

**INCIDENCE DE LA PRÉPARATION CANALAIRE  
MÉCANIQUE SUR LA FORMATION DE  
MICROFISSURES DENTINAIRES**

THÈSE POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE  
DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

*Présentée  
et soutenue publiquement par*

**CAZOULAT Mathieu**  
Né le 4 mars 1991 à Dijon

*Le 5 décembre 2016 devant le jury ci-dessous*

*Président :* Madame le Professeur Fabienne PEREZ  
*Assesseurs :* Monsieur le Docteur Dominique MARION  
Monsieur le Docteur Xavier BOUCHET  
  
*Directeur de thèse :* Madame le Docteur Valérie ARMENGOL



UNIVERSITE DE NANTES  
UNITE DE FORMATION ET DE RECHERCHE D'ODONTOLOGIE

Année 2016

N°

**INCIDENCE DE LA PRÉPARATION CANALAIRE  
MÉCANIQUE SUR LA FORMATION DE  
MICROFISSURES DENTINAIRES**

THÈSE POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE  
DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

*Présentée  
et soutenue publiquement par*

**CAZOULAT Mathieu**  
Né le 4 mars 1991 à Dijon

*Le 5 décembre 2016 devant le jury ci-dessous*

*Président :* Madame le Professeur Fabienne PEREZ  
*Assesseurs :* Monsieur le Docteur Dominique MARION  
Monsieur le Docteur Xavier BOUCHET

*Directeur de thèse :* Madame le Docteur Valérie ARMENGOL

<b>UNIVERSITÉ DE NANTES</b>		
<b>Président</b>	Pr LABOUX Olivier	
<b>FACULTÉ DE CHIRURGIE DENTAIRE</b>		
<b>Doyen</b>	Pr AMOURIQ Yves	
<b>Assesseurs</b>	Dr LE BARS Pierre Pr SOUEIDAN Assem Pr WEISS Pierre	
<b>Professeurs des Universités Praticiens hospitaliers des C.S.E.R.D.</b>		
Monsieur AMOURIQ Yves Monsieur GIUMELLI Bernard Monsieur LESCLOUS Philippe	Madame LICHT Brigitte Madame PEREZ Fabienne Monsieur SOUEIDAN Assem Monsieur WEISS Pierre	
<b>Professeurs des Universités</b>		
Monsieur BOULER Jean-Michel		
<b>Professeurs Emérites</b>		
Monsieur BOHNE Wolf	Monsieur JEAN Alain	
<b>Praticiens Hospitaliers</b>		
Madame DUPAS Cécile Madame LEROUXEL Emmanuelle	Madame HYON Isabelle Madame GOEMAERE GALIERE Hélène	
<b>Maitres de Conférences Praticiens hospitaliers des C.S.E.R.D.</b>		
Monsieur AMADOR DEL VALLE Gilles Madame ARMENGOL Valérie Monsieur BADRAN Zahi Madame BLERY Pauline Monsieur BODIC François Madame DAJEAN-TRUDAUD Sylvie Madame ENKEL Bénédicte Monsieur GAUDIN Alexis Monsieur HOORNAERT Alain Madame HOUCHMAND-CUNY Madline Madame JORDANA Fabienne Monsieur KIMAKHE Saïd Monsieur LE BARS Pierre Monsieur LE GUEHENNEC Laurent Madame LOPEZ-CAZAUX Serena Monsieur MARION Dominique Monsieur NIVET Marc-Henri Madame RENARD Emmanuelle Monsieur RENAUDIN Stéphane Madame ROY Elisabeth Monsieur STRUILLOU Xavier Monsieur VERNER Christian	<b>Assistants Hospitaliers Universitaires des C.S.E.R.D.</b>	
	Monsieur AUBEUX Davy Madame BERNARD Cécile Madame BOEDEC Anne Monsieur BOUCHET Xavier Madame BRAY Estelle Madame CLOITRE Alexandra Monsieur DAUZAT Antoine Madame MAIRE-FROMENT Claire-Hélène Monsieur DRUGEAU Kevin Madame GOUGEON Béatrice Monsieur LE BOURHIS Antoine Monsieur LE GUENNEC Benoît Madame MAÇON Claire Madame MERCUSOT Marie-Caroline Monsieur PILON Nicolas Monsieur PRUD'HOMME Tony Monsieur SARKISSIAN Louis-Emmanuel	
<b>Maitre de Conférences</b>		
Madame VINATIER Claire		
<b>Enseignants Associés</b>		
Monsieur KOUADIO Ayepa (Assistant Associé) Madame LOLAH Aoula (MC Associé) Madame RAKIC Mia (PU Associé)	<b>A.T.E.R.</b>	
	Madame BON Nina	

Mise à jour le 01/10/2016

**Par délibération, en date du 6 décembre 1972, le Conseil de la Faculté de Chirurgie Dentaire a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'il n'entend leur donner aucune approbation, ni improbation.**

A Madame le Professeur **Fabienne PEREZ**

Docteur en Chirurgie Dentaire,

Professeur des Universités,

Praticien hospitalier des Centres de Soins, d'Enseignement et de Recherches Dentaires,

Docteur de l'Université de Toulouse III,

Habilitation à diriger des recherches,

Chef du département d'Odontologie Conservatrice-Endodontie,

Chef du service d'Odontologie Conservatrice et Pédiatrique.

**-NANTES-**

*Pour m'avoir fait l'honneur de présider ce jury de thèse,*

*Pour votre rigueur et vos conseils lors de la correction de cette thèse,*

*Veillez trouver ici l'assurance de mon profond respect et ma reconnaissance la plus sincère.*

A Madame le Docteur **Valérie ARMENGOL**

Docteur en Chirurgie Dentaire,  
Maître de conférences des universités,  
Praticien hospitalier des Centres de Soins, d'Enseignement, et de Recherches Dentaires,  
Docteur de l'Université de Nantes,  
Département d'Odontologie Conservatrice-Endodontie.

**-NANTES-**

*Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de diriger ma thèse,  
Pour m'avoir proposé ce sujet,  
Pour vos conseils, vos corrections et votre aide indispensables tout au long de ce travail,  
Pour votre implication, votre disponibilité et votre gentillesse,  
Pour tout ce que vous m'avez appris tout au long de mes études et la qualité de votre enseignement,  
Veuillez trouver ici l'expression de mon entière gratitude et de mes remerciements les plus sincères.*

A Monsieur le Docteur **Dominique MARION**

Docteur en Chirurgie Dentaire,

Maître de conférences des universités,

Praticien hospitalier des Centres de Soins, d'Enseignement, et de Recherches dentaires,

Département d'Odontologie Conservatrice-Endodontie.

**-NANTES-**

*Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de siéger dans ce jury de thèse,*

*Pour la qualité de votre enseignement,*

*Veillez trouver ici l'expression de mon entière gratitude et de mon profond respect.*



A Monsieur le Docteur **Xavier BOUCHET**

Docteur en Chirurgie Dentaire,  
Assistant hospitalo-universitaire des Centres de Soins, d'Enseignement, et de Recherche Dentaires,  
Docteur de l'Université de Nantes,  
Département d'Odontologie Conservatrice-Endodontie.

**-NANTES-**

*Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de siéger dans ce jury de thèse,  
Pour la qualité de votre enseignement clinique,  
Veuillez trouver ici l'expression de mon entière gratitude et de mon profond respect.*

## *Table des matières*

<b>Introduction .....</b>	<b>9</b>
<b>I. Généralités.....</b>	<b>10</b>
A. Endodonte et parodonte apical .....	10
B. Pathologie de l'endodonte .....	13
C. Le traitement endodontique.....	14
1. Indications et objectifs .....	14
2. Séquence du traitement endodontique .....	15
3. Les instruments .....	16
a. Les instruments en acier inoxydable .....	16
b. Les instruments en Nickel-Titane.....	17
i. Instrumentation séquentielle .....	18
ii. Instrumentation unique.....	19
4. La dynamique instrumentale.....	20
a. Mise en forme par rotation continue.....	20
b. Mise en forme par réciprocité.....	20
c. Mise en forme par mouvement hybride : Twisted Files Adaptive® .....	21
5. Les différents systèmes fréquemment analysés .....	22
<b>II. Analyse de la littérature.....</b>	<b>23</b>
A. Sélection d'articles et classement.....	23
B. Méthodologie.....	25
C. Comparaison des dynamiques et des systèmes .....	31
1. Manuel versus rotation continue et réciprocité.....	31
2. Réciprocité versus rotation continue.....	35
3. Instrument unique versus séquence instrumentale.....	40
4. TFA® versus rotation continue et réciprocité.....	42
<b>III. Discussion .....</b>	<b>45</b>
<b>IV. Conclusion.....</b>	<b>47</b>
<b>V. Références bibliographiques .....</b>	<b>48</b>
<b>VI. Table des illustrations .....</b>	<b>53</b>
<b>VII. Table des tableaux.....</b>	<b>54</b>
<b>VIII. Annexes .....</b>	<b>55</b>

## Introduction

La fracture radiculaire verticale (FRV) a été définie par Walton et coll. (1) comme un épisode clinique dévastateur ayant un mauvais pronostic à long terme, nécessitant éventuellement, l'extraction de la dent concernée. Elle peut affecter les dents saines ou traitées. Néanmoins, elle est une cause fréquente d'échec pour de nombreuses dents traitées endodontiquement. La prévalence élevée de FRV parmi ces dents a été initialement attribuée à la dentine déshydratée et moins élastique après le traitement endodontique (2). Pourtant, le principal facteur déclenchant une FRV ne peut être attribué à une perte d'eau.

Dans les années 90, des causes hypothétiques supplémentaires incluaient la position postérieure de la dent sur l'arcade, la corrosion, le design des spreaders, la taille de la racine, et la force excessive lors des procédures d'obturation par condensation latérale. Wilcox disait en 1997 (3) que l'interaction entre les forces appliquées sur la dent et ses caractéristiques morphologiques intrinsèques, pouvait jouer un rôle majeur dans la formation des FRV. Mais l'étiologie exacte des FRV n'était pas clairement déterminée.

Ce n'est que depuis 2009, que la relation entre la formation de microfissures et la préparation canalaire, ou les procédures d'obturation, est très suspectée par la communauté endodontique. Effectivement, les FRV sont probablement causées par la propagation d'un défaut dentinaire initial, tel que des « *crazy lines* » ou des microfissures.

L'utilisation d'une instrumentation nickel-titane mécanisée est devenue une règle pour la mise en forme canalaire. Les systèmes proposés sont nombreux, avec des designs, conicités et dynamiques variables. Or, selon plusieurs études récentes, cette instrumentation serait plus encline à provoquer le développement ou la propagation de microfissures dentinaires. Cette constatation semble soulever des interrogations. Quelle est réellement l'incidence de la préparation canalaire mécanique sur la formation de microfissures ? Toutes les dynamiques instrumentales provoquent-elles des microfissures ? Ces questions méritent une enquête et une réflexion scientifique approfondies.

# I. Généralités

## A. Endodonte et parodonte apical

D'après Courtois (1972), l'endodonte serait le contenu normal ou pathologique présent à l'intérieur de la chambre pulpaire et des canaux radiculaires (4). Pour d'autres, il comprendrait aussi la dentine, par opposition au parodonte.

La dentine et la pulpe de la dent se développent à partir de la papille dentaire. D'étroites relations structurelles et fonctionnelles existent entre les deux durant toute la vie de la dent, on parle de complexe dentino-pulpaire. Toutes les cellules de l'endodonte sont dans la pulpe, alors qu'on ne retrouve dans la dentine que des prolongements cellulaires odontoblastiques, des terminaisons nerveuses et les fibres de Tomes. De ce fait, les réactions tissulaires de la dentine dépendent grandement de l'activité des cellules de la pulpe. En revanche, des altérations dentinaires peuvent aussi sensiblement modifier des réactions pulpaires (5).

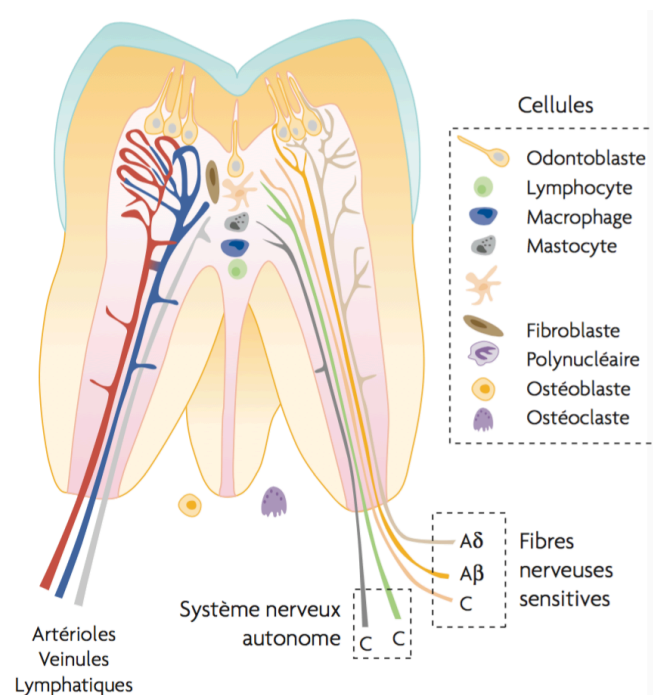


Figure 1 : Vue schématique des principaux constituants pulpaires (6).

La dentine représente le principal constituant de l'organe dentaire. Ce tissu minéralisé assure le support de l'organe et son élasticité. Elle est composée de 70% de cristaux d'hydroxyapatite, 20% de matrice organique constituée majoritairement de protéines (rôles de structure, signalisation et homéostasie) et 10% d'eau (6).

A l'interface entre dentine et pulpe se trouve la prédentine, qui constitue la phase non minéralisée à l'origine de la matrice dentinaire. Sa composition est quasiment semblable à celle de la dentine.

La dentine est constituée de différents types de collagènes, les types I, V et VI, mais aussi de nombreuses protéines non collagéniques.

C'est un tissu perméable traversé de tubuli, aussi appelés canalicules dentinaires. Ces canalicules contiennent le fluide dentinaire et le prolongement odontoblastique. Ils traversent de part en part la dentine, c'est-à-dire de la lumière canalaire à la jonction amélo-dentinaire.

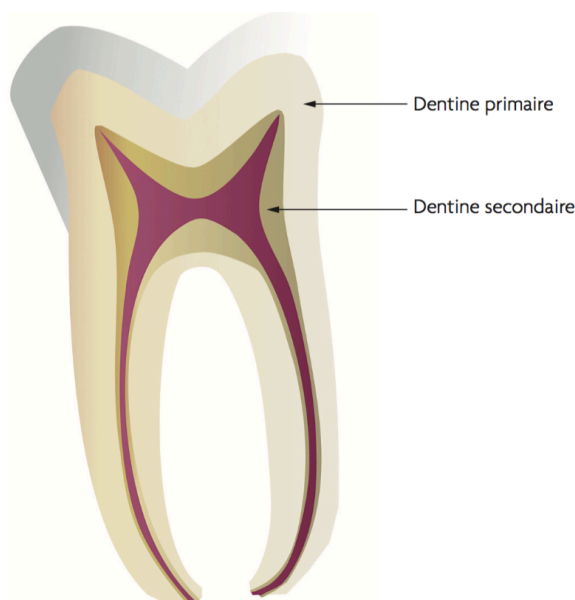


Figure 2 : Localisation histologique des deux types de dentine physiologique (6).

