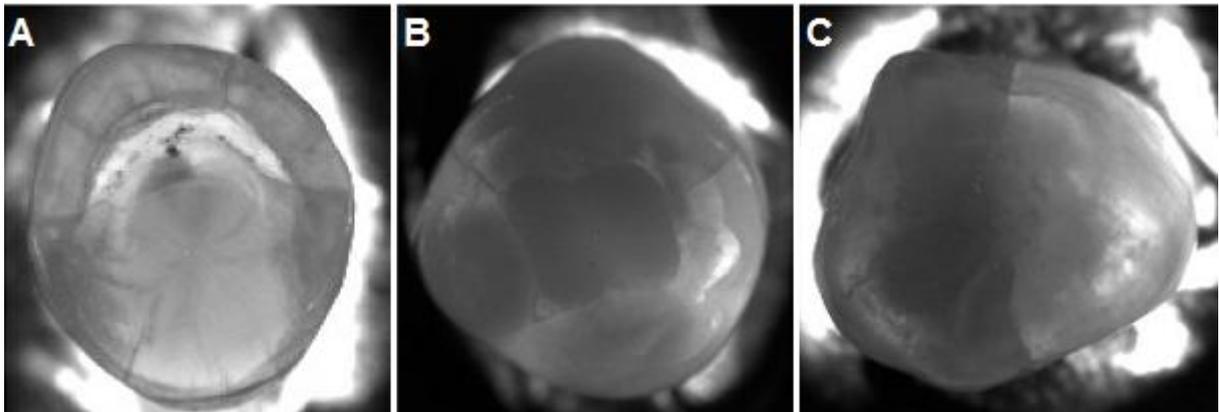


Figure 62 : visualisation de fissures par transillumination d'une dent saine (A), fissurée avec (B) et sans restauration (C) [99]

Le long du trait de fracture, le desmodonte se résorbe. Sa disparition est accompagnée d'une perte osseuse progressive (figure 63).

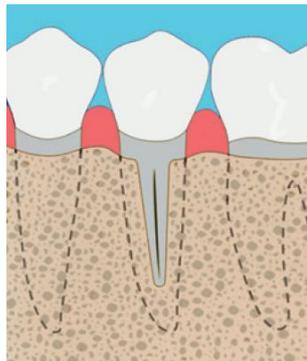


Figure 63 : schéma représentant un trait de fracture accompagné d'un défaut osseux [89]

Du point de vue clinique, la profondeur de sondage augmente sur une zone étroite qui se limite à la localisation de la ligne de fracture (sondage ponctuel) (figure 64). Seul 40% des cas présente une poche isolée de plus de 6mm de profondeur [90].



Figure 64 : sondage ponctuel [89]

Une exposition chirurgicale avec un volet exploratoire peut être réalisée pour détecter ce défaut osseux isolé (fenestration, déhiscence) ainsi que le trait de fracture (figure 65).

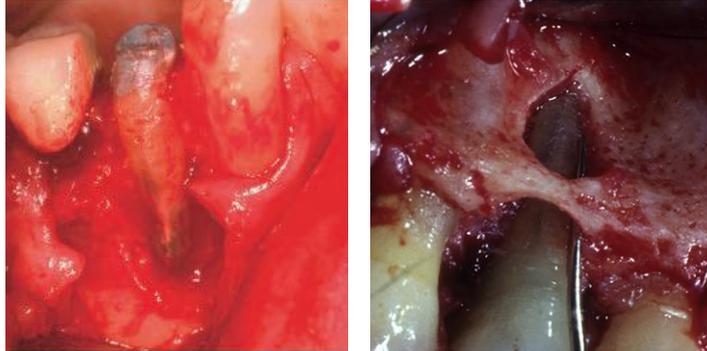


Figure 65 : exposition chirurgicale avec déhiscence (à gauche) [91] et fenestration (à droite) [86]

A un stade avancé, une fistule peut être observée au niveau de la gencive attachée (figure 66). 35% des patients porteurs d'une fracture verticale présentent un abcès révélant la présence d'une inflammation chronique de cette zone [91]. Sa position se distingue de celle plus apicale rencontrée lors d'un problème d'origine endodontique. La présence de deux fistules (buccale et vestibulaire) est pathognomonique d'une fracture verticale [89].

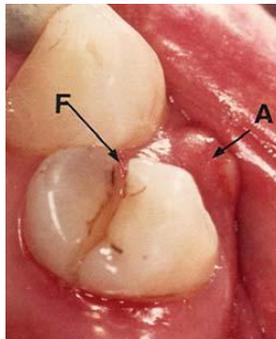


Figure 66 : présence d'un abcès (A) en regard de la ligne de fracture (F) [92]

5.3 Diagnostic radiologique

Dans de nombreux cas, la ligne de fracture n'est pas visible à la radiographie. Les capacités de détection sur radiographie intra-orale dépendent de l'angulation de faisceaux de rayons X et de la distance entre les éléments fracturés (figure 67).



Figure 67 : schéma représentant le fonctionnement de la radiographie conventionnelle [99]

Si les rayons sont parallèles au plan de fracture, on peut observer une ligne distincte radio-claire mettant en évidence la fracture. Par contre, s'ils ne le sont pas, il est beaucoup plus difficile de les visualiser [93].

La radiographie conventionnelle permet d'obtenir une image en deux dimensions. La ligne de fracture peut être cachée par le traitement endodontique, le tenon radiculaire ou encore par les structures anatomiques [89].

La visualisation de la fracture est plus aisée au stade où les fragments se séparent de manière plus importante (figure 68).

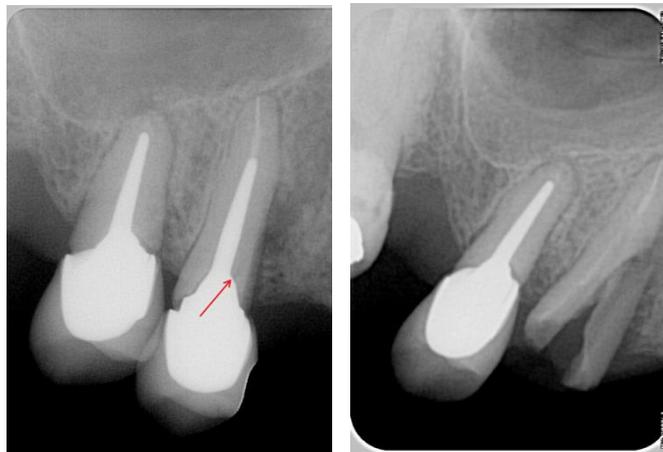


Figure 68 : radiographies d'une prémolaire présentant une fracture verticale : peu visible en préopératoire à gauche ; après la perte de la restauration à droite (radiographies personnelles)

Une radioclarité dit en doigt de gant (signe radiologique tardif) permet également de diagnostiquer une fracture radiculaire verticale. Elle correspond à un halo diffus périapical et latéro-radiculé (figure 69).



Figure 69 : exemples de radiographie en doigt de gant [91]

Les différents signes observables radiologiquement sont regroupés dans le tableau 9 :

Tableau 9 : récapitulatif des signes radiologiques pouvant être rencontrés ainsi que leur pourcentage de survenu en cas de fracture avérée [86,90]

| Radioclarité | Pourcentage |
|-------------------------------|-------------|
| Aucune | 21 |
| Apicale | 21 |
| Apicale et latérale | 25 |
| Crestale | 11 |
| Apicale, latérale et crestale | 45 |
| Fracture visible | 17 |

La mise en évidence d'une fracture peut se faire suite à l'obturation endodontique si le ciment ou la gutta fuse entre les fragments (figure 70).

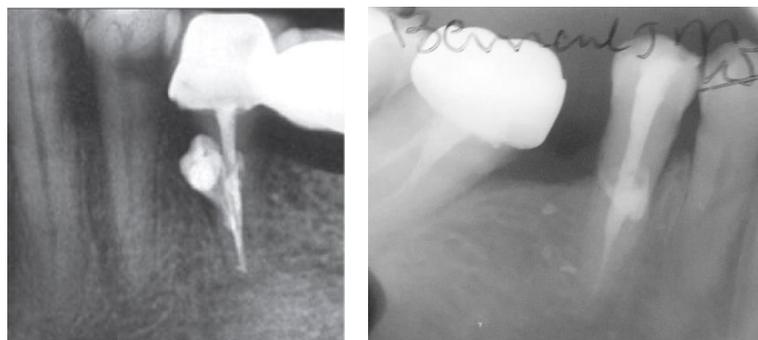


Figure 70 : radiographies présentant une fusée de ciment latérale suggérant la présence d'une fracture ([89] à gauche, personnelle à droite)

5.3.1 Apport de la radiographie 3D

Les capacités de diagnostic de la radiographie en trois dimensions (CBCT : Cone Beam Computed Tomography) dépassent celle de la radiographie conventionnelle en deux dimensions car elle fournit des informations sur la dent examinée dans les trois plans de l'espace (figure 71).

