

UNIVERSITE DE STRASBOURG

FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

2018

N°61

THESE

Présentée pour le Diplôme d'Etat de Docteur en Chirurgie Dentaire
le 09/11/2018

Par

JAOUEN Cyrille

Né le 11/02/1993 à Strasbourg

**MICRO-FRACTURES DENTINAIRES ET
INSTRUMENTATIONS ENDODONTIQUES NICKEL-
TITANE : UNE REVUE BIBLIOGRAPHIQUE**

Président : Professeur MINOUX Maryline
Assesseurs : Professeur CLAUSS François
: Docteur FIORETTI Florence
: Docteur EHLINGER Claire
Membre invité : Docteur REITZER François

A Madame le Professeur Maryline MINOUX,

Vous me faites l'honneur de présider ce jury. Je vous remercie pour l'intérêt que vous portez pour mon sujet mais également pour l'enseignement que vous m'avez donné autant théorique que pratique au service d'Odontologie Conservatrice et dans le cadre de la Formation Approfondie en Endodontie. Veuillez trouver dans ce travail l'expression de ma gratitude et de ma profonde considération.

A Monsieur le Professeur François CLAUSS,

Vous avez spontanément accepté de prendre part à ce jury et de juger ce travail. Je tenais à vous remercier d'avoir été un modèle pour moi et de m'avoir fait confiance durant ces trois années passées dans le service d'odontologie pédiatrique et plus précisément durant l'enseignement complémentaire MEOPA.

A ma Co-Directrice de thèse, Madame la Docteur Florence FIORETTI,

Veillez tout d'abord trouver ici ma reconnaissance pour avoir accepté de diriger et de juger ce travail et d'avoir consacré le temps de relire et corriger cette thèse. Je vous adresse mes plus profonds remerciements pour tout ce que vous m'avez appris tout au long de mes études de chirurgie dentaire.

A ma Co-Directrice de thèse, Madame la Docteur Claire EHLINGER,

Veillez tout d'abord trouver ici ma reconnaissance pour avoir accepté de diriger et de juger ce travail et particulièrement d'avoir consacré le temps nécessaire pour guider ce travail et répondre à toutes mes interrogations. J'ai beaucoup apprécié la motivation et le soutien avec lesquels vous m'avez accompagné dans le cadre de l'élaboration et la rédaction de cette thèse.

A Monsieur le Docteur François REITZER,

Vous me faites l'honneur d'avoir accepté d'être membre invité de cette thèse. Veuillez trouver ici l'expression de ma reconnaissance pour, d'une part, l'intérêt porté à ce travail, mais aussi pour votre avis concernant la microtomographie à rayon X. Je tenais à vous remercier sincèrement pour toutes les connaissances théoriques et pratiques que vous avez su me transmettre avec la passion et la simplicité qui vous caractérisent.

A ma mère, tu es un exemple gentillesse, de simplicité et d'humilité pour moi. Ton naturel m'inspire, ne change jamais. Je t'aime

A mon père, tu m'as transmis ta rigueur, ton professionnalisme et surtout ta passion pour le travail manuel. Je t'en remercie du fond du cœur.

A ma sœur et mon frère, Léa et Etienne, qui m'aiment et me supportent quel que soit ma fatigue ou mon humeur. Je serais toujours là si vous avez besoin

A mon autre frère, Anthony, t'as toujours été là pour moi quand j'avais besoin de soutien, de rire ou de boire une bière. Un vrai frère

A tous mes cousins, de sang ou par alliance, Cécile, Enver, Lucas, Manon, Jean-Victor, Pauline, Louise, Mégane et Cédric, la relation que nous avons est vraiment spéciale et j'en suis fier. Je vous aime bande de boloss.

A toute ma famille, marraine, parrain, oncles, tantes, grands-parents, vous êtes tous à votre manière des modèles pour moi.

A Igor, je suis heureux de pouvoir te considérer comme un frère.

A Mélina, je suis certain que l'avenir nous réserve de belles aventures et de beaux rires. Mon coup de cœur de ces dernières années

A mes amis du lycée, Romane, Ferdi, Knoed, Laura, Audrey, Corentin Céline, Clothilde, Max, Mirouf, Timothée, Louis, Victor, Bat, Arthur et Kelly, c'est fou de trouver autant de gens si différents mais tous tellement important pour soi. Vivement les prochaines aventures.

Aux Babtous, Alex, Marwane et Amine, ces années en dentaire auraient été bien trop monotones sans vous. Merci.

Au Crew, Lucie, Lise, Laura, Valentin, Justine, Manini et Noémie, quel que soit le lieu, l'heure ou l'évènement vous étiez toujours au top. J'ai hâte qu'on se fasse cette fameuse soirée sur un yacht. One night in Ibiza

A Anne et Christophe FORESTI, je suis infiniment reconnaissant et très fier de pouvoir vous considérer comme mes maîtres. Vous m'inspirez

A tous les autres, Aurélie, Maxime T., Sophie, Laure, Léo, Tristan, Frédéric, Sylviane, Aline, Helene, Virginie, Sandra, Arnaud, Aline et Olivier, c'est un plaisir de faire un bout de chemin avec vous.

Dédicace spéciale à Ghislaine pour la patience et l'attention avec lesquels tu as relu ma thèse. Un gros merci.

UNIVERSITE DE STRASBOURG

FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

2018

N°61

THESE

Présentée pour le Diplôme d'Etat de Docteur en Chirurgie Dentaire
le 09/11/2018

Par

JAOUEN Cyrille

Né le 11/02/1993 à Strasbourg

**MICRO-FRACTURES DENTINAIRES ET
INSTRUMENTATIONS ENDODONTIQUES NICKEL-
TITANE : UNE REVUE BIBLIOGRAPHIQUE**

Président : Professeur MINOUX Maryline
Asseseurs : Professeur CLAUSS François
: Docteur FIORETTI Florence
: Docteur EHLINGER Claire
Membre invité : Docteur REITZER François

Introduction	5
1. Historique	7
1.1 Article fondateur	7
1.2 Evolution des terminologies.....	9
1.3 Evolution de l'intérêt de la problématique.....	10
1.4 Critères de sélection des articles.....	12
1.5 Evolution des méthodologies d'étude	13
2. Méthodologie in vitro destructrice et résultats	16
2.1 Principe de la stéréomicroscopie.....	16
2.2 Présentation de la méthodologie in vitro destructrice	16
2.3 Influence du système d'instrumentation endodontique et de la cinématique de mouvement	19
2.3.1 Rotation continue	19
2.3.1.1 Protaper Universal®	20
2.3.1.2 Protaper Next®.....	22
2.3.1.3 Hyflex®.....	24
2.3.1.4 OneShape®.....	26
2.3.2 Réciprocité	27
2.3.2.1 Reciproc®.....	27
2.3.2.2 WaveOne® (WO).....	30
2.3.2.3 ProTaper Universal®.....	32
2.3.3 Autres types de cinétique.....	33
2.3.3.1 Mouvement hybride : Twisted File Adaptative® (TFA).....	34
2.3.3.2 Mouvement d'abrasion : Self Adjusting File® (SAF).....	35
2.3.4 Conclusion sur cinématiques instrumentales et les séquences endodontiques	38
2.4 Autres facteurs d'influence	38
2.4.1 Conicité des instruments.....	38
2.4.2 Forme de la section instrumentale	39
2.4.3 Longueur de travail	40
2.5 Conclusion concernant l'apparition de microfracture en méthodologie destructrice	41
3. Méthodologie in vitro conservatrice et résultats	43
3.1 Apport de la microtomographie à rayon X (micro-CT)	43

3.2	Présentation de la méthodologie in vitro.....	43
3.3	Résultats.....	45
4.	Discussion.....	49
	Conclusion	62

Tables des abréviations :

Light-emitting diode : LED

Longueur Opérateur de Travail : LOT

Microtomographie à rayon X : Micro-CT

Nickel-titane : Niti

ProTaper Next® : PTN

ProTaper Universal® : PTU

Reciproc® : REC

Self-Adjusting File® : SAF

Twisted File Adaptative® : TFA

WaveOne® : WO

WaveOne Gold® : WOG

Introduction

Les fractures radiculaire verticales dentaires sont des pathologies qui condamnent la dent à l'avulsion (1). Ce phénomène progressif survient généralement dans un contexte de fragilisation radiculaire et de traumatismes répétés plutôt que lors d'un traumatisme soudain (2). Les dents traitées endodontiquement sont particulièrement atteintes par ces fractures radiculaire. En effet, la mise en forme canalaire est un facteur de fragilisation radiculaire (3). Depuis la première étude des défauts, ou microfractures, dentinaires post-instrumentation au nickel-titane en 2009 (4), de nombreuses études ont tenté de comprendre les facteurs influençant leur survenue ainsi que leur rôle dans la fragilisation radiculaire. L'utilisation d'instruments en nickel-titane (Niti), plus agressifs pour la dentine canalaire et la préparation trop importante des canaux seraient des facteurs étiologiques d'apparition de fractures radiculaire (3). Cependant suite à l'évolution des méthodologies dans le domaine de la radiographie, grâce aux apports de la microtomographie à rayon X, ce dernier paradigme semble remis en cause. La problématique ainsi explorée dans cette thèse est la suivante : l'instrumentation endodontique est-elle un facteur étiologique de survenue de défauts dentinaires ? Dans ce cas, quels sont les paramètres influençant l'apparition de défauts lors de l'instrumentation ? Cette thèse a pour but de consigner l'état actuel de l'art dentaire concernant ces problématiques dans une revue de la littérature.

1. Historique

Cette partie décrit l'apparition et l'évolution des problématiques et des terminologies liées aux microfractures mais aussi la chronologie des méthodes d'étude utilisées dans ces investigations.

1.1 Article fondateur

Dès les années 2000, de nombreux articles comparant la résistance des dents traitées endodontiquement ou non à une force croissante ont démontré une fragilité accrue des dents traitées endodontiquement (2). L'article intitulé « The ability of different nickel-titanium rotary instruments to induce dentinal damage during canal preparation » publié en 2009 par Bier et al a cependant été le premier à décrire et à étudier l'apparition de défauts dentinaires microscopiques après l'instrumentation endodontique uniquement. Ainsi, l'auteur exclut les défauts dus à l'obturation endodontique et les situations de retraitement endodontique.

Dans cet article fondateur, deux cent soixante prémolaires mandibulaires extraites pour des raisons n'influençant pas cette étude et exemptes de fractures/fêlures radiculaires ont été réparties dans les six groupes d'études suivants :

- Deux groupes contrôles :
 - Groupe de contrôle A : absence d'instrumentation (40 sujets).
 - Groupe de contrôle B : instrumentation avec des limes manuelles en acier, jusqu'au diamètre 40, puis avec des Flexofiles 45 jusqu'à diamètre 80 (Dentsply-Maillefer) (20 sujets).
- Quatre groupes expérimentaux incluant chacun cinquante sujets :
 - Groupe 1 : instrumentation utilisant la séquence Protaper® files (Dentsply-Maillefer) suivante, S2→F1→F2→F3, jusqu'à la longueur de travail (LOT).

- Groupe 2 : séquence du SystemGT (50/0.12, 35/0.12...) utilisée jusqu'à ce que l'instrument 40/0.06 arrive 1mm en deçà de l'apex.
- Groupe 3 : instrumentation jusqu'à la lime 40/0.06 du système Profile (Dentsply-Maillefer) avec l'aide de Profile Orifice shapers 2 et 3 pour sécuriser le canal.
- Groupe 4 : utilisant la séquence complète du système S-Apex (FKG Dentaire) en suivant les instructions du fabricant.

La méthodologie d'étude des dents instrumentées utilise la méthodologie destructrice in vitro présentée ci-après.

Dans cette étude, l'analyse microscopique montre une absence totale de défaut dentinaire dans les groupes contrôle A et B, permettant de montrer que la méthode de section radiculaire et de décoronation ne cause pas d'anomalie dentinaire. Le groupe 1 présente 16% de dents atteintes par des défauts dentinaires, le groupe 2 en présente 4% tandis que le groupe 3 en présente 8%. Le groupe 4, quant à lui ne présente aucun défaut. Les différences d'apparition d'anomalie dentinaire entre les groupes se révèlent significatives d'après le test du CHI2. Les instruments rotatifs en nickel-titane semblent donc engendrer l'apparition de fractures dentinaires microscopiques. Les résultats des dents appartenant au 4^{ème} groupe semblent cependant contredire cette déclaration puisque l'instrumentation réalisée grâce à la séquence S-Apex® (FKG®) qui est une suite d'instruments rotatifs en nickel-titane n'a engendré l'apparition d'aucun micro-défaut. L'auteur note que la conicité inversée des instruments S-Apex® pourrait être une des explications à ce résultat contradictoire (Figure 1).

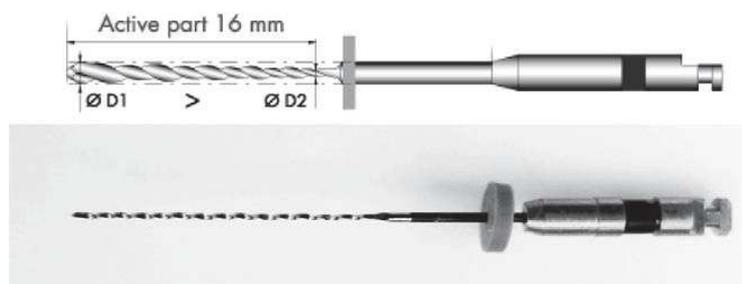


Figure 1: illustration de la conicité inversée des instruments S-Apex®(4).

Les problématiques scientifiques qui découlent de cet article sont donc les suivantes :

- L'instrumentation endodontique nickel-titane rotative est-elle un facteur de risque dans l'apparition de défauts dentinaires microscopiques ?
- Si oui, quels sont les paramètres influençant l'apparition de tels défauts ?

1.2 Evolution des terminologies

Dans la littérature scientifique, de nombreux termes sont utilisés pour parler des discontinuités dentinaires. Dans l'article fondateur (4), c'est le terme « dégât » qui est utilisé dans le titre. Il regroupe plusieurs entités étudiées comme les « fissures partielles » et les « craquelures ». Cependant ces termes ne sont pas définis dans l'article même. Les premières études portant sur ce sujet semblent distinguer les « fractures » ou les « fractures complètes » des notions de « dégât »(4–6) ou de « défaut » (7,8). Ces entités ont été définies avec plus de précisions par Gergi et son équipe (9) ;

- ❖ **Les fractures complètes** se définissent comme des discontinuités intradentaires reliant le canal radiculaire à la surface externe de la racine (Figure 2).
- ❖ **Les fissures incomplètes (ou microcracks ou micro-fractures dentinaires)** sont définies comme des lignes partant de la paroi canalaire sans atteinte de la surface externe de la racine (Figure 3).
- ❖ **Les craquelures (« craze line » en anglais)** représentent, à l'inverse, des lignes partant de la surface externe de la racine mais n'atteignant pas le canal radiculaire (Figure 2).



Figure 2 : Coupe transversale à 6mm montrant une fracture totale (en haut) et une craquelure (en bas) (8).



Figure 3: Coupe transversale (x80) mettant en évidence la présence d'une microfracture dentinaire (10).

Il est cependant le seul à étudier ces discontinuités dentinaires séparément. En effet, la grande majorité des études menées sur les défauts dentinaires post-instrumentation endodontique regroupe les « fissures incomplètes » et les « craquelures » sous la bannière des **« micro-fractures dentinaires »** (6,7,11–15). Le même choix a été réalisé dans cette étude pour permettre une étude approfondie et une facilité de compréhension.

1.3 Evolution de l'intérêt de la problématique

La première étape de la réalisation de cette revue bibliographique a été la constitution du corpus d'articles. Ainsi, Pubmed est la base de données principale qui a été analysée. Les mots clés utilisés afin d'effectuer la sélection

sont les suivants : « microcrack » ou « crack », « defects », « endodontic » et « nickel-titanium ». 3 articles ont d’abord été intégrés dans cette revue. Ils sont tous regroupés dans une liste en annexe (Annexe 1). Afin de comprendre l’évolution de l’intérêt scientifique autour de ces problématiques, un tableau dénombrant les articles par année de parution est réalisé (Tableau 1). De ce tableau découle un graphique illustrant l’évolution de l’intérêt scientifique lié à la problématique des microcracks dentinaires post instrumentation endodontique. Ce dernier met nettement en évidence un intérêt grandissant pour cette problématique (Figure 4).