D'après Goldberg et Smith (2004), il existe 3 types de dentine (7) :

- La dentine primaire : Physiologique, elle est sécrétée dès le début du développement de la dent. Elle est responsable de la morphologie de la couronne et de la racine de la dent. Il s'agit de la « *mantle dentine* », car elle possède une structure sans canalicule.
- La dentine secondaire : Physiologique, elle est sécrétée après l'éruption de la dent ou après l'apexogenèse et tout au long du reste de la vie de la dent. Au cours du vieillissement, on observe une diminution progressive et asymétrique de la chambre pulpaire et du volume canalaire, due à cette dentinogenèse.
- La dentine tertiaire : Cicatricielle, elle est sécrétée suite à une agression externe comme une carie ou une abrasion. Elle a pour but de protéger la pulpe. Il existe deux situations de stress dentinaire différentes :
  - o Le stress modéré : C'est-à-dire ne menant pas à la destruction des odontoblastes. La dentine sera nommée « *dentine réactionnelle* ».
  - o Le stress intense : La survie des odontoblastes est alors compromise. La dentine sera nommée « *dentine réparatrice* ».

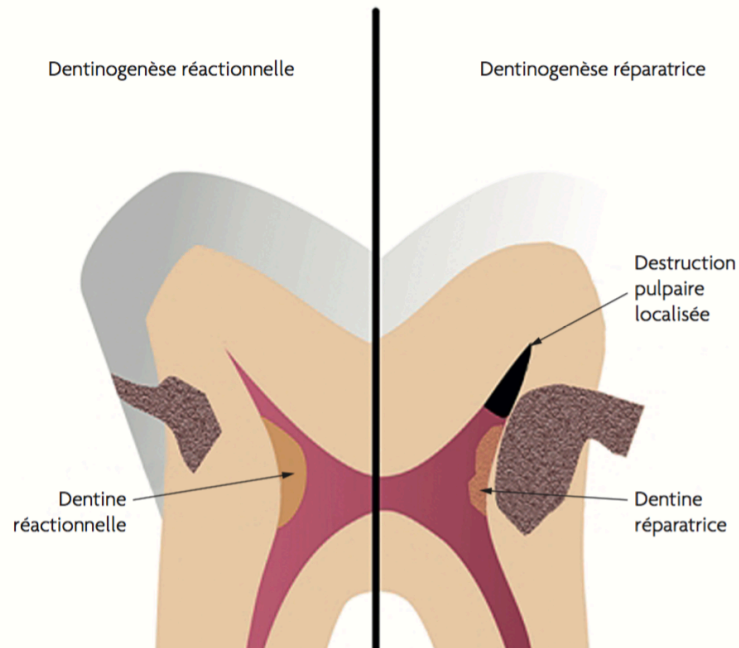


Figure 3 : Illustration des deux types de dentine tertiaire (6).

Quant au parodonte apical, il enveloppe l'apex radiculaire et est constitué du cément radiculaire, du desmodonte et de l'os alvéolaire. Le cément recouvre la surface radiculaire. C'est un tissu non innervé et avasculaire. Le desmodonte joint la dent à l'os alvéolaire, qui borde les alvéoles des dents. Il s'agit d'un tissu conjonctif dense, non calcifié et fibreux. Il est interposé entre le cément et l'os alvéolaire, et fait office de ligament articulaire. Il résiste aux forces fonctionnelles normales et forme donc un appareil suspenseur élastique de la dent (5,6).

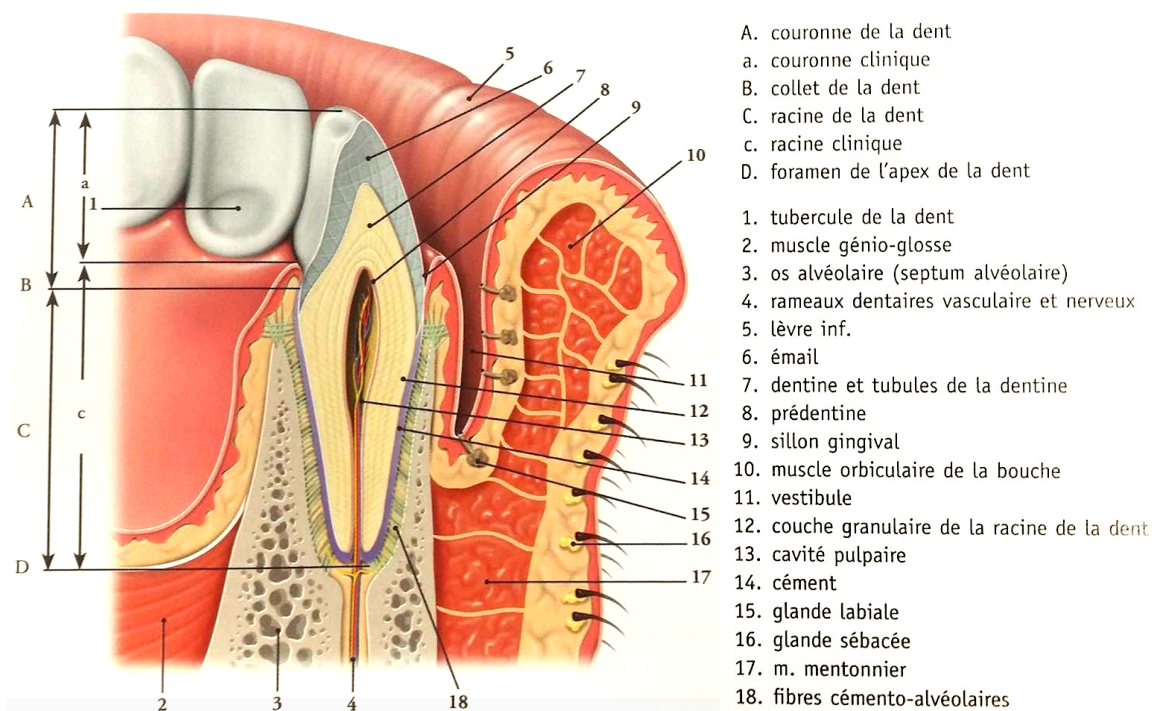


Figure 4 : La dent et son environnement en coupe sagittale (8).

## B. Pathologie de l'endodonte (6,9,10)

Une pulpe saine est cliniquement normale quand elle ne présente aucune douleur spontanée et que sa vitalité peut être mise en évidence par des tests de sensibilité pulpaire (froid, chaud, électrique). Ces tests doivent susciter une réponse brève et modérée.

Face à une irritation, la pulpe réagit selon un processus inflammatoire. L'indéformabilité du système canalaire s'oppose à un changement de volume de la pulpe lorsque celle-ci s'enflamme, ce qui provoque sa compression, responsable de douleurs. Une agression peut ainsi engendrer une hyperhémie pulpaire qui, si aucun traitement n'est instauré, évoluera en pulpite réversible puis en pulpite irréversible, et enfin en nécrose, qui finalement entraînera à long terme une parodontite apicale.

Une pulpe hyperhémique réagit par des douleurs provoquées au contact d'un facteur irritant tel que le froid, le sucre ou l'acidité. Ces réactions sont brèves et de faible amplitude. Il est souvent retrouvé une sensation douloureuse lors d'un stimulus froid. La pulpite réversible atteint la pulpe vivante et se caractérise par une symptomatologie provoquée, récente. La douleur est déclenchée par des changements de températures ou osmotiques, et elle cède à l'arrêt du stimulus. Si le facteur provoquant la pulpite réversible n'est pas traité, la pulpite devient irréversible. Elle est caractérisée par des douleurs lancinantes persistantes généralement spontanées, irradiantes, de longue durée et d'une intensité élevée. L'inflammation pulpaire irréversible aboutit ensuite à la nécrose pulpaire et transforme le système canalaire en une chambre de culture bactérienne, isolée des défenses de l'hôte. L'état de nécrose est synonyme de mort pulpaire, associée ou non à des lésions d'origine endodontique. On constate une absence de symptôme et de réponse aux tests de contrôle de la vitalité.

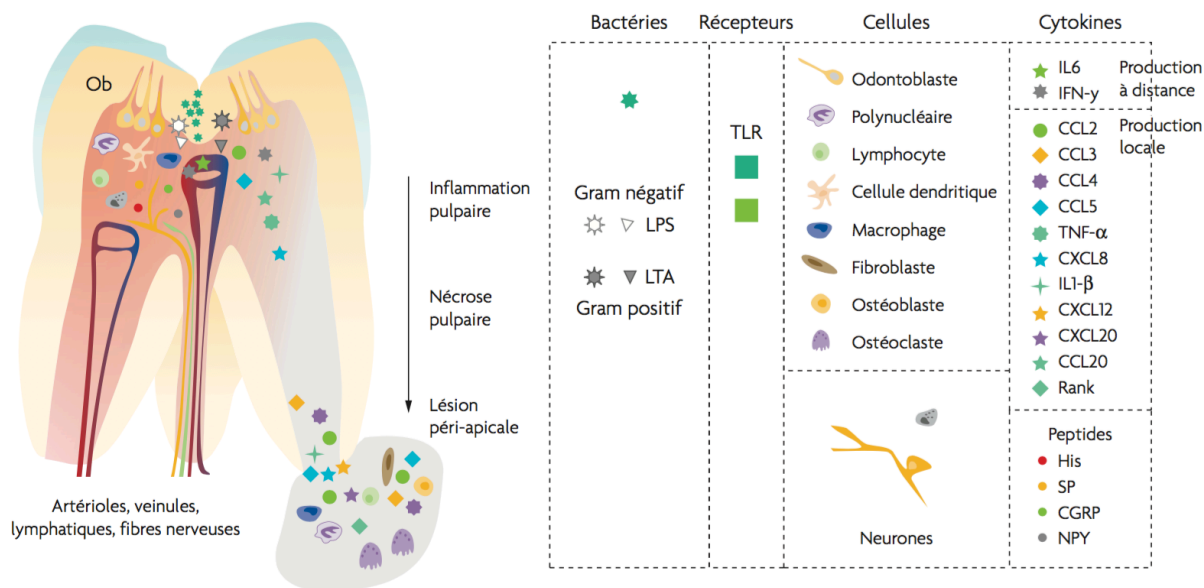


Figure 5 : Représentation schématique des réactions majeures induites par l'exposition bactérienne de la pulpe et des tissus péri-apicaux (6).

Les tubuli dentinaires sont donc envahis par les bactéries, qui migrent au niveau pulpaire en direction de l'apex radiculaire, entraînant des lésions du parodonte apical et latéral, par une diffusion à travers les voies de sortie du système endodontique. Lorsque le péri-apex est contaminé, on parle de parodontite apicale. C'est une lésion inflammatoire du parodonte profond péri-radiculaire, pouvant être aiguë ou chronique, dont le type et l'évolution dépendent de la virulence bactérienne mais aussi du potentiel de défense de l'hôte.

## **C. Le traitement endodontique**

### ***1. Indications et objectifs (6,9,11)***

Le traitement endodontique consiste à prévenir ou éliminer l'infection, par la suppression des bactéries et leurs toxines du système canalaire, mais aussi de tous les résidus pulpaires susceptibles de servir de supports et nutriments à la multiplication bactérienne. Afin de maintenir cette désinfection, il faut remplacer la pulpe ou ce qu'il en reste, dans un système canalaire sain, par une obturation étanche favorisant la cicatrisation.

D'après le rapport de la HAS de 2008 (12), le traitement endodontique est indiqué dans les situations suivantes :

- Pulpite irréversible ou pulpe nécrosée avec ou sans signes cliniques et/ou radiographiques de parodontite apicale.
- Pulpe vivante dans les situations cliniques suivantes : pronostic défavorable de la vitalité pulpaire, probabilité élevée d'exposition pulpaire au cours de la restauration coronaire n'autorisant pas le coiffage direct, amputation radiculaire ou hémisection.

Le traitement endodontique comprend donc la préparation et l'obturation canalaire. La préparation associe la mise en forme et l'irrigation. La mise en forme, assurée par l'instrumentation, conditionne la désinfection car elle doit permettre à la solution d'irrigation d'accéder à toutes les zones de l'espace canalaire, et particulièrement la zone apicale.

Les objectifs du traitement endodontique reprennent ceux décrits par Schilder en 1974 :

- Eradiquer la dentine infectée et toutes les substances organiques, mais préserver le maximum de dentine saine pour permettre le maintien sur l'arcade et le fonctionnement de la dent non vitale à long terme.
- Obtenir une conicité régulière, le respect de la trajectoire canalaire et le maintien d'un foramen apical étroit en position initiale.
- Obtenir une forme appropriée du canal principal afin de permettre la circulation de la solution d'irrigation, qui désinfecte le canal et dissout les débris organiques et minéraux.



- Assurer une obturation tridimensionnelle étanche à visée cicatricielle.
- Permettre la cicatrisation et le maintien de cet état au cours du temps.
- Restaurer fonctionnellement la dent.

## *2. Séquence du traitement endodontique (9,11)*

Voici chronologiquement les différentes étapes du traitement endodontique :

- Préalable :
  - Radiographie rétro-alvéolaire pré-opératoire.
  - Anesthésie locale ou loco-régionale.
  - Reconstitution pré-endodontique si nécessaire.
  - Isolation de la dent par la mise en place du champ opératoire.
- Cavité d'accès : visualisation des entrées canalaires, cavité de dépouille.
- Localisation et aménagement des orifices canalaires : accès direct des instruments aux canaux.
- Estimation de la longueur de travail sur la radiographie rétro-alvéolaire.
- Mise en forme canalair :
  - Cavité d'accès remplie d'hypochlorite de sodium (NaOCl).
  - Sondage, exploration avec une lime K de faible diamètre précourbée insérée jusqu'à blocage sans forcer (appréciation de l'anatomie endodontique, la perméabilité canalair, et les éventuelles difficultés).
  - Élimination des interférences coronaires avec les forets de Gates Glidden, ou Orifice Openers.
  - Détermination de la limite apicale de préparation : on définit la longueur de travail radiographiquement et/ou électroniquement (localisateur d'apex).
  - Mise en forme du canal et irrigation abondante à l'hypochlorite de sodium.
  - Préparation canalair apicale avec un diamètre apical minimum de 25/100<sup>ème</sup>.
- Désinfection par irrigation pendant et après la préparation :
  - Pendant : NaOCl 2,5 à 5%.
  - Après : Flush flow avec EDTA liquide 8 à 17%, et rinçage avec le NaOCl 2,5 à 5% ou avec du sérum physiologique.
- Séchage des canaux : cônes papiers stériles.
- Obturation canalair tridimensionnelle définitive compressive et composite (gutta-percha et ciment de scellement).
- Radiographie rétro-alvéolaire post-opératoire.
- Obturation coronaire étanche.

L'ampliation est l'étape clé qui conditionne l'irrigation et l'obturation du système endodontique. De ce fait, désinfecter et obturer un canal non préparé est impossible (13).

### 3. Les instruments

Les instruments d'endodontie sont fabriqués à partir d'acier inoxydable ou de Nickel-Titane (NiTi), et sont utilisés selon des techniques manuelles ou mécanisées.

#### a. Les instruments en acier inoxydable (6)

Le premier alliage métallique composant les limes était l'acier. Puis ont été rajoutés du carbone et du chrome pour augmenter les propriétés mécaniques et la résistance à la corrosion. On a ainsi obtenu l'acier inoxydable, un alliage de fer, carbone et chrome.

L'utilisation de ces instruments est polyvalente. En effet, ils aident à la négociation initiale ou la gestion d'une difficulté per-opératoire, mais aussi à la récapitulation lors de la préparation et la vérification de la finition apicale. Elles peuvent également être employées pour l'élargissement.

On retrouve couramment les limes K (pour Kerr) et les limes H (pour Hedström). Elles ont une conicité ISO fixe de 2%, la préparation résultante est donc peu conique. Il existe 3 types de longueur : 21, 25, 29mm. La partie active présente une longueur fixe de 16mm.

La lime K est faite d'un fil d'acier torsadé ou usiné, de section carrée ou triangulaire pour plus de flexibilité. C'est un instrument d'exploration initiale, de pénétration et de cathétérisme. Son efficacité de coupe est obtenue par un angle de coupe à 45° et un angle d'hélice à 40°.