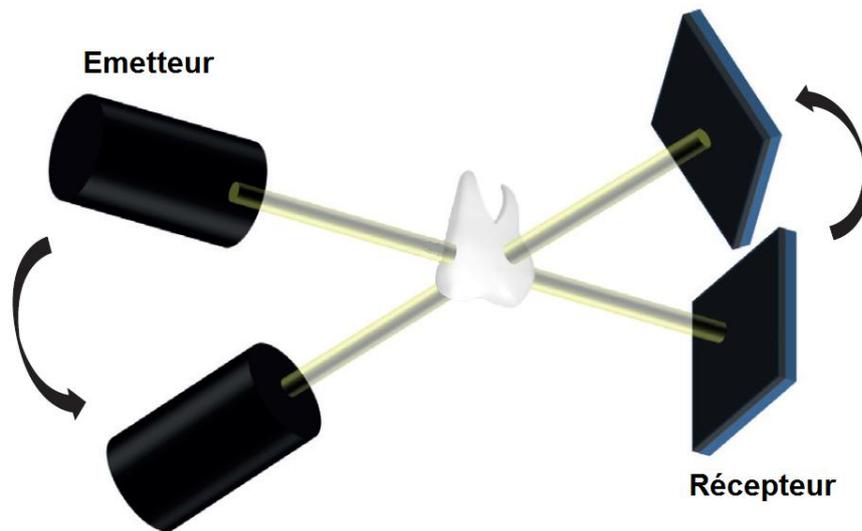


Figure 71 : schéma représentant le fonctionnement du CBCT [99]

Des inconvénients diminuent son efficacité notamment les artefacts dus à la gutta percha et aux structures métalliques (tenons). De même, la faible distance entre les fragments et le manque d'habileté de l'observateur peuvent conduire à un défaut de diagnostic.

Pour Johari et coll. [93], le CBCT est la technique radiologique la plus précise pour la détection des fractures des prémolaires avec une sensibilité de 88% (tableau 10).

Tableau 10 : comparatif de sensibilité entre les radiographies 2D et 3D en fonction de la distance entre les fragments [93]

| Distance entre les fragments | Nombre de fractures détectées (en %) | |
|------------------------------|--------------------------------------|-----------------|
| | Radiographie 2D | Radiographie 3D |
| 0,2mm | 43.3 | 70 |
| 0,4mm | 60 | 90 |

Karteva et coll. [87] ont la même analyse. De plus, ils précisent que l'effet négatif des matériaux métalliques (artefacts) diminuant la précision de l'image peut être

compensé grâce au paramétrage de l'appareil. Les capacités de détection ne diminuent donc pas de manière significative.

Par contre, les études de Menezes et coll. [94] et de Dutra et coll. [95] n'aboutissent pas aux mêmes conclusions. Le CBCT est certes plus précis qu'une rétro-alvéolaire pour une dent sans traitement endodontique. Mais la réduction de la sensibilité, de la précision de détection ainsi que l'augmentation du nombre de faux positif prouvent l'influence néfaste des matériaux de traitement endodontique sur le CBCT (tableau 11).

Tableau 11 : comparatif de la sensibilité, des faux positifs et des faux négatifs en fonction du traitement de la dent [94]

| | Sensibilité | Faux positif | Faux négatif |
|-------------------------|-------------|--------------|--------------|
| Témoin | 87.5% | 12.5% | 12.5% |
| Gutta percha | 75% | 12.5% | 25% |
| Tenon métallique | 62.5% | 62.5% | 37.5% |

Abdinian et coll. [96] ont réalisé une étude comparative entre le CBCT et un ensemble de trois radiographies rétroalvéolaires d'incidences différentes (0°, 20° mésial et 20° distal) pour le diagnostic des fractures radiculaires des dents postérieures. Si la dent est saine, le CBCT est le plus précis. Par contre, lorsque les dents ont subi un traitement endodontique avec présence ou non d'un tenon métallique, peu de différences existent entre les deux techniques sur la précision de détection avec un léger avantage pour la 3D.

L'ensemble des auteurs s'accorde à dire que les artefacts issus des matériaux de traitement endodontique entravent la détection des fractures radiculaires et entraînent des imprécisions plus ou moins importantes. Pourtant il est difficile de tirer une conclusion définitive concernant les capacités de diagnostic des dents dépulpées car comme le conclut l'étude clinique de Chang et coll. [97], aucune preuve suffisante ne suggère que le CBCT est un test fiable pour la détection des fractures des dents traitées endodontiquement.

En 2017, Saberi et coll. [98] confirment le manque de fiabilité du CBCT pour la détection des fractures verticales des dents dépulpées.

Le CBCT est limité à 90µm. Cette résolution plus faible ne permet pas la détection des plus fines fissures et donc la dépistage précoce de celles-ci avant qu'elles ne s'aggravent et ne s'élargissent.

Comme le préconise Abdinian et coll. [96], il est préférable de réaliser un ensemble de trois rétroalvéolaires en première intention. **Le CBCT ne doit être réalisé qu'en seconde intention si un doute persiste, car celui-ci entraîne une irradiation plus importante pour un faible gain d'informations supplémentaires dans le cas des dents dévulpées.**

5.4 Nouvelles méthodes de détection

Différentes techniques expérimentales sont mises au point pour améliorer la détection précoce des fractures radiculaires. Celles-ci sont non invasives et n'utilisent aucun rayonnement ionisant.

5.4.1 Tomographie par Cohérence Optique (OCT)

Cette méthode est basée sur la réflectivité optique. Elle utilise une onde lumineuse d'une longueur d'onde proche de 1300nm (dans les infrarouges) pour obtenir une image tomographique en haute résolution de la structure interne de la dent (figure 72) [99].

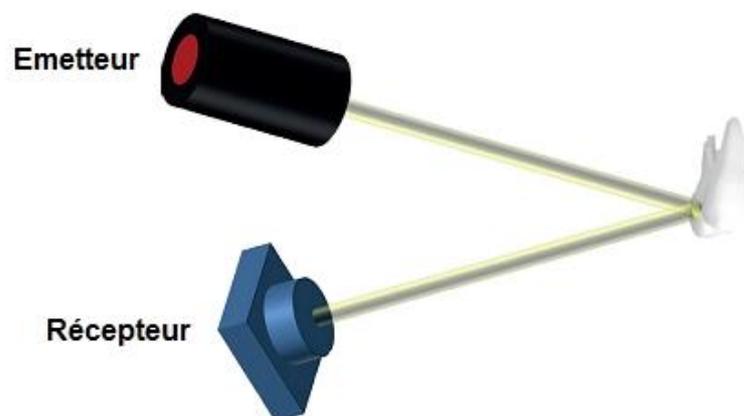


Figure 72 : schéma représentant le fonctionnement de l'OCT : des rayons infrarouges (1310nm) frappent la surface de la dent, leurs réflexions sont captées pour permettre la reconstitution d'une image [99]

Les fissures interfèrent avec la lumière ce qui entraîne une séparation de la lumière en secteurs distincts dans la dent (figure 73) [100,101].

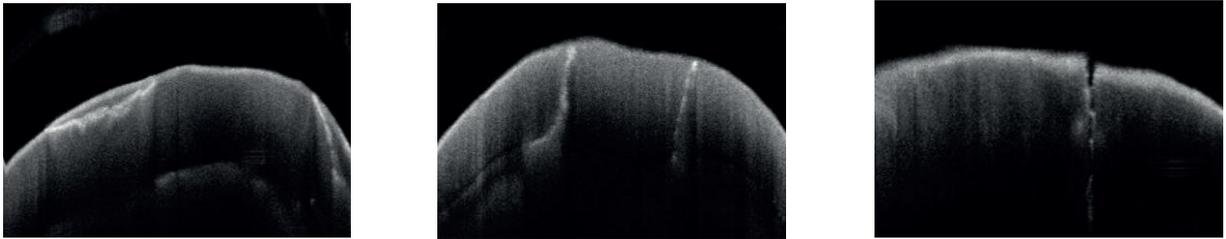
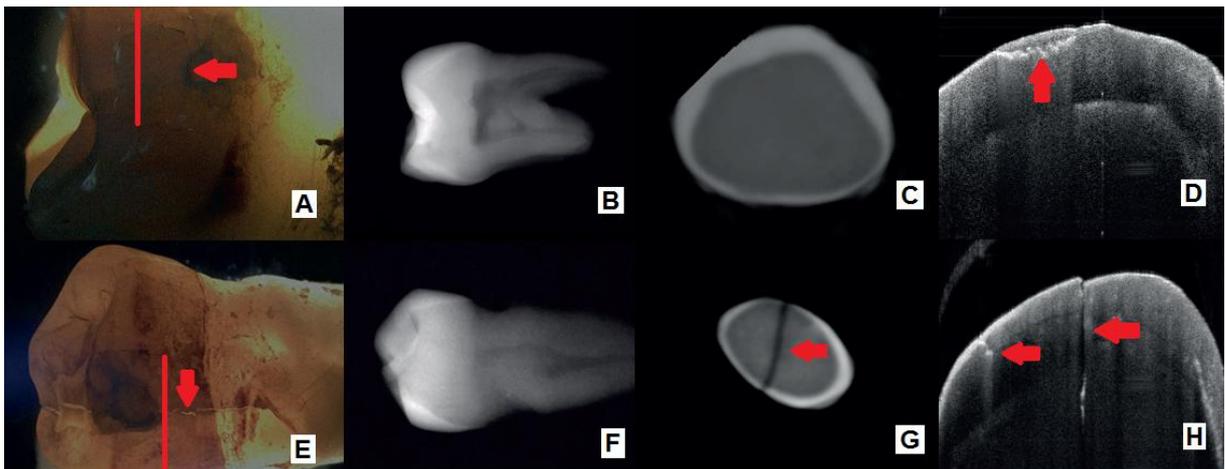


Figure 73 : exemples de visualisation de fissures par OCT [99]

Plusieurs études ont réalisé une comparaison sur la détection des fractures entre l'OCT et différentes techniques conventionnelles (imagerie intra-orale à rayon X, CBCT, transillumination) (figure 74). Chacune d'elles conclue à une efficacité supérieure de l'OCT. Son degré de sensibilité et de spécificité dans la détection des fractures est le plus élevé [99,100].



**Figure 74 : comparaison de détection de fractures et fêlures entre la transillumination (A, E), la radiographie conventionnelle (B, F), le CBCT (C, G) et l'OCT (D, H)
Les lignes rouges correspondent aux sections transversales de CBCT et OCT [99]**

L'onde lumineuse de l'OCT ne peut pénétrer que sur une épaisseur de 1mm dans le tissu dentaire. Cette profondeur est insuffisante pour visualiser une fracture avec séparation complète des fragments. La technique est plutôt destinée à une détection des fissures de manière précoce grâce à sa résolution élevée qui permet la visualisation des fissures de l'ordre de 10µm.