Année de parution	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Nombre d'article paru	2	2	2	1	2	5	7	2	9

Tableau 1 : Nombre d'article concernant les microfractures paru par année.

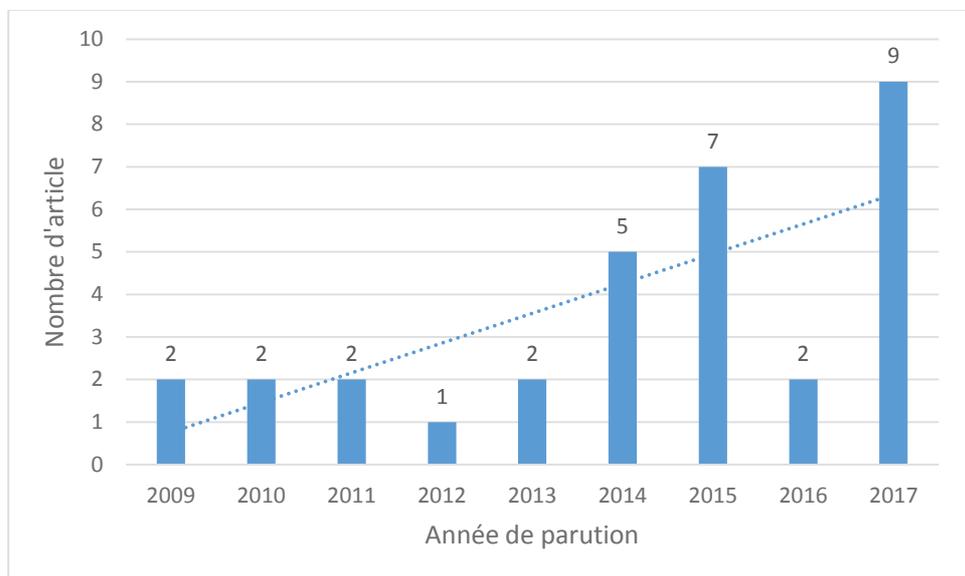


Figure 4 : Evolution du nombre de publications concernant l'apparition microfractures dentinaires après instrumentation endodontique entre 2009 et 2017.

Les articles compris dans cette première sélection semblent cependant trop disparates tant sur leurs objets d'étude que sur leur méthodologie pour être étudiés conjointement. La décision d'établir des critères de sélection a été prise afin de compléter le premier tri.

1.4 Critères de sélection des articles

Dans cette revue sont inclus ;

- Les articles étudiant l'apparition de défauts dentinaires microscopiques après instrumentation endodontique au nickel-titane ;
- Les études sur dents matures humaines ;
- Les articles publiés en anglais.

Dans cette revue sont exclus ;

- Les articles étudiant l'apparition de défauts dentinaires microscopiques après obturation endodontique, après retraitement endodontique orthograde et rétrograde ;
- Les analyses dont la méthodologie présente un biais trop important (détaillé dans la discussion) ;
- Les analyses sur dents animales ;
- Les études des dents lactéales ou les dents non apexifiées ;
- Les articles étudiant les dents présentant des fractures radiculaire verticales ou présentant des anomalies morphologiques majeures (dens-in-dente, taurodontisme ...) ;
- Les analyses sur dents extraites de façon traumatique ou ayant subi des traumatismes répétés (bruxisme/parafonctions).

1.5 Evolution des méthodologies d'étude

Seuls 17 articles remplissent les critères d'inclusion et d'exclusion. Ces parutions sont considérées comme les articles d'intérêt de cette revue et sont regroupés dans l'Annexe 2.

L'analyse détaillée des articles d'intérêt fait ressortir deux protocoles d'études distincts. En effet, l'homogénéité des méthodologies permet de distinguer deux périodes. La première démarre en 2009 avec l'article fondateur (partie 1.1.1) et reste encore d'actualité (7). Elle correspond à une méthodologie *in vitro* destructrice. Les dents ainsi choisies sont étudiées par stéréomicroscopie après avulsion et découpe (4–9,11–13,15–17). A contrario, à partir de 2014 commence la deuxième phase d'étude des microfractures définie par une méthodologie *in vivo* conservatrice. Les échantillons sont analysés par microtomographie à rayon X (micro CT) qui permet une reconstitution radiographique tridimensionnelle sans dégradation tissulaire (14,18–21). Bien que ces deux périodes soient contemporaines, leurs protocoles et leurs résultats diffèrent grandement. Ce changement de méthodologie nous amène à considérer ces deux protocoles d'étude séparément. Un tableau à trois entrées a été réalisé (Tableau 2) afin de comparer leur évolution. Les deux premières lignes intitulées « Destructrice » et « Conservatrice » correspondent aux méthodologies appliquées. La dernière ligne d'entrées correspond au nombre total d'articles compris dans notre revue de la littérature quelle que soit leur période d'étude. De ce tableau découle le graphique (Figure 5) montrant une l'évolution qui correspond à la figure 4, c'est-à-dire, un intérêt croissant pour les problématiques concernant le lien entre microfractures et instrumentation endodontique. Bien que la méthodologie conservatrice soit adoptée depuis 2014, le nombre d'articles utilisant la méthodologie destructrice ne décroît pas, elle reste donc pleinement d'actualité.

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Destructeur	1	0	0	1	2	3	1	1	3
Conservateur						1	1	1	2
Total	1	0	0	1	2	4	2	2	5

Tableau 2 : Nombre d'article compris dans cette revue de littérature classés par année de parution.

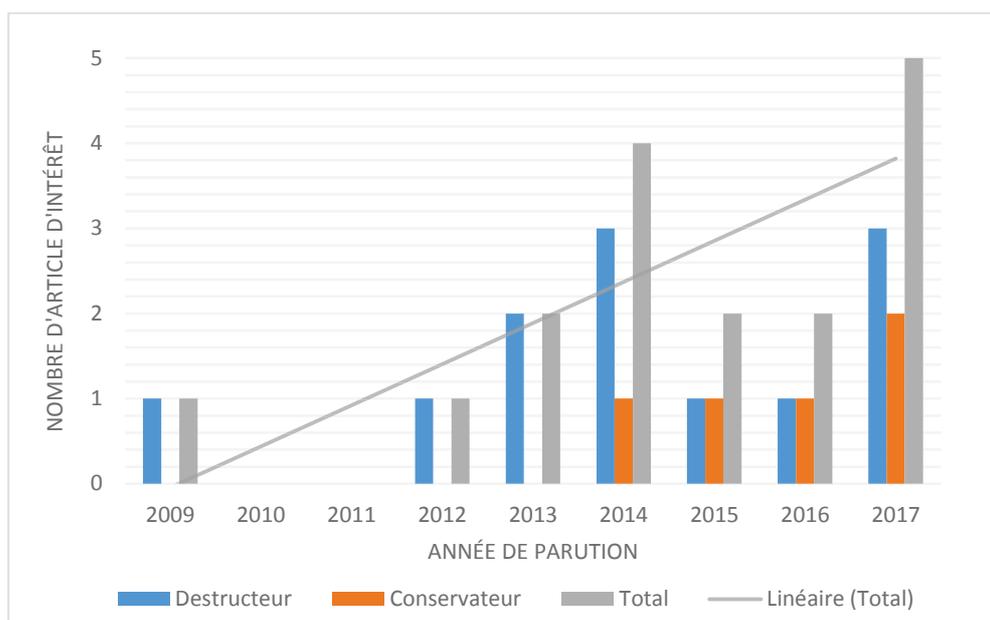


Figure 5 : Evolution du nombre d'articles d'intérêt en fonction de l'année de publication.

2. Méthodologie in vitro destructrice et résultats

Dans la littérature, la présence de défauts dentinaires après instrumentation endodontique au nickel titane est le seul indicateur étudié. De nombreux facteurs sont mis en cause dans l'apparition de défauts dentinaires; les deux principaux sont le système d'instrumentation et la cinétique de mouvement (22). La forme de la section instrumentale (22) ainsi que le traitement thermique (7) sont des critères secondaires importants. Cette partie s'intéresse à l'étude de ces quatre facteurs grâce à la méthodologie destructrice in vitro.

2.1 Principe de la stéréomicroscopie

Les stéréomicroscopes sont des microscopes optiques permettant d'évaluer le relief des objets étudiés. Utilisés avec un grossissement compris entre x12 et x80 (respectivement (4) et (12)), ils permettent l'analyse et la prise de clichés des coupes radiculaires. Ces photographies sont ensuite classées comme présentant des défauts ou non par un ou plusieurs examinateurs formés et calibrés, afin de réduire au maximum les biais. La microscopie à relief est l'outil de base de la méthodologie d'étude des microfractures depuis 2009 (7,11, 23). Elle relève de la méthodologie in vitro destructrice standardisée.

Afin de rendre la détection des micro-cracks plus sensible, une étude datant de 2016 promeut l'utilisation de sonde porteuse de LED (diode électroluminescente). C'est le principe de la transillumination (24).

2.2 Présentation de la méthodologie in vitro destructrice

La quasi-totalité des études de microfractures menées entre 2009 et 2014 suivent des lignes directrices précises en ce qui concerne la méthodologie. Leur application permet de standardiser les procédures expérimentales et de réaliser des comparaisons inter-études. En effet, la standardisation des méthodologies d'étude permet de réduire les biais liés aux moyens.

Il s'agit ici de la première période dont sont extraits les articles présents dans cette revue. Cette phase correspond à la méthodologie *in vitro* destructrice standardisée et à l'utilisation de la stéréomicroscopie. La première apparition de ce protocole dans la littérature correspond à l'article de Bier et al (4). Les dents étudiées sont choisies en ne prenant que quelques critères en compte. Les sujets sont exclus si les dents permanentes présentent des défauts majeurs tels qu'une fêlure, fracture, apex ouvert ou des irrégularités anatomiques (13). De plus pour être incluse, la courbure canalaire ne doit pas excéder un seuil compris le plus souvent entre 5° et 10° (Figure 6) (7).

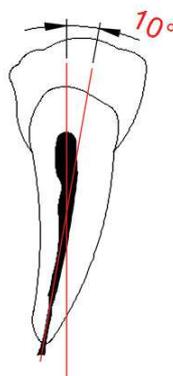


Figure 6 : Schéma représentant un canal droit (courbure inférieure à 10°) (Illustration personnelle).

En effet, les courbures importantes étant des zones de contraintes pariétales majorées difficilement standardisables, leur inclusion dans les études est rare. Seule une étude menée par S. Li en 2015 s'intéresse aux canaux à forte courbure. La méthode de section et l'étude des clichés sont donc différentes (10) (voir partie 5). Enfin, les causes de l'avulsion jouent aussi un rôle dans le choix des dents, elles ne doivent pas être en lien avec l'étude. C'est pourquoi les dents choisies ont été avulsées pour des raisons parodontales ou orthodontiques. Le type de dent, l'âge et le sexe du patient ne semblent pas appartenir aux critères de choix pour ces études. Finalement, les prémolaires sont les dents les plus communément choisies, probablement car elles sont souvent extraites pour raisons orthodontiques.

Le nombre de sujets est calculé en suivant des lois statistiques spécifiques de manière à être significatif (4,5,11,12).

Le stockage des dents se fait dans de l'eau purifiée et filtrée comme conseillé dans des études antérieures (25).

Dans la majorité des études, les dents sont décoronées avec une scie à vitesse lente afin de permettre un accès direct au canal en évitant l'accumulation de contraintes et facilitant le travail des opérateurs (12).

Après mesure visuelle de la longueur de travail grâce à une lime manuelle (10 ou 15), les racines sont recouvertes par du polyvinylsiloxane, un silicone qui mime les propriétés d'absorption du ligament alvéolo-dentaire. Ce matériau est lui-même contenu dans un support en résine acrylique qui figure l'os alvéolaire (13, 26).

La majorité des auteurs définissent le mouvement de l'examineur lors de l'instrumentation comme un mouvement de va-et-vient. De plus, la phase de mouvement est généralement composée de 3 ou 4 va-et-vients qui sont suivis par une phase d'irrigation (5–8,12,13,15,16).

L'irrigation du canal pendant l'instrumentation est réalisée avec une seringue d'hypochlorite de sodium. Seules la concentration et le volume injecté de solution varient entre 1%/2.5% et 12/15mL (7,11).

Les principales différences entre la méthodologie destructrice et conservatrice concernent les points abordés ci-dessous. Dans la méthode destructrice après réalisation de l'instrumentation en suivant les conseils du fabricant du système, les racines sont sectionnées dans leur axe apico-coronaire à 3mm puis 6 puis 9mm de l'apex grâce à une scie utilisée à vitesse lente et sous refroidissement à l'eau (4, 6–8, 10–13, 23). Les sections ainsi obtenues sont visualisées sous stéréomicroscopie avec ou sans aide à la visualisation des microfractures comme des sonde à LED (transillumination) ou des colorants (bleu de méthylène ou bleu de toluidine) (respectivement (11, 24, 27)). Les photographies sont réalisées pour permettre une analyse a posteriori par un, deux ou trois examinateurs calibrés. Les coupes ainsi traitées

permettent de classer la dent dans deux catégories distinctes : la présence ou l'absence de micro-défauts.

2.3 Influence du système d'instrumentation endodontique et de la cinématique de mouvement

Comme expliqué précédemment, seule la présence de microcracks post-opératoires est analysée. Dans cette partie en méthodologie destructrice, les résultats représentent le pourcentage de dents traitées endodontiquement dont les coupes montrent la présence d'au moins une micro-fracture dentinaire. Seul F. Ashraf utilise le nombre total de microcracks par dent (voir partie 2.4.3)(11). Concernant le Protaper Universal® et el Protaper Next®, une extrapolation a été nécessaire pour intégrer ses résultats dans cette revue. Ces derniers sont présentés en gras dans les tableaux de résultats mais ne sont pas intégrés dans le calcul des moyennes pondérées. Concernant le système Hyflex®, les résultats ont pu être intégrés classiquement (voir partie 2.3.1.3). Les moyennes ne servent que d'outil afin de visualiser plus aisément les résultats. En aucun cas, une conclusion ne peut en découler. Afin de permettre une visualisation aisée des résultats, seuls les systèmes étudiés présents dans plusieurs articles sont développés dans cette partie.

Les résultats sont présentés système par système. Ces systèmes sont triés en fonction de leur cinétique d'utilisation.

2.3.1 Rotation continue

L'exploration des propriétés du nickel-titane remonte à la fin des années 80. Avant cette période, les instruments endodontiques étaient usinés en acier inoxydable (28). Ce n'est que dix ans plus tard que Mac Spadden et Ben Johnson inventent l'assistance mécanisée ou « rotation continue à basse vitesse » (300tr/mn). Comme son nom l'indique, cette cinétique instrumentale est composée d'une rotation sans interruption dans le sens horaire, dont le but

est d'améliorer la qualité de la mise en forme canalaire et d'accélérer sa réalisation (29).

2.3.1.1 Protaper Universel®

Ce système de mise en forme canalaire en nickel-titane est le plus étudié de cette revue. Il apparaît dans 9 articles publiés entre 2009 et 2017. Depuis 2014, la commercialisation du Protaper Universel® a été stoppée pour laisser place au Protaper Next®, développé ci-dessous, et au Protaper Gold® introduit récemment. La coupe transversale du Protaper Universel® est un triangle dont les 3 côtés affûtés augmenteraient l'efficacité de mise en forme. De plus, la forme triangulaire diminuerait les contacts avec les parois canales et permettrait d'éviter les phénomènes de vissage de l'instrument (30).

Le tableau suivant (Tableau 3) résume les résultats obtenus dans cette revue :

Référence des articles	Nasr 2014 (5)	Ashraf 2015 (11)	Capar 2014 (17)	Kansal 2014 (6)	Liu 2013 (13)	Kfir 2017 (15)	Yoldas 2012 (16)	Bürkl ein 2013 (8)	Bier 2009 (4)	Moyenne pondérée
ProTaper Universel®	<u>77%</u>	60%	<u>56%</u>	<u>53%</u>	<u>50%</u>	30%	30%	23%	<u>16%</u>	42.91%

Tableau 3 : pourcentage de dents présentant des microfractures après instrumentation au PTU. Les résultats d'Ashraf sont mis en gras car ils sont extraits d'une extrapolation.

Les résultats ont été classés de manière décroissante dans les tableaux récapitulatifs. Premièrement, la totalité des études s'accorde sur le fait que les groupes traités grâce au Protaper Universal® présentent plus de microfractures que les groupes contrôles non instrumentés. Concernant la prévalence des défauts dentinaires, les études peuvent être classées en deux groupes :

- Groupe 1: Les études démontrant significativement que le Protaper Universal® produit plus de microcracks que la plupart

des autres systèmes (dont les résultats sont soulignés dans le Tableau 3).