La progression dans la lumière canalaire se fait par un mouvement 1/4 ou 1/8 de tour en rotation horaire/antihoraire ou en traction pure.



Figure 6 : Illustration du profil de la lime K (14).

La lime H est un instrument usiné qui a une morphologie de vis à bois avec une section en virgule. Très tranchante, elle sert essentiellement à l'élargissement et l'évacuation des débris organo-minéraux générés. Des points de rupture se trouvent au niveau de la base de chaque cône, elle est donc fragile. Le pas et la profondeur de coupe sont variables. L'efficacité de coupe est obtenue par un angle de coupe à 90° et un angle d'hélice à 60° en moyenne. Elle travaille avec un mouvement de traction et a une action double d'élargissement et d'évacuation du contenu canalaire



*Figure 7 : Illustration du profil de la lime H (14).*

Quelles sont les limites de ces limes ? Elles sont déformables dans les petits diamètres. Leur conicité et leur limite élastique sont faibles. Leur rigidité est exponentielle au diamètre de l'instrument, ce qui risque de provoquer une déviation de la trajectoire, une butée sur canaux courbes ou une déchirure apicale. Enfin, la formation de bouchon dentinaire (tassement de débris) est possible du fait de la dynamique instrumentale.

Toutefois, ces instruments facilitent, sécurisent et complètent toujours l'instrumentation NiTi mécanisée dans la pratique clinique.

#### **b. Les instruments en Nickel-Titane (15,16)**

Apparu dans les années 60, l'alliage Nickel-Titane a vivement séduit les chirurgiens-dentistes. Les premiers instruments NiTi étaient utilisés manuellement. Ils présentaient une flexibilité bien supérieure par rapport aux instruments en acier. A l'inverse, leur capacité de coupe était bien inférieure, en raison de leur conicité et flexibilité majorées. En conséquence, des équivalents mécanisés en NiTi ont été conçus, et l'apparition de la rotation continue a permis de remédier à ce manque d'efficacité de coupe.

L'alliage Nickel-Titane, aussi appelé 55-nitinol (Nickel-Titane Naval Ordnance Laboratory), fait partie de la famille des alliages à « mémoire de forme » (AMF). Il supporte une déformation réversible à partir d'une certaine température et sous une contrainte. Les instruments peuvent donc récupérer leur forme initialement définie, lorsqu'ils sont soumis à des contraintes mécaniques et thermiques adaptées. Si celles-ci sont excessives, l'instrument passe dans une phase plastique et la déformation devient permanente. La fracture de la lime est alors possible.

L'effet mémoire de forme repose sur un changement de phase cristallographique solide-solide entre un état austénite et un état martensite, sans variation de la composition chimique. C'est une transformation martensitique thermoélastique.

Les instruments d'endodontie, composés à 55% de Nickel et 45% Titane, possèdent les propriétés suivantes :

- Super-élasticité : Entre 23°C et 36°C, l'alliage passe de la phase austénite à la phase martensite. La déformation, par glissement cristallin, est élastique et réversible. Cette réversibilité autorise des

déformations temporaires d'environ 10%. Les instruments NiTi retrouvent leur forme sans dommage, tandis que la déformation des instruments en acier inoxydable est permanente dès une déformation temporaire de 1%.

- Super-flexibilité : L'alliage possède un module d'élasticité (E) faible. La flexibilité des instruments NiTi est égale à 4 fois celle de l'acier. Elle permet à la lime de suivre la trajectoire du canal, en raison de la faible force de rappel dans sa position d'origine. En augmentant de diamètre, les limes en acier perdent en flexibilité, tandis qu'elle est maintenue pour les instruments NiTi.

- Efficacité de coupe : Les instruments manuels en NiTi sont moins efficaces que leurs homologues en acier. Cependant l'efficacité de coupe augmente grâce à la rotation continue à vitesse lente et la conicité variable des instruments.

- Résistance à la fracture : Elle est augmentée par rapport à celle de l'acier. Cette résistance est conservée après plusieurs cycles de stérilisation. Des contraintes de tension (vers l'extérieur de la courbure) et compression (vers l'intérieur de la courbure) s'appliquent sur la lime dans les zones courbes. C'est pourquoi l'instrumentation mécanisée est déconseillée lors de fortes courbures.

La durée de vie des instruments est influencée par la sévérité de la courbure, la taille et la conicité de l'instrument, la vitesse de rotation et la dynamique instrumentale.

Grâce à ces propriétés, les instruments présentent une conicité majorée et de nouveaux profils instrumentaux. Ils permettent une préparation centrée et le maintien de la courbure canalaire initiale. La dynamique des instruments évolue en rotation continue ou en réciprocité. Au cours des dernières décennies, l'émergence de l'instrumentation rotative NiTi a transfiguré le traitement du canal radiculaire en apportant une diminution du temps de travail, un meilleur confort opératoire pour le praticien, l'amélioration de la qualité moyenne de la mise en forme canalaire et une meilleure reproductibilité (16,17). Il existe de nombreux systèmes NiTi se distinguant chacun par un comportement canalaire distinct, grâce à un angle, une section et un pas d'hélice singuliers (6). Ces instruments se présentent soit sous forme d'instrumentation séquentielle soit sous forme d'instrumentation unique.

### ***i. Instrumentation séquentielle***

La méthode sérielle est apparue en 1974, Schilder préparait la dent avec des limes précourbées de gros diamètre pour la portion coronaire et de petit diamètre pour la portion apicale. A l'époque, c'était très long à réaliser. Aujourd'hui, la séquence instrumentale comprend, selon les systèmes, 2 à 10 instruments.

Le séquençage est régi par un concept de référence, c'est le principe de préparation corono-apicale. Il s'agit de préparer la portion coronaire puis la portion apicale. Le crown-down fut décrit en 1980 par Marshall et Papin pour une préparation manuelle (18). Le nombre d'instruments est réduit. Chaque lime est dédiée à une portion canalaire.

De plus, le diamètre et la conicité des instruments utilisés diminuent au fur et à mesure de la progression en direction de l'apex. Cette technique permet d'accéder plus facilement à la zone apicale, en diminuant les contraintes coronaires (19). La mise en forme apicale n'est réalisée qu'après préparation et désinfection des portions coronaires et médianes. Cela permet de réduire le risque de formation de bouchons de débris dentinaires.

À partir des années 1990, le crown-down est associé à la rotation continue par un mouvement de rotation pure à 360°.

## ***ii. Instrumentation unique***

Développé à partir de 2010, l'instrument unique permet l'utilisation d'un seul instrument pour la mise en forme canalaire, une simplification du protocole et une optimisation ergonomique. Le temps de préparation est de ce fait légèrement diminué.

Les instruments sont présentés sous blister stérile et à usage unique. Ce conditionnement permet d'éviter une insuffisance de nettoyage lors de la stérilisation des instruments endodontiques, due aux irrégularités de surface. Celles-ci sont des « *microcracks* » qui empêchent le nettoyage complet des débris organiques. Effectivement, l'élimination complète des pathogènes est aujourd'hui impossible (20,21). Avec l'instrumentation à usage unique, le risque de contamination croisée est alors supprimé.

Réalisant à lui seul la mise en forme complète, l'instrument unique supporte d'importantes contraintes mécaniques comparé à un instrument conventionnel, utilisé pour une partie canalaire spécifique. C'est pourquoi, il est impératif de ne l'utiliser qu'une seule fois pour limiter tout risque de fracture. D'ailleurs, certains systèmes, comme le WaveOne® (Dentsply Maillefer) et le Reciproc® (Dentsply VDW), possèdent une bague de sécurité en plastique déformable qui se dilate à l'autoclave, empêchant leur réinsertion sur le contre-angle.

Le temps de préparation étant légèrement réduit, une partie du temps gagné lors de la phase instrumentale doit cependant être consacrée à optimiser l'irrigation, car, les performances cliniques restent directement liées au protocole de désinfection canalaire (22).

Le défaut majeur des instruments NiTi est leur fort taux de fracture, notamment par torsion. Par conséquent, certains instruments uniques (Reciproc® et WaveOne®) sont constitués d'un alliage spécifique NiTi : le M-WIRE (Memory-WIRE). Celui-ci est apparu avec le mouvement de réciprocité et l'instrumentation unique. Il est issu d'un traitement thermique différent (23) qui apporte une flexibilité et une résistance à la fatigue cyclique plus élevées que les alliages NiTi classiques. D'après certaines études (24–28), un respect accru de la trajectoire canalaire et une sécurité supérieure sont permis par ces instruments.

#### **4. La dynamique instrumentale**

L'instrumentation endodontique mécanisée nécessite une assistance motorisée, permettant un mouvement en rotation continue ou en réciprocité des instruments en acier ou en NiTi, à des vitesses variables.

##### **a. Mise en forme par rotation continue**

L'instrument tourne continuellement dans le sens horaire, à une vitesse lente et constante, comprise entre 250 et 800 tours par minute selon les systèmes, dans le but de couper la dentine. Cette vitesse contrôlée doit être fournie par un moteur électrique à couple constant pour maintenir l'alliage dans sa phase d'élasticité maximale (12).

La vitesse et le couple sont variables et propres à chaque système en fonction du design de la lime. Il est primordial de respecter la vitesse de rotation et le torque indiqués par le fabricant afin d'éviter les fractures. Il faut pour cela utiliser des contre-angles réducteurs d'endodontie ou des moteurs spécifiques (29,30).

##### **b. Mise en forme par réciprocité**

Ce concept, appelé « Mouvement Alternatif Transversal Asymétrique » (MATA), fut décrit par Yared en 2008 (31). Il est inspiré de la « technique des forces équilibrées » (32) proposée par Roane en 1985.

En voici les caractéristiques :

- Alternance de mouvement antihoraire (engagement = progression) et horaire (désengagement).
- Des mouvements asymétriques : la rotation antihoraire est plus importante (150-170°) que la rotation horaire (30-50°).
- Il évite le phénomène d'aspiration (vissage) connu en rotation continue.

Les instruments concernés sont apparus en 2010. Il s'agit du Reciproc® et du WaveOne®. Ils sont fabriqués à partir d'un alliage NiTi M-Wire et possèdent un pas inversé à gauche (22). Initialement, l'instrument fait un mouvement de rotation antihoraire, sens de coupe. Puis, immédiatement après, il passe en mouvement horaire pour se désengager du canal. En conséquence, il faut plusieurs cycles pour réaliser une rotation complète à 360°.

C'est la résistance en flexion de l'instrument qui permet de déterminer les angles de rotation horaire et antihoraire. Ceux-ci sont en effet calculés de manière à ne pas atteindre la limite élastique de l'instrument (33).

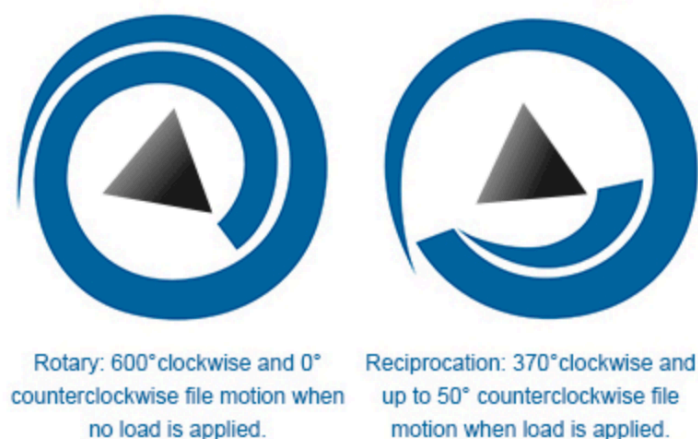
Cette dynamique diminue le risque de fracture par une diminution des forces subies par l'instrument. Elle induit significativement une meilleure résistance à la fatigue cyclique (34,35), et une durée de vie instrumentale prolongée.

### **c. Mise en forme par mouvement hybride : Twisted Files Adaptive® (36,37)**

Depuis 2008, la société Kerr fabrique ces instruments par torsion. Ils sont produits par une transformation du NiTi, à partir de la structure cristalline austénitique vers la structure cristalline super-élastique (R-phase), par un procédé de chauffage et de refroidissement.

C'est un système qui fonctionne par combinaison de la rotation continue et de la réciprocity. En fonction de la contrainte exercée sur la lime, le mode de rotation change. En dessous d'un seuil de stress, l'instrument a un mouvement de rotation pseudo-continue, c'est-à-dire une rotation ininterrompue de 600° horaire et 0° antihoraire. D'après le fabricant, cela permet une meilleure élimination des débris, un brossage continu et une diminution de l'effet de vissage.

Quand le stress instrumental est accentué, grâce au moteur, la lime passe en réciprocity, avec un mouvement de 370° horaire et 50° antihoraire. Les angles indiqués ne sont pas constants, ils varient selon l'anatomie du système endodontique et les contraintes instrumentales. Le moteur les adapte automatiquement afin de réduire le risque de fracture.



*Figure 8 : Présentation schématique de la section et de la dynamique des TFA® (38).*

### 5. Les différents systèmes fréquemment analysés

	PTU®	PTN®	Reciproc®	Wave One®	Mtwo®	One Shape®	ProFile®	Revo-S®	Hero Shaper®	TFA®	K3XF®	F360®
<b>Année</b>	2006	2012	2010	2010	2006	2012	1998	2008	2001	2008		2013
<b>Fabricant</b>	DM	DM	DVDW	DM	DVDW	MM	DM	MM	MM	SEndo	SEndo	Komet
<b>Unique</b>			X	X		X						X
<b>Séquence</b>	X	X			X		X	X	X	X	X	
<b>Réciprocité</b>			X	X						X		
<b>Rotation continue</b>	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X
<b>Nombre d'instruments</b>	5 à 8	2 à 5	1	1	4 à 10	1	4	4 à 6	2 à 4	1 à 3	3	1 à 4
<b>Angle et pas d'hélice variables</b>	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Non	Oui	Oui
<b>Conicité</b>	5 à 9%	4 à 7%	5 à 8%	6 à 8%	4 à 7%	6%	2 à 6%	4 à 6%	4 à 6%	4 à 6%	2 à 6%	4%
<b>Pointe passive</b>	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
<b>Conicité variable</b>	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non
<b>Diamètre</b>	0,18 à 0,50mm	0,17 à 0,50mm	0,25 à 0,50mm	0,21 à 0,40mm	0,10 à 0,60mm	0,25 à 0,37mm	015 à 0,90mm	0,20 à 0,40mm	0,20 à 0,45mm	0,20 à 0,50mm	0,15 à 0,60mm	0,25 à 0,55mm
<b>Vitesse de rotation</b>	150 à 350tr/min	300tr/min	300tr/min	300tr/min	250 à 350tr/min	350 à 450tr/min	250 à 350 tr/min	400t/min	400tr/min	500tr/min	300tr/min	250 à 350tr/min
<b>Section transversale</b>	Triangle - Convexe pour SF - Concave pour FF	Rectangulaire	En S	Triangle - concave pointe - convexe coronaire	En S	Variable : Triangle, transition et en S	Triangle concave	Triangle	Triangle	Triangle	Triangle concave	En S

Tableau 1 : Tableau récapitulatif des systèmes fréquemment étudiés et cités dans les articles sélectionnés.



## II. Analyse de la littérature

La microfissure dentinaire radulaire est un problème clinique difficile à diagnostiquer et à traiter. C'est l'une des causes les plus courantes de l'extraction de la dent. Des études de laboratoire ont lié la formation de fissures à certaines procédures d'endodontie de routine, à savoir la préparation canalaire, l'obturation et le retraitement.

L'instrumentation avec des rotatifs NiTi, ayant des arêtes de coupe vives et une conicité plus élevée que les limes en acier, produit des forces plus importantes sur la dentine. La préparation biomécanique l'endommage inévitablement en induisant des défauts comme des microfissures dentinaires. Celles-ci peuvent se transformer en fractures de la racine, réduisant à long terme le pronostic de la dent traitée. En effet, la propagation d'une fissure, qui se produit sous des charges répétées, pourrait entraîner la fracture de la racine. Néanmoins, on ignore aujourd'hui si les anomalies dentinaires même mineures peuvent conduire à des fractures profondes. Le consensus est que ces défauts doivent être évités.