Cependant cette méthode est incapable d'effectuer un scan des canaux radiculaires et de la surface radiculaire sous gingivale en raison de la présence de l'os et de la gencive [87].

Néanmoins, Shemesh et coll [102] développent le champ d'investigation de l'OCT en utilisant un cathéter de cardiologie qu'ils viennent positionner en intracanalair (figure 75). Cette étude réalisée sur des prémolaires obtient des résultats prometteurs avec une sensibilité de détection des fractures de 93%.

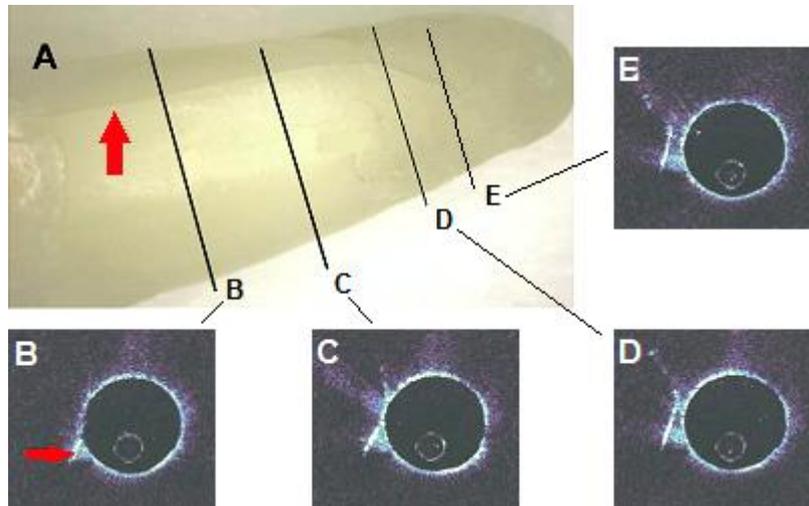


Figure 75 : (A) photographie d'une prémolaire présentant une fracture ; (B-C-D-E) visualisation intracanalair de la fracture par OCT [102]

5.4.2 Profilométrie optique

Elle permet de mettre en évidence à l'aide d'une caméra, la topographie de la surface de la racine. Elle fournit des informations qualitatives et quantitatives sur la surface observée et sur le trait de fracture (profondeur et largeur de la fracture).

Les profilomètres peuvent utiliser un capteur physique (sonde) ou optique pour mesurer les distances. Ils ne mesurent l'altitude que d'un seul point de la surface observée à la fois. Le capteur est déplacé de manière à décrire un segment (mesure de profil) (figure 76) ou un rectangle (mesure de surface, topographie). L'inconvénient majeur est la lenteur du dispositif de l'ordre d'1mm/s.

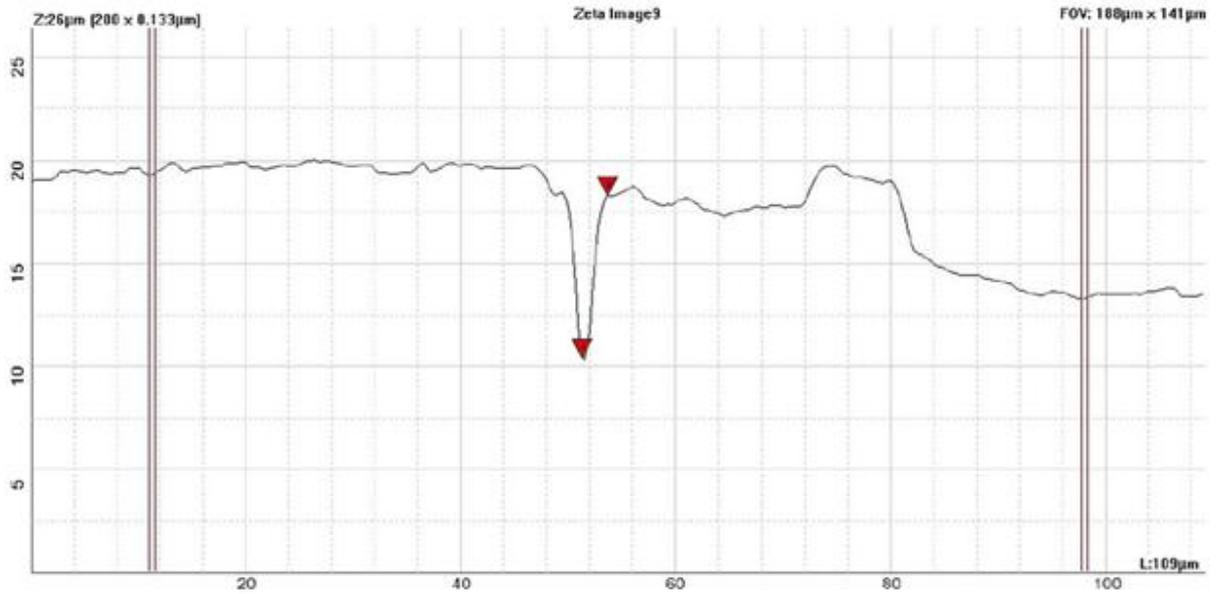


Figure 76 : graphique issu de la profilométrie présentant la largeur et la profondeur du trait de fracture [87]

De nouveaux profilomètres permettent d'obtenir une image en trois dimensions de la surface beaucoup plus rapidement grâce à une caméra. Le principal inconvénient de ceux-ci reste le champ de vision limité (figure 77) [87].

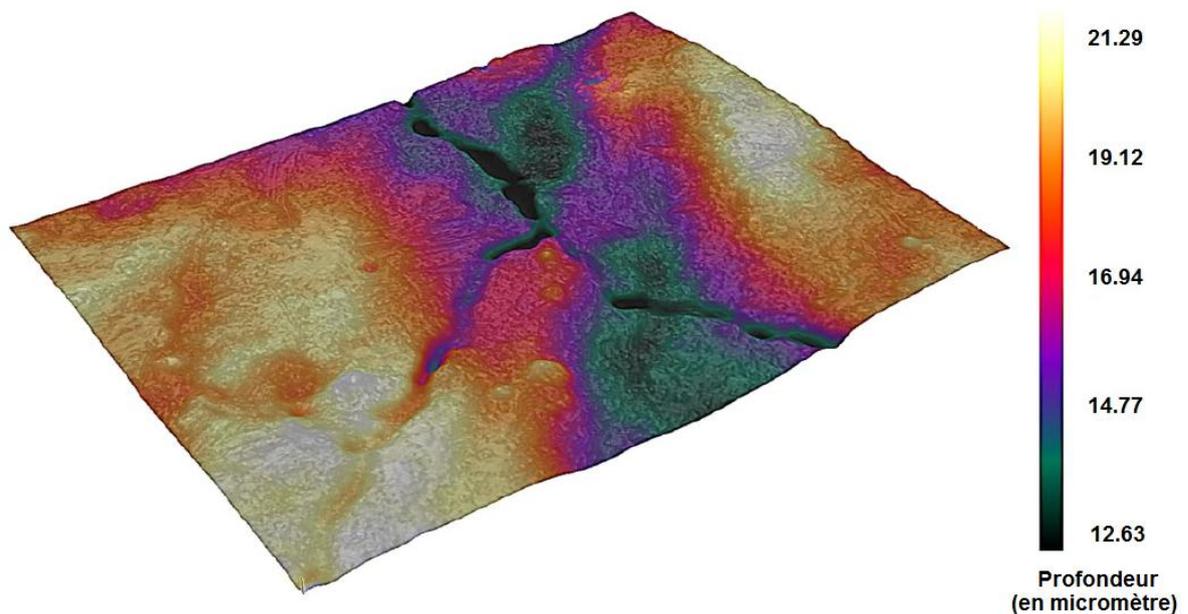


Figure 77 : topographie d'une surface dentaire présentant une ligne de fracture [87]

6 Traitements

En présence de fêlures asymptomatiques, il est préférable de coller la restauration pour empêcher la propagation de la fêlure et la séparation des fragments.

6.1 Traitements conventionnels

6.1.1 Les fractures horizontales

En cas de fracture horizontale supra-crestale, il faut éliminer la restauration et le fragment coronaire. Puis, si la situation le permet, réaliser une nouvelle restauration corono-radiculaire avec une ferrule. Sinon, il est préférable d'effectuer une traction orthodontique pour permettre la réalisation d'une restauration avec ferrule (cf 3.2.2). Il en est de même lors d'une fracture horizontale sous-crestale, avec une ligne de fracture proche du niveau osseux et des racines assez longues pour permettre une traction orthodontique suivie d'une restauration corono-radiculaire avec ferrule. Sinon, l'extraction est à effectuer.

Plus la fracture horizontale devient apicale, moins la mobilité ou la perte du fragment coronaire sera important. L'abstention thérapeutique sera alors de rigueur.

6.1.2 Les fractures verticales

Les fractures verticales entraînent généralement l'avulsion immédiate de la dent. Pourtant, des alternatives existent pour permettre leur conservation.

6.2 Les traitements expérimentaux des fractures verticales

6.2.1 Protocole de traitement des fractures sans extraction des fragments de Da Silva et coll. [103]

Tout d'abord, l'exposition chirurgicale de la racine fracturée est effectuée. Le trait de fracture est élargi puis rempli d'une résine composite. La racine est ensuite recouverte d'un greffon osseux synthétique d'hydroxyapatite. Enfin, le lambeau est remis en place et une bio-stimulation au laser (685nm) est réalisée (figure 78).