- Groupe 2: Les études ne démontrant aucune différence significative entre le Protaper Universal® et la plupart des autres systèmes.

Les 5 publications dont les résultats apparaissent soulignés appartiennent au premier groupe (4–6,13,17). Cette différence significative est mise en évidence en comparant le Protaper Universal® avec le Reciproc®, le Profile®, le S-apex®, le Self-Adjusting File®, l'Hyflex® et le WaveOne®. Malgré des conclusions similaires, une variabilité numérique inter-résultat importante est mise en évidence. En effet, C.A.S Bier montre l'apparition de 16% de dents microfracturées contre 77% pour H.M. Abou El Nasr mais ces deux auteurs définissent le Protaper Universal® comme le système le plus inducteur de microfractures (4,5).

En 2014, Nasr et al obtiennent un pourcentage élevé (77%) comparé aux autres auteurs (5). Dans cette étude, les dents choisies sont des premières molaires maxillaires aux racines ovales. Cette forme ovale les rend plus fragiles que les autres dents et supposément plus propices à l'apparition de microfractures. De plus, ici seul le F2 du Protaper Universal® est utilisé pour instrumenter les canaux. Cependant, il est important de prendre en compte la taille des échantillons expérimentaux. Dans le cadre de leur étude, Nasr et al analysent sous stéréomicroscope dix des vingt dents instrumentées, conservant ainsi 10 dents pour une étude qui va déterminer la force nécessaire afin de fracturer verticalement les racines. La taille réelle des groupes expérimentaux est donc de 10. La majorité des articles appartenant à cette revue comportent entre 20 (4) et 30 (6) dents par groupe expérimental. Ces trois facteurs pourraient expliquer ce résultat « aberrant ». Son exclusion ne réduit cependant que de peu la variabilité inter-système. Les auteurs expliquent ces différences par des petites modifications du protocole d'étude. Par exemple, R. Liu et I.D Capar sectionnent les dents instrumentées tous les 2mm (13,17) alors que les autres le font tous les 3mm (4–6). Le nombre de limes utilisées ainsi que lime

finale utilisée pour l'instrumentation sont deux autres détails qui varient entre les études : d'un côté, trois études finissent l'instrumentation par le F2 du Protaper Universal® (5,6,13) dont le diamètre et la conicité sont de 25 centièmes de millimètre et 8% respectivement. Ce trio d'articles utilise donc avec 3 limes. De l'autre deux études finissent l'instrumentation par le F4 (4,17) dont le diamètre et la conicité sont de 40 centièmes de millimètre et 6% respectivement. Elles utilisent donc 5 limes lors de l'instrumentation.

4 études, appartenant au second groupe, ne prouvent aucune différence significative entre le Protaper Universal® et les autres systèmes étudiés (Reciproc®, Mtwo®, WaveOne®, HeroShaper®, Twisted File Adaptive® et Hyflex®) quand on considère la racine entièrement. Il est cependant important de nuancer ce propos. S. Bürklein montre qu'une différence significative existe entre le Protaper Universal® et le groupe Reciproc®/WaveOne® dans les 3mm apicaux (8). De plus, I.D. Capar en 2014, montre que le Protaper Universal® entraînerait significativement plus de microcracks que le Protaper Next® (17). Dans ce second groupe, une variabilité importante est aussi nettement visible. A nouveau, ces différences de valeurs découleraient d'après les auteurs de variations méthodologiques. La concentration de l'hypochlorite varie entre 2% (11) et 3% (15). La conicité et le diamètre des instruments expliqueraient pour A. Kfir ces résultats (15). En effet, parmi ces 4 études, deux utilisent la séquence du Protaper Universal® jusqu'au F3 (diamètre 25 centièmes de millimètre et conicité 9%) et les deux autres jusqu'au F4 (diamètre 40 centièmes de millimètre et conicité 6%).

Malgré le nombre important de publications utilisant le Protaper Universal®, aucune tendance concernant l'influence du diamètre, de la conicité et du nombre d'instruments sur la prévalence des microfractures n'a pu être mise en évidence.

2.3.1.2 Protaper Next®

En 2013, la société Dentsply-Maillefer renouvelle son arsenal endodontique en mettant au point une séquence nouvelle génération. L'utilisation d'un nouvel alliage à mémoire de forme, le M-Wire et d'une nouvelle cinétique éviterait les complications du traitement endodontique comme la fracture ou le déplacement de l'apex. Une forme rectangulaire asymétrique et une conicité irrégulière entraînent un mouvement de « serpent » de l'instrument dans le canal, ce qui empêcherait ce dernier de se visser. D'après les concepteurs, ces nouveaux instruments sécuriseraient le traitement endodontique du chirurgien-dentiste (31).



Figure 7 : La séquence du Protaper Next® (31).

3 des 12 articles appartenant à la méthodologie destructrice font référence au Protaper Next®. Ils rapportent le nombre de dents présentant des microfractures (Tableau 4) :

Référence des articles	Ashraf 2015 (11)	Kesim 2017 (7)	Capar 2014 (17)	Moyenne pondérée
ProTaper Next®	47%	43%	28%	36,18%

*Tableau 4 : Résultats pour le PTN.
Le résultat en gras appartient à l'étude publiée par Ashraf et al.*

A nouveau, le pourcentage de dents présentant des microfractures en gras dans ce tableau découle d'une extrapolation des chiffres obtenus dans l'étude d'Ashraf et al. De plus, il ne démontre aucune différence significative entre le Protaper Next®, le Protaper Universal® et le système Hyflex® (11). A l'opposé, B. Kesim et I.D. Capar obtiennent des résultats significativement différents entre le Protaper Universal® (17), le Reciproc® et le K3XF® (7). Ainsi, le Protaper Universal® serait plus inducteur de défauts que le Protaper Next® qui serait plus inducteur que le Reciproc® et le K3XF®. F. Ashraf et I.D. Capar étudient les mêmes systèmes (Protaper Universal®, Protaper Next® et Hyflex) en utilisant la même séquence (X1, X2, X3 et X4) sur les mêmes dents (prémolaires mandibulaires) et pourtant le premier ne démontre aucune différence entre les 3 systèmes (11) alors que le second conclue que le Protaper Universal® induit significativement plus de microfractures dentinaires que les deux autres systèmes (17). Deux éléments principaux pourraient expliquer ces différences de conclusions. L'espacement des sections et l'utilisation de colorant varient entre ces deux publications. Ashraf et al sectionnent les dents tous les 3 millimètres et les colorent (au bleu de méthylène) alors que Capar et al se les sectionnent tous les 2 millimètres et ne les colorent pas (11,17). Concernant les valeurs numériques, l'utilisation de colorant semble permettre une augmentation du nombre de microfractures détectées. L'influence du nombre et de l'espacement des coupes n'a pas pu être mise en évidence dans cette partie.

2.3.1.3 Hyflex®

Le système nickel-titane Hyflex® de la société Coltène possède comme les autres limes endodontiques une mémoire de forme qui lui permet de réduire la survenue d'épaulement ou de déplacement de l'apex. De plus, les limes répondraient à une résistance excessive par un allongement des spirales, ce

qui les empêche théoriquement de s'engager dans les parois dentinaire. Ce procédé semble accroître la résistance à la rupture et réduire le risque de vissage de l'instrument. Selon le fabricant, cette déformation serait réversible suite à un traitement thermique (mise à l'autoclave) (32).

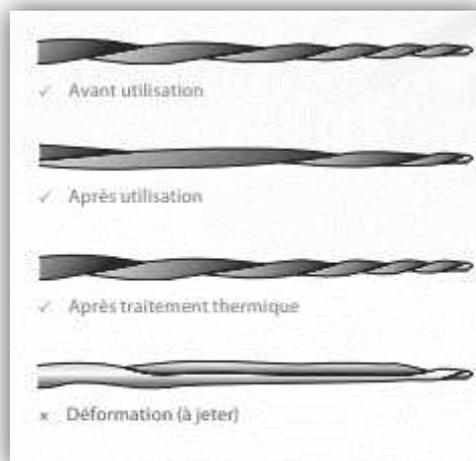


Figure 8: Illustration de la déformation réversible des limes Hyflex® après traitement thermique (32).

3 articles intégrés à cette revue citent et étudient ce système. Le tableau (Tableau 5) suivant expose leurs résultats concernant la prévalence de microcracks :

Référence des articles	Pedulla 2017 (12)	Capar 2014 (17)	Ashraf 2015 (11)	Moyenne pondérée
Hyflex®	33,30%	28%	5%	21.06%

Tableau 5 : Pourcentage de dents présentant des défauts dentinaires après instrumentation au Hyflex®.

Concernant le système Hyflex®, Ashraf et al détectent l'apparition d'une microfracture. Ainsi, les 5% présentés dans ce tableau (Tableau 5) représentent une microfracture parmi les 20 dents étudiées. Le pourcentage de dents atteintes par un micro-défaut est par conséquent le même que le nombre de

microcracks total sur le nombre de dents étudiées. Ce résultat de F. Ashraf est donc inclus sans extrapolation et est compris dans la moyenne pondérée. Bien qu'elle soit légèrement moindre que pour les deux systèmes de Dentsply (Protaper Universal® et Protaper Next®), une variabilité des résultats inter-étude est nettement visible. Cependant chaque étude présentée montre le système Hyflex® comme faisant partie des systèmes qui génèrent le moins de défauts dentinaires. Statistiquement, l'instrumentation Hyflex® semble induire moins de microfractures que le Protaper Universal®, le OneShape®, le SkyTaper®, le Reciproc® et le WaveOne®(11,12,17) dans le cadre de leurs études respectives.

2.3.1.4 OneShape®

Les limes de la séquence OneShape® ont la particularité d'avoir une section variable le long de l'instrument. En effet, à la pointe la forme est triangulaire avec une dissymétrie du plan de coupe (un seul côté tranchant contrairement au ProTaper Universal® cité ci-avant). Puis la forme évolue pour arriver à une double sinusoïde comportant deux bords tranchants. Selon le fabricant, cette variabilité empêche le phénomène de vissage et évite les complications endodontiques (rupture, déplacement apicale etc..) (33) (Figure 9).

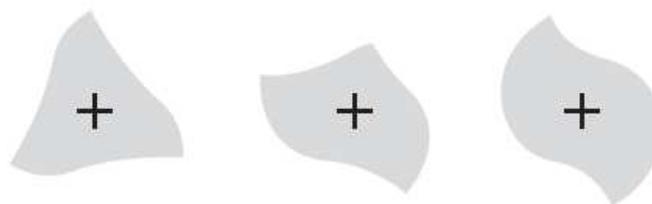


Figure 9 : Evolution de la forme d'un même instrument OneShape. La section de gauche représente la partie apicale, la centrale montre la partie médiane de l'instrument et celle de droite la partie coronaire (33).

Le tableau à deux entrées suivant présente les résultats de la séquence OneShape® concernant l'apparition des microfractures (Tableau 6) :

Référence des articles	Pedulla 2016 (12)	Liu 2013 (13)	Moyenne pondérée
OneShape®	75%	35%	50%

Tableau 6 : résultats concernant le système OneShape et l'apparition de microfractures

Ce système appartient au groupe dont les résultats mettent en évidence un nombre important de microfractures. Liu et al démontrent que le OneShape® et le ProTaper Universal® provoquent significativement plus de micro-défauts que le SAF et le Reciproc®, alors que Pedulla ne montre pas de différence significative avec Hyflex® ; ce dernier entraîne moins de dégâts dans le cadre de cette étude. Selon l'auteur, la rigidité plus importante du OneShape® expliquerait ces résultats élevés. Un nombre limité d'études s'intéressent au OneShape®, ce qui complique l'interprétation de ces résultats.

2.3.2 Réciprocité

Le mouvement réciproque est introduit en 2008. Ce nouveau concept est basé sur la technique des forces équilibrées de Roanne en 1985 (34). Il est d'abord utilisé avec l'instrument F2 du Protaper Universal® (35). Dans la réciprocité, aussi appelée « mouvement alternatif transversal asymétrique », l'instrument effectue un mouvement horaire/antihoraire d'amplitude variable. Cette cinétique est différente de la cinétique adaptative qui sera développée partie 3.3.3.1. Le mouvement antihoraire permet de couper puis le mouvement horaire permet de désengager l'instrument et ainsi éviter le phénomène de vissage. Il faut plusieurs cycles à l'instrument pour réaliser une rotation de 360° ce qui diminue les forces exercées sur l'instrument et diminue le risque de fracture de torsions instrumentales(36).

2.3.2.1 Reciproc®

Produit par VDW Dental, la gamme Reciproc® se présente sous la forme de 3 instruments uniques différents par leurs diamètres apicaux et leur conicité. Ces 3 instruments possèdent des points communs :

- L'alliage utilisé,
- Le traitement thermique (le même que pour le Protaper Next®) ; le M-wire permet une grande élasticité et une mémoire de forme,
- Leur pointe conique non coupante qui guide l'instrument dans le canal après cathétérisme,
- La forme de la section évoluant le long de l'instrument pour obtenir *in fine* une forme de « S » dont deux côtés coupent.

La conicité diminue avec l'augmentation du diamètre apical entre les instruments. Ainsi on obtient 250 µm/0.08, 400 µm/0.06 et 500 µm/0.05 de diamètre et conicité pour le R25, R40 et R50 respectivement. Leur conicité est continue le long de l'instrument contrairement au ProTaper Next®. En effet, l'utilisation de la réciprocité permet de réduire le phénomène de vissage et donc de conserver cette conicité fixe (37) (Figure 10).



Figure 10 : Illustration de la pointe non coupante et de la conicité fixe du Reciproc® diamètre 250 µm (37).

Les résultats des 5 articles analysant l'apparition des microcracks après instrumentation au Reciproc® sont résumés dans le tableau suivant :

Référence des articles	Pedulla 2016 (12)	Bürklein 2013 (8)	Gergi 2015 (9)	Liu 2013 (6)	Kesim 2017 (7)	Moyenne pondérée
Reciproc®	75%	18,20%	17,80%	5%	3%	17,75%

Tableau 7 : résultats concernant le système Reciproc® et l'apparition de microfractures.

Pour la totalité des systèmes étudiés, les résultats extraits de l'article de Pedulla et al sont largement supérieurs aux autres. L'auteur justifie cela en expliquant que les dents instrumentées dans cette étude appartenaient à des donneurs dont l'âge varie entre 40 et 60 ans. Les contraintes appliquées sur les dents le long de la vie semblent entraîner une fatigue qui influencerait sur l'apparition de microcracks (12,27). Comme pour Nasr et al (partie 2.3.1.1), les échantillons expérimentaux semblent ici aussi faibles. Bien qu'issus d'un calcul statistique, seules 12 dents ont été étudiées par systèmes endodontiques (12). Ceci expliquerait pourquoi E. Pedulla, obtiendrait les résultats les plus élevés pour chaque séquence étudiée. De plus, malgré des résultats hautement variables (entre 33.3% et 91.6%), l'auteur ne conclut que pour deux des 6 systèmes étudiés : seul le système Hyflex® présente significativement moins de microcracks que le Reciproc®. La taille de l'échantillon pourrait aussi expliquer cette absence de conclusion. En excluant les 75% obtenus par E. Pedulla, la variabilité numérique est très réduite.

B. Kesim et R. Liu démontrent dans le cadre de leurs études respectives que le Reciproc® provoque moins de microcracks que les groupes Protaper Universal® /OneShape® (7) et Protaper Next® /TFA (13). Ces conclusions sont contredites par S. Bürklein et R.M. Gergi qui obtiennent des résultats opposés. Tout d'abord, Gergi et al affirment dans leur étude que le Reciproc® crée plus de microfractures dentinaires incomplète que le Twisted File Adaptive®. S. Bürklein quant à lui, semble conclure à une prévalence significativement supérieure après instrumentation au Reciproc® dans les coupes à 3mm de l'apex par rapport au Protaper Universal®. De manière générale aucune différence significative n'a pu être mise en évidence entre le ProTaper Universal®, le WaveOne® et le Reciproc®. Cependant, ces deux auteurs s'accordent sur le fait que le système Reciproc® présente significativement plus de microfractures complètes que les autres séquences étudiées sans pour autant expliquer ce résultat (8,9).