D'un point de vue clinique, la détection de ces défauts dentinaires, tels que les « *crazy lines* » et microfissures, se produit habituellement seulement des années plus tard, ce qui conduit à la perte osseuse, un dysfonctionnement de la dent impliquée, et des douleurs. Ces défauts peuvent se développer en FRV, conduisant finalement à la perte des dents (39).

Le chirurgien-dentiste réalise quotidiennement des préparations canalaires mécaniques. L'instrumentation étant très variée, il serait intéressant de connaître l'incidence des différentes dynamiques et des différents systèmes sur la formation de microfissures dentinaires.

### A. Sélection d'articles et classement

Dans le but de répondre à notre problématique, nous avons décidé de sélectionner des articles récents, dont le sujet principal est la comparaison des différents systèmes et dynamiques de préparation canalaire dans la formation de défauts ou microfissures dentinaires.

Nous avons ainsi débuté la recherche documentaire sur différentes bases de données scientifiques (PubMed, Google Scholar, Science Direct...) en associant des mots clés tels que « *microcracks* », « *dentinal* » et « *root canal treatment* ». Puis, la bibliographie des différents articles sélectionnés nous a orienté vers d'autres articles du même sujet. Au final, nous avons conservé 22 articles originaux et récents, publiés de 2009 à 2015, étudiant la formation de microfissures selon les différents types de préparation canalaire mécanique.

Tous les articles choisis sont des études appelées « *ex vivo* », c'est-à-dire basées sur des dents humaines, idéalement fraîchement extraites. Les études n'étant pas « *in vivo* », nous les avons analysées et classées, en nous inspirant de la méthode de l'ANAES.

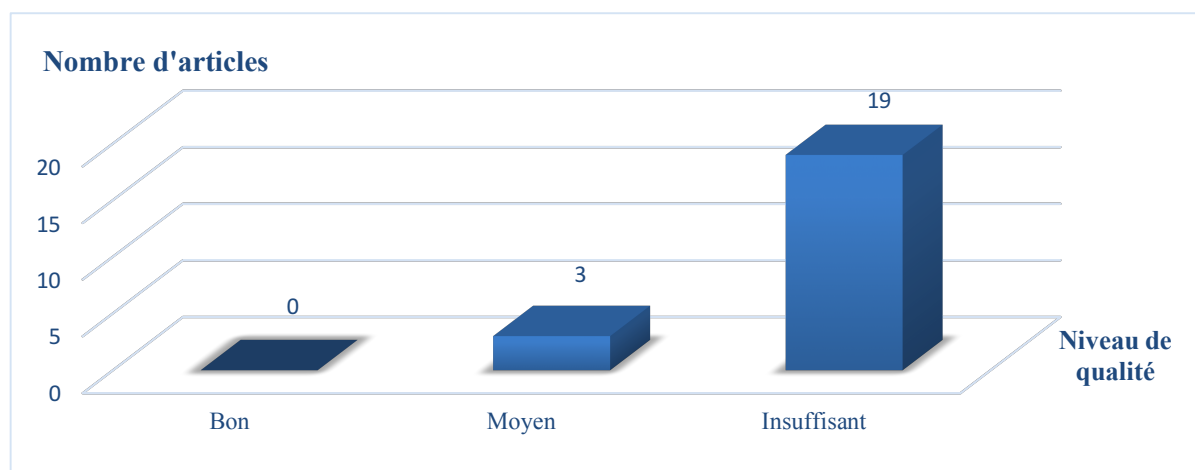
<b>CRITERES</b>	<b>OUI</b>	<b>NON</b>
Les objectifs sont clairement définis	(36,37,40–59)	
Le protocole est clairement et complètement décrit	(41,45,47,48,51–53)	(36,37,40,42–44,46,49,50,54–59)
L'étude est comparative	(36,37,40–59)	
L'étude comporte un groupe témoin	(37,41–59)	(36,40)
L'étude est randomisée	(36,42–44,46–48,51,53)	(37,40,41,45,49,50,52,54–59)
Les échantillons sont d'origine humaine	(36,37,40–59)	
Le nombre d'échantillons est important (>30)	(36,42,43,51,56)	(37,40,41,44–50,52–55,57–59)
Les résultats sont issus d'une analyse statistique	(36,37,40–59)	
Les résultats sont cohérents avec l'objectif	(36,37,40–59)	
Les résultats sont exploitables par le clinicien	(36,37,40–59)	

Tableau 2 : Analyse des études.

En suivant ces critères, nous avons classé les articles selon leur niveau de qualité :

- Bon : assimilé à une preuve scientifique établie.
- Moyen : assimilé à une présomption scientifique.
- Insuffisant : assimilé à un faible niveau de preuve scientifique.

De ce classement découle le diagramme suivant, permettant de voir la répartition des articles en fonction de leur niveau de qualité.



## B. Méthodologie (60)

Les 22 articles étaient des études comparatives, sur des racines de dents (cf tableau 3), idéalement fraîchement extraites, et conservées dans de l'eau distillée. Dans la majorité des études, elles ont été observées sous microscope et grâce à des radiographies, afin d'exclure les racines qui présentaient déjà des défauts dentinaires. La couronne des dents a quasiment toujours été sectionnée, à basse vitesse et sous spray d'eau, dans le but de standardiser la longueur de la racine traitée.

Type de dents	Référence
<b>Dents mandibulaires</b>	
Incisives mandibulaires	Bürklein et coll. (44); Helvacioğlu-Yigit et coll. (49); Karatas et coll. (37,52); Liu et coll. (54); Priya et coll. (57); Ustun et coll. (58)
Prémolaires mandibulaires	Bier et coll. (43); Capar et coll. (45); Hin et coll. (50); Kansal et coll. (51); Monga et coll. (56)
Molaires mandibulaires	Al-Zaka (40); Arslan et coll. (41); Ashwinkumar et coll. (42); Cicek et coll. (46); De-Deus et coll. (47,48); Gergi et coll. (36); Yoldas et coll. (59)
<b>Dents maxillaires</b>	
Incisives maxillaires	
Prémolaires maxillaires	
Molaires maxillaires	
<b>Non spécifié</b>	
Dents monoradiculées	Mavani et coll. (55)
Molaires	Li et coll. (53)

*Tableau 3 : Type des dents utilisées dans les études sélectionnées, sur la formation de microfissures dentinaires après préparation canalairre mécanique.*

Les critères de sélection des échantillons sont importants dans la réalisation des tests. Les dents humaines présentent une grande variabilité de morphologies radiculaires et canalaire, de structures dentinaires, de composition chimique et de propriétés mécaniques. Cela rend difficile la création d'une population fiable et comparable. Considérant que les canaux ont des formes transversales hétérogènes, une sélection des échantillons basée uniquement sur des critères de dents monoradiculées traduit une faible standardisation. Les résultats des procédures endodontiques peuvent ainsi être sur- ou sous-estimées, étant donné l'importance de la morphologie canalairre.

D'autre part, même si la sélection de dents provenant de la même zone sur l'arcade paraît être une bonne solution pour éviter le biais lié à la morphologie, des critères plus stricts sont nécessaires. Il faudrait par exemple aussi sélectionner les échantillons en fonction de leur forme canalairre (ronde ou ovale), mais c'est loin d'être une procédure standardisée. Le plus souvent, des radiographies en 2D sont réalisées, alors qu'il faudrait effectuer une reconstruction 3D (micro-CT par exemple), ce qui permettrait un appariement anatomique.

De plus, classer les échantillons en fonction de l'âge est un des aspects les plus importants dans la sélection, il est pourtant le plus négligé dans les études. Diverses recherches admettent que l'âge de la dent a un impact négatif sur sa solidité : plus la dent est âgée, plus l'endurance de la dentine serait limitée (61,62).

Il faut aussi noter, que les conditions de stockage, c'est-à-dire le traitement des dents immédiatement après extraction jusqu'au moment de l'utilisation comme échantillon et pendant l'expérience, sont essentielles. Très peu d'études renseignent le temps depuis l'extraction, et si elle est récente ou non. Il faut alors supposer que pour le plus grand nombre, la période d'extraction est inconnue des auteurs, ce qui nous rend sceptiques quant aux conditions de stockage des dents. La solution de stockage la plus employée dans les études était l'eau distillée, c'est un bon point. Le degré d'hydratation des échantillons est reconnu comme étant un facteur influençant la résistance des dents à la fracture. Pour rappel, la dentine est composée à 30% de matrice organique et d'eau. Elle se retrouve rapidement déshydratée en milieu sec.

Divisées en plusieurs groupes de systèmes différents, les racines ont ensuite été préparées par des instruments manuels et des instruments NiTi en rotation continue ou en réciprocity. Une irrigation au NaOCl a été réalisée entre chaque instrument (cf tableau 4). Toute lime a en moyenne été utilisée pour la préparation de 4 canaux.

Type et concentration	Quantité	Référence
<b>Informations non renseignées</b>		
Quantité non renseignée	2,5% NaOCl après chaque instrument	Al-Zaka (40); Cicek et coll. (46)
Concentration non renseignée	2mL NaOCl après chaque instrument Total de 12mL de NaOCl	Bürklein et coll. (44) Karatas et coll. (37)
<b>Informations renseignées</b>		
1% NaOCl	Total de 10mL par canal Total de 12mL par canal Total de 15mL par canal	Li et coll. (53) Capar et coll. (45); Priya et coll. (57) Kansal et coll. (51)
2% NaOCl	Total de 12mL par canal Total de 16mL par canal Total de 20mL par canal	Bier et coll. (43); Karatas et coll. (52) Hin et coll. (50) Liu et coll. (54)
2,5% NaOCl	2 mL après chaque instrument Total de 10mL par canal Total de 12mL par canal	Arslan et coll. (41) Ashwinkumar et coll. (42); Ustun et coll. (58) Yoldas et coll. (59)
3% NaOCl	Total de 16mL par canal 5mL après chaque instrument	Mavani et coll. (55) Monga et coll. (56)
5,25% NaOCl	1mL après chaque instrument 3mL après chaque instrument Total de 40mL	Helvacioğlu-Yigit et coll. (49) Gergi et coll. (36) De-Deus et coll. (47,48)

*Tableau 4 : Type, concentration et quantité de la solution d'irrigation utilisée dans les études sur la formation de microfissures après préparation canalaire.*

Mises à part dans 2 études (47,48), les racines ont été sectionnées perpendiculairement à l'axe longitudinal, à différents niveaux (le plus souvent à 3, 6 et 9mm de l'apex), à basse vitesse et sous spray d'eau pour éviter un échauffement. Chaque portion a été observée au microscope optique binoculaire (stéréomicroscope), ou au microscope électronique à balayage (MEB), et des photographies ont été prises (cf tableau 5). Dans la plupart des études, les portions ont été examinées par 2 observateurs, aveugles à l'égard des groupes expérimentaux. Ils ont contrôlé chaque image jusqu'à ce qu'il y ait un consensus entre eux.

Méthodologie	Référence		
Micro-Computed Tomography Sans contraste	De-Deus et coll. (47) (14,25 um) De-Deus et coll. (48) (14,16 um)		
Sectionnement + Microscope électronique à balayage (MEB)	Ashwinkumar et coll. (42) Cicek et coll. (46)		
Sectionnement + Stéréomicroscope (MO)	Al-Zaka (40) Arslan et coll. (41) Bier et coll. (43) Bürklein et coll. (44) Capar et coll. (45) Gergi et coll. (36) Hin et coll. (50) Kansal et coll. (51) Karataş et coll. (37) Karatas et coll. (52) Liu et coll. (54) Monga et coll. (56) Priya et coll. (57) Ustun et coll. (58) Yoldas et coll. (59)	X40 X15 X12 X25 X25 X25 X25 X12 X12 X25 X25 X20 X12 X25 X8 X40	
Sectionnement + Stéréomicroscope (MO) + colorant	Helvacioğlu-Yigit et coll. (49) Li et coll. (53) Mavani et coll.(55)	X24 en apical et X18,75 reste X60 X20	Bleu de méthylène 1%

*Tableau 5 : Méthodes d'observation utilisées dans les études sur la formation de fissures après différentes procédures d'endodontie.*

Comme la tomographie médicale conventionnelle, le micro-CT utilise les rayons X pour créer des sections d'un objet 3D, qui peuvent ensuite être utilisées pour recréer un modèle virtuel, sans pour autant détruire le modèle original. Il n'existe donc aucun biais quant à la préparation des échantillons avant l'observation, contrairement aux racines sectionnées et observées au MO ou MEB.

Le microscope électronique à balayage utilise un faisceau d'électrons de haute énergie pour générer des signaux à la surface d'échantillons solides et révéler des informations sur la morphologie externe, la composition chimique etc. Les données sont recueillies et une image 2D est générée. Les images sont de très haute résolution et révèlent des détails de moins de 1nm. Le MEB permet une large gamme de grossissements mais ne permet pas d'évaluer la gravité des microfissures, comme leur profondeur.

La plupart des études repose sur l'observation directe par un microscope optique, utilisant la lumière réfléchi. C'est un instrument qui utilise une ou plusieurs lentilles pour produire des images agrandies de petits objets.

La section des échantillons est la méthode la plus répandue, elle permet la visualisation directe de la surface dentinaire exposée. Ce système de coupe transversale comprend une lame diamantée fine (cf figure 9) pour scier progressivement la dent à basse vitesse, avec une irrigation abondante pour réduire la chauffe et les dommages structuraux. Il existe plusieurs systèmes de sciage, mais quelle que soit l'approche technique, une partie de l'échantillon est inévitablement perdue au cours du processus et occasionne une perte d'informations. Dans certaines études, les échantillons sont préalablement « noyés » dans une résine acrylique (cf figure 9), afin de permettre une meilleure manipulation et faciliter la coupe à 90° par rapport à l'axe longitudinal de la dent. Il s'agit d'une approche destructrice. Elle ne permet l'évaluation que de seulement quelques coupes par dent, avec la possibilité de manquer plusieurs défauts. Cette technique ne permet pas l'évaluation de microfissures qui se développeraient dans l'axe longitudinal de la racine.

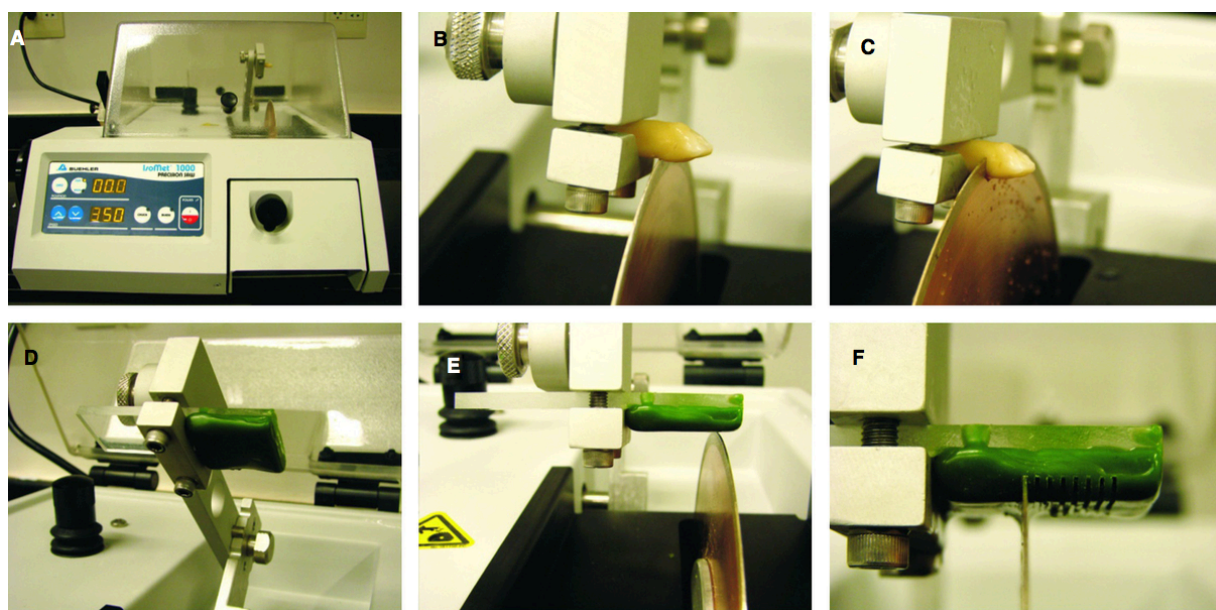


Figure 9 : (A) Machine conventionnelle de sciage à basse vitesse. (B,C) Procédure de sectionnement d'une canine mandibulaire. (D-F) Procédure de sectionnement de la dent à l'aide de résine acrylique (60).