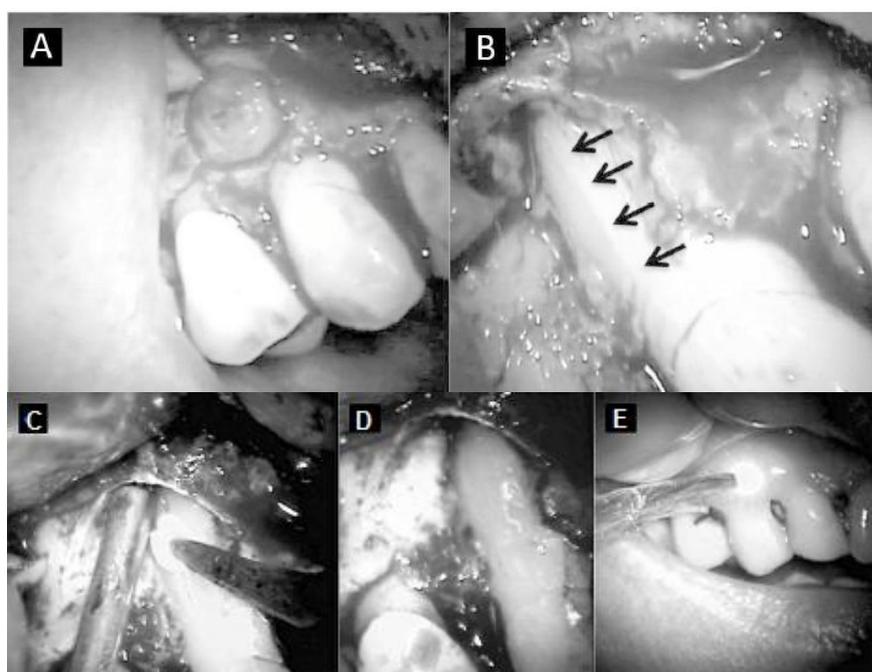


Figure 78 : (A) abcès ; (B) exposition chirurgicale ; (C) élargissement du trait de fracture ; (D) collage au composite ; (E) bio-stimulation au laser [103]

Da Silva et coll. [103] ont testé ce protocole sur une prémolaire avec un suivi de 2 ans. Les résultats ne montrent aucun symptôme ni de signe d'inflammation

On peut cependant regretter que leur article ne donne aucun détail sur un éventuel retraitement endodontique.

6.2.2 Protocoles de traitement des fractures avec extraction des fragments

6.2.2.1 Protocole de traitement par collage des fragments et réimplantation après leurs extractions

Après avoir réalisé le diagnostic de fracture verticale, l'extraction des fragments de la dent affectée est soigneusement réalisée. Il est impératif d'éviter d'endommager les tissus parodontaux pendant cette étape.

Les fragments sont collés après avoir éliminé le tissu de granulation. Le temps de collage doit être court pour garder une bonne vitalité desmodontale et prévenir l'ankylose. Le matériau adhésif utilisé doit posséder en plus d'une prise rapide, une bonne biocompatibilité et une tolérance à l'humidité [104].

La dent est ensuite plongée dans une solution de tétracycline avant d'être réimplantée. Une contention est enfin réalisée pour quatre semaines (figure 79).

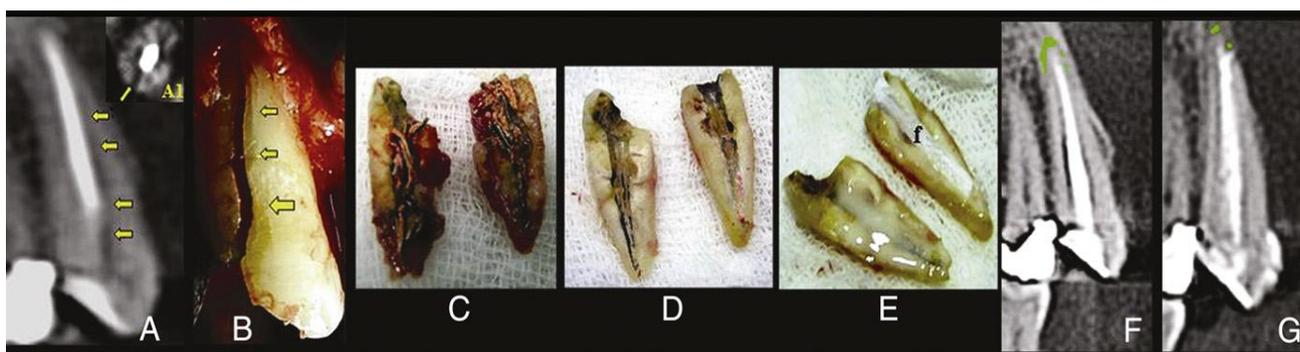


Figure 79 : diagnostic de la fracture verticale au CBCT (A) ; mise en évidence grâce à l'exploration chirurgicale (B) ; visualisation des fragments post-extractionnels (C) ; fragments nettoyés (D) ; fragments préparés pour le collage (E) ; réduction de la lésion périapicale (F-G) [105]

Özer et coll. [105] ont testé cliniquement ce protocole sur des incisives et des canines. Les résultats sont encourageants car les dents sont asymptomatiques et l'on constate une réduction des lésions visibles à la radiographie après 2 ans (fig 80).

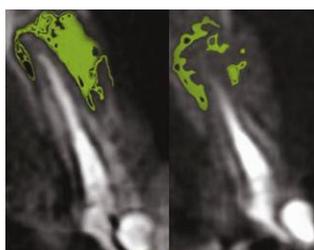


Figure 80 : radiographies permettant la visualisation de la réduction de la lésion (en jaune) [105]

Une guérison des tissus parodontaux (réduction de la profondeur de poche et de la perte d'attache desmodontale) est également observée (tableau 12) [106].

Tableau 12 : évolution de la profondeur du sondage au niveau du trait de fracture entre le temps pré-extractionnel et 18 mois post-extractionnel [106]

| Temps (en mois) | Profondeur de sondage (en mm) | |
|-----------------|-------------------------------|---------|
| | Vestibulaire | Palatin |
| 0 | 11 | 10 |
| 6 | 7 | 6 |
| 12 | 4 | 5 |
| 18 | 3 | 4 |

Le principal problème rencontré est l'ankylose. Elle représente la fusion de l'os alvéolaire et de la surface de la racine. Celle-ci peut survenir lorsque le desmodonte a été endommagé suite à l'avulsion ou quand le temps de collage hors bouche a été trop long.

Hayashi et coll. [107] ne dénombrent aucun échec suite au traitement énoncé précédemment sur des incisives avec jusqu'à 6 ans de recul clinique. Par contre, quelques échecs sont survenus avec des prémolaires (tableau 13).

Tableau 13 : évolution de la profondeur de sondage au niveau du trait de fracture de prémolaires entre le temps pré-extractionnel et le dernier contrôle réalisé [107]

| Profondeur de sondage initial (en mm) | Profondeur de sondage lors du dernier contrôle (en mm) |
|---------------------------------------|--|
| 8 | <u>≥10</u> |
| >10 | 7 |
| 5 | <u>≥10</u> |
| >10 | <u>≥10</u> |
| >10 | 5 |
| 9 | 2 |

Ils en concluent que les dents postérieures ne sont pas les dents les plus indiquées pour ce type de collage des fragments et réimplantation, car les contraintes occlusales qu'elles subissent sont trop importantes.

Certes, pour les prémolaires la technique n'obtient pas les résultats escomptés dans chaque cas mais elle est une meilleure option de traitement des fractures verticales que l'avulsion qui elle, est irréversible. Cette méthode permet en cas de réussite de conserver la dent pendant plusieurs années [108].

6.2.2.2 Protocole de Sugaya et coll. [109]

Sugaya et coll. [109] ont proposé en 2016, un traitement de la racine après extraction et collage hors bouche des fragments, pour stimuler la création d'un nouveau ciment au niveau de la zone de fracture. Celui-ci permet la formation d'une nouvelle attache desmodontale.

Ce traitement consiste en l'application d'acide éthylène-diamine-tétra-acétique (EDTA) suivi d'une application d'Emdogain® (figure 81).



Figure 81 : (de gauche à droite) extraction des fragments ; collage des fragments et application d'Emdogain® [109]

Les tests ont été réalisés sur des dents animales *in vivo* sur une courte période de temps (8 semaines). Mais les résultats permettent d'envisager une utilisation du protocole au niveau humain. En effet, après seulement 8 semaines, un nouveau ciment acellulaire s'est formé au niveau de la zone de fracture, là où sans ce traitement il n'y a que du tissu conjonctif (figure 82).

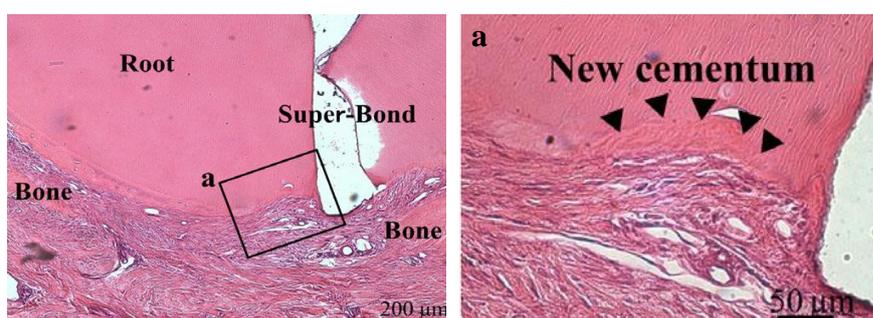


Figure 82 : coupe histologique horizontale de la zone de fracture de la dent traitée à l'Emdogain®; (a) agrandissement de la région présentant une formation néo-cémentaire [109]

6.2.2.3 Protocole de Hadrossek et coll. [110]

Hadrossek et coll. [110] ont effectué ce protocole sur une dent dépulpée victime d'une fracture verticale incomplète. L'examen clinique a révélé un sondage parodontal isolé de 7mm (figure 83). La première étape a consisté à retraiter endodontiquement la dent. Puis, les fragments ont été stabilisés *in situ* avec un adhésif et du composite au niveau coronaire et intra-canalair. L'avulsion a ensuite été réalisée, suivi d'un traitement endodontique rétrograde. Finalement, le trait de fracture a été élargi puis comblé à la Biodentine® avant que la dent ne soit réimplantée et maintenue par une contention pendant quatre semaines (figure 83). Ils décrivent après un suivi de 24 mois, une réduction de la profondeur moyenne de sondage de 7mm à 3mm avec un réattachement gingival dans la zone de fracture sans signe d'ankylose. Le temps de suivi est trop court pour permettre d'en extrapoler les conclusions sur une longue période. De plus, l'étude ne concerne qu'une incisive maxillaire.