Ces résultats ne permettent pas une conclusion franche concernant la prévalence de microcracks après instrumentation au Reciproc®. Une tendance est malgré tout visible. En effet, la moyenne pondérée du Reciproc® est nettement inférieure à celle de tous les autres systèmes étudiés.

2.3.2.2 WaveOne® (WO)

Comme la plupart des séquences nickel-titanes apparues dans les années 2010, le WaveOne® est conçu en utilisant la technologie du M-Wire. Le concept proposé par Dentsply-Maillefer est semblable au Reciproc® de VDW. L'utilisation en réciprocity d'un instrument unique à usage unique sécuriserait le traitement endodontique du chirurgien-dentiste. Deux éléments principaux séparent ces deux systèmes endodontiques :

- la forme du WaveOne® est triangulaire modifiée convexement apicalement (Figure 11) et triangulaire non modifiée coronairement (Figure 12),



Figure 11 : Coupe transversale de la partie apicale des instruments WaveOne® (38).



Figure 12 : Coupe transversale de la partie coronaire des instruments WaveOne® (38).

- la pointe du WaveOne® est ainsi coupante contrairement à celle du Réciproc® qui est non travaillante (38).

Le tableau suivant présente le pourcentage de dents présentant des microfractures partielles après instrumentation WaveOne® en fonction des études, le WaveOne® est le système le plus étudié en réciprocité de cette revue (Tableau8) :

Référence des articles	Pedulla 2016 (12)	Nasr 2013 (5)	Kfir 2016 (15)	Kansal 2014 (6)	Gergi 2015 (9)	Bürklein 2013 (8)	Moyenne pondérée
WaveOne®	91,60%	37,50%	20%	15%	13%	11,70%	25,18%

Tableau 8 : résultats concernant le système WaveOne® et l'apparition de microfractures.

Comme expliqué ci-avant avec le Reciproc®, Pedulla présente des résultats extrêmement supérieures aux autres articles. La même situation est visible concernant le WaveOne®. En plus de l'Hyflex®, le WaveOne Gold® présente significativement moins de micro-défauts dentinaires que le WaveOne® (12) dans cet article.

Deux autres auteurs étudient conjointement le WaveOne® avec le Reciproc® (8,9) ; R.M. Gergi et S. Bürklein. Leurs conclusions concernant le WaveOne® sont proches de celles concernant le Reciproc®. Ils démontrent que dans les 3 millimètres apicaux, le WaveOne® produit plus de

microfractures que le groupe MTwo®/Protaper Universal® et le TFA respectivement (8,9).

A. Kfir ne montre aucune différence significative concernant le nombre de racines traitées présentant des microfractures entre le WO et le Protaper Universal® (15), alors que H.M. Abou El Nasr et Kansal s'accordent dans leur études sur les cinétiques instrumentales pour conclure que le WO induirait significativement moins de microcracks que le Protaper Universal® quel que soit son mode d'utilisation (5,6). Les utilisations diverses du Protaper Universal® sont détaillées dans la partie ci-après. Aucune tendance ne semble ressortir des différentes études concernant le WaveOne®.

2.3.2.3 ProTaper Universal®

En 2013 dans le cadre de son étude, S. Bürklein conclue que les systèmes utilisés (Reciproc® et WaveOne®) en réciprocity induisent significativement moins de microcracks dans les 3mm apicaux que ceux utilisés en rotation continue (Mtwo® et ProTaper Universal®). Comme expliqué précédemment, ces séquences sont très différentes de par leur conception. Il est intellectuellement difficile d'attribuer les résultats obtenus dans cette étude uniquement à la cinétique instrumentale. De nombreux autres facteurs influencent vraisemblablement l'apparition de microfractures. Deux publications traitent du ProTaper Universal® en rotation continue et en réciprocity (5,6). Ainsi les auteurs s'affranchissent des différences inter-systèmes pour isoler la cinétique instrumentale. De plus, les différences dues aux potentiels biais de sélection, aux disparités inter-examineurs et aux différences de protocole sont ainsi supprimées. Une nuance est à souligner ; les deux auteurs utilisent le Protaper Universal® avec les deux cinématiques mais ils utilisent uniquement le F2 en réciprocity (Figure 7) sans respecter la séquence conseillée par le fabricant. D'après les auteurs, le but serait de se rapprocher des séquences endodontiques utilisées spécifiquement en réciprocity (5,6). Comme traité ci-

avant, le WaveOne® et le Reciproc® sont souvent utilisés en instrument unique à usage unique. Le nombre d'instruments dans la séquence instrumentale peut être une des raisons expliquant les résultats suivants :

Référence des articles	Nasr 2014 (5)	Kansal 2014 (6)	Moyenne pondérée
ProTaper Universal® (Réciprocité)	78%	26%	46.8%
ProTaper Universal® (Rotation continue)	77%	53%	<u>42.91%</u>

Tableau 9 : résultats concernant le système ProTaper Universal® et l'apparition de microfractures en fonction du type de mouvement utilisé.

La moyenne soulignée est la moyenne pondérée des résultats du tableau 4 regroupant toutes les publications traitant le Protaper Universal® en rotation continue. Le premier article de H.M. Abou El Nasr Nasr et al en 2014 (5) ne met pas évidence de différence entre les deux mouvements concernant le Protaper Universal® utilisé en instrument unique. Que ce soit en réciprocité ou en rotation continue, seul le F2 est utilisé. En revanche, R. Kansal montre une différence significative entre le Protaper Universal® utilisé en réciprocité et en rotation continue. En comparant les moyennes pondérées, le mouvement réciproque semble provoquer l'apparition de plus de microfractures dentinaires que la rotation avec le Protaper Universal®. Chez R. Kansal, le passage de la rotation continue à la réciprocité s'accompagne d'un raccourcissement de la séquence endodontique. En effet, il obtient 53% de dents microfracturées avec la séquence complète en rotation continue, contre 26% avec l'utilisation unique du F2 en réciprocité. Le nombre d'instruments dans la séquence semble faire varier les résultats (6). D'autres articles mentionnent le nombre d'instruments dans la séquence comme facteur d'influence dans l'apparition de microfractures. Néanmoins, aucun de ces articles n'appuie cette affirmation.

2.3.3 Autres types de cinétique

Deux autres cinétiques de mouvement apparues récemment doivent être traitées.

2.3.3.1 Mouvement hybride : Twisted File Adaptative® (TFA)

Disponible depuis 2013, le Twisted File Adaptive® (Axis/SybronEndo) est un système censé, selon ses concepteurs, allier les avantages de la rotation continue et du mouvement réciproque. Au-dessus d'un seuil de contraintes mesuré par le moteur endodontique, le mode 370° dans le sens des aiguilles d'une montre et 50° dans le sens contraire s'enclenche (Figure 13). Il correspond à une cinétique réciproque et nécessite deux cycles afin de réaliser un tour complet. A l'inverse, en l'absence de contrainte (inférieure au seuil), le mouvement de rotation continue (600° dans le sens des aiguilles d'une montre et 0° à l'inverse) s'active (36).



Figure 13 : Schéma présentant le mouvement hybride : à gauche le mouvement type rotation continue et à droite le mouvement type réciproque(37).

Parmi notre sélection d'article, 3 articles comparent le Twisted File Adaptative® à d'autres systèmes avec la méthodologie destructrice. Le tableau suivant résume ces résultats de manière croissante (Tableau 10) :

Référence des articles	Yoldas 2012 (7)	Kesim 2017 (16)	Gergi 2015 (9)	Moyenne pondérée
------------------------	-----------------	-----------------	----------------	------------------

TF Adaptative	44%	17%	2,20%	18.20%
---------------	-----	-----	-------	--------

Tableau 10 : résultats concernant le système Twisted File Adaptative® et l'apparition de microfractures.

Dans le cadre de leurs travaux, B. Kesim et O. Yoldas concluent que le Twisted File Adaptative® semble créer plus de microfractures que le Reciproc® ou le groupe contrôle. Cependant de la même façon, R.M. Gergi conclut strictement l'inverse ; c'est-à-dire que le Reciproc® entrainerait l'apparition de plus de microfractures que le Twisted File Adaptative®. Bien qu'appartenant tous à la période d'étude destructrice, l'addition de petites nuances dans les protocoles ou des détails dans la sélection des dents étudiées pourraient à nouveau être à l'origine de différences de résultats. Pour donner un exemple, R.M. Gergi et son équipe ont sectionné les racines à 15, 9 et 3mm contrairement aux 9, 6 et 3mm habituels. La deuxième étude, s'intéresse aux prémolaires contrairement aux deux autres qui étudient les molaires (7,9,16).

2.3.3.2 Mouvement d'abrasion : Self Adjusting File® (SAF)

Le Self Adjusting File® ou SAF a été introduit par la société ReDentNova en 2012. Ce système présente un concept très différent des autres séquences endodontiques en nickel-titane tant dans la forme de l'instrument que dans le mouvement utilisé. Le SAF est un instrument creux sous la forme d'un fin treillis compressible dont la pointe cylindrique et les parois sont composées d'un alliage de nickel-titane (Figure 14) (39). La cinétique de mouvement conseillée par le fabricant est composée de 3000 à 5000 vibrations par minute avec une amplitude de 0.4mm (40). Ce mouvement allié à un état de surface légèrement abrasif entrainerait un frottement des parois canalaire qui serait moins agressif que les autres instruments nickel-titane qui coupent dans la dentine. Cette affirmation du concepteur est mise en évidence ci-après (Figure 15-F) ; la forme canalaire semble respectée après instrumentation au SAF contrairement aux autres instruments qui arrondissent le canal. De plus, selon le fabricant, l'association de la forme et du mouvement avec les propriétés élastiques et la

résistance du nickel-titane améliorerait la qualité de l'alésage et du nettoyage des canaux par rapport aux autres systèmes endodontiques (39).



Figure 14 : Illustration de la vacuité centrale, de l'état de surface rugueux (a) et de la flexibilité (c) des instruments SAF(41).

Trois articles récents testent le système Self Adjusting File® et donc le mouvement d'abrasion en étudiant les coupes sous stéréomicroscopes (13,15,16). Les résultats obtenus divergent des autres systèmes étudiés jusqu'à présent. En effet, parmi les 60 dents traitées grâce au SAF dans ces 3 études, aucune microfracture dentinaire post instrumentation n'a pu être mise en évidence contrairement aux autres systèmes endodontiques analysés. Dans le premier article de R. Liu, le ProTaper® est comparé au OneShape®, au Réciproc® et au SAF. Dans l'article de 2015 par Kfir et al, le ProTaper®, le WaveOne® et le SAF sont analysés. Enfin, les systèmes suivants, HeroShaper®, Twisted File Adaptative®, Revo-S®, ProTaper Universal® et SAF sont étudiés dans l'article d'O. Yoldaz. Dans le cadre de ces articles, ces résultats sont démontrés comme étant statistiquement différents. Le SAF ne semble induire la formation d'aucune microcracks contrairement aux autres systèmes utilisés (OneShape®, Reciproc®, ProTaper Universal®, TFA, HeroShaper®, Revo-S® et WO)(13,15,16).

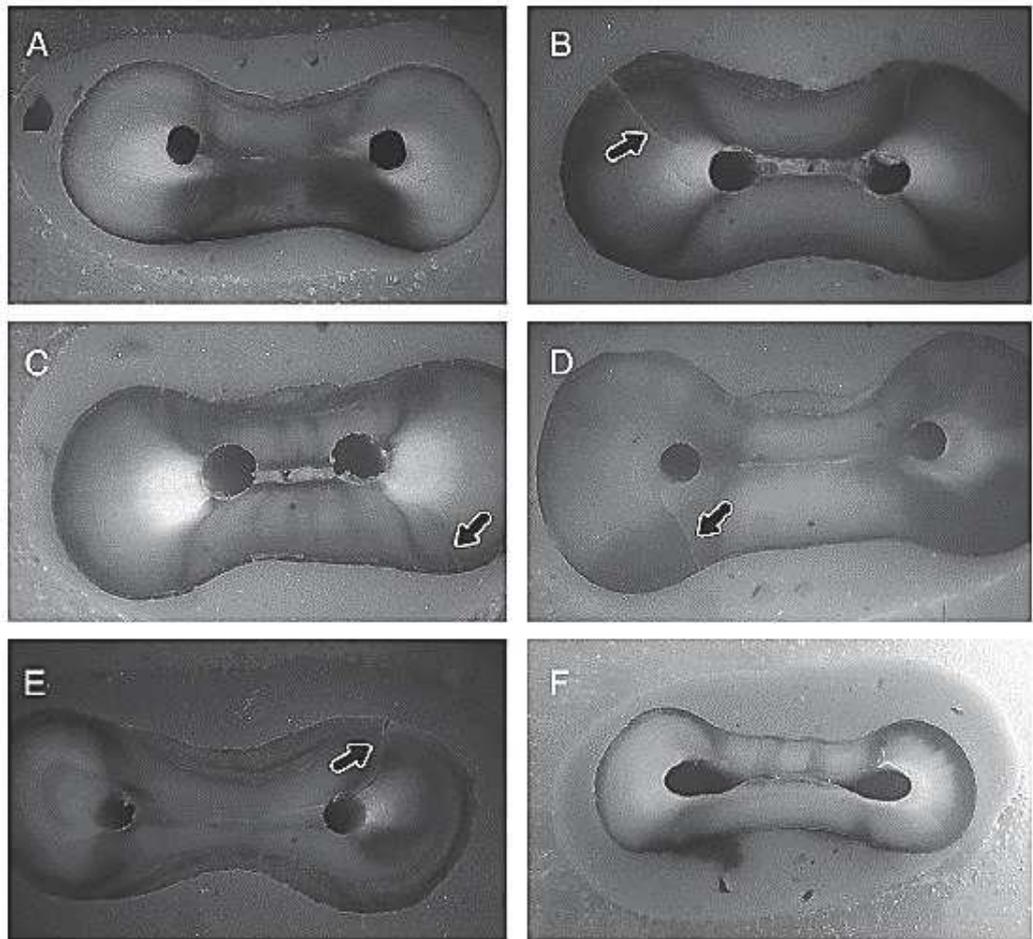


Figure 15 : Section à 3mm après instrumentation par : Lime manuelle (A), HeroShaper[®] (B), Revo-S[®] (C) TFA (D), PTU (E) et SAF (F).

La cinétique instrumentale est difficilement dissociable des caractéristiques physiques de l'instrument. Il est impossible d'affirmer que la cinétique abrasive entraîne l'apparition d'aucune microfracture. L'association de l'abrasion à l'absence de bord coupant pourrait expliquer les résultats présentés ci-avant. De plus, le Self Adjusting File[®] est composé d'un alliage de nickel-titane, mais il ne provoque vraisemblablement l'apparition d'aucune microfracture. Il semblerait donc que l'utilisation d'un alliage en nickel-titane ne soit pas un facteur d'influence mais que ce soit la forme instrumentale et la cinétique qui induisent l'apparition de microfractures dentinaires (15,16).

2.3.4 Conclusion sur cinématiques instrumentales et les séquences endodontiques.

Le Self Adjusting File® et son mouvement abrasif ne semble pas induire de microfractures dentinaires partielles, contrairement à toutes les autres associations de systèmes endodontiques motorisés/cinétique de mouvement. Aucune autre conclusion significative ne peut être mise en évidence concernant la cinétique instrumentale. Bien que les séquences utilisées uniquement en réciprocité (Reciproc® et WaveOne®) et celle utilisée en mouvement adaptatif (Twisted File Adaptive) présentent une moyenne pondérée inférieure à celle des systèmes dédiés à la rotation continue Hyflex® excepté (ProTaper Universal® et Next®, OneShape®). En rotation continue, l'Hyflex® semble faire apparaître moins de microfractures que les autres systèmes. En réciprocité, aucun système n'est supérieur à un autre malgré une tendance favorable pour le Reciproc®. Il est compliqué pour les auteurs de donner des explications à l'absence de différence significative malgré une variabilité inter-étude importante. La taille des échantillons relativement réduite (entre 12 et 30) (9,12) pourrait être à l'origine de l'apparition de tendances dans les résultats sans différence statistiquement significative démontrée (voir partie 2.3.2.1). De plus, de nombreux paramètres diffèrent d'un système à un autre (conicité, forme des coupes transversales, dents choisies, nombres d'instruments dans une séquence...). Cette multitude de paramètres d'étude complexifie cette revue.