Pour définir la présence de microfissure, 2 critères de notation ont globalement été introduits :

- Absence de défaut dentinaire : La dentine radiculaire est dépourvue de toute ligne ou de microfissures, que ce soit à la surface externe de la racine ou à la surface interne de la paroi du canal radiculaire.
- Présence de défaut dentinaire : Des « crazy lines », des microfissures ou des fractures sont présentes dans la dentine radiculaire (cf figure 8).



Figure 10 : Images obtenues par microscope optique binoculaire illustrant des défauts dentinaires (dans l'ordre : lignes, fissure partielle et fissure complète) (56).

Il y a encore confusion dans la littérature en ce qui concerne la définition des divers termes utilisés pour décrire les différents types de défauts dentinaires. Des terminologies distinctes devraient être respectées et reconnues pour définir la variété des types de microfissures, par exemple en fonction de la localisation, la direction ou l'étendue du défaut dentinaire. Cette absence d'accord sur le type, la variété, et la caractérisation des fissures peut conduire à des malentendus, à un diagnostic incorrect ou à un traitement inapproprié. « *Cracked* », « *crack* », « *defect* », « *fracture* », « *other defects* », « *incomplete crack* », « *complete crack* », « *craze line* », et d'autres termes sont parfois utilisés de manière interchangeable (cf tableau 6).

Nomenclature et Référence	Définition
No Crack (37,41,45,50,52,57) or No Defect (36,40,43,44,46,49,51,55,56,58,59)	Dentine radiculaire sans fissures ou lignes, que ce soit à la surface interne de la racine ou à la surface externe de la racine.
No Defect (42)	Dentine radiculaire dépourvue de toute ligne ou microfissure provenant de la lumière canalaire.
Cracked (53) or Defect	Toutes les lignes observées sur la section, qui s'étendent de la surface externe de la racine à la dentine ou de la lumière canalaire à la dentine. Cela inclut également les dents avec une fissure complète, définie comme étant une ligne allant de la lumière canalaire à la surface de la racine. Une racine fissurée ou défectueuse a été déterminée lorsqu'une fissure a été trouvée dans au moins 1 section.
Crack (41,45,50,57) or Defect (51)	Toutes les lignes observées sur la coupe, de la lumière canalaire à la dentine ou de la surface externe radiculaire à la dentine.
Crack (37,52) or Defect (40,55,59)	Toutes les lignes, microfissures, ou fractures dans la dentine radiculaire.
Defect (42,46)	Toutes les lignes, microfissures, ou fractures provenant de la lumière canalaire.
Crack (54)	Toute ligne de microfissure visible qui n'était pas présente dans l'image précédente.
Fracture (43,49,56,58) or Complete Crack (36,44,51) or Vertical Root Fracture	Une ligne partant de la lumière canalaire qui continue jusqu'à la surface externe de la racine.
Other Defect (43,49) or Incomplete Defect (58) or Craze Lines (36,44,53,56)	Toutes les autres lignes observées qui ne semblent pas s'étendre de la lumière canalaire à la surface de la racine (par exemple, les « crazy lines », des lignes allant de la surface extérieure dans la dentine, mais ne passant pas par la lumière du canal ; ou une « fissure partielle », une ligne se prolongeant à partir des parois du canal dans la dentine sans atteindre la surface externe de la racine).
Incomplete Crack (36,44,56)	Une ligne partant de la paroi du canal dans la dentine sans atteindre la surface extérieure.
Crack (Yes/No; Présence/Absence) (47,48)	Aucune définition n'a été fournie.

Tableau 6 : Définition des divers termes utilisés pour décrire les différents types de fissures dans la littérature (60).



## C. Comparaison des dynamiques et des systèmes

### 1. Manuel versus rotation continue et réciprocity

10 articles étaient des études comprenant un groupe de dents instrumentées en manuel, soit avec des limes en acier inoxydable, soit en NiTi. Parmi ceux-là, 9 études ont comparé l'instrumentation manuelle à la rotation continue, 7 articles l'ont comparée à la réciprocity.

4 articles (40,42,49,57) ont constaté des défauts dentinaires à la suite de la préparation manuelle, tandis que 6 articles (43,46,50,56,58,59) n'en ont observé aucun.

En 2012, l'étude de Al-Zaka (40), sur 80 premières molaires mandibulaires, comparait l'incidence des limes K en acier inoxydable aux systèmes WaveOne®, EndoSequence® et ProTaper Universal®. Sur 20 racines traitées en méthode manuelle, 1 seul défaut dentinaire fut observé, alors que les systèmes rotatifs ont tous produit plus de microfissures (respectivement 5/20, 2/20 et 10/20). Cependant, cette étude souffre de biais non négligeables, elle ne comporte pas de groupe de contrôle et le nombre d'échantillons est faible.

En 2013, l'étude de Ashwinkumar et coll. (42), sur 150 premières molaires mandibulaires, comparait l'incidence des limes K manuelles en NiTi, le système ProTaper Universal® en méthode manuelle, le système ProTaper Universal® en rotation continue et le système WaveOne® en réciprocity. Les groupes de contrôle et de préparation avec des limes K NiTi manuelles ne présentaient aucun défaut dentinaire aux 3 niveaux de la racine (3, 6 et 9mm). En revanche, des défauts ont été observés dans la dentine des racines instrumentées par les limes ProTaper Universal® en manuel, le système WaveOne®, et le système ProTaper Universal® en méthode rotative (cf tableau 7, fig 9 et 10). Selon cette étude, le système ProTaper Universal® a 2,32 fois plus de risque d'induire des microfissures en méthode rotative qu'en méthode manuelle (cf tableau 7, fig 11 et 12).

Groups	No. of samples with microcracks			
	Coronal section (n = 30)	Middle section (n = 30)	Apical section (n = 30)	Total (n = 90)
No preparation group	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>
Ni-Ti hand K-files	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>	0 <sup>a</sup>
ProTaper hand files	8 <sup>b</sup>	11 <sup>b</sup>	12 <sup>b</sup>	31 <sup>b</sup>
ProTaper rotary files	22 <sup>c</sup>	24 <sup>c</sup>	26 <sup>c</sup>	72 <sup>c</sup>
WaveOne Primary reciprocating files	9 <sup>b</sup>	12 <sup>b</sup>	14 <sup>b</sup>	35 <sup>b</sup>

Tableau 7 : Nombre de coupes avec des microfissures aux trois niveaux différents de la racine (42).

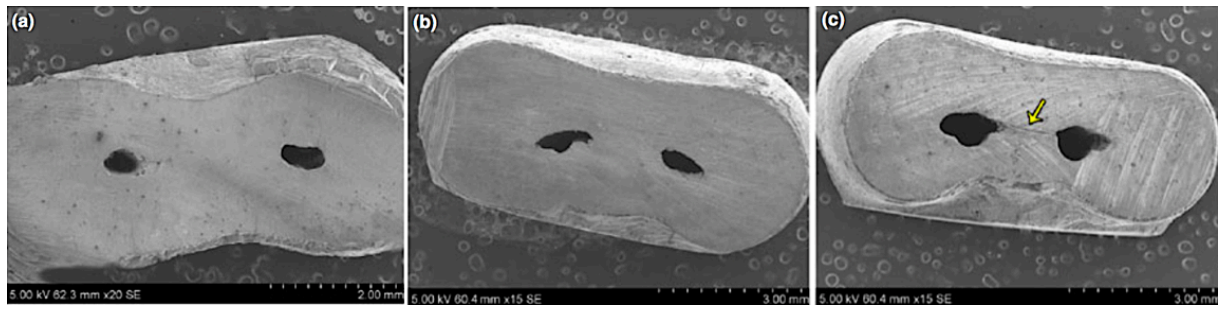


Figure 11 : Images obtenues par microscopie électronique à balayage de a - (Groupe sans préparation) ; b - (Groupe manuel limes K) ; c - (Groupe manuel limes ProTaper Universal®) (42).

Les résultats ont permis au groupe de recherche de conclure que les limes K NiTi (conicité 2%) ne produisent pas de microfissure, et que, le système ProTaper Universal® utilisé en rotation continue produit significativement ( $p < 0.05$ ) plus de microfissures qu'en utilisation manuelle.

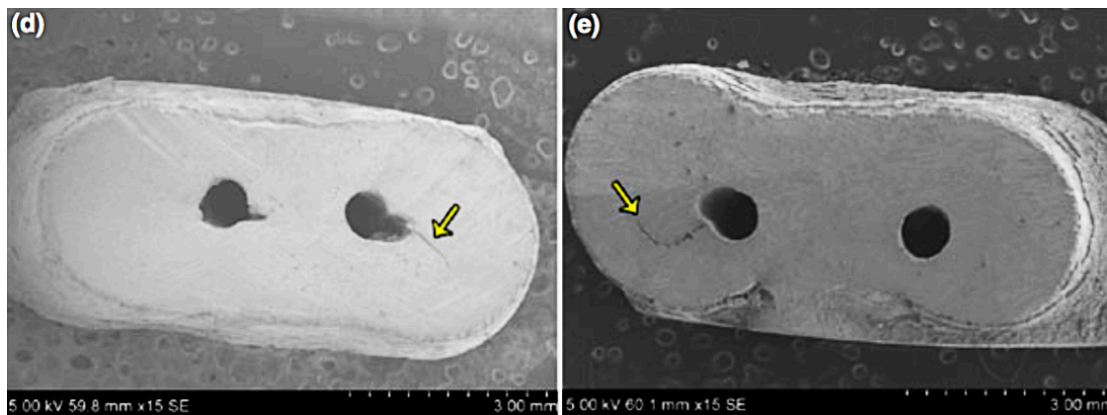


Figure 12 : Images obtenues par microscopie électronique à balayage de d - (Groupe ProTaper Universal® en rotation continue) et e - (Groupe WaveOne® en réciprocité) (42).

En 2015, l'étude de Helvacioğlu et coll. (49), sur 60 incisives mandibulaires, comparait l'incidence de deux systèmes fonctionnant en réciprocité (WaveOne® et Reciproc®) à l'instrumentation manuelle par des limes K en acier inoxydable (cf tableau 8).

Groups	Root levels		
	3 mm dentinal defect	6 mm dentinal defect	9 mm dentinal defect
Hand instrumentation $n = 15$	5	2	4
WaveOne® $n = 15$	5	5	2
RECIPROC® $n = 15$	7	5	1
Control	0	0	0
<i>P</i> value	0.032*	0.058	0.129

\* $p < 0.05$

Tableau 8 : Nombre de sections présentant des défauts dentinaires en fonction des coupes transversales et des systèmes (49).

Aucun défaut n'a été observé dans le groupe témoin. C'est le cas pour tous les articles sélectionnés incluant un groupe de contrôle, sauf un seul (41). Le fait qu'il n'y ait pas de microfissure nous laisse supposer que la méthode de sectionnement et la pré-préparation n'induisent pas de microfissures. Nous pouvons présumer que les défauts dentinaires observés sont le résultat des procédures de préparation canalaire instrumentale. Seule une fracture complète de la racine a été observée, c'était sur une coupe à 3mm dans le groupe instrumenté par le système Reciproc®. Tous les instruments ont provoqué des défauts dentinaires, sans différence significative entre les systèmes (cf tableau 8).

Dans cette étude, le groupe manuel a montré un nombre de microfissures inférieur ou égal aux groupes en réciprocité à 3 et 6mm. Par opposition, à 9mm, le groupe manuel présentait plus de défauts dentinaires (cf tableau 8). L'explication la plus plausible serait la conicité excessive des Gates Glidden utilisés dans des canaux étroits. Certaines études ont montré que ces forets ont l'inconvénient de réduire un peu trop l'épaisseur de la dentine résiduelle au niveau coronaire (63). Cette réduction excessive des tissus durs est également retrouvée lors de la préparation avec les systèmes utilisés en réciprocité, cela affaiblit la racine et la rend sujette aux microfissures et fractures (41).

D'autre part, les 10 articles ont rapporté des microfissures en rotation continue et/ou en réciprocité. La différence avec le groupe manuel était significative pour 9 d'entre eux (40,42,43,46,50,56-59).

Cependant, Bier et coll. (43), déduisaient en 2009 de leur étude que le S-ApeX® ne provoquait pas de défauts dentinaires. De même, d'après Yoldas et coll. (59), des limes rotatives comme le SAF® ne produisent pas de microfissures (54). En 2012, l'étude de Yoldas et coll., sur 140 premières molaires mandibulaires, comparait l'incidence de l'instrumentation manuelle, la rotation continue (HeroShaper®, Revo-S®, PTU®, TF®), et le SAF®. Le groupe témoin, le groupe manuel et le groupe SAF® n'ont présenté aucun défaut dentinaire. Tandis que des défauts étaient présents sur des portions de tous les groupes en rotation continue. Un cas seulement de fracture complète a été observé, et c'était dans le groupe PTU®. Les résultats montrent une différence significative entre le groupe instrumenté en méthode manuelle et les groupes en rotation continue (cf figure 13).

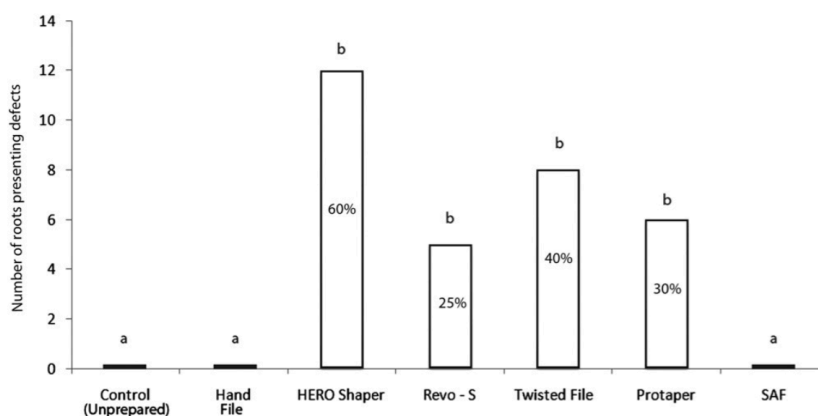


Figure 13 : Le pourcentage et le nombre de racines présentant un défaut en fonction des groupes. Ceux ayant la même lettre (a ou b) ne dénotent aucune signification statistique entre eux (59).