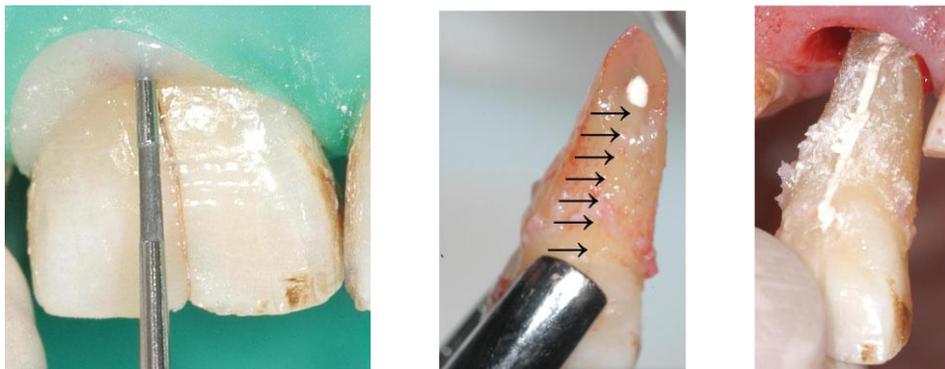


Figure 83 : incisive centrale maxillaire présentant une fracture verticale avec une profondeur de sondage de 7mm (à gauche) ; extraction atraumatique de la dent et traitement endodontique rétrograde (au centre) ; réimplantation de la dent après avoir élargi le trait de fracture puis rempli de Biodentine (à droite) [110]

L'utilisation du MTA® dont le temps de prise est long, n'est pas un matériau de choix pour ce type de traitement où le temps hors de l'alvéole doit être le plus court possible, pour garder une bonne vitalité du desmodonte.

7 Conclusion

L'analyse de la littérature ne met en évidence aucune technique ni matériau permettant la restauration des prémolaires dans l'ensemble des cas de figures tout en réduisant le risque de fracture.

Lorsque cela est possible, s'abstenir d'utiliser un tenon est la meilleure solution thérapeutique pour limiter le risque de fracture. La ferrule a un rôle central dans ce choix.

Si un tenon est nécessaire, les tenons fibrés seront à privilégier. Le tenon utilisé doit être choisi avec minutie en fonction de la situation.

Les restaurations corono-radicaire coulées ne sont à envisager que lorsque les RMIPP sont impossibles à réaliser.

De nombreux moyens existent pour mettre en évidence les fractures. Pourtant il est parfois difficile d'obtenir un diagnostic rapide et définitif. Parmi ceux-ci, l'OCT est une méthode innovante améliorant la détection précoce des fractures des prémolaires reconstituées par restauration corono-radicaire. Elle obtient des résultats supérieurs à toutes les autres méthodes tout en étant non invasive et non ionisante.

Le traitement des fractures de prémolaires est aujourd'hui encore très limité. Soit la dent peut être reconstituée avec une nouvelle restauration corono-radicaire, soit la dent est extraite.

Quelques protocoles expérimentaux existent pour maintenir les dents présentant des fractures verticales. Les résultats sont encourageants mais le nombre très faible de cas réalisés ne permet pas la mise en pratique au quotidien.

Références bibliographiques

1. Yoshino K, Ito K, Kuroda M, Sugihara N. Prevalence of vertical root fracture as the reason for tooth extraction in dental clinics. *Clin Oral Investig.* 2015;19(6):1405-9.
2. Sugaya T, Nakatsuka M, Inoue K, Tanaka S, Miyaji H, Sakagami R, et al. Comparison of fracture sites and post lengths in longitudinal root fractures. *J Endod.* 2015;41(2):159-63.
3. Figueiredo FED, Martins-Filho PRS, Faria-E-Silva AL. Do metal post-retained restorations result in more root fractures than fiber post-retained restorations? A systematic review and meta-analysis. *J Endod.* 2015;41(3):309-16.
4. Sarkis-Onofre R, Jacinto R de C, Boscato N, Cenci MS, Pereira-Cenci T. Cast metal vs. glass fibre posts: a randomized controlled trial with up to 3 years of follow up. *J Dent.* 2014;42(5):582-7.
5. Chrysanthakopoulos NA. Reasons for extraction of permanent teeth in Greece: a five-year follow-up study. *Int Dent J.* 2011;61(1):19-24.
6. Zadik Y, Sandler V, Bechor R, Salehrabi R. Analysis of factors related to extraction of endodontically treated teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2008;106(5):e31-35.
7. Aida J, Ando Y, Akhter R, Aoyama H, Masui M, Morita M. Reasons for permanent tooth extractions in Japan. *J Epidemiol.* 2006;16(5):214-9.
8. Touré B, Faye B, Kane AW, Lo CM, Niang B, Boucher Y. Analysis of reasons for extraction of endodontically treated teeth: a prospective study. *J Endod.* 2011;37(11):1512-5.
9. Coppens C, DeMoor R. Prevalence of vertical root fractures in extracted endodontically treated teeth. *Int Endod J.* 2003;
10. Tang W, Wu Y, Smales RJ. Identifying and reducing risks for potential fractures in endodontically treated teeth. *J Endod.* 2010;36(4):609-17.
11. Papa J, Cain C, Messer HH. Moisture content of vital vs endodontically treated teeth. *Dent Traumatol.* 1994;10(2):91–93.
12. Huang TJ, Schilder H, Nathanson D. Effects of moisture content and endodontic treatment on some mechanical properties of human dentin. *J Endod.* 1992;18(5):209-15.
13. Dietschi D, Duc O, Krejci I, Sadan A. Biomechanical considerations for the restoration of endodontically treated teeth: a systematic review of the literature--Part 1. Composition and micro- and macrostructure alterations. *Quintessence Int Berl Ger 1985.* 2007;38(9):733-43.

14. Randow K, Glantz PO. On cantilever loading of vital and non-vital teeth. An experimental clinical study. *Acta Odontol Scand.* 1986;44(5):271-7.
15. Wiskott H. Eléments de biomécanique. *Cah Prothèse.* 1996;(96):15-23.
16. Dejou J, Laborde G. Comportement clinique de la dent dépulpée. *Réal Clin.* 1990;1:185-94.
17. Krishan R, Paqué F, Ossareh A, Kishen A, Dao T, Friedman S. Impacts of conservative endodontic cavity on root canal instrumentation efficacy and resistance to fracture assessed in incisors, premolars, and molars. *J Endod.* 2014;40(8):1160-6.
18. Reeh ES, Messer HH, Douglas WH. Reduction in tooth stiffness as a result of endodontic and restorative procedures. *J Endod.* 1989;15(11):512-6.
19. 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.* 2008;99(1):30-7.
20. Nagasiri R, Chitmongkolsuk S. Long-term survival of endodontically treated molars without crown coverage: a retrospective cohort study. *J Prosthet Dent.* 2005;93(2):164-70.
21. Andreasen JO, Farik B, Munksgaard EC. Long-term calcium hydroxide as a root canal dressing may increase risk of root fracture. *Dent Traumatol.* 2002;18(3):134–137.
22. Zarei M, Afkhami F, Malek Poor Z. Fracture resistance of human root dentin exposed to calcium hydroxide intervisit medication at various time periods: an in vitro study. *Dent Traumatol Off Publ Int Assoc Dent Traumatol.* 2013;29(2):156-60.
23. Yilmaz S, Dumani A, Yoldas O. The effect of antibiotic pastes on microhardness of dentin. *Dent Traumatol Off Publ Int Assoc Dent Traumatol.* 2016;32(1):27-31.
24. Ballal NV, Mala K, Bhat KS. Evaluation of the effect of maleic acid and ethylenediaminetetraacetic acid on the microhardness and surface roughness of human root canal dentin. *J Endod.* 2010;36(8):1385-8.
25. De-Deus G, Paciornik S, Mauricio MHP. Evaluation of the effect of EDTA, EDTAC and citric acid on the microhardness of root dentine. *Int Endod J.* 2006;39(5):401-7.
26. Zhang K, Kim YK, Cadenaro M, Bryan TE, Sidow SJ, Loushine RJ, et al. Effects of different exposure times and concentrations of sodium hypochlorite/ethylenediaminetetraacetic acid on the structural integrity of mineralized dentin. *J Endod.* 2010;36(1):105-9.