2.4 Autres facteurs d'influence

2.4.1 Conicité des instruments

La conicité instrumentale peut être constante ou variable le long d'un même instrument (respectivement OneShape® et Protaper Next®). La majorité des auteurs affirme que cette dernière représente un facteur d'influence majeur dans l'apparition de microfractures (4–7,15,17,17). Bier et al, dans l'article « fondateur » (4), présentent une étude où la conicité instrumentale est standardisée (0.05-0.06) pour tous les systèmes endodontiques sauf le S-

Apex® dont la conicité est inversée. Le groupe instrumenté au S-Apex® ne présente aucune microfracture, contrairement aux autres. La conicité jouerait selon Bier et al un rôle majeur pour les microfractures. A. Kfir et I.D. Capar s'entendent sur le fait que l'augmentation de la conicité des instruments serait en lien avec une augmentation de la prévalence des microfractures (15,17). En guise d'exemple ; dans les 3 millimètres apicaux, I.D. Capar montre une apparition significativement plus importante de microcracks pour le ProTaper Universal® que pour le Protaper Next® et l'Hyflex®. En parallèle, la conicité maximale utilisée pour chaque système est 0.09, 0.07 et 0.06, respectivement. Pour finir, H.M. Abou El Nasr en 2013 met en lien la conicité et la section instrumentale avec la rigidité instrumentale. Il explique que ces facteurs influent les uns avec les autres et qu'ils représentent dans le cadre de son étude un facteur de risque (5). Ainsi l'augmentation de la conicité fait partie des facteurs les plus souvent incriminés.

2.4.2 Forme de la section instrumentale

Contrairement à la conicité, l'influence de la section instrumentale sur la prévalence des microfractures dentinaires ne fait pas l'unanimité. En effet, 6 articles (5,6,8,9,16,17) la considèrent comme un facteur de risque alors que E. Pedulla conclut l'inverse dans le cadre de son étude. En effet, malgré des géométries différentes, les résultats restent, selon l'auteur, relativement semblables. Cela exclurait la forme de la section des facteurs de risques (12). A contrario, O. Yoldas en 2012 démontre qu'en présence d'instruments dont la section est triangulaire (ProTaper Universal®, HeroShaper® et TFA), la prévalence de microfractures reste significativement non différente (16). Ainsi la forme ne serait pas un facteur d'influence. Enfin, Capar, Gergi et Kansal associent la forme de section avec l'efficacité de coupe et attestent qu'ils représenteraient des facteurs d'influence sans pour autant développer la question (6,9,17).

2.4.3 Longueur de travail

La quasi-totalité des études appartenant à cette revue déterminent la longueur de travail (LOT) par appréciation visuelle de la lime à l'apex. Ashraf et al en 2015 dédient leur article à l'influence de la longueur d'instrumentation et son lien avec la prévalence de microcracks dentinaires (11). L'instrumentation à différentes LOT est réalisée en rotation continue grâce à des systèmes dont les résultats généraux sont résumés partie 3.3.1 (ProTaper Universal® et Next® et Hyflex®). De plus, un premier groupe de dents est laissé non-instrumenté pour représenter le groupe contrôle. Les résultats suivants montrent le nombre de microfractures total. Les trois groupes expérimentaux instrumentés par le Protaper Next®, ProTaper Universal® et l'Hyflex®, sont divisés en quatre groupes supplémentaires. Chacun de ces groupes est composés de 5 dents :

- Groupe 1 : instrumentation finale réalisée à la LOT + 1mm.
- Groupe 2 : instrumentation finale réalisée à la LOT.
- Groupe 3 : instrumentation finale réalisée à la LOT - 1mm.
- Groupe 4 : instrumentation finale réalisée à la LOT - 2mm.

Le groupe instrumenté avec le système Hyflex® ne montre l'apparition que d'une microfracture (dans le groupe 2) alors que le groupe ProTaper Universal® et Protaper Next® présente respectivement 17 et 16 défauts (répartis). Le tableau suivant résume la prévalence de microcracks en fonction de la LOT quel que soit le système d'instrumentation choisi :

	Groupe 1 (LOT +1)	Groupe 2 (LOT +0)	Groupe 3 (LOT -1)	Groupe 4 (LOT -2)	Total
Nombre de cracks	16	13	5	0	34

Tableau 11 : présentation des résultats de F. Ashraf concernant l'influence de la LOT sur l'apparition de microfractures (11).

Une tendance à l'augmentation de l'apparition de microfractures avec l'augmentation de la LOT est nettement visible. Malgré cela, les 3 premiers

groupes ne sont pas significativement différents. Concernant la longueur de travail, seule une instrumentation à la LOT - 2mm entraîne statistiquement moins de microfracture. Ce résultat peut être expliqué par l'augmentation des courbures et donc des contraintes à l'apex. Il est cependant impossible de conclure concernant la LOT car selon l'auteur, les caractéristiques intrinsèques au système d'instrumentation influencent considérablement les résultats. Des études approfondies seraient nécessaires.

2.5 Conclusion concernant l'apparition de microfracture en méthodologie destructrice

En méthodologie destructrice, aucune cinétique n'a été démontrée comme significativement supérieure aux autres concernant l'apparition de microfracture. Bien que l'instrumentation au Self Adjusting File®, associée au mouvement abrasif, ne fasse apparaître aucune microfracture dentinaire. En complément, le système Hyflex® semble créer moins de microfractures que les autres systèmes étudiés en rotation continue. Ainsi concernant les instruments utilisés, la conicité semble être un facteur important contrairement à l'utilisation du nickel-titane. La longueur de travail ainsi que les détails méthodologiques semblent influencer les résultats obtenus.

3. Méthodologie in vitro conservatrice et résultats

Une seconde méthodologie d'étude de l'apparition des microfractures dentinaires après traitement endodontique est apparue en 2014. Son caractère conservateur et l'utilisation de la microtomographie à rayon X l'éloigne du protocole développé précédemment dans cette thèse.

3.1 Apport de la microtomographie à rayon X (micro CT)

Depuis son invention par Sir G. Hounsfield en 1979, la microtomographie à rayon X permet l'étude radiographique de corps microscopiques. Depuis, des améliorations et les optimisations ont permis une utilisation de cette technique dans de nombreux domaines et particulièrement en médecine.

Le principe fondamental de la micro-CT (micro-computed tomography) repose sur un système d'irradiation sous de multiples angles. Les multiples images ainsi créées sont détectées par des panneaux sensibles au rayon X, puis traitées grâce à un logiciel spécialisé. Ce dernier, après traitement, fournit un modèle numérique tridimensionnel de l'objet d'étude sans induire de changement de structure de l'échantillon. Cette technique d'imagerie à haute résolution est souvent décrite comme de la radiographie à trois dimensions (42). La précision de ce système peut aller jusqu'au micromètre (43).

3.2 Présentation de la méthodologie in vitro conservatrice

L'apparition de la microtomographie à rayon X permet donc une méthodologie d'étude *ex-vivo* « conservatrice ». La plupart des articles étudiant la survenue des micro-cracks après différentes instrumentations endodontiques par micro-CT viennent de l'équipe scientifique menée par Gustavo De-Deus. La méthodologie est donc standardisée bien que le principe d'étude évolue avec le temps (14,18–20,44).

La stéréomicroscopie est ici utilisée uniquement afin de vérifier l'absence de fracture radiculaire externe. En effet, les critères d'exclusion et d'inclusion dans cette méthodologie sont identiques à ceux de la méthodologie destructrice, à la différence qu'une courbure canalaire comprise entre 10° et 20°, donc légèrement plus importante que dans les articles cités partie 1.3.2 (14) est acceptée.

Des changements mineurs de protocole sont à noter. Par exemple, la conservation des dents se fait dans une solution de thymol à 0.1% et 5°C et non plus dans de l'eau distillée et filtrée (18). Les dents étudiées sont scellées dans un polyéther (matériau d'empreinte) qui est lui-même enchâssé dans une matrice en résine époxy. Ces changements minimes n'influenceraient pas les résultats opératoires, selon De-Deus (18–20,44).

Cette méthodologie est dite conservatrice puisque l'utilisation de la tomographie à rayon X permet une absence de découpe des dents et donc une conservation de l'organe dentaire sans perte de matière. L'utilisation du micro-CT entraîne une augmentation du nombre de clichés analysables et donc une augmentation de la sensibilité et de la précision de l'étude (20). En effet, la technique destructrice permet l'étude de quatre ou cinq sections par organe dentaire seulement. Ici plus de 700-900 sections numériques sont réalisés par dent. La détection des microfractures peut être réalisé grâce au micro-CT avec ou sans agents de contraste. De plus, l'absence de découpe combinée aux analyses micro-CT entraîne la possibilité d'étudier les défauts dentinaires avant et après instrumentation endodontique. Ainsi une même dent peut être son propre témoin et l'étude per-opératoire est envisageable(45). Comme démontré partie 3.4, la longueur de travail est un facteur important lors de l'étude des microcracks. L'étude per-opératoire permettrait alors une analyse micro-CT d'une même dent à des LOT croissante. Ainsi la variabilité anatomique inter-dentaire ne représenterait plus une limite.

3.3 Résultats

Cinq articles utilisant la méthodologie conservatrice respectant les critères d'inclusion ont été intégrés dans cette revue.

Ils étudient l'apparition de microfractures dentinaires après instrumentation endodontique avec différents systèmes (14,18–21). Il est important de noter que dans cette partie, les pourcentages cités représentent le nombre de coupes montrant la présence de microcracks. De plus les résultats varient considérablement. En effet, pour le groupe de dents traitées en utilisant la séquence TRUshape® en rotation continue (en suivant les conseils donnés par le fabricant) 56.47% des coupes radiologiques tridimensionnelles présentent des défauts dentinaires microscopiques, alors que le groupe expérimental instrumenté avec le système BioRace® présente des microcracks dans 7.91% des coupes. Il est à noter que la séquence BioRace® est utilisée ici en mouvement réciproque alors que le fabricant conseille son utilisation en rotation continue. La variabilité inter-séquence des résultats est donc importante. Pour un même système, les résultats sont très variables aussi : pour le ProTaper Next® par exemple, le pourcentage de coupes comprenant des défauts varie entre 38.7% et 11.11% (19,21). Ces variabilités ne restreignent pas l'étude globale des résultats. Comme expliqué précédemment, la mise en place d'un protocole radiographique micro-CT permet la visualisation des échantillons pré-instrumentation. Ainsi, tous les articles présentés concluent de la manière suivante ; Tous les défauts dentinaires identifiés sur les radiographies postopératoires sont déjà présents sur les clichés préopératoires correspondants. Aucuns nouveaux microcracks ne sont observés après l'utilisation des séquences d'instrumentation endodontique testées dans cette analyse (Figure 16).

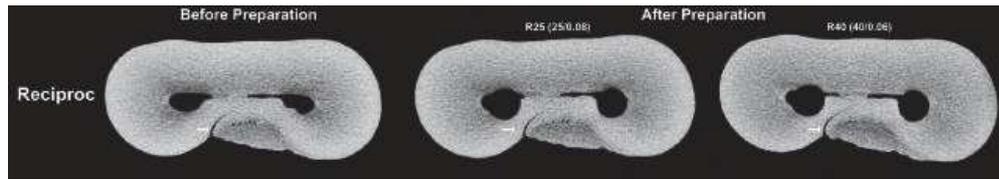


Figure 16 : Représentation des coupes transversales d'une racine mésiale d'une molaire mandibulaire montrant la présence d'une microfracture correspondante (flèche) sur les clichés pré et post-instrumentation avec le system Reciproc® (14).

Ces résultats tendent à démontrer que l'instrumentation endodontique n'augmente pas le risque d'apparition de microfractures intracanales. Le premier article qui introduit ces résultats est publié en 2014 et s'intitule « Lack of causal relationship between dentinal microcracks and root canal preparation with reciprocation systems » de De-Deus et al. Les conclusions énoncées étaient alors en contradiction avec toutes celles précédemment publiées.

Depuis, cette méthodologie a été réutilisée dans plusieurs articles afin de valider ces résultats, mais en étudiant d'autres paramètres et d'autres systèmes endodontiques. Les cinématiques de mouvement sont analysées en évaluant les séquences complètes de BioRace®, Reciproc®, Sel-Adjusting File® et TRUshape®. Ils représentent respectivement le mouvement de rotation continue, le mouvement de réciprocité, la cinétique d'abrasion et le mouvement complexe lié à la forme en S des instruments (20). Le système TRUshape®, bien qu'utilisé sur un moteur endodontique classique, représente une nouvelle cinématique instrumentale. La forme caractéristique des limes Niti de la séquence engendre un mouvement dont le but est de s'adapter à la morphologie intracanaire. Les résultats tendent vers une absence de lien entre le type de mouvement utilisé pour la mise en forme canalaire et l'apparition de microcracks, puisqu'à nouveau les défauts intracanales mis en évidence dans les clichés préopératoires et postopératoires correspondent.

De plus, en comparant les systèmes ProTaper NEXT®, K3XF® et le WaveOne Gold®, l'équipe scientifique menée par M. Cassimiro (21) étudie l'influence du traitement thermique sur l'apparition de défauts dentinaires. ProTaper Next® correspond à un traitement à mémoire de forme appelé

Memory-Wire ou M-Wire. Il implique un état martensitique quasi-total du nickel-titane, ce qui lui confère ses propriétés super-élastiques et de mémoires de forme. Le système K3XF® a été traité avec un traitement R-Phase et le WaveOne GOLD® avec un traitement thermique appelé Gold Wire. Le « R » de R-Phase provient de la forme rhomboédrique des cristaux métalliques de l'alliage. Cet agencement lui octroie une résistance supplémentaire lors des mouvements de torsion. Le Gold Wire se définit comme un traitement thermique en deux temps (avant et après fabrication) qui devrait améliorer, selon le fabricant, la force et la flexibilité des instruments (46). Les études ont montré des résultats différents entre les systèmes : 11.11%, 17.22% et 20% des coupes radiologiques présentent des microcracks pour les systèmes Protaper Next®, K3XF® et WOG respectivement. Cependant tous les dégâts visualisés sur les images postopératoires sont visibles sur les images préopératoires correspondantes. Ainsi le traitement thermique de l'alliage en nickel-titane ne semble pas être un facteur de risque dans l'apparition des microfractures dentinaires.

Pour résumer ces 5 articles (14,18–21), 230 dents diverses traitées endodontiquement par différentes séquences nickel-titane ont été étudiées. 226 990 coupes réalisées grâce au micro-CT ont été analysées. Ainsi une moyenne de 36.44% des coupes présentent des microcracks. Nous nous retrouvons donc avec une moyenne de 987 coupes par dent. En extrapolant, nous pouvons estimer que 36.44% des dents (donc 84 dents environ) présentent des microfractures dentinaires préexistantes. Ce résultat ne peut évidemment pas servir de conclusion dans cette revue. Il nous servira de moyen d'illustration partie 5.

4. Discussion

- Différences de résultats

Premièrement, une très grande différence au niveau des résultats est mise en évidence dans cette revue. L'appartenance d'un protocole d'étude à la méthodologie destructrice ou conservatrice inverse diamétralement la tendance des résultats. Les études en méthodologie destructrice, quels que soient leurs résultats, montrent l'apparition de microcracks après instrumentation avec les différents systèmes endodontiques, excepté le Self Adjusting File®. Ces résultats semblent confirmés car les groupes contrôles (non-instrumentés ou instrumentés aux limes manuelles) ne montrent aucune apparition de micro-défauts. Cependant, les articles suivant la méthodologie conservatrice viennent contredire cette affirmation. En effet, toutes les microfractures mises en évidence étaient préexistantes et visibles sur les coupes préopératoires en méthodologie conservatrice. Pour les auteurs, l'homogénéité parfaite des résultats durant cette deuxième période d'étude représente un gage de fiabilité (14,18,20). De plus, De-Deus et al démontrent à deux reprises (14,18) que les microfractures détectées grâce à l'analyse des coupes au stéréomicroscope sont identifiables avec le micro-CT. Ils affirment ainsi que la tomographie à rayon X représente un moyen de détection fiable. Une critique de ces deux protocoles d'étude est nécessaire.

- Méthodologie destructrice et limitations

Quelle que soit leur méthodologie d'appartenance, la majorité des auteurs s'accorde et assure que la nature destructrice de la première méthodologie représente une limitation du protocole (7,8,14,18–21). La section des racines afin de permettre leur étude sous stéréomicroscope est une perte de matière qui limite l'interprétation des résultats. Les articles utilisant ce principe affirment tous que l'absence de microfractures dans certains groupes (contrôles et SAF) démontre que la section des racines n'influence pas les résultats obtenus. De-Deus et al contredisent cette conclusion (14,18–20). En

effet, ils affirment que la destruction des échantillons biaise les résultats. En effet, les interactions entre la préparation canalaire, l'attaque chimique de l'irrigation et les sections des racines potentialiseraient les effets de la méthodologie canalaire. Elles seraient ainsi à l'origine de l'apparition des microfractures dentinaires. De plus, cette potentialisation expliquerait selon De-Deus la grande variabilité inter-étude en méthodologie destructrice. Cette fluctuation mettrait en évidence un manque de fiabilité dans les études destructrices.