Voyons les caractéristiques du SAF®, qui peuvent expliquer ces résultats. Proposé en 2010, par Metzger (64), le SAF® a été présenté comme un système de mise en forme et nettoyage conçu pour un traitement endodontique mini-invasif. Il est composé d'une lime de préparation NiTi s'auto-ajustant au canal, et d'une pièce à main spéciale RDT fournissant un flux continu d'irrigant dans le creux de la lime. La pièce à main RDT est une tête de contre-angle spéciale qui empêche toute rotation de l'instrument lorsqu'il est en contact avec les parois canalaires. C'est une lime à usage unique associant simultanément la mise en forme canalaire tridimensionnelle et une irrigation continue durant toute la préparation (65). Le débit est en moyenne de 5mL/min. Il s'agit d'un cylindre creux flexible et compressible avec une pointe effilée et asymétrique, ce qui augmente la souplesse de l'instrument. Ce système facilite l'adaptation à la forme et au volume du système canalaire mais aussi la préparation des courbures canalaires (66–69). Les 2 diamètres (1,5 et 2mm) et 3 longueurs (21, 25 et 31mm) permettent de s'adapter à des situations cliniques différentes. Il faut en revanche préparer au minimum à un diamètre de 20/100 avant de pouvoir utiliser le SAF®. Ce n'est donc pas vraiment un système de mise en forme mais plus un complément à la préparation et l'irrigation. En 2013, Hin et coll. (50) ont tout de même observé 10% de microfissures à la suite de la préparation canalaire à l'aide du SAF® 2mm. Les auteurs ont émis l'hypothèse que le plus grand diamètre de l'instrument a donné lieu à plus de pression sur les parois canalaires et, par conséquent, au développement de microfissures.

D'après Cicek et coll. (46), cette différence entre le manuel et le rotatif pourrait être liée au contact entre l'instrument et les parois dentinaires. Ces contacts donnent lieu à de fortes concentrations de contraintes momentanées qui pourraient provoquer des microfissures à la surface du canal radiculaire. Leurs résultats renforcent l'idée que les instruments NiTi rotatifs endommageraient la dentine et créeraient des microfissures dentinaires.

De la même manière, Bier et coll. (43), ont rapporté que la préparation canalaire avec des systèmes rotatifs induit significativement plus de microfissures que les limes manuelles. Ils ont par ailleurs souligné une différence dans le nombre de microfissures engendrées par les différents systèmes en fonction de leur conception, notamment du design.

Du fait de l'absence globale de défauts retrouvés après préparation endodontique manuelle, nous pouvons supposer que les protocoles pré- et per-préparation communs aux groupes, tels que le sectionnement ou l'irrigation, ne provoquent pas de microfissures.

Il ressort de l'analyse de ces articles que très peu de microfissures dentinaires sont provoquées par l'instrumentation manuelle, que ce soit par des limes en acier inoxydable ou par des limes NiTi. Ceci est sans doute dû à une conicité inférieure et un mouvement moins agressif de la lime dans le canal. Beaucoup plus de rotations dans le canal sont nécessaires pour effectuer la préparation avec des limes rotatives par rapport aux limes manuelles (70). Effectivement, le niveau de concentration de stress généré sur la dentine (71) est supérieur avec les dynamiques en rotation continue et réciprocity.

Nous pouvons aussi supposer que la vitesse de préparation plus lente et la sensation tactile ont un impact positif. En outre, le volume total de la dentine éliminée lors de la préparation est significativement plus important avec les systèmes rotatifs NiTi en comparaison avec les limes manuelles. Ce volume est directement lié à la conicité de l'instrument. En 1997, Wilcox et coll. (3) disait déjà, « plus il y a de dentine enlevée, plus il y a de risque d'initier une fracture radiculaire ».

S'il est démontré que la méthode manuelle provoque moins de microfissures et défauts dentinaires, il faut toutefois penser à la meilleure efficacité des systèmes rotatifs dans le nettoyage et la mise en forme canalaire, qui affectent positivement le pronostic dentaire.

## ***2. Réciprocité versus rotation continue***

Parmi les 22 articles sélectionnés, 20 articles étaient des études comprenant au moins un groupe de racines instrumentées en rotation continue, et 16 quant à la réciprocité. Parmi ceux-là, 14 études (37,40,42,44,46,48,51–58) ont comparé la rotation continue à la réciprocité.

Tout d'abord, parmi toutes ces études, des microfissures ont été observées à la suite d'une préparation en réciprocité (WaveOne®, Reciproc® et ProTaper® F2). Par contre, comme évoqué précédemment, certaines rares études (43,47,48) n'ont pas observé de défauts à la suite d'une instrumentation en rotation continue.

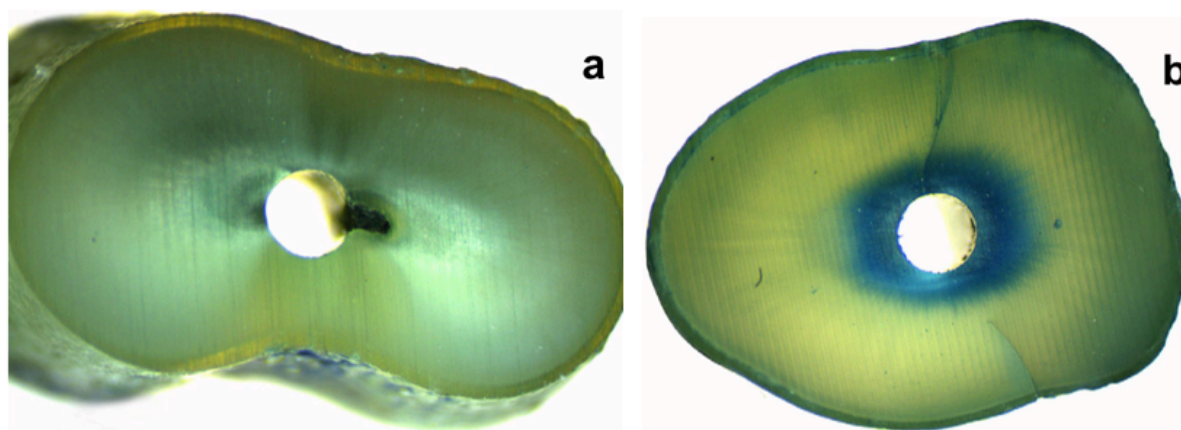
Parmi ces 14 études comparatives :

- Dans 9 articles (37,42,46,51,54–58), il a été observé au moins 1 groupe de racines traité en réciprocité présentant moins de microfissures que ceux en rotation continue.
- Dans 4 articles (40,44,52,53), le contraire a été remarqué. Au moins un groupe de racines instrumenté en rotation continue présentait moins de microfissures.
- Dans 1 article (48), il a été conclu qu'il n'y a pas le lien de cause à effet entre la préparation canalaire et la formation de microfissures dentinaires.
- Indépendamment des différentes sections, 10 articles (40,42,44,51–57) ont conclu à une différence significative entre un groupe de racines préparé par un système évoluant en réciprocité et un ou plusieurs groupes préparés par un système en rotation continue.
- Cela sous-entend aussi que les 4 autres études (37,46,48,58) ont conclu qu'il n'y avait pas de différence significative entre les groupes instrumentés en réciprocité et les groupes instrumentés en rotation continue.

Le système le plus analysé est le ProTaper Universal®, présent dans 13 études. Dans 11 études (37,40,42,46,51,52,54–58), ce système a provoqué plus de microfissures que le groupe de système en réciprocité, que ce soit le WaveOne® ou le Reciproc® et même le ProTaper F2®. Dans ces articles, nous remarquons qu'il s'agit du système en rotation continue produisant le plus de défauts dentinaires.

Tandis que dans les 2 études restantes (44,53), les systèmes WaveOne® et Reciproc® ont des résultats en faveur du système PTU®.

En 2013, l'étude de Bürklein et coll. (44), sur 100 incisives centrales mandibulaires, comparait l'incidence de deux limes uniques fonctionnant en réciprocity (WaveOne® et Reciproc®) et deux séquences instrumentales fonctionnant en rotation continue (Mtwo® et ProTaper Universal®). Les résultats montrent que le système Reciproc® est associé à plus de microfissures complètes que les systèmes Mtwo® et PTU®, mais qu'il n'y a pas de différence significative entre le Reciproc® et le WaveOne®. Au niveau de la section apicale (3mm), les systèmes Reciproc® et WaveOne® produisent aussi significativement plus de microfissures incomplètes que Mtwo® et ProTaper®. D'après l'auteur, les différences entre les limes testées peuvent être dues à leur conception transversale et à la technique de préparation. Les systèmes Mtwo® et Reciproc® ont une conception transversale identique en forme de S à arêtes vives, tandis que PTU® et WaveOne® sont caractérisés par une section transversale triangulaire (convexe ou concave selon la zone) traduisant une faible efficacité de coupe et moins d'espace disponible pour les débris. En effet, une augmentation de la capacité de coupe est généralement associée à un nettoyage amélioré et moins de contraintes appliquées sur la dentine (72). Le mouvement en réciprocity semble augmenter le transport des débris vers l'apex, contribuant à l'augmentation des forces de torsion appliquées sur la racine (73), ce qui expliquerait les résultats du Reciproc®.



*Figure 14 : Images obtenues par microscopie optique binoculaire illustrant a – (coupe à 6mm sans défaut dentinaire) et b – (coupe à 6mm montrant une microfissure complète et une autre incomplète) (44).*

En 2015, l'étude de Li et coll. (53), sur 60 molaires ayant des courbures radiculaires de 25 à 40°, comparait l'incidence des systèmes PTU®, WaveOne® et PTN®. Au total, PTU® a provoqué 25 défauts dentinaires, contre 29 pour le WaveOne® et 2 pour le PTN®. Néanmoins les résultats sont interprétés de la manière suivante. D'une part, l'utilisation de PTU® a provoqué significativement plus de microfissures complètes que WaveOne® et PTN®. D'autre part, PTU® et WaveOne® ont produit significativement plus de microfissures incomplètes par rapport à PTN®. Et il n'y avait pas de différence significative entre PTU® et WaveOne®.

Evoquée auparavant, la conicité des limes pourrait contribuer à la formation de microfissures dentinaires. Selon certains articles, plus la conicité augmente, plus les débris dentinaires augmentent et plus le risque de fracture s'accroît (3,74). Ici, les limes WaveOne® Primary et PTU® F2 ont des sections transversales triangulaires différentes, mais ont une conicité identique de 8% et un diamètre de 25/100 alors que la lime PTN® X2 a une conicité de 6%. Cette lime a aussi une forme rectangulaire décentrée, diminuant l'effet de vissage et le contact avec la dentine. Elle est composée d'alliage M-Wire, comme le WaveOne®.

Par ailleurs, après avoir noté le peu de défauts engendrés par le PTN® dans cette étude, nous avons observé ceux des autres études (37,46,55,57,58). Dans ces dernières, les résultats sont moins contrastés et ne montrent pas de différence significative par rapport aux autres systèmes testés. Par exemple, en 2015, l'étude de Karatas et coll., sur 75 incisives centrales mandibulaires, a conclu qu'il n'y avait pas de différence significative entre les systèmes après avoir étudié l'incidence du PTN®, PTU®, WaveOne® et TFA®.

Nous remarquons un biais dans ces études, elles comparent une séquence instrumentale en rotation continue à un instrument unique en réciprocity. Il serait maintenant intéressant d'analyser les résultats de la comparaison des systèmes WaveOne® et/ou Reciproc® aux systèmes OneShape® et/ou F360®. Ces derniers ont une dynamique instrumentale en rotation continue. Parmi les 14 articles, 3 d'entre eux (57,52,54) analysent ces systèmes.

L'étude de Liu et coll. (54), datant de 2013, sur 100 incisives mandibulaires, analysait l'incidence des systèmes PTU®, OneShape®, Reciproc® et SAF®. Les résultats ont montré que le Reciproc® et le SAF® ont produit significativement moins de microfissures que le PTU® et le OneShape®, qui ont provoqué respectivement 50% et 35% de microfissures chacun. Contrairement au Reciproc® qui a conduit à 5% de microfissures et aucune pour le SAF®. Le mouvement de réciprocity diminuerait les forces de torsion et de flexion (75), ainsi que le risque de fausses routes canalaires (34,76). Il a aussi été montré, selon certaines études, que la résistance à la fatigue cyclique est supérieure (77). Dans cette étude le Reciproc®, qui a une conicité de 8% et un diamètre de 25/100, a provoqué significativement moins de microfissures que le OneShape®, qui a une conicité de 6% et un diamètre de 25/100. Malgré le design et les sections transversales variables de ces limes, cette différence de résultat pourrait s'expliquer par la dynamique distincte des systèmes.

Les résultats sont semblables dans l'article de Priya et coll. (57), réalisé en 2014, sur 100 incisives centrales mandibulaires. La recherche comparait l'incidence des systèmes PTU®, PTN®, OneShape® et Reciproc®, chacun en rotation continue et en réciprocity. Les auteurs ont conclu que la mise en forme par réciprocity est meilleure que ce soit pour les séquences instrumentales (PTU® et PTN®) ou pour les instruments uniques (OneShape® et Reciproc®). Pourtant, il n'y avait pas de différence significative entre chaque paire de groupes (réciprocity - rotation continue). Concernant le OneShape®

et le Reciproc®, en rotation continue le OneShape® a produit très légèrement plus de microfissures que le Reciproc®, sans pour autant qu'il n'y ait de différence significative. En revanche, en réciprocité la différence était plus significative, en faveur du Reciproc®. Si l'on compare maintenant les 2 systèmes avec leur dynamique respective, le Reciproc® produisait en réciprocité significativement moins de microfissures que le OneShape® en rotation continue. Il faut cependant modérer ces résultats, étant donné le faible nombre d'échantillons par groupe (n = 10).

Il existe un autre système d'instrument unique travaillant en rotation continue, le F360®. En 2015, Karatas et coll. (52) l'ont comparé aux ProTaper Gold®, Profile Vortex®, Reciproc® et PTU®. Les résultats montrent que le F360® a produit 4% de microfissures, contre 11% pour le Reciproc®. Cependant il n'y avait pas de différence significative (cf tableau 9). Une fois de plus, les auteurs pensent que la conicité pourrait être le facteur causal, car le F360® a une conicité de 4%, contre 8% pour le Reciproc®. Toutefois, le groupe de racines instrumenté par le F360® a été pré-élargi par un PathGlider d'un diamètre de 15/100, ce qui n'est pas le cas des canaux instrumentés avec le Reciproc®. Les PathGliders ont pour rôle de sécuriser le canal et créer un couloir d'irrigation. Ceci permet une diminution des contraintes lors du passage de l'instrument de mise en forme canalaire et susciterait donc moins de microfissures.

	3 mm	6 mm	9 mm	Total cracks per group
Control	0/0% <sup>a</sup>	0/0%	0/0%	0/0% <sup>c</sup>
ProTaper Gold	2/13% <sup>a</sup>	1/7%	1/7%	4/9% <sup>ab</sup>
Profile Vortex	3/20% <sup>a</sup>	2/13%	2/13%	7/16% <sup>ab</sup>
F360	0/0% <sup>a</sup>	1/7%	1/7%	2/4% <sup>bc</sup>
Reciproc	0/0% <sup>a</sup>	1/7%	4/26%	5/11% <sup>ab</sup>
ProTaper Uni.	4/26% <sup>b</sup>	4/26%	2/13%	10/22% <sup>a</sup>
P value	0.043	0.218	0.278	0.010

Values with the same letters were not statistically different at P = 0.05.

Note that more than one crack per slices was possible.