27. Uzunoglu E, Aktemur S, Uyanik MO, Durmaz V, Nagas E. Effect of ethylenediaminetetraacetic acid on root fracture with respect to concentration at different time exposures. *J Endod.* 2012;38(8):1110-3.
28. Wang L, Zhao Y, Mei L, Yu H, Muhammad I, Pan Y, et al. Effect of application time of maleic acid on smear layer removal and mechanical properties of root canal dentin. *Acta Odontol Scand.* 2017;75(1):59-66.
29. Pascon FM, Kantovitz KR, Sacramento PA, Nobre-dos-Santos M, Puppin-Rontani RM. Effect of sodium hypochlorite on dentine mechanical properties. A review. *J Dent.* 2009;37(12):903-8.
30. Turk T, Kaval ME, Sarikanat M, Hülsmann M. Effect of final irrigation procedures on fracture resistance of root filled teeth: an ex vivo study. *Int Endod J.* 2016;
31. Laviolle O, Bartala M. Restaurations coronaires préprothétiques à ancrage radriculaire : clinique et laboratoire. EMC. 2008;(23-250-A-10).
32. Wegner PK, Freitag S, Kern M. Survival rate of endodontically treated teeth with posts after prosthetic restoration. *J Endod.* 2006;32(10):928-31.
33. Ploumaki A, Bilkhair A, Tuna T, Stampf S, Strub JR. Success rates of prosthetic restorations on endodontically treated teeth; a systematic review after 6 years. *J Oral Rehabil.* 2013;40(8):618-30.
34. Sorrentino R, Di Mauro MI, Ferrari M, Leone R, Zarone F. Complications of endodontically treated teeth restored with fiber posts and single crowns or fixed dental prostheses-a systematic review. *Clin Oral Investig.* 2016;20(7):1449-57.
35. Bolla M, Aboudharam G, Attal J-P, Bartala M, Brulat-Bouchard N, Decup F, et al. Restaurer la dent dépulpée. Edition Espace ID; 2014. 136 p.
36. Al-Omiri MK, Mahmoud AA, Rayyan MR, Abu-Hammad O. Fracture resistance of teeth restored with post-retained restorations: an overview. *J Endod.* 2010;36(9):1439-49.
37. Santos-Filho PCF, Veríssimo C, Raposo LHA, Noritomi MecEng PY, Marcondes Martins LR. Influence of ferrule, post system, and length on stress distribution of weakened root-filled teeth. *J Endod.* 2014;40(11):1874-8.
38. Farina AP, Weber AL, Severo B de P, Souza MA, Cecchin D. Effect of length post and remaining root tissue on fracture resistance of fibre posts relined with resin composite. *J Oral Rehabil.* 2015;42(3):202-8.
39. Alomari QD, Barrieshi KM, Al-Awadhi SA. Effect of post length and diameter on remaining dentine thickness in maxillary central and lateral incisors. *Int Endod J.* 2011;44(10):956-66.
40. Papathanassiou G. Anatomie des dents humaines permanentes: Première prémolaire maxillaire. *Cah Prothèse.* 2004;(126):47-64.
41. Romerowski J, Bresson G. Morphologie dentaire de l'adulte : prémolaires. 2011;

42. Papathanassiou G. Anatomie des dents humaines permanentes: Deuxième prémolaire maxillaire. *Cah Prothèse*. 2004;(127):53-64.
43. Papathanassiou G. Anatomie des dents humaines permanentes: Première prémolaire mandibulaire. *Cah Prothèse*. 2005;(129):61-72.
44. El Ouali R, Soualhi H, El Yamani A. Les fractures radiculaires sous-prothétiques : comprendre pour mieux prévenir. *Cah Prothès*. 2015;(169):35-46.
45. Al-Omiri MK, Mahmoud AA, Rayyan MR, Abu-Hammad O. Fracture resistance of teeth restored with post-retained restorations: an overview. *J Endod*. 2010;36(9):1439-49.
46. Mentink AG, Creugers NH, Hoppenbrouwers PM, Meeuwissen R. Qualitative assessment of stress distribution during insertion of endodontic posts in photoelastic material. *J Dent*. 1998;26(2):125-31.
47. Goodacre CJ, Spolnik KJ. The prosthodontic management of endodontically treated teeth: a literature review. Part III. Tooth preparation considerations. *J Prosthodont Off J Am Coll Prosthodont*. 1995;4(2):122-8.
48. Asmussen E, Peutzfeldt A, Sahafi A. Finite element analysis of stresses in endodontically treated, dowel-restored teeth. *J Prosthet Dent*. 2005;94(4):321-9.
49. Büttel L, Krastl G, Lorch H, Naumann M, Zitzmann NU, Weiger R. Influence of post fit and post length on fracture resistance. *Int Endod J*. 2009;42(1):47-53.
50. Kılınç HI, Aslan T, Kılıç K, Er Ö, Esim E, Yıldırım Ş. Fracture resistance of teeth with oval canal morphology restored using oval and circular posts. *J Oral Sci*. 2016;58(3):339-45.
51. Zicari F, Van Meerbeek B, Scotti R, Naert I. Effect of fibre post length and adhesive strategy on fracture resistance of endodontically treated teeth after fatigue loading. *J Dent*. 2012;40(4):312-21.
52. Schmitter M, Rammelsberg P, Lenz J, Scheuber S, Schweizerhof K, Rues S. Teeth restored using fiber-reinforced posts: in vitro fracture tests and finite element analysis. *Acta Biomater*. 2010;6(9):3747-54.
53. Boschian Pest L, Guidotti S, Pietrabissa R, Gagliani M. Stress distribution in a post-restored tooth using the three-dimensional finite element method. *J Oral Rehabil*. 2006;33(9):690-7.
54. Nissan J, Dmitry Y, Assif D. The use of reinforced composite resin cement as compensation for reduced post length. *J Prosthet Dent*. 2001;86(3):304-8.
55. Dental Fiber Force [Internet]. [cité 26 août 2017]. Disponible sur: <http://www.dental-fiber-force.com/fr/biolight-evolution-tenons-dentaires.php>
56. Grieznis L, Apse P, Soboleva U. The effect of 2 different diameter cast posts on tooth root fracture resistance in vitro. *Stomatologija*. 2006;8(1):30-2.

-
57. Du J-K, Lin W-K, Wang C-H, Lee H-E, Li H-Y, Wu J-H. FEM analysis of the mandibular first premolar with different post diameters. *Odontology*. 2011;99(2):148-54.
 58. Furuya Y, Huang S-H, Takeda Y, Fok A, Hayashi M. Fracture strength and stress distributions of pulpless premolars restored with fiber posts. *Dent Mater J*. 2014;33(6):852-8.
 59. Naumann M, Rosentritt M, Preuss A, Dietrich T. The effect of alveolar bone loss on the load capability of restored endodontically treated teeth: a comparative in vitro study. *J Dent*. 2006;34(10):790-5.
 60. Chen X-M, Wu X-H, Niu L, Yang Y, Yao W. Effects of the loss of alveolar bone on the areas of periodontal ligament, mechanical fulcrum and fracture resistance of root and post-core system. *Sichuan Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban*. 2005;36(6):853-7.
 61. Carrotte P. Surgical endodontics. *Br Dent J*. 2005;198(2):71-9.
 62. Strassler HE. Restoration of the Endodontically Treated Tooth. *Inside Dentistry*. 2008
 63. Duret B, Reynaud M, Duret F. Intérêt des matériaux à structure unidirectionnelle dans les reconstitutions corono-radicales. *J Biomater Dent*. 1992;7(45-56).
 64. Oyar P. The effects of post-core and crown material and luting agents on stress distribution in tooth restorations. *J Prosthet Dent*. 2014;112(2):211-9.
 65. Juloski J, Radovic I, Goracci C, Vulicevic ZR, Ferrari M. Ferrule effect: a literature review. *J Endod*. 2012;38(1):11-9.
 66. Jotkowitz A, Samet N. Rethinking ferrule--a new approach to an old dilemma. *Br Dent J*. 2010;209(1):25-33.
 67. 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*. 2013;29(12):1280-6.
 68. Troiano G, Parente B, Laino L, Dioguardi M, Cervino G, Cicciù M, et al. Use of orthodontic extrusion as aid for restoring extensively destroyed teeth: a case series. *J Trans Sci*. 2016;2(5):252-5.
 69. da Cruz MK, Martos J, Silveira LFM, Duarte PM, Neto JBC. Odontoplasty associated with clinical crown lengthening in management of extensive crown destruction. *J Conserv Dent JCD*. 2012;15(1):56-60.
 70. Juloski J, Apicella D, Ferrari M. The effect of ferrule height on stress distribution within a tooth restored with fibre posts and ceramic crown: a finite element analysis. *Dent Mater Off Publ Acad Dent Mater*. 2014;30(12):1304-15.

71. Sarkis-Onofre R, Fergusson D, Cenci MS, Moher D, Pereira-Cenci T. Performance of post-retained single crowns: a systematic review of related risk factors. *J Endod.* 2017;43(2):175-83.
72. Al-Omiri MK, Mahmoud AA, Rayyan MR, Abu-Hammad O. Fracture resistance of teeth restored with post-retained restorations: an overview. *J Endod.* 2010;36(9):1439-49.
73. Akkayan B, Gülmez T. Resistance to fracture of endodontically treated teeth restored with different post systems. *J Prosthet Dent.* 2002;87(4):431-7.
74. Coelho CS de M, Biffi JCG, Silva GR da, Abrahão A, Campos RE, Soares CJ. Finite element analysis of weakened roots restored with composite resin and posts. *Dent Mater J.* 2009;28(6):671-8.
75. Gbadebo OS, Ajayi DM, Oyekunle OOD, Shaba PO. Randomized clinical study comparing metallic and glass fiber post in restoration of endodontically treated teeth. *Indian J Dent Res Off Publ Indian Soc Dent Res.* 2014;25(1):58-63.
76. Aggarwal V, Singla M, Miglani S, Kohli S. Comparative evaluation of fracture resistance of structurally compromised canals restored with different dowel methods. *J Prosthodont Off J Am Coll Prosthodont.* 2012;21(4):312-6.
77. Zhou L, Wang Q. Comparison of fracture resistance between cast posts and fiber posts: a meta-analysis of literature. *J Endod.* 2013;39(1):11-5.
78. Figueiredo FED, Martins-Filho PRS, Faria-E-Silva AL. Do metal post-retained restorations result in more root fractures than fiber post-retained restorations? A systematic review and meta-analysis. *J Endod.* 2015;41(3):309-16.
79. Alharbi F, Nathanson D, Morgano SM, Baba NZ. Fracture resistance and failure mode of fatigued endodontically treated teeth restored with fiber-reinforced resin posts and metallic posts in vitro. *Dent Traumatol Off Publ Int Assoc Dent Traumatol.* 2014;30(4):317-25.
80. Castro CG, Santana FR, Roscoe MG, Simamoto PC, Santos-Filho PCF, Soares CJ. Fracture resistance and mode of failure of various types of root filled teeth. *Int Endod J.* 2012;45(9):840-7.
81. Yang A, Lamichhane A, Xu C. Remaining coronal dentin and risk of fiber-reinforced composite post-core restoration failure: a meta-analysis. *Int J Prosthodont.* 2015;28(3):258-64.
82. Aurélio IL, Fraga S, Rippe MP, Valandro LF. Are posts necessary for the restoration of root filled teeth with limited tissue loss? A structured review of laboratory and clinical studies. *Int Endod J.* 2015;
83. Hou Q-Q, Gao Y-M, Sun L. Influence of fiber posts on the fracture resistance of endodontically treated premolars with different dental defects. *Int J Oral Sci.* 2013;5(3):167-71.