La méthodologie destructrice présente d'autres limitations par rapport à la conservatrice. Premièrement, l'impossibilité de réaliser une étude préopératoire des microfractures canalaires pourrait causer certaines différences de résultats. En effet, en 2017, B. Kesim obtient un résultat contradictoire : une microfracture dans le groupe contrôle (non instrumenté) est mise en évidence. L'auteur explique que ce défaut pourrait être préexistant mais que l'absence de vérification préopératoire ne permet pas d'affirmer cette hypothèse (7). De plus, l'étude peropératoire est elle aussi impossible en méthodologie destructrice. Elle permet une visualisation et une analyse de l'évolution des microfractures pendant l'instrumentation (14). Ces deux premiers éléments permettent l'utilisation de la dent en elle-même comme son propre contrôle et ainsi de s'affranchir de la variabilité inter-spécimen comme la courbure canalaire ou les différences anatomiques. Ceci ne pallie pas à la mise en place de critères de sélection précis des dents étudiées (18). Parmi les autres limitations citées par les auteurs, les différences de couple et de vitesse recommandés par les fabricants pour chaque système représente une limitation selon F. Ashraf (11). De plus, la standardisation des caractéristiques des instruments (voir ci-après) représente une difficulté pour B. Kesim. En effet, les systèmes endodontiques les plus communément utilisés possèdent des conicités variables, des designs uniques et des cinématiques fondamentalement différentes (7).

- Méthodologie conservatrice et limitations

La méthodologie conservatrice présente des avantages non négligeables par rapport à la destructrice, ces avantages sont les suivants :

- L'utilisation de la microtomographie à rayon X, permet une analyse d'un nombre de sections plus important par racine (entre 700 et 900) au lieu de 3 ou 4 après section (20).
- Comme expliqué partie 4.2, le micro-CT étant une représentation radiographique, il permet une étude pré et per opératoire impossible avec le stéréomicroscope (14). Ceci permet à un spécimen d'être son propre contrôle.
- Une localisation spatiale en trois dimensions des microfractures est possible (45). En effet, le stéréomicroscope permet une étude dans la profondeur, mais il ne permet pas une localisation précise des microfractures (15).

G. De-Deus résume les inconvénients de l'utilisation du micro-CT pour l'étude des microfractures dans sa lettre à l'attention de l'International Endodontic Journal. Cette dernière est intitulée « Critical appraisal of some methodological aspects of using micro-CT technology in the study of dentinal microcracks in endodontics »(45). Comme cela est expliqué dans la partie 2.3, l'intérêt scientifique concernant les micro-défauts canalaires croît indépendamment de la méthodologie utilisée. Cette lettre de critique de De-Deus et al est intéressante car elle détaille de manière approfondie l'utilisation du micro-CT. Les inconvénients cités sont :

- Les étapes de scan et de reconstruction prennent un temps considérable.
- L'utilisation du micro-CT est impossible in vivo (taille du lit radiographique non suffisante).
- Le matériel nécessaire est cher.

- Mais surtout la procédure est complexe ; des connaissances et un entraînement importants sont nécessaires autant du matériel que des logiciels adaptés.

Ce dernier point est ainsi détaillé dans cette lettre. Par exemple, G. De-Deus indique que pour permettre une analyse pré et post opératoire, les dents radiographiées ne peuvent pas uniquement être positionnées dans la même manière dans le micro-CT. D'après l'auteur, l'utilisation d'un logiciel annexe de co-enregistrement des données est une condition sine qua none à la réalisation de ces doubles analyses. La gestion du bruit et par conséquent des faux-positifs est importante. Les paramètres utilisés pour le scan sont aussi d'une importance majeure. En effet, l'utilisation d'une résolution faible ou d'une profondeur de pénétration supérieure à 50kV entraineraient l'apparition de bruit et une difficulté pour distinguer les microfractures des faux positifs (45) (Figure 17).

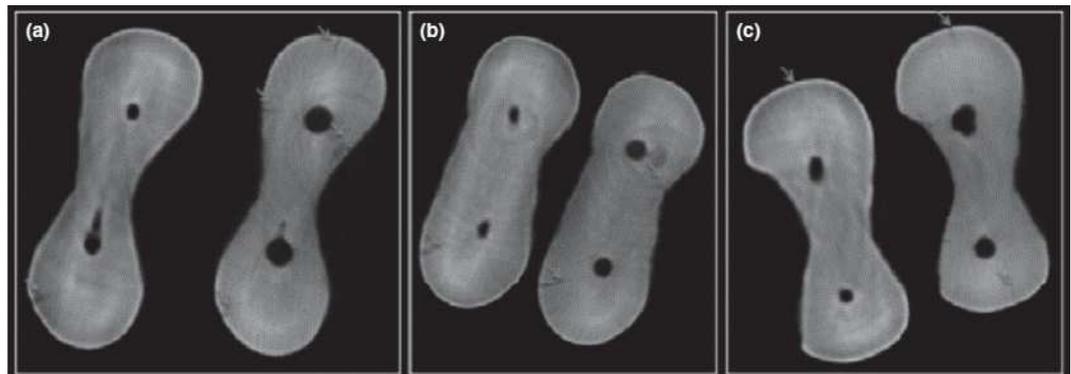


Figure 17 : Mise en évidence, sur différentes coupes, de l'influence du bruit et d'un manque de résolution sur l'appréciation des microfractures. Les images pré- et post-opératoires correspondent à une instrumentation au PTU (a) au RaCe® (b) et au Safesider® (c)(48).

De plus, E. Pedulla indique qu'une augmentation de la chaleur de l'objet d'étude est mise en évidence lors de l'utilisation du micro-CT. La chaleur produite est variable en fonction de la dose d'irradiation (et donc de la résolution) et du temps d'exposition (12). Cependant aucun autre auteur ne fait référence à ce phénomène. Des études complémentaires sont nécessaires pour pouvoir conclure sur ce point.

Pour les deux méthodologies étudiées, des matériaux compressibles (polyvinylsiloxane ou polyéther selon les études) sont utilisés pour mimer les propriétés d'absorption du ligament alvéolodentaire. Bien que les auteurs tendent à s'approcher des conditions *in vivo*, ces matériaux ne remplacent pas parfaitement ce ligament (6,7,12,21). Ils représenteraient ainsi une limitation. C'est pour cette raison principale que les méthodologies *in situ* ont vu le jour.

- Apports et inconvénients de la méthodologie *in situ*

Peu d'articles utilisent une méthodologie dite « *in situ* » à propos de l'instrumentation endodontique au nickel-titane et la survenue de microfractures. Plus précisément, deux articles (27, 45) utilisent des mandibules humaines (ou hémimandibules) complètes pour analyser la présence de microcracks. Ainsi l'utilisation d'un système alvéolodentaire complet permet d'après les auteurs de diminuer les contraintes subies par la dent. L'avulsion dentaire, qui est un évènement traumatique pour la dent, est ainsi évitée (44). De plus, la présence d'un ligament alvéolodentaire permet une absorption des contraintes liées à l'instrumentation similaire aux conditions *in vivo* (27). Bien que représentant un pas théorique en avant pour arriver *in fine* à un protocole *in vivo*, la variabilité inter-étude et le nombre important de biais dans ces études ne permettent pas d'intégrer ces articles dans cette étude. Dans le premier article intitulé « Comparaison of 2 canal preparation techniques in the induction of microcracks : a pilot study with cadaver mandibles », 18 microcracks ont été mises en évidence après section et analyses des 54 coupes présentes. Toutes ces fissures partielles partent des parois canalaires et ont une direction vestibulolinguale, ce point sera développé ci-après. La méthodologie utilisée se rapproche de la méthodologie « destructrice » développée partie 3.2. Pour interpréter ces résultats, il faut prendre en compte que l'âge moyen des donneurs de mandibules est de 82.8 ans. Les contraintes et la fatigue subies par les dents étudiées peuvent expliquer ou biaiser les résultats obtenus (47). L'âge semble donc être un biais de sélection ici. Il est important de noter que le deuxième article *in situ* tend vers la méthodologie « conservatrice » et a été

écrit par G. De-Deus et son équipe. Les dents traitées sont en effet étudiées via la microtomographie à rayon X. Cet article ne rapporte l'apparition que d'un micro défaut dentinaire mais il est présent sur l'image préopératoire correspondante. Cette conclusion semble cohérente avec les études réalisées grâce au micro-CT (14,18,19,21), compte tenu des résultats partie 4.3. Cependant la méthodologie *in situ* utilisée ici par l'auteur, bien qu'utilisant un micro-CT pour réaliser l'analyse radiographique, s'éloigne ostensiblement de la méthodologie *in vitro* « conservatrice ». Cet article a donc été exclu de cette revue bibliographique.

- Multitude de facteurs d'étude

Outre la nature destructrice ou conservatrice de la méthodologie qui impacte considérablement la détection des microfractures, de nombreux facteurs cités par les auteurs dans cette revue influent sur les résultats. La grande majorité de ces éléments sont donc cités dans les articles « destructeurs ». Cependant les auteurs « conservateurs » pointent aussi certains de ces critères comme influençant les résultats ou comme biais. Pour mieux interpréter ces facteurs, ils sont classés en trois groupes ; les facteurs liés à la méthodologie, ceux liés à la séquence instrumentale et ceux liés aux instruments plus spécifiquement.

➤ Les facteurs liés à la méthodologie

- Choix des dents : (âge moyen des donneurs (12,15,27), types de dents (12, 13, 15, 17, 19, 21), courbures canalaires (10), forme de la racine (5).
- Le moyen de détection des microfractures : (stéréomicroscopes ou micro-tomographie à rayon X et leur résolution)(14,20).
- Les conditions de conservation des dents (8,12,18).
- Utilisation d'un matériaux mimant le ligament alvéolodentaire (6, 7, 12, 21).

- Le type et le nombre de mouvement consécutifs réalisés par l'opérateur (11).
 - La concentration de la solution d'irrigation (18, 19).
 - L'utilisation d'illuminations supplémentaires (12, 15).
 - Diamètre des instruments utilisés pour le cathétérisme et réalisation d'une ouverture canalaire ou non (foret de Gates) (4, 17)
 - Longueur de travail (11, 13).
- Les facteurs liés à la séquence instrumentale
- Le nombre de limes utilisées pour l'instrumentation canalaire (5, 7, 13, 16).
 - Le moteur et donc la cinétique (type de mouvement, couple et vitesse) recommandés par les concepteurs (5, 6, 9, 11–13, 17).
- Les facteurs liés aux instruments.
- Le design de l'instrument (6).
 - La forme des sections et l'efficacité de coupe (lié au nombre de cotés tranchants) (5, 6, 8, 9, 11, 12, 16, 17).
 - La conicité (4–7, 15–17).
 - Les caractéristiques de la pointe de l'instrument (forme, possibilité de coupe et diamètre de l'instrument final) (6, 9, 16, 17).
 - L'alliage utilisé (5, 12).
 - Le traitement thermique et donc les propriétés mécaniques qui en découlent (6, 11, 12, 16, 17).

Le nombre important de facteurs d'influence complexifie l'étude des défauts canalaires. Cette multiplicité est inhérente au traitement endodontique.

De plus, elle ne pourra être surpassée que lorsqu'une standardisation parfaite des méthodologies et une étude facteur après facteur seront possibles à moindre coût.

- Canaux courbes

Seule une parution analyse l'apparition de microcracks lors de l'instrumentation dans les canaux sévèrement courbés. En 2015, S. Li et al. publient un article s'intéressant aux canaux de molaires dont la courbure canalaire est comprise entre 25° et 40° (Figure 18) (10).

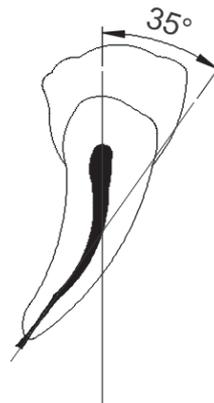


Figure 18 : Schéma représentant un canal sévèrement courbé (courbure entre 25° et 40°) (Illustration personnelle).

Ici, les données récoltées concernent le ProTaper Universal®, le WaveOne® et le ProTaper Next®. Le protocole utilisé se rapproche de notre méthodologie destructrice car les dents sont sectionnées pour les étudier. Les coupes ne sont pas étudiées à 3mm, 6mm et 9mm de l'apex comme dans les autres articles (4–9, 11–13, 15–17), mais s'intéressent au plan le plus courbé ainsi qu'aux plans 2mm sous-jacent et sus-jacent. Comme expliqué précédemment, les courbures canalaire représentent des zones de contraintes pariétales très importantes (22). Leur hétérogénéité rend donc leur étude

difficilement standardisable et ne permet pas de les comparer aux articles sélectionnés qui n'étudient que des canaux droits (moins de 10°). Dans cet article, tous les systèmes sont utilisés en suivant les conseils du fabricant. Concernant l'apparition de microfractures partielles, les résultats obtenus sont les suivants ;

- Les groupes traités par ProTaper Universal® et le WaveOne® (WO) présentent significativement plus de fissures partielles que le groupe ProTaper Next® (respectivement 7.9%, 10.3% et 1.6%),
- Aucune différence significative entre le ProTaper Universal® et le WO n'a été démontré,
- Concernant les plans de coupe, aucune différence significative entre les systèmes étudiés n'a été démontrée,
- Un nombre de microcrack plus important a été mis en évidence 2mm coronairement à la courbure par rapport aux 2 autres plans lors de l'utilisation du ProTaper Next®.

Les auteurs ajoutent aussi que les défauts détectés tendent à survenir dans le sens vestibulolingual, sans pour autant approfondir les investigations en ce sens. Une grande partie de cette thèse s'articule autour des méthodologies employées et de leur implication. Ainsi le protocole utilisé dans cet article s'éloigne grandement de la méthodologie destructrice. En effet, la mise en place d'un colorant (bleu de méthylène) après l'instrumentation mais avant la section de la racine aurait pour but de mettre en évidence uniquement les microfractures causées par l'instrumentation. Aux 48 microcracks détectés s'ajoutent 16 micro-défauts non colorés donc imputables à la réalisation des coupes nécessaires à l'étude. Leur inclusion dans les résultats représenterait une augmentation de 33,33%. Cependant aucun article dans la littérature ne témoigne de l'utilisation de cette méthode de coloration par une autre équipe scientifique, ce qui amène à questionner sa fiabilité. Concernant les courbures canalaires sévères, aucune différence significative n'a donc pu être mise en évidence de manière générale.

- Etude à grande échelle des microfractures préexistantes

L'intérêt des scientifiques pour les problématiques des microcracks n'est plus à démontrer dans cette revue. Les résultats de la partie 4 semblent mettre en évidence la présence de microcracks dans les dents non traitées endodontiquement. De manière assez prévisible, une analyse à grande échelle concernant ces microfractures préexistantes a été publiée en 2017. Il est intéressant de comparer ses résultats à ceux obtenus dans les études dites « conservatrices ». L'article intitulé « Preexisting dentinal microcracks in nonendodontically treated teeth: An ex vivo micro-computed tomographic analysis » par A.R.P. Kumar et son équipe (48), présente une étude par micro-CT de 633 dents adultes non traitées endodontiquement. Parmi ces 633 dents, 217 sont des dents antérieures (incisives et canines), 159 sont des prémolaires et 257 des molaires. L'âge représente le facteur d'étude principal ici, les dents ainsi étudiées sont réparties dans 2 groupes selon l'âge :

- Groupe n°1 : patient donneur «jeune» entre 20 et 39 ans (n= 164),
- Groupe n°2 : patient donneur «âgé» entre 40 et 70 ans (n= 469).