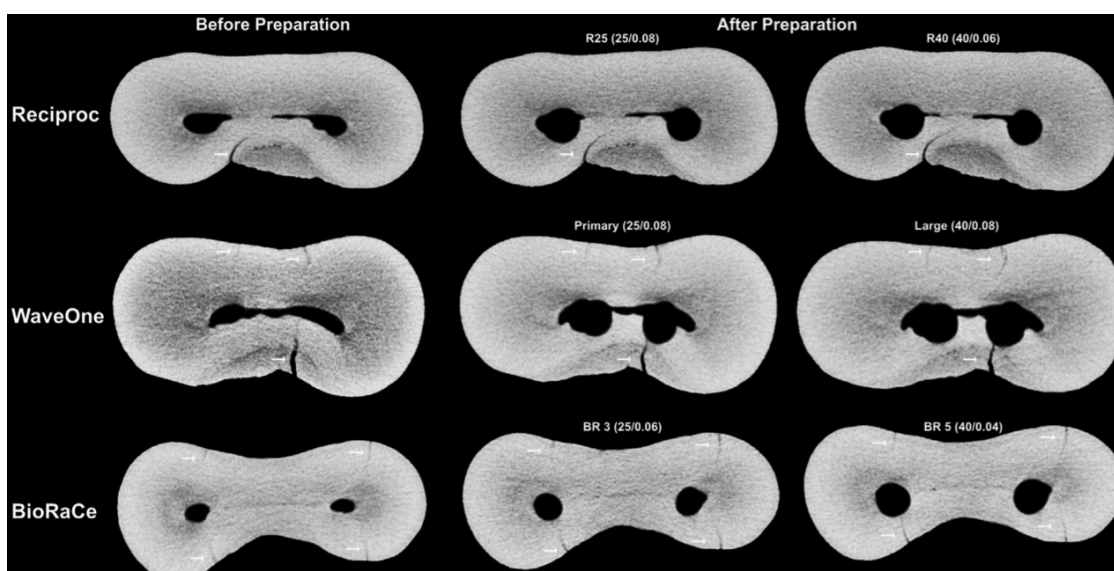
*Tableau 9 : Nombre et pourcentage de microfissures en fonction du niveau des coupes et du système utilisé (52).*

Il est important de s'arrêter sur la remarque sous le tableau. Les auteurs signalent que « plus d'une microfissure par coupe était possible ». Pour le Reciproc® à 9mm par exemple, 4 microfissures ont peut-être été retrouvées sur la même portion radiculaire, et donc une seule dent aurait été endommagée. Le calcul du pourcentage de microfissures en fonction du système est donc biaisé. Nous avons aussi observé ce fait dans d'autres articles (44,53).

Les résultats des études sont donc assez contradictoires. Mais globalement, les auteurs concluent que tous les systèmes rotatifs produisent des microfissures et que la différence réciprocité/rotation continue n'est pas significative.



Pourtant, d'après De-Deus et coll. (48), il n'y a pas de relation de cause à effet entre les microfissures dentinaires et la préparation canalaire mécanique. En 2014, ils évaluaient, sur 30 racines mésiales de molaires mandibulaires, la fréquence des microfissures observées après préparation canalaire avec 2 systèmes évoluant en réciprocity (WaveOne® et Reciproc®), et une séquence instrumentale (BioRace®) en rotation continue. Les racines ont une première fois été scannées avant préparation, puis une deuxième et troisième fois après que les préparations canalaires aient été réalisées aux diamètres 25/100 et 40/100, respectivement. Puis les 65 340 images, obtenues par microtomographie (micro-CT) ont été comparées et analysées pour identifier la présence de défauts dentinaires (cf figure 15). Au final, des microfissures dentinaires ont été observées à 8,72%, 11,01% et 7,91% des coupes dans les groupes Reciproc®, WaveOne® et BioRace®. Tous les défauts observés en post-opératoire étaient déjà présents sur les images pré-opératoires. Les auteurs ont en conséquence déduit qu'il n'y a pas de lien de cause à effet entre la préparation canalaire par les systèmes étudiés et la formation de microfissures.



*Figure 15 : Images des coupes de 3 racines mésiales de molaires mandibulaires montrant la présence de microfissures avant et après préparation des canaux vestibulaire et lingual avec les systèmes Reciproc®, WaveOne® et BioRace® (48).*

Ces résultats contredisent les précédentes études, en considérant que les microfissures présentes en post-opératoire étaient déjà présentes en pré-opératoire. De plus, même en augmentant le diamètre et la conicité des instruments utilisés, aucune nouvelle microfissure n'a été observée, que ce soit en réciprocity ou en rotation continue. Ceci est important, parce qu'il est évident qu'une préparation apicale plus large aura un meilleur impact dans la diminution de la charge bactérienne intra-canalair et des débris dentinaires. Nous discuterons en fin de quatrième sous-partie les enseignements à tirer de ces résultats.

### 3. Instrument unique versus séquence instrumentale

Ici, nous ne confronterons pas la séquence instrumentale manuelle. Lorsqu'il s'agit de comparer des limes manuelles en acier inoxydable ou NiTi à un système rotatif unique en réciprocité (WaveOne® et Reciproc®) ou en rotation continue (OneShape®), la différence est très majoritairement significative et en faveur du groupe manuel (cf 1).

Sur les 22 articles sélectionnés, 16 étudiaient la présence de microfissures dentinaires après préparation par une lime endodontique unique. Parmi ceux-là, 15 articles analysaient au moins un groupe de racines instrumentées par une lime unique comparé à un autre groupe de racines traitées par une séquence de limes (en manuel, rotation continue, ou TFA®).

Dans ces 15 études, 10 articles (40,42,44,51–57) soulignent une différence significative entre au moins un groupe instrumenté par une lime unique et un autre groupe par une séquence de limes. 5 études (37,46,48,49,58) ont trouvé une différence non significative entre les instrumentations unique et séquentielle.

D'après Cicek et coll. (46), il n'y avait pas de différence significative entre les systèmes WaveOne®, PTU® et PTN®. Karatas et coll. (37) concluaient aussi, en 2015, à une différence non significative entre les systèmes PTU®, PTN®, WaveOne® et TFA®. De même pour Ustun et coll. (58), PTU®, PTU® F2, Reciproc® et PTN® n'étaient pas non plus significativement différents dans la production de microfissures (cf tableau 10).

Groups (n=20)	Root thirds								
	Coronal section			Middle section			Apical section		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
ProTaper	17	2	2	17	3	-	19	1	-
F2 - only	17	3	-	17	3	-	20	-	-
Reciproc	19	1	-	19	1	-	20	-	-
ProTaper next	16	4	-	17	2	1	20	-	-
Hand instrumentation	20	-	-	20	-	-	20	-	-
Control	20	-	-	20	-	-	20	-	-

T1, T2, T3 are the acronyms for microcrack types: Type 1, Type 2, Type 3 as respectively. T1 represents no defect, T2 represents incomplete defects; craze line or microcrack that not extend from root canal surface to the outer surface of the root and T3 means fracture

Tableau 10 : Quantité de chaque type de microfissures pour chaque groupe à chaque tiers radiculaire (58).

En 2014, Priya et coll. (57), concluaient « les systèmes dotés de séquence instrumentale montrent moins de microfissures que ceux dotés d'une lime unique ». En effet, un instrument unique génère plus de stress sur la dentine lors de la préparation canalaire.

Mavani et coll. (55), comparaient les systèmes PTU®, Mtwo®, K3XF®, PTN® et WaveOne®. Ils ont conclu que le WaveOne® produisait significativement moins de microfissures que PTU® et Mtwo, mais que la différence n'était pas significative avec les systèmes K3XF® et PTN® (cf figure 16). Cette différence significative entre un instrument unique et PTU® a aussi été retrouvée dans d'autres études (40,42,51,52,54,56).

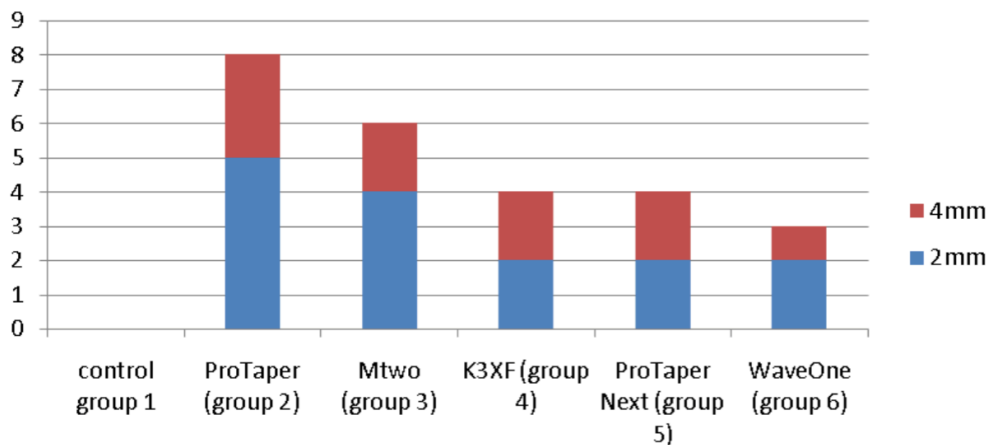


Figure 16 : Nombre total de dents présentant des microfissures selon le niveau, avec différentes techniques d'instrumentation (55).

Liu et coll. (54), ont observé une différence significative entre le Reciproc® (5% de microfissures) et les systèmes OneShape® (35%) et PTU® (50%). La différence n'était par contre pas significative entre le OneShape® et le PTU®.

Les études sont assez contradictoires. Cependant, lors de la comparaison d'une séquence instrumentale à un instrument unique (en rotation continue ou réciprocity), la différence est globalement non significative. Les cas où la différence est significative sont souvent ceux où PTU® a produit beaucoup plus de microfissures. Certains systèmes engendrent plus de défauts dans certaines études, mais il faudrait des échantillons bien plus conséquents et de nombreuses études pour en faire un consensus. D'après ces articles, quasiment tous, sinon tous les systèmes produisent des microfissures, peu importe leur dynamique.

#### 4. TFA® versus rotation continue et réciprocity

3 articles étaient des études comprenant un groupe de racines instrumenté par des TFA®.

En 2015, Karatas et coll. (37) comparaient, sur 75 incisives centrales mandibulaires, l'incidence du PTN®, PTU®, WaveOne® et TFA®. Les résultats n'ont pas démontré de différence significative entre les groupes. En regardant les groupes de sections (3, 6 et 9mm), il n'y avait pas de différence significative entre les groupes expérimentaux à 6 et 9mm. Mais il y en avait une à 3mm, les systèmes PTN® et TFA® ont produit, à ce niveau, significativement moins de microfissures que PTU® et WaveOne® (cf tableau 11). Les auteurs expliquent ce résultat par la conicité des instruments. Le WaveOne® Primary et PTU® F2 ont tous les deux une conicité de 8% au niveau du tiers apical alors que le PTN® X2 et le TFA® SM2 ont une conicité de 6%.

	Absolute number of cracks (%)			Total cracked roots per group
	3 mm	6 mm	9 mm	
Control	0 (0) <sup>b</sup>	0 (0)	0 (0)	0 (0) <sup>b</sup>
ProTaper Universal	6 (40) <sup>a</sup>	5 (33)	6 (40)	17 (37.7) <sup>a</sup>
ProTaper Next	1 (6) <sup>b</sup>	6 (40)	4 (26)	15 (33.3) <sup>a</sup>
WaveOne	6 (40) <sup>a</sup>	4 (26)	5 (33)	15 (33.3) <sup>a</sup>
TF Adaptive	1 (6) <sup>b</sup>	5 (33)	7 (46)	13 (28.8) <sup>a</sup>
<i>P</i> value	.004	.112	.052	.000

Values with same superscript letters were not statistically different at  $P = .05$ .

Tableau 11 : Nombre et pourcentage de microfissures aux différents niveaux de coupe en fonction du système endodontique (37).

En 2015, l'étude de Gergi et coll. (36), sur 90 molaires mandibulaires avec une courbure de la racine mésiale inférieure à 25°, comparait 2 systèmes en réciprocity (Reciproc®, WaveOne®) aux TFA®. Dans l'ensemble, le système Reciproc® a produit significativement plus de défauts dentinaires que le WaveOne® et les TFA®. Néanmoins, il n'y avait pas de différence entre le WaveOne® et les TFA®, même si les TFA® avaient produit moins de défauts (2 contre 12) (cf tableaux 12 et 13).

	Apical third	Middle third	Coronal third	Total
Reciproc ( $n=30$ )	4 (13.3) <sup>a</sup>	0 (0.0)	0 (0.0)	4 (4.4) <sup>a</sup>
WaveOne ( $n=30$ )	0 (0.0) <sup>b</sup>	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0) <sup>b</sup>
TFA ( $n=30$ )	0 (0.0) <sup>b</sup>	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0) <sup>b</sup>
<i>P</i>	0.032	1.000	1.000	0.035

Values with the same superscript letter were not statistically different, TFA: Twisted File Adaptive

Tableau 12 : Nombre et pourcentage de microfissures complètes aux différents niveaux de coupe (36).

	Apical third	Middle third	Coronal third	Total
Reciproc (n=30)	12 (40.0) <sup>a</sup>	4 (13.3) <sup>a</sup>	0 (0.0)	16 (17.8) <sup>a</sup>
WaveOne (n=30)	12 (40.0) <sup>a</sup>	0 (0.0) <sup>b</sup>	0 (0.0)	12 (13.3) <sup>a</sup>
TFA (n=30)	2 (6.7) <sup>b</sup>	0 (0.0) <sup>b</sup>	0 (0.0)	2 (2.2) <sup>b</sup>
<i>P</i>	0.004	0.032	1.000	0.003

Values with the same superscript letter were not statistically different, TFA: Twisted File Adaptive

Tableau 13 : Nombre et pourcentage de microfissures incomplètes aux différents niveaux de coupe (36).

En 2015, De-Deus et coll. (47), évaluaient, sur 20 racines mésiales de molaires mandibulaires, la fréquence de microfissures dentinaires observées après préparation avec PTN® et les TFA®. Les racines ont été numérisées, grâce à la tomographie micro-CT, avant et après préparation canalaire. De ce fait, 25 820 coupes ont été analysées. Parmi celles-ci, 38,72% et 30,27% de microfissures ont été observées dans les groupes PTN® et TFA®, respectivement. Et tous les défauts dentinaires présents après préparation canalaire étaient déjà présents dans les images pré-opératoires (cf figure 17). Les auteurs en ont donc conclu que la préparation canalaire avec PTN® et TFA® n'a pas induit la formation de nouvelles microfissures dentinaires. Ces résultats sont en accord avec ceux de leur précédente étude, citée antérieurement (48).

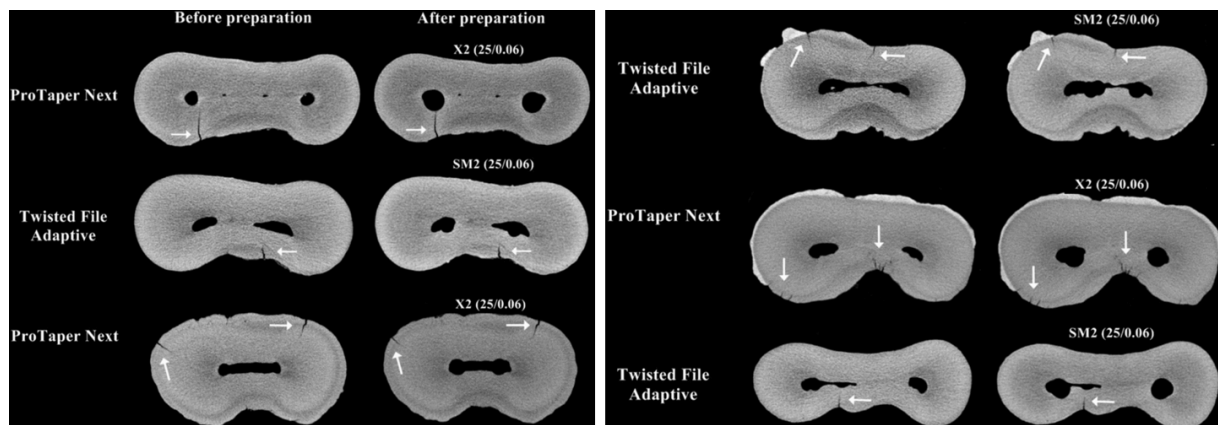


Figure 17 : Images des coupes de 3 racines mésiales de molaires mandibulaires montrant la présence de microfissures avant et après préparation des canaux vestibulaire et lingual avec les systèmes PTN® et TFA® (47).