84. Mangold JT, Kern M. Influence of glass-fiber posts on the fracture resistance and failure pattern of endodontically treated premolars with varying substance loss: an in vitro study. *J Prosthet Dent.* 2011;105(6):387-93.
85. Zicari F, Van Meerbeek B, Scotti R, Naert I. Effect of ferrule and post placement on fracture resistance of endodontically treated teeth after fatigue loading. *J Dent.* 2013;41(3):207-15.
86. Walton RE. Vertical root fracture: Factors related to identification. *J Am Dent Assoc* 1939. 2017;148(2):100-5.
87. Karteva E, Manchorova-Veleva N, Stefanova V, Atanasov M, Atanasov A, Pashkouleva D, et al. Novel methods for the assessment of crack propagation in endodontically treated teeth. *J IMAB – Annu Proceeding Sci Pap.* 2016;22(3):1308-13.
88. Tsesis I, Rosen E, Tamse A, Taschieri S, Kfir A. Diagnosis of vertical root fractures in endodontically treated teeth based on clinical and radiographic indices: a systematic review. *J Endod.* 2010;36(9):1455-8.
89. Haueisen H, Gärtner K, Kaiser L, Trohorsch D, Heidemann D. Vertical root fracture: prevalence, etiology, and diagnosis. *Quintessence Int Berl Ger* 1985. 2013;44(7):467-74.
90. von Arx T, Bosshardt D. Vertical root fractures of endodontically treated posterior teeth: A histologic analysis with clinical and radiographic correlates. *Swiss Dent J.* 2017;127(1):14-23.
91. Tamse A. Vertical root fractures in endodontically treated teeth: diagnostic signs and clinical management. *Endod Top.* 2006;13(1):84-94.
92. Kahler W. The cracked tooth conundrum: terminology, classification, diagnosis, and management. *Am J Dent.* 2008;21(5):275-82.
93. Johari M, Esmaili F, Andalib A, Garjani S, Saberhari H. Detection of vertical root fractures in intact and endodontically treated premolar teeth by designing a probabilistic neural network: an ex vivo study. *Dento Maxillo Facial Radiol.* 2017;46(2):20160107.
94. Menezes RF de, Araújo NC de, Santa Rosa JMC, Carneiro VSM, Santos Neto APD, Costa V, et al. Detection of vertical root fractures in endodontically treated teeth in the absence and in the presence of metal post by cone-beam computed tomography. *BMC Oral Health.* 2016;16:48.
95. Dutra KL, Pachêco-Pereira C, Bortoluzzi EA, Flores-Mir C, Lagravère MO, Corrêa M. Influence of intracanal materials in vertical root fracture pathway detection with cone-beam computed tomography. *J Endod.* 2017;43(7):1170-5.
96. Abdinian M, Razavian H, Jenabi N. In vitro comparison of cone beam computed tomography with digital periapical radiography for detection of vertical root fracture in posterior teeth. *J Dent Shiraz Iran.* 2016;17(2):84-90.

97. Chang E, Lam E, Shah P, Azarpazhooh A. cone-beam computed tomography for detecting vertical root fractures in endodontically treated teeth: a systematic review. *J Endod.* 2016;42(2):177-85.
98. Saberi E, Mollashahi NF, Movasagh Z, Moghaddam AA, Mohammadi A. Value of CBCT in vertical root fracture detection in endodontically-treated teeth. *Minerva Stomatol.* 2017;66(2):69-74.
99. Kim J-M, Kang S-R, Yi W-J. Automatic detection of tooth cracks in optical coherence tomography images. *J Periodontal Implant Sci.* 2017;47(1):41-50.
100. Fried WA, Simon JC, Lucas S, Chan KH, Darling CL, Staninec M, et al. Near-IR imaging of cracks in teeth. *Proc SPIE-- Int Soc Opt Eng.* 2014;8929:89290Q.
101. Yoshioka T, Sakaue H, Ishimura H, Ebihara A, Suda H, Sumi Y. Detection of root surface fractures with swept-source optical coherence tomography (SS-OCT). *Photomed Laser Surg.* 2013;31(1):23-7.
102. Shemesh H, van Soest G, Wu M-K, Wesselink PR. Diagnosis of vertical root fractures with optical coherence tomography. *J Endod.* 2008;34(6):739-42.
103. Nogueira Leal da Silva EJ, Romão Dos Santos G, Liess Krebs R, Coutinho-Filho T de S. Surgical alternative for treatment of vertical root fracture: a case report. *Iran Endod J.* 2012;7(1):40-4.
104. Unver S, Onay EO, Ungor M. Intentional re-plantation of a vertically fractured tooth repaired with an adhesive resin. *Int Endod J.* 2011;44(11):1069-78.
105. Özer SY, Ünlü G, Değer Y. Diagnosis and treatment of endodontically treated teeth with vertical root fracture: three case reports with two-year follow-up. *J Endod.* 2011;37(1):97-102.
106. Arikan F, Franko M, Gürkan A. Replantation of a vertically fractured maxillary central incisor after repair with adhesive resin. *Int Endod J.* 2008;41(2):173-9.
107. Hayashi M, Kinomoto Y, Takeshige F, Ebisu S. Prognosis of intentional replantation of vertically fractured roots reconstructed with dentin-bonded resin. *J Endod.* 2004;30(3):145-8.
108. Nizam N, Kaval ME, Gürlek Ö, Atila A, Çalışkan MK. Intentional replantation of adhesively reattached vertically fractured maxillary single-rooted teeth. *Int Endod J.* 2016;49(3):227-36.
109. Sugaya T, Tomita M, Motoki Y, Miyaji H, Kawamami M. Influence of enamel matrix derivative on healing of root surfaces after bonding treatment and intentional replantation of vertically fractured roots. *Dent Traumatol Off Publ Int Assoc Dent Traumatol.* 2016;32(5):397-401.
110. Hadrossek PH, Dammaschke T. New treatment option for an incomplete vertical root fracture--a preliminary case report. *Head Face Med.* 2014;10:9.

Table des figures

| | |
|--|----|
| Figure 1 : schéma représentant les différentes zones d'application de charge | 15 |
| Figure 2 : affaiblissement des parois dentaires suite au traitement endodontique | 16 |
| Figure 3 : cavité d'accès conservatrice (en bleu) et volume de dentine supplémentaire éliminé pour une cavité traditionnelle (en rouge) permettant l'accès à l'endodonte..... | 17 |
| Figure 4 : réduction de la résistance de la dent en fonction de la situation de la perte tissulaire | 18 |
| Figure 5 : graphique représentant la force nécessaire à appliquer pour obtenir une fracture (en N) du groupe contrôle et du groupe exposé à l'hydroxyde de calcium sur une période d'une semaine ou d'un mois | 19 |
| Figure 6 : force de cisaillement..... | 20 |
| Figure 7 : force de compression | 21 |
| Figure 8 : graphique représentant le taux de survie des piliers de différents types de restaurations prothétiques sur une période de temps | 22 |
| Figure 9 : mouvement de rotation spécifique d'un édentement de classe II de Kennedy | 23 |
| Figure 10 : force de flexion exercée sur un bridge : les forces de désinsertion (en vert) entraînent des micromouvements de flexion (en bleu) des dents en direction de l'intermédiaire de bridge lorsque celui-ci est sollicité en compression (flèche rouge) | 23 |
| Figure 11 : schéma représentant une endocouronne | 25 |
| Figure 12 : coupes vestibulo-palatine (à gauche) et mésio-distale (à droite) d'une première prémolaire maxillaire droite | 27 |
| Figure 13 : radiographie (cone beam) d'une première prémolaire triradiculée (coupe horizontale)..... | 27 |
| Figure 14 : radiographie (cone beam) mettant en évidence le sillon palatin de la racine vestibulaire d'une première prémolaire maxillaire droite (coupe horizontale) . | 28 |
| Figure 15 : coupe mésio-distale d'une deuxième prémolaire maxillaire droite | 29 |
| Figure 16 : Coupe mésio-distale d'une première prémolaire mandibulaire droite]..... | 30 |
| Figure 17 : schéma illustrant la fragilisation des parois radiculaires lors de l'utilisation d'un tenon préfabriqué et l'homothétie du tenon anatomique..... | 31 |
| Figure 18 : exemples de tenons filetés métalliques..... | 31 |
| Figure 19 : distribution des contraintes après insertion d'un tenon actif (à droite) et d'un tenon passif (à gauche) | 31 |
| Figure 20 : exemple de fracture radiculaire suite à l'utilisation d'un tenon actif..... | 32 |
| Figure 21 : exemples de tenons cylindro-coniques lisses (passifs) métalliques (à gauche) et en fibres de verre (à droite) | 32 |