De plus, 3 indices sont évalués dans cet article ; la présence de microfractures, la localisation sur l'axe apico-coronaire de la dent et sa direction (mésio-distal ou vestibulolingual). Le micro-CT est utilisé pour réaliser les coupes d'étude. 37 coupes par millimètre ont pu être réalisées. La résolution programmée est de 26.73 centièmes ; soit le double de celle utilisée dans les articles partie 4. La présence de fractures complètes a exclu 3 dents de l'étude. Les résultats concluent que 7.1 % des dents présentant des microfractures dentinaires. De plus, la proportion de ces défauts est significativement augmentée chez les sujets « âgés » et les dents mandibulaires. Le type de dents ne semble pas influencer la prévalence de microfractures dentinaires. L'étude montre qu'aucune différence significative ne peut être mise en évidence concernant leur position sur l'axe apico-coronaire. Enfin toutes les microfractures détectées sont orientées sur l'axe mésiodistal, ce qui est en opposition avec l'article de S.Li concernant les canaux sévèrement courbés. Ce dernier affirmait que la quasi-totalité des microfractures mise en évidence se développait dans le sens

vestibulolingual (27). Ces 7.1% peuvent être mis en parallèle avec les conclusions de la partie 4.3 (page 41). En effet, nous avons extrapolé qu'en résumant tous les articles utilisant le protocole conservateur, 36.44% des dents présentent des défauts. Ce nombre est nettement supérieur au résultat présenté par A.R.P Kumar. Il est cependant impossible de conclure par manque d'homogénéité des données. De plus, l'analyse des microfractures complètes dans cette étude démontre que leur prévalence est significativement plus importante dans le plan le plus courbe du canal. Ceci est en accord avec l'étude aux éléments finis de Kim et al (22), qui propose un modèle d'étude de l'apparition de microcracks après instrumentation endodontique.

- Limes manuelles

Que ce soit en méthodologie destructrice ou conservatrice, cette revue étudie une grande partie des cinétiques instrumentales les plus courantes. Bien qu'apparaissant comme groupe contrôle dans 3 articles en méthodologie destructrice (4,7,16), les limes manuelles et leur mouvement ne peuvent pas être étudiées dans une partie à part entière. En effet, l'utilisation des limes et leur cinétique de mouvement est intégralement dépendante de l'opérateur ce qui entraîne vraisemblablement une imprécision inter-étude supplémentaire. Les cinétiques motorisées sont standardisées. La rotation continue et la réciprocité sont généralement utilisées en mouvement de va-et-vient pour avancer dans le canal (5-9,12,13,15). Pour le TFA et SAF, les cinétiques sont clairement définies par le concepteur (9,41). Concernant les groupes instrumentés manuellement, le diamètre de l'instrument final n'est pas le même selon l'étude. Kesim et al instrumentent leur canaux jusqu'à un diamètre apical de 25 centièmes alors que Yoldas et Bier vont jusqu'à 40 centièmes. Malgré ces différences, ces deux derniers articles montrent que les limes manuelles ne créent pas de microfractures dentinaires (4,16). Kesim montre l'apparition d'une microfracture après instrumentation manuelle parmi les 30 dents traitées. L'auteur attribue cette microfracture à une microfracture préexistante mais

indéfectable au stéréomicroscope lors de la vérification préopératoire. Les limes manuelles sont assimilées aux groupes contrôles.

- Influence de l'illumination dans la détection des microfractures

Seul A. Kfir en 2016 montre une différence de détection des microfractures dentinaires liée au type d'illumination étudié. Il explique que l'utilisation d'une source lumineuse de petit diamètre appliquée diagonalement permet une analyse en profondeur des sections réalisées. La lumière du microscope quant à elle, ne permet que d'étudier la surface des sections (15). La figure suivante met en évidence cette influence (Figure 19) :

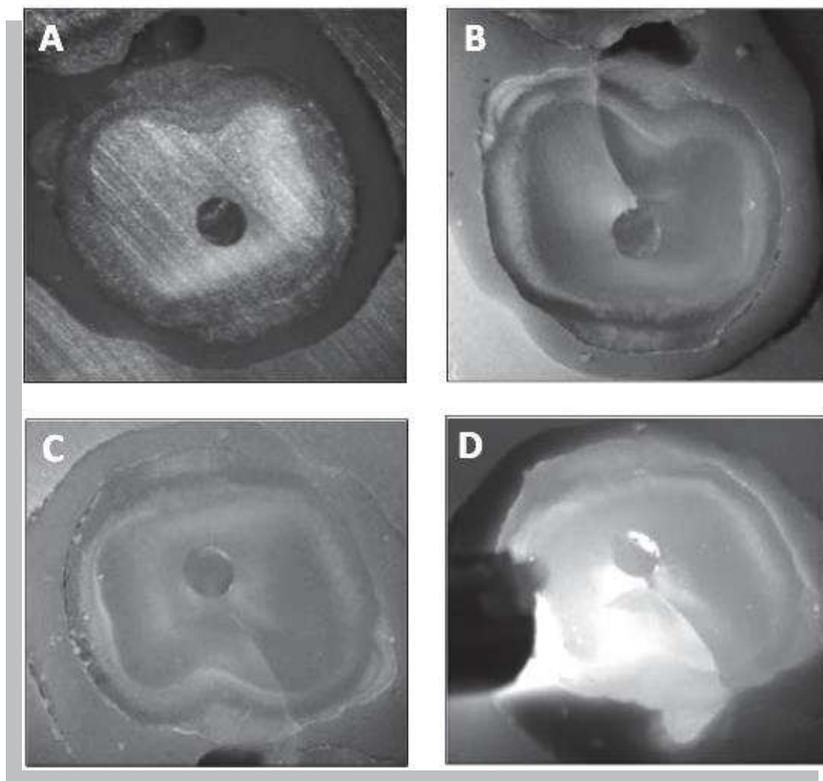


Figure 19 : Mise en évidence de l'influence de l'illumination des sections pour la détection des microfractures ;

Les coupes A et C sont illuminées par la lumière du microscope uniquement. Les images (B et D) sont les mêmes coupes mais illuminées par une source lumineuse de petit diamètre, orientée diagonalement. La mise en évidence des microcracks est plus aisée dans les images B et D (15).

Kfir ajoute que l'humidité présente sur la surface de la racine a un effet négatif sur la détection des défauts. Ainsi, un rapide jet d'air est systématiquement envoyé sur la dent avant détection.

Conclusion

Dans cette thèse, nous avons donc réalisé une revue de la littérature dont le but était, d'abord, de déterminer si l'instrumentation endodontique au nickel-titane provoquait l'apparition de microfractures dentinaires. Le second objectif était de soulever les paramètres principaux influençant l'apparition de microfractures.

Ainsi, après avoir identifié les articles d'intérêt, nous avons séparé les différentes études en fonction de la méthodologie utilisée par les auteurs. En effet, les résultats ne sont pas seulement différents en fonction de la méthodologie d'étude, ils sont opposés.

En méthodologie « *in vitro* destructrice », les auteurs concluent tous que l'instrumentation endodontique au nickel-titane est, à elle seule, un facteur de risque important de microfracture. Après le regroupement de tous les résultats systèmes par systèmes, nous avons mis en évidence que certains systèmes induisent moins de microfractures.

A ce titre, le Self Adjusting File® est le seul système d'instrumentation motorisé ne démontrant l'apparition d'aucune microfracture. Le système Hyflex® est moins inducteur de micro-défauts dentinaires que les autres systèmes utilisés en rotation continue. En réciprocity, il semblerait que le Reciproc® provoque également moins de microfractures que le WaveOne® ou le Protaper Universal®. En plus d'une hétérogénéité de résultats inter-systèmes importante, peu de conclusions statistiquement significatives émergent des articles choisis. Cependant un certain nombre d'auteurs s'accordent et affirment que la conicité et la longueur de travail tendent à influencer la prévalence des microfractures. Il est vrai qu'intellectuellement, l'augmentation de la conicité et de la longueur de travail s'accompagnerait d'une perte de dentine et donc d'une fragilisation de la racine plus importante.

L'apparition en 2014 d'une méthodologie « *in vitro* conservatrice » grâce aux avantages de la microtomographie à rayon X permet d'éviter la section des échantillons. La perte de substance dentaire et les imprécisions liées à celle-ci sont ainsi réduites. Ce protocole permet une comparaison entre les coupes pré et post-opératoires. Par conséquent, la dent instrumentée devient son propre témoin et l'auteur s'affranchit des variabilités anatomiques inter-dentaires.

Les auteurs utilisant cette méthodologie ne mettent en évidence l'apparition d'aucune microfracture post-instrumentation endodontique. En effet, toutes les microfractures visibles après instrumentation sont considérées comme préexistantes.

Pour conclure, les articles inclus dans cette revue présentent des conclusions contradictoires et souvent statistiquement non significatives sur l'apparition de microfractures suite à l'instrumentation endodontique. Il est néanmoins nécessaire de préciser que l'augmentation de la taille des échantillons expérimentaux permettrait d'améliorer la sensibilité et ainsi pourrait permettre la mise en évidence de conclusions significatives.

Il serait intéressant de mettre en place un protocole d'étude unique s'approchant d'avantage des conditions cliniques associé à des échantillons de taille suffisamment importante. L'étude individuelle de chaque facteur en cause (longueur de travail, conicité, mode de rotation, alliage...) pourrait atténuer les facteurs de confusion et permettre de comprendre le processus de développement des microfractures dentinaires lors du traitement endodontique. Ce travail permettrait de faire ressortir des recommandations cliniques qui préviendraient l'apparition de microfractures lors de l'alésage canalaire. Ces dernières représentent en effet des discontinuités dentinaires et donc des zones de fragilité. C'est pourquoi leur étude s'inscrit dans la thématique plus générale des fractures radiculaire verticales.

Bibliographie

1. Kfir A, Lustig J, Zuckerman O, Kaffe I, Tamse A. [Vertical root fractures in endodontically treated teeth--Part II: Etiology and prevention]. *Refuat Hapeh Vehashinayim* (1993). 2006;23(2):25- 30, 66.
2. Soros C, Zinelis S, Lambrianidis T, Palaghias G. Spreader load required for vertical root fracture during lateral compaction ex vivo: evaluation of periodontal simulation and fracture load information. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2008;106(2):e64-70.
3. Cohen S, Berman LH, Blanco L, Bakland L, Kim JS. A demographic analysis of vertical root fractures. *J Endod*. 2006;32(12):1160- 3.
4. Bier CAS, Shemesh H, Tanomaru-Filho M, Wesselink PR, Wu M-K. The ability of different nickel-titanium rotary instruments to induce dentinal damage during canal preparation. *J Endod*. 2009;35(2):236- 8.
5. Abou El Nasr HM, Abd El Kader KG. Dentinal damage and fracture resistance of oval roots prepared with single-file systems using different kinematics. *J Endod*. 2014;40(6):849- 51.
6. Kansal R, Rajput A, Talwar S, Roongta R, Verma M. Assessment of dentinal damage during canal preparation using reciprocating and rotary files. *J Endod*. 2014;40(9):1443- 6.
7. Kesim B, Sagsen B, Aslan T. Evaluation of dentinal defects during root canal preparation using thermomechanically processed nickel-titanium files. *Eur J Dent*. 2017;11(2):157- 61.
8. Bürklein S, Tsotsis P, Schäfer E. Incidence of dentinal defects after root canal preparation: reciprocating versus rotary instrumentation. *J Endod*. 2013;39(4):501- 4.
9. Gergi RM, Osta NE, Naaman AS. Dentinal crack formation during root canal preparations by the twisted file adaptive, Reciproc and WaveOne instruments. *Eur J Dent*. 2015;9(4):508- 12.
10. Li S, Lu Y, Song D, Zhou X, Zheng Q, Gao Y, et al. Occurrence of Dentinal Microcracks in Severely Curved Root Canals with ProTaper Universal, WaveOne, and ProTaper Next File Systems. *J Endod*. 2015;41(11):1875- 9.
11. Ashraf F, Shankarappa P, Misra A, Sawhney A, Sridevi N, Singh A. A Stereomicroscopic Evaluation of Dentinal Cracks at Different Instrumentation Lengths by Using Different Rotary Files (ProTaper Universal, ProTaper Next, and HyFlex CM): An Ex Vivo Study. *Scientifica (Cairo)*. 2016;2016:8379865.
12. Pedullà E, Genovesi F, Rapisarda S, La Rosa GRM, Grande NM, Plotino G, et al. Effects of 6 Single-File Systems on Dentinal Crack Formation. *J Endod*. 2017;43(3):456- 61.

13. Liu R, Hou BX, Wesselink PR, Wu M-K, Shemesh H. The incidence of root microcracks caused by 3 different single-file systems versus the ProTaper system. *J Endod.* 2013;39(8):1054- 6.
14. De-Deus G, Silva EJNL, Marins J, Souza E, Neves A de A, Gonçalves Belladonna F, et al. Lack of causal relationship between dentinal microcracks and root canal preparation with reciprocation systems. *J Endod.* 2014;40(9):1447- 50.
15. Kfir A, Elkes D, Pawar A, Weissman A, Tsesis I. Incidence of microcracks in maxillary first premolars after instrumentation with three different mechanized file systems: a comparative ex vivo study. *Clin Oral Investig.* 2017;21(1):405- 11.
16. Yoldas O, Yilmaz S, Atakan G, Kuden C, Kasan Z. Dentinal microcrack formation during root canal preparations by different NiTi rotary instruments and the self-adjusting file. *J Endod.* 2012;38(2):232- 5.
17. Capar ID, Arslan H, Akcay M, Uysal B. Effects of ProTaper Universal, ProTaper Next, and HyFlex instruments on crack formation in dentin. *J Endod.* 2014;40(9):1482- 4.
18. De-Deus G, Belladonna FG, Marins JR, Silva EJNL, Neves A de A, Souza EM, et al. On the Causality Between Dentinal Defects and Root Canal Preparation: A Micro-CT Assessment. *Braz Dent J.* 2016;27(6):664- 9.
19. De-Deus G, Belladonna FG, Souza EM, Silva EJNL, Neves A de A, Alves H, et al. Micro-computed Tomographic Assessment on the Effect of ProTaper Next and Twisted File Adaptive Systems on Dentinal Cracks. *J Endod.* 2015;41(7):1116- 9.
20. Zuolo ML, De-Deus G, Belladonna FG, Silva EJNL da, Lopes RT, Souza EM, et al. Micro-computed Tomography Assessment of Dentinal Micro-cracks after Root Canal Preparation with TRUShape and Self-adjusting File Systems. *J Endod.* 2017;43(4):619- 22.
21. Cassimiro M, Romeiro K, Gominho L, de Almeida A, Costa L, Albuquerque D. Occurrence of dentinal defects after root canal preparation with R-phase, M-Wire and Gold Wire instruments: a micro-CT analysis. *BMC Oral Health.* 2017;17(1):93.
22. Kim H-C, Lee M-H, Yum J, Versluis A, Lee C-J, Kim B-M. Potential relationship between design of nickel-titanium rotary instruments and vertical root fracture. *J Endod.* 2010;36(7):1195- 9.
23. Saha SG, Vijaywargiya N, Dubey S, Saxena D, Kala S. Retracted: Evaluation of the incidence of microcracks caused by Mtwo and ProTaper NEXT rotary file systems versus the Self Adjusting File: A scanning electron microscopic study. *Int Endod J.* 2015;

24. Coelho MS, Card SJ, Tawil PZ. Visualization Enhancement of Dentinal Defects by Using Light-Emitting Diode Transillumination. *J Endod.* 2016;42(7):1110- 3.
25. Strawn SE, White JM, Marshall GW, Gee L, Goodis HE, Marshall SJ. Spectroscopic changes in human dentine exposed to various storage solutions — short term. *Journal of Dentistry.* 1996;24(6):417- 23.
26. Adorno CG, Yoshioka T, Suda H. The effect of root preparation technique and instrumentation length on the development of apical root cracks. *J Endod.* 2009;35(3):389- 92.
27. Arias A, Lee YH, Peters CI, Gluskin AH, Peters OA. Comparison of 2 canal preparation techniques in the induction of microcracks: a pilot study with cadaver mandibles. *J Endod.* 2014;40(7):982- 5.
28. Walia HM, Brantley WA, Gerstein H. An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. *J Endod.* 1988;14(7):346- 51.
29. Esposito PT, Cunningham CJ. A comparison of canal preparation with nickel-titanium and stainless steel instruments. *J Endod.* 1995;21(4):173- 6.
30. Dentsply Maillefer. ProTaper Universal - Outstanding performance time after time. 2006.
31. Dentsply Maillefer. Brochure ProTaperNext : Flexible performance. 2013.
32. Coltène. Coltene.- Endodontie Dental Catalog. 2017.
33. Micro-Mega. Brochure Micro-Mega : La solution One Shape® - L'atout simplicité en endodontie. 2016.
34. Roane JB, Sabala CL, Duncanson MG. The « balanced force » concept for instrumentation of curved canals. *J Endod.* 1985;11(5):203- 11.
35. Yared G. Canal preparation using only one Ni-Ti rotary instrument: preliminary observations. *Int Endod J.* 2008;41(4):339- 44.
36. SybronEndo. TF Adaptive - Rotary when you want it. Reciprocation when you need it. 2013
37. VDW. Reciproc - One file endo. 2012.
38. Dentsply Maillefer, Webber J, Machtou P. Clinical technique_WaveOne : The WaveOne single-file reciprocating system. 2011.
39. Kim H-C, Sung SY, Ha J-H, Solomonov M, Lee J-M, Lee C-J, et al. Stress generation during self-adjusting file movement: minimally invasive instrumentation. *J Endod.* 2013;39(12):1572- 5.