| | |
|--|----|
| Figure 22 : tenon conique..... | 33 |
| Figure 23 : tenon cylindrique | 33 |
| Figure 24 : tenon cylindro-conique | 33 |
| Figure 25 : graphique représentant la force à appliquer pour obtenir une fracture en fonction de la longueur du tenon | 34 |
| Figure 26 : graphique représentant la force à appliquer pour obtenir une fracture en fonction de la longueur du tenon | 35 |
| Figure 27 : répartition du type de défaillance en fonction des différentes longueurs de tenon | 35 |
| Figure 28 : graphique représentant la force à appliquer pour obtenir une fracture en fonction de la longueur du tenon et du système d'assemblage | 36 |
| Figure 29 : forage d'une racine courbe..... | 36 |
| Figure 30 : exemples de tenons dont la longueur est excessive | 37 |
| Figure 31 : graphique représentant la force à appliquer sur un tenon de 1.75 et 1.14 mm de diamètre pour observer une fracture radiculaire | 37 |
| Figure 32 : exemple de tenon dont le diamètre est excessif | 38 |
| Figure 33 : diminution de la paroi radiculaire de la racine mésiale d'une première molaire mandibulaire due à l'augmentation du diamètre du forage et à la concavité distale de cette racine | 38 |
| Figure 34 : schéma représentant la répartition des contraintes (en MPa) pour différents diamètres de tenon (en pourcentage de la largeur de la racine): (A) 20% ; (B) 30% ; (C) 40% ; (D) 50% ; (E) 60% ; (F) 80%..... | 39 |
| Figure 35 : restauration corono-radicaire coulée à deux tenons..... | 40 |
| Figure 36 : tenon principal accompagné d'une entrée canalaire | 40 |
| Figure 37 : schéma représentant la répartition des contraintes équivalentes de Von Mises pour 0 (a), 1 (b) et 2 (c) tenons (les zones de fortes contraintes sont représentées en rouge, les faibles contraintes en bleu) | 41 |
| Figure 38: exemple de fracture radiculaire suite à la perte du soutien de l'os alvéolaire..... | 41 |
| Figure 39 : schéma représentant les différents groupes de support parodontal et incidence sur la forme de la fracture radiculaire | 42 |
| Figure 40 : graphique représentant la force moyenne à appliquer pour obtenir une fracture radiculaire en fonction du niveau du support parodontal..... | 42 |
| Figure 41 : exemples de déviation de l'axe de forage | 43 |
| Figure 42 : radiographies (cone beam) mettant en évidence la déviation de l'axe de forage (coupe horizontale à droite et coupe verticale à gauche) | 43 |
| Figure 43 : schéma représentant la répartition des forces selon le module d'élasticité | 44 |
| Figure 44 : fracture verticale d'une prémolaire supportant un tenon métallique | 44 |
| Figure 45: schéma représentant les variations du module d'élasticité d'un matériau anisotrope en fonction de l'angle d'application des forces | 45 |

| | |
|---|----|
| Figure 46 : schéma représentant une ferrule..... | 47 |
| Figure 47 : photographie des parois radiculaires permettant la réalisation d'une ferrule | 47 |
| Figure 48 : schéma analysant le risque de fracture en fonction du nombre de parois, de leur position et du niveau de contraintes occlusales subi par la dent | 48 |
| Figure 49 : exemple de traction orthodontique ; (A, B) radiographie et vue intra-orale pré-opératoire ; (C) dispositif de traction verticale ; (D) RMIPP avec ferrule | 49 |
| Figure 50 : schéma représentant une élongation coronaire (coupe vestibulo-palatine d'une prémolaire maxillaire) ; (A, B) photographies pré et post-opératoires..... | 49 |
| Figure 51 : exemple d'inlay-core | 51 |
| Figure 52 : incidence du type de tenon sur la forme de la fracture : réparable en bleu ; non réparable en rouge | 54 |
| Figure 53 : graphique représentant le type de fracture en fonction de la composition du tenon | 54 |
| Figure 54 : schéma représentant la répartition des contraintes de Von Mises pour une dent saine (modèle 1), pour des tenons en acier inoxydable (modèle 2), en titane (modèle 3), en fibre de carbone (modèle 4), et en fibre de verre (modèle 5) | 55 |
| Figure 55 : fracture supracrestale à gauche (tenon fibré) et fracture verticale à droite (inlay-core) | 57 |
| Figure 56 : schéma représentant la disposition des parois résiduelles en fonction des différents groupes (plan axial) | 59 |
| Figure 57 : graphique représentant la force nécessaire à l'obtention d'une fracture en fonction du nombre de parois résiduelles avec ou sans tenon | 59 |
| Figure 58 : graphique représentant la force à appliquer pour obtenir une fracture en fonction de la présence de tenon (T), de ferrule (F) ou de leur absence (NT, NF) | 59 |
| Figure 59 : répartition du type de défaillance en fonction des différents groupes | 60 |
| Figure 60 : coloration du trait de fracture au bleu de méthylène..... | 63 |
| Figure 61 : visualisation de la ligne de fracture grâce à des aides optiques..... | 63 |
| Figure 62 : visualisation de fissures par transillumination d'une dent saine (A), fissurée avec (B) et sans restauration (C) | 64 |
| Figure 63 : schéma représentant un trait de fracture accompagné d'un défaut osseux | 64 |
| Figure 64 : sondage ponctuel | 64 |
| Figure 65 : exposition chirurgicale avec déhiscence (à gauche) et fenestration (à droite) | 65 |
| Figure 66 : présence d'un abcès (A) en regard de la ligne de fracture (F) | 65 |
| Figure 67 : schéma représentant le fonctionnement de la radiographie conventionnelle | 66 |
| Figure 68 : radiographies d'une prémolaire présentant une fracture verticale : peu visible en préopératoire à gauche ; après la perte de la restauration à droite | 66 |
| Figure 69 : exemples de radiographie en doigt de gant | 67 |

| | |
|--|----|
| Figure 70 : radiographies présentant une fusée de ciment latérale suggérant la présence d'une fracture..... | 67 |
| Figure 71 : schéma représentant le fonctionnement du CBCT..... | 68 |
| Figure 72 : schéma représentant le fonctionnement de l'OCT : des rayons infrarouges (1310nm) frappent la surface de la dent, leurs réflexions sont captées pour permettre la reconstitution d'une image | 70 |
| Figure 73 : exemples de visualisation de fissures par OCT | 71 |
| Figure 74 : comparaison de détection de fractures et fêlures entre la transillumination (A, E), la radiographie conventionnelle (B, F), le CBCT (C, G) et l'OCT (D, H) | 71 |
| Figure 75 : (A) photographie d'une prémolaire présentant une fracture ; (B-C-D-E) visualisation intracanaulaire de la fracture par OCT | 72 |
| Figure 76 : graphique issu de la profilométrie présentant la largeur et la profondeur du trait de fracture | 73 |
| Figure 77 : topographie d'une surface dentaire présentant une ligne de fracture..... | 73 |
| Figure 78 : (A) abcès ; (B) exposition chirurgicale ; (C) élargissement du trait de fracture ; (D) collage au composite ; (E) bio-stimulation au laser | 75 |
| Figure 79 : diagnostic de la fracture verticale au CBCT (A) ; mise en évidence grâce à l'exploration chirurgicale (B) ; visualisation des fragments post-extractionnels (C) ; fragments nettoyés (D) ; fragments préparés pour le collage (E) ; réduction de la lésion périapicale (F-G) | 76 |
| Figure 80 : radiographies permettant la visualisation de la réduction de la lésion (en jaune) | 76 |
| Figure 81: (de gauche à droite) extraction des fragments ; collage des fragments et application d'Emdogain®..... | 78 |
| Figure 82: coupe histologique horizontale de la zone de fracture de la dent traitée à l'Emdogain®; (a) agrandissement de la région présentant une formation néo-cémentaire..... | 78 |
| Figure 83 : incisive centrale maxillaire présentant une fracture verticale avec une profondeur de sondage de 7mm (à gauche) ; extraction atraumatique de la dent et traitement endodontique rétrograde (au centre) ; réimplantation de la dent après avoir élargi le trait de fracture puis rempli de Biodentine (à droite)..... | 79 |

Les fractures des prémolaires reconstituées par restauration corono-radulaire : facteurs de risques, diagnostic et traitements / **HERLEM Guillaume**.- p. 92 : ill. 83 ; réf. 110.

Domaines :

Mots clés Rameau: fractures ; prémolaires ; restaurations corono-radulaires.

Mots clés FMeSH: fractures ; prémolaires ; restaurations corono-radulaires.

Les fractures des dents dépulées sont un problème majeur auquel les chirurgiens-dentistes doivent faire face. Pour les éviter, la majorité des chirurgiens-dentistes place systématiquement un tenon radulaire censé renforcer la dent. Les études démontrent aujourd'hui que cette pratique est injustifiée.

Pourtant le problème est bien réel : les dents reconstituées par restauration corono-radulaire sont plus sujettes aux fractures et parmi toutes les dents, les prémolaires se démarquent par une prévalence de fracture supérieure.

Dans ce travail, les facteurs à l'origine des fractures radulaires seront décrits, puis les moyens diagnostiques à notre disposition seront abordés. Enfin, les différentes solutions thérapeutiques seront développées.

JURY :

Président : Monsieur le Professeur Etienne DEVEAUX
Assesseurs : Monsieur le Docteur Jérôme VANDOMME
Monsieur le Docteur Thibault BÉCAVIN
Madame le Docteur Marion DEHURTEVENT