40. Metzger Z, Teperovich E, Zary R, Cohen R, Hof R. The self-adjusting file (SAF). Part 1: respecting the root canal anatomy--a new concept of endodontic files and its implementation. *J Endod.* 2010;36(4):679- 90.
41. Metzger Z. The self-adjusting file (SAF) system: An evidence-based update. *J Conserv Dent.* 2014;17(5):401- 19.
42. Santini M. Fundamentals and recent advances in X-ray micro computed tomography (microCT) applied on thermal-fluid dynamics and multiphase flows. *Journal of Physics: Conference Series.* 2015;655:012004.
43. Pelletti G, Cecchetto G, Viero A, Fais P, Weber M, Miotto D, et al. Accuracy, precision and inter-rater reliability of micro-CT analysis of false starts on bones. A preliminary validation study. *Leg Med (Tokyo).* 2017;29:38- 43.
44. De-Deus G, César de Azevedo Carvalhal J, Belladonna FG, Silva EJNL, Lopes RT, Moreira Filho RE, et al. Dentinal Microcrack Development after Canal Preparation: A Longitudinal in Situ Micro-computed Tomography Study Using a Cadaver Model. *J Endod.* 2017;43(9):1553- 8.
45. De-Deus G, Belladonna FG, Silva EJNL, Souza EM, Versiani MA. Critical appraisal of some methodological aspects of using micro-CT technology in the study of dentinal microcracks in endodontics. *Int Endod J.* 2016;49(2):216- 9.
46. P Lopes H, Gambarra-Soares T, Elias C, F Siqueira J, Inojosa I, S P Lopes W, et al. Comparison of the Mechanical Properties of Rotary Instruments Made of Conventional Nickel-Titanium Wire, M-Wire, or Nickel-Titanium Alloy in R-Phase. *Journal of endodontics.* 2013;39:516- 20.
47. Nazari A, Bajaj D, Zhang D, Romberg E, Arola D. Aging and the reduction in fracture toughness of human dentin. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2009;2(5):550- 9.
48. PradeepKumar AR, Shemesh H, Chang JW-W, Bhowmik A, Sibi S, Gopikrishna V, et al. Preexisting Dentinal Microcracks in Nonendodontically Treated Teeth: An Ex Vivo Micro-computed Tomographic Analysis. *J Endod.* 2017;43(6):896- 900.

Liste des annexes

Annexe 1 : bibliographie du corpus d'article extrait de PubMed concernant la problématique.

1. Zuolo ML, De-Deus G, Belladonna FG, Silva EJNL da, Lopes RT, Souza EM, et al. Micro-computed Tomography Assessment of Dentinal Micro-cracks after Root Canal Preparation with TRUShape and Self-adjusting File Systems. *J Endod.* avr 2017;43(4):619- 22.
2. Yoldas O, Yilmaz S, Atakan G, Kuden C, Kasan Z. Dentinal microcrack formation during root canal preparations by different NiTi rotary instruments and the self-adjusting file. *J Endod.* févr 2012;38(2):232- 5.
3. Yilmaz A, Helvacioğlu-Yigit D, Gur C, Ersev H, Kiziltas Sendur G, Avcu E, et al. Evaluation of Dentin Defect Formation during Retreatment with Hand and Rotary Instruments: A Micro-CT Study. *Scanning.* 2017;2017:4868603.
4. Wang S, Xu Y, Shen Z, Wang L, Qiao F, Zhang X, et al. The Extent of the Crack on Artificial Simulation Models with CBCT and Periapical Radiography. *PLoS ONE.* 2017;12(1):e0169150.
5. 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.* sept 2010;36(9):1455- 8.
6. Soros C, Zinelis S, Lambrianidis T, Palaghias G. Spreader load required for vertical root fracture during lateral compaction ex vivo: evaluation of periodontal simulation and fracture load information. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* août 2008;106(2):e64-70.
7. Shemesh H, Roeleveld AC, Wesselink PR, Wu M-K. Damage to root dentin during retreatment procedures. *J Endod.* janv 2011;37(1):63- 6.
8. Saha SG, Vijaywargiya N, Dubey S, Saxena D, Kala S. Retracted: Evaluation of the incidence of microcracks caused by Mtwo and ProTaper NEXT rotary file systems versus the Self Adjusting File: A scanning electron microscopic study. *Int Endod J.* 24 nov 2015;
9. Rose E, Svec T. An Evaluation of Apical Cracks in Teeth Undergoing Orthograde Root Canal Instrumentation. *J Endod.* déc 2015;41(12):2021- 4.
10. Peters OA, Arias A, Paqué F. A Micro-computed Tomographic Assessment of Root Canal Preparation with a Novel Instrument, TRUShape, in Mesial Roots of Mandibular Molars. *J Endod.* sept 2015;41(9):1545- 50.

11. Pedullà E, Genovesi F, Rapisarda S, La Rosa GRM, Grande NM, Plotino G, et al. Effects of 6 Single-File Systems on Dentinal Crack Formation. *J Endod.* mars 2017;43(3):456- 61.
12. Liu R, Hou BX, Wesselink PR, Wu M-K, Shemesh H. The incidence of root microcracks caused by 3 different single-file systems versus the ProTaper system. *J Endod.* août 2013;39(8):1054- 6.
13. Li S, Lu Y, Song D, Zhou X, Zheng Q, Gao Y, et al. Occurrence of Dentinal Microcracks in Severely Curved Root Canals with ProTaper Universal, WaveOne, and ProTaper Next File Systems. *J Endod.* nov 2015;41(11):1875- 9.
14. Kim H-C, Lee M-H, Yum J, Versluis A, Lee C-J, Kim B-M. Potential relationship between design of nickel-titanium rotary instruments and vertical root fracture. *J Endod.* juill 2010;36(7):1195- 9.
15. Kfir A, Elkes D, Pawar A, Weissman A, Tsesis I. Incidence of microcracks in maxillary first premolars after instrumentation with three different mechanized file systems: a comparative ex vivo study. *Clin Oral Investig.* janv 2017;21(1):405- 11.
16. Kesim B, Sagsen B, Aslan T. Evaluation of dentinal defects during root canal preparation using thermomechanically processed nickel-titanium files. *Eur J Dent.* juin 2017;11(2):157- 61.
17. Kansal R, Rajput A, Talwar S, Roongta R, Verma M. Assessment of dentinal damage during canal preparation using reciprocating and rotary files. *J Endod.* sept 2014;40(9):1443- 6.
18. Jamleh A, Komabayashi T, Ebihara A, Nassar M, Watanabe S, Yoshioka T, et al. Root surface strain during canal shaping and its influence on apical microcrack development: a preliminary investigation. *Int Endod J.* déc 2015;48(12):1103- 11.
19. Gergi RM, Osta NE, Naaman AS. Dentinal crack formation during root canal preparations by the twisted file adaptive, Reciproc and WaveOne instruments. *Eur J Dent.* déc 2015;9(4):508- 12.
20. De-Deus G, Silva EJNL, Marins J, Souza E, Neves A de A, Gonçalves Belladonna F, et al. Lack of causal relationship between dentinal microcracks and root canal preparation with reciprocation systems. *J Endod.* sept 2014;40(9):1447- 50.
21. De-Deus G, César de Azevedo Carvalhal J, Belladonna FG, Silva EJNL, Lopes RT, Moreira Filho RE, et al. Dentinal Microcrack Development after Canal Preparation: A Longitudinal in Situ Micro-computed Tomography Study Using a Cadaver Model. *J Endod.* sept 2017;43(9):1553- 8.

22. De-Deus G, Belladonna FG, Souza EM, Silva EJNL, Neves A de A, Alves H, et al. Micro-computed Tomographic Assessment on the Effect of ProTaper Next and Twisted File Adaptive Systems on Dentinal Cracks. *J Endod.* juill 2015;41(7):1116- 9.
23. De-Deus G, Belladonna FG, Marins JR, Silva EJNL, Neves A de A, Souza EM, et al. On the Causality Between Dentinal Defects and Root Canal Preparation: A Micro-CT Assessment. *Braz Dent J.* déc 2016;27(6):664- 9.
24. Çitak M, Özyürek T. Effect of different nickel-titanium rotary files on dentinal crack formation during retreatment procedure. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects.* 2017;11(2):90- 5.
25. Cassimiro M, Romeiro K, Gominho L, de Almeida A, Costa L, Albuquerque D. Occurrence of dentinal defects after root canal preparation with R-phase, M-Wire and Gold Wire instruments: a micro-CT analysis. *BMC Oral Health.* 2 juin 2017;17(1):93.
26. Capar ID, Arslan H, Akcay M, Uysal B. Effects of ProTaper Universal, ProTaper Next, and HyFlex instruments on crack formation in dentin. *J Endod.* sept 2014;40(9):1482- 4.
27. Bürklein S, Tsotsis P, Schäfer E. Incidence of dentinal defects after root canal preparation: reciprocating versus rotary instrumentation. *J Endod.* avr 2013;39(4):501- 4.
28. Bier CAS, Shemesh H, Tanomaru-Filho M, Wesselink PR, Wu M-K. The ability of different nickel-titanium rotary instruments to induce dentinal damage during canal preparation. *J Endod.* févr 2009;35(2):236- 8.
29. Ashraf F, Shankarappa P, Misra A, Sawhney A, Sridevi N, Singh A. A Stereomicroscopic Evaluation of Dentinal Cracks at Different Instrumentation Lengths by Using Different Rotary Files (ProTaper Universal, ProTaper Next, and HyFlex CM): An Ex Vivo Study. *Scientifica (Cairo).* 2016;2016:8379865.
30. Arias A, Lee YH, Peters CI, Gluskin AH, Peters OA. Comparison of 2 canal preparation techniques in the induction of microcracks: a pilot study with cadaver mandibles. *J Endod.* juill 2014;40(7):982- 5.
31. Adorno CG, Yoshioka T, Suda H. Crack initiation on the apical root surface caused by three different nickel-titanium rotary files at different working lengths. *J Endod.* avr 2011;37(4):522- 5.
32. Adorno CG, Yoshioka T, Suda H. The effect of root preparation technique and instrumentation length on the development of apical root cracks. *J Endod.* mars 2009;35(3):389- 92.
33. Abou El Nasr HM, Abd El Kader KG. Dentinal damage and fracture resistance of oval roots prepared with single-file systems using different kinematics. *J Endod.* juin 2014;40(6):849- 51.

Intitulé	Auteur	e de parat	Système endodontiques étudiés	Référence
The incidence of root microcracks caused by 3 different single-file systems versus the ProTaper system.	Liu R	2013	PTN/ OneShape/ REC/ SAF	(13)
The ability of different nickel-titanium rotary instruments to induce dentinal damage during canal preparation.	Bier CAS	2009	PTU / ProFile / SystemGT / S-Apex	(4)
On the Causality Between Dentinal Defects and Root Canal Preparation: A Micro-CT Assessment.	DeDeus G	2016	PTU	(18)
Occurrence of dentinal defects after root canal preparation with R-phase, M-Wire and Gold Wire instruments: a micro-CT analysis.	Cassimiro M	2017	PTN / K3XF / WOG	(21)
Micro-computed Tomography Assessment of Dentinal Micro-cracks after Root Canal Preparation with TRUShape and Self-adjusting File Systems.	DeDeus G	2015	PTN / TFA	(19)
Micro-computed Tomographic Assessment on the Effect of ProTaper Next and Twisted File Adaptive Systems on Dentinal Cracks.	DeDeus G	2017	TRUShape/ SAF/ BioRace/ REC	(20)
Lack of causal relationship between dentinal microcracks and root canal preparation with reciprocation systems.	DeDeus G	2014	REC / WO / BioRace	(14)
Incidence of microcracks in maxillary first premolars after instrumentation with three different mechanized file systems: a comparative ex vivo study.	Kfir A	2017	ProTaper / WO / SAF	(15)
Incidence of dentinal defects after root canal preparation: reciprocating versus rotary instrumentation.	Bürklein S	2013	REC/WO/Mtwo / PT	(8)
Evaluation of dentinal defects during root canal preparation using thermomechanically processed nickel-titanium files.	Kesim B	2017	PTN / REC / TFA	(7)
Effects of ProTaper Universal, ProTaper Next, and HyFlex instruments on crack formation in dentin.	Capar ID	2014	PTU/PTN/ Hyflex	(17)
Effects of 6 Single-File Systems on Dentinal Crack Formation.	Pedullà	2017	REC/ WO/ WOG/ OneShape/ Hyflex	(12)
Dentinal microcrack formation during root canal preparations by different NiTi rotary instruments and the self-adjusting file.	Yoldas O	2012	Limes Manuelles/ Hero Shaper / TFA / PT / SAF	(16)
Dentinal damage and fracture resistance of oval roots prepared with single-file systems using different kinematics.	Abou El Nasr HM	2014	WO / PTN	(5)
Dentinal crack formation during root canal preparations by the twisted file adaptive, Reciproc and WaveOne instruments.	Gergi RM	2015	TFA / WO / REC	(9)
Assessment of dentinal damage during canal preparation using reciprocating and rotary files.	Kansal R	2014	WO / PTN	(6)
A Stereomicroscopic Evaluation of Dentinal Cracks at Different Instrumentation Lengths by Using Different Rotary Files (ProTaper Universal, ProTaper Next, and HyFlex CM): An Ex Vivo Study.	Ashraf F	2015	PTU/ PTN / Hyflex	(11)

JAOUEN (Cyrille) - Micro-fractures dentinaires et instrumentations endodontiques nickel-titane : une revue bibliographique
(Thèse : 3^{ème} cycle Sci. Odontol : Strasbourg : 2018 ; N°61)
N°

Résumé :

Depuis plus de vingt ans, le nickel-titane est, grâce à ses propriétés mécaniques, l'alliage le plus utilisé pour l'exploration et l'instrumentation des canaux radiculaires dans les traitements endodontiques.

Les forces pariétales exercées par ces instruments permettent la mise en forme canalaire, mais induisent également des défauts dentinaires microscopiques appelés micro-fractures dentinaires. Qu'il s'agisse d'un traitement initial ou d'un retraitement endodontique, les dents mises en forme par des séquences Nickel-Titane (Ni-Ti) présentent un nombre de micro-fracture plus important que celles mises en forme par d'autres alliages. Bien que longtemps ignorées, ces micro-fractures pourraient avoir des conséquences néfastes sur l'intégrité de la dent comme la favorisation de l'apparition de fracture radiculaire qui sont encore malgré les progrès techniques une cause d'avulsion dentaire. La multiplication des séquences de mise en forme endodontique Ni-Ti mène à s'interroger sur leur capacité à former des micro-fractures les unes par rapport aux autres. Par exemple, des systèmes comme le ProTaper® et le OneShape® semblent induire d'avantage la formation de défauts que d'autres tel le Self-Adjusting File® ou le Reciproq®.

Cette thèse propose une revue critique de la littérature permettant de synthétiser les conditions d'apparition, le nombre et les conséquences des micro-fractures dentinaires et une comparaison des méthodes utilisées ainsi que des résultats obtenus dans les différentes études. Cette étude approfondie constituerait un pas supplémentaire vers la compréhension des causes de survenue des fractures radiculaires.

Rubrique de classement : Endodontie

Mots clés : *Micro-fractures*

Dentinaire

Instrumentation

Nickel-titane

Endodontie

Me SH : *Microcracks*

Dentinal

Instrumentation

Nickel-Titanium

Endodontics

Jury :

Président : Professeur MINOUX Maryline

Assesseurs : Professeur CLAUSS François

Docteur FIORETTI Florence

Docteur EHLINGER Claire

Membre invité : Docteur REITZER François

Coordonnées de l'auteur :

Adresse postale :

C. JAOUEN

18 rue de Saint-Dié

67100 STRASBOURG

Adresse de messagerie :

jaouencyrille@gmail.com