Ces résultats (47,48) contrastent nettement avec les publications précédemment citées, qui montrent une corrélation claire entre la préparation canalaire et l'initiation et/ou la propagation de microfissures dentinaires. Dans ces études, la génération de défauts a été associée à des différences dans la conception et la dynamique instrumentale, ce qui n'est pas en accord avec les résultats des études de De-Deus et coll. qui utilisent une approche avec micro-CT, en 2014 (48) et 2015 (47). Ces contradictions peuvent être expliquées par les différences de méthodologie.

D'après les auteurs, la méthode de sectionnement des racines, afin d'analyser les coupes, présente un inconvénient important lié à sa nature destructrice, susceptible d'être la cause principale des résultats rapportés dans la littérature. Pourtant, les groupes témoins de ces études semblaient fonctionner, étant donné qu'aucun défaut dentinaire n'était détecté après sectionnement. Cependant, les auteurs n'ont pas pris en considération le risque de défauts dentinaires induits par la combinaison d'une contrainte mécanique créée par la préparation, l'attaque chimique provoquée par l'irrigation à base d'hypochlorite de sodium, et la procédure de sectionnement. De-Deus et coll. (47,48) supposent donc que la quantité, imprévisible, de défauts dentinaires présents dans les racines est le principal facteur expliquant les résultats distincts entre les différents systèmes de préparation. Dans les études avec sectionnement, les pourcentages de défauts créés par les séquences instrumentales PTU® variaient de 15 à 80% (cf tableau 15) et pourraient être le résultat de défauts dentinaires préexistants non détectés, en addition de ceux induits par la procédure de sectionnement. Ceci souligne donc l'importance d'une analyse non destructive, fiable et précise des images pré- et post-opératoires.

Etant donnée la littérature actuelle, nous pouvons conclure de ces études que les TFA® ne produisent pas significativement plus de défauts dentinaires que les autres systèmes en rotation continue ou en réciprocité.

### III. Discussion (47,48,60)

L'usage de petits groupes expérimentaux, couramment utilisés dans les études sur la recherche de microfissures, ne permet pas de tirer des conclusions. Ils ne permettent pas de passer au-dessus de la valeur intrinsèque biologique, chimique et physique (vieillessement de la dentine, forme canalaire) de chaque spécimen. Les auteurs doivent tenir compte de ces facteurs dans la conception des prochaines études à ce sujet.

Dans toute étude scientifique, le groupe de contrôle, ou groupe témoin, est un élément essentiel de la procédure de recherche. Il permet aux chercheurs d'isoler et éliminer les biais, fournissant alors des données fiables pouvant être comparées. Pourtant, les études qui utilisaient des procédures de sectionnement étaient sujettes à une erreur d'analyse systématique. Ces groupes témoins, en se basant sur des dents non préparées, ne contrôlaient pas l'effet cumulatif des sources de stress auxquels les groupes expérimentaux étaient soumis : la préparation mécanique, l'attaque chimique par l'hypochlorite de sodium et le sectionnement.

A première vue, aucun système ne permet d'éviter complètement les défauts dentinaires provoqués lors de la préparation canalaire mécanique. Malheureusement, les différences dans l'approche méthodologique des études empêchent toute comparaison directe entre la plupart de celles-ci. Toutefois, les données actuelles indiquent que les microfissures sont associées à l'instrumentation mécanique, incluant les limes manuelles, les systèmes NiTi en rotation continue et en réciprocity.

Selon les auteurs, plus l'instrument utilisé a une conicité élevée et travaille à une grande profondeur canalaire, plus il y a de microfissures observées. Des études (Adorno et coll.) sur le développement des microfissures à la surface apicale de la racine (78) ont suggéré que : la longueur de travail pourrait avoir un effet significatif sur le nombre de microfissures ; l'élargissement apical augmente le risque de produire des fissures apicales ; et travailler 1mm en deçà du foramen apical pourrait provoquer moins de microfissures à l'apex. En général, malgré les divergences entre les études, l'incidence des défauts dentinaires était significativement plus basse en utilisant des limes manuelles qu'en utilisant une instrumentation mécanisée.

Des systèmes utilisés en rotation continue ou en réciprocity, ont été comparés en analysant la formation de microfissures, avec différentes approches méthodologiques (cf tableaux 14,15). Bürklein et coll. (44) ont conclu que les instruments fonctionnant en réciprocity étaient plus susceptibles de développer la formation de microfissures dentinaires que les séquences instrumentales en rotation continue. Effectivement, une préparation utilisant un instrument unique en réciprocity a une conicité plus élevée, et coupe une quantité plus importante de dentine en peu de temps. Cela tend donc logiquement à favoriser la formation de microfissures, par rapport à une préparation classique, qui est plus progressive quant à l'élargissement du canal.

Alors que certaines études n'ont pas trouvé de différences significatives entre les dynamiques instrumentales sur la formation de microfissure (37,46,48,58), la plupart conviennent que les

instruments en rotation continue produisent significativement plus de microfissures que les instruments en réciprocité (40,42,46,51,54,57,58). Parmi tous les systèmes, les instruments ProTaper Universal® ont fréquemment été associés au plus haut taux de microfissures observées.

La littérature ne présente donc pas de consensus quant à la formation de microfissures à la suite de la préparation canalaire avec des instruments mécanisés, vue l'incidence des défauts, rapportée de 0% à 80% (cf tableau 15). Dans l'ensemble, ces grandes différences de résultats peuvent être attribuées aux protocoles de préparation, aux méthodes d'observation, à la sélection de l'échantillon (anatomie canalaire), aux protocoles d'irrigation, et aussi à la nomenclature utilisée pour classer les défauts.

Néanmoins, tous les résultats de ces études semblent remis en cause par les 2 études de De-Deus et coll., qui ne montrent aucune différence entre les systèmes. Les microfissures présentes à la suite de l'instrumentation l'étaient en pré-opératoire, après analyse au micro-CT. D'autres études utilisant le micro-CT seraient nécessaires pour confirmer ou infirmer ces résultats. En effet, ces évolutions technologiques (transillumination, synchrotron, endoscopie, thermographie infrarouge...) devraient conduire à une compréhension approfondie des microfissures dentinaires grâce à des méthodes moins invasives. Une approche au micro-CT permet une étude longitudinale très précise et évite de devoir sectionner les spécimens. Cette technologie permet non seulement de visualiser des défauts dentinaires préexistants, mais aussi leur emplacement précis tout au long de la racine, avant et après la préparation du canal, ce qui améliore la validité de l'expérience car chaque spécimen y est son propre témoin.

Il convient également de garder à l'esprit que les microfissures incomplètes présentes dans une coupe pourraient continuer jusqu'à la surface de la racine dans la coupe suivante, ce qui pourrait entraîner une sous-estimation de l'incidence des fissures complètes et une surestimation des fissures incomplètes. Ce phénomène est évité avec l'imagerie par micro-CT. Elle offre la possibilité d'évaluer des centaines de coupes par dent, contrairement aux méthodes classiques de sectionnement qui ne permettent l'analyse que de quelques sections par dent, entraînant la perte d'une grande quantité de dentine (47).

Il est aussi indispensable de souligner l'importance de la qualité des images, analysées idéalement par 2 ou 3 observateurs expérimentés, c'est-à-dire préalablement « étalonnés », et aveugles à l'égard des coupes analysées afin de garantir une évaluation impartiale.



## IV. Conclusion

Un modèle expérimental idéal serait de pouvoir évaluer les défauts dentinaires d'une manière non destructive en pré- et post-opératoire. Il serait alors possible de déterminer la présence préalable de microfissures et établir un suivi précis de toute modification. Les recherches sur des racines sectionnées, qui ne permettent pas d'observations longitudinales, compromettent la crédibilité des résultats, d'études qui se veulent pourtant comparatives. La redondance des études et le manque de conclusions fiables peuvent être considérées comme les conséquences d'un modèle expérimental fragile, soutenant le caractère peu concluant de la littérature existante (60).

Cette revue de la littérature nous montre de vastes écarts de résultats, même lorsqu'un instrument et des méthodes d'évaluation similaires ont été utilisés. Comme expliqué longuement, la variabilité méthodologique entre les études pourrait expliquer ces différences, mais il y a aussi d'autres variables à prendre en compte telles que la qualité de l'outil d'observation, la qualité des images analysées et l'expérience de l'observateur. Ces variables amènent parfois à une surestimation ou à une sous-estimation.

Il est peu probable, cliniquement, qu'une préparation canalaire mécanique provoque des microfissures dans une fourchette allant de 30 à 80%, comme rapporté dans quelques études (cf tableau 15). Si c'était exact, l'endodontie serait plutôt considérée comme nocive et susceptible de générer plus de risques que d'avantages, ce qui n'est pas le cas. Il n'y a aujourd'hui pas de corrélation entre les résultats obtenus et la réalité clinique.

Nous ne pouvons donc pas dire ni quelle dynamique, ni quel système de préparation canalaire sont les moins néfastes pour la dentine. Les progrès technologiques à venir dans le domaine de l'imagerie et leur application à l'endodontie permettront sans aucun doute une compréhension approfondie de la formation et du développement des microfissures dentinaires.

## V. Références bibliographiques

1. Walton RE, Michelich RJ, Smith GN. The histopathogenesis of vertical root fractures. *J Endod.* 1984;10(2):48-56.
2. Tamse A, Fuss Z, Lustig J, Kaplavi J. An evaluation of endodontically treated vertically fractured teeth. *J Endod.* 1999;25(7):506-8.
3. Wilcox LR, Roskelley C, Sutton T. The relationship of root canal enlargement to finger-spreader induced vertical root fracture. *J Endod.* 1997;23(8):533-4.
4. Courtois J. Lexique des termes de pathologie dentaire. Paris: J. Prélat; 1972. 73 p.
5. Tronstad L, traduit de l'anglais par le Professeur Pierre Laudenbach. *Endodontie clinique.* Paris: Flammarion Médecine-Sciences; 1993. 235 p.
6. Simon S, Machtou P, Pertot W-J, Collectif, Friedman S. *Endodontie.* Rueil-Malmaison: CdP; 2012. 514 p.
7. Goldberg M, Smith AJ. Cells and extracellular matrices of dentin and pulp: a biological basis for repair and tissue engineering. *Crit Rev Oral Biol Med.* 2004;15(1):13-27.
8. Kamina P, Martinet C. *Anatomie clinique : Tome 2, Tête, cou, dos.* 4e éd. Paris: Maloine; 2013. 407 p.
9. Simon S, Pertot W-J, Laboux O. *Endodontie : Tome 1, Traitements.* Rueil-Malmaison: CdP; 2008. 132 p.
10. *Réalités Cliniques. La pulpe : pathologies et traitements.* Vol. 6. *Réalités Cliniques;* 1995. 272 p.
11. Simon S, Pertot W-J. *Le traitement endodontique.* Paris: Quintessence International; 2003. 127 p.
12. Service évaluation des actes professionnels. HAS (Haute Autorité de Santé) - Traitement endodontique - Rapport d'évaluation technologique [Internet]. 2008. Disponible sur: [http://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2009-01/rapport\\_traitement\\_endodontique.pdf](http://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2009-01/rapport_traitement_endodontique.pdf)
13. Castellucci A. *Endodontics.* Vol. 2. Florence: Edizioni Odontoiatrice Il Tridente; 2005. 432 p.
14. Mise en forme du système canalaire - Matériel nécessaire [Internet]. Disponible sur: <https://ecm.univ-rennes1.fr/nuxeo/site/esupversions/9bd72a79-1aee-4428-a472-a1cb59bf9697/chainedit2/site/html/tp5/materiel.html>
15. Brantley WA, Svec TA, Iijima M, Powers JM, Grentzer TH. Differential scanning calorimetric studies of Nickel-Titanium rotary endodontic instruments after simulated clinical use. *J Endod.* 2002;28(11):774-8.
16. Schrader C, Ackermann M, Barbakow F. Step-by-step description of a rotary root canal preparation technique. *Int Endod J.* 1999;32(4):312-20.
17. Taschieri S, Necchi S, Rosano G, Del Fabbro M, Weinstein R, Machtou P. Avantages et limites des instruments en nickel-titane pour la préparation canalaire endodontique. *Rev Mens Suisse Odontostomatol.* 2005;115(11):1000-5.

18. Marshall F, Papin J. A crown-down pressureless preparation root canal enlargement technique. Portland: Technical Manual; 1980.
19. Riitano F. Anatomic Endodontic Technology (AET) - A crown-down root canal preparation technique: basic concepts, operative procedure and instruments. *Int Endod J.* 2005;38(8):575-87.
20. Morrison A, Conrod S. Dental burs and endodontic files: are routine sterilization procedures effective? *J Can Dent Assoc.* 2009;75(1):39.
21. Popovic J, Gasic J, Zivkovic S, Petrovic A, Radicevic G. Evaluation of biological debris on endodontic instruments after cleaning and sterilization procedures. *Int Endod J.* 2010;43(4):336-41.
22. Claisse-Crinquette A. Systèmes RECIPROC® et WaveOne™ - Mise en forme canalaire monoinstrumentale. *Clinic.* 2011;32(11):591-601.
23. Ye J, Gao Y. Metallurgical characterization of M-Wire Nickel-Titanium shape memory alloy used for endodontic rotary instruments during low-cycle fatigue. *J Endod.* 2012;38(1):105-7.
24. Gambarini G, Grande NM, Plotino G, Somma F, Garala M, De Luca M, et al. Fatigue resistance of engine-driven rotary Nickel-Titanium instruments produced by new manufacturing methods. *J Endod.* 2008;34(8):1003-5.
25. Shen Y, Qian W, Abtin H, Gao Y, Haapasalo M. Fatigue testing of controlled M-Wire Nickel-Titanium rotary instruments. *J Endod.* 2011;37(7):997-1001.
26. Gao Y, Shotton V, Wilkinson K, Phillips G, Ben Johnson W. Effects of raw material and rotational speed on the cyclic fatigue of ProFile Vortex rotary instruments. *J Endod.* 2010;36(7):1205-9.
27. Larsen CM, Watanabe I, Glickman GN, He J. Cyclic fatigue analysis of a new generation of Nickel-Titanium rotary instruments. *J Endod.* 2009;35(3):401-3.
28. Johnson E, Lloyd A, Kuttler S, Namerow K. Comparison between a novel Nickel-Titanium alloy and 508 nitinol on the cyclic fatigue life of ProFile 25/.04 rotary instruments. *J Endod.* 2008;34(11):1406-9.
29. Herold KS, Johnson BR, Wenckus CS. A scanning electron microscopy evaluation of microfractures, deformation and separation in EndoSequence and Profile Nickel-Titanium rotary files using an extracted molar tooth model. *J Endod.* 2007;33(6):712-4.
30. Martín B, Zelada G, Varela P, Bahillo JG, Magán F, Ahn S, et al. Factors influencing the fracture of Nickel-Titanium rotary instruments. *Int Endod J.* 2003;36(4):262-6.
31. Yared G. Canal preparation using only one Ni-Ti rotary instrument: preliminary observations. *Int Endod J.* 2008;41(4):339-44.
32. Roane JB, Sabala CL, Duncanson MG. The « balanced force » concept for instrumentation of curved canals. *J Endod.* 1985;11(5):203-11.
33. Yared G, Kulkarni GK. An in vitro study of the torsional properties of new and used rotary Nickel-Titanium files in plastic blocks. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2003;96(4):466-71.
34. Varela-Patiño P, Ibañez-Párraga A, Rivas-Mundiña B, Cantatore G, Otero XL, Martin-Biedma

- B. Alternating versus continuous rotation: a comparative study of the effect on instrument life. *J Endod.* 2010;36(1):157-9.
35. De-Deus G, Moreira EJJ, Lopes HP, Elias CN. Extended cyclic fatigue life of F2 ProTaper instruments used in reciprocating movement: Cyclic fatigue life of F2 ProTaper instrument. *Int Endod J.* 2010;43(12):1063-8.
36. Gergi R, Osta N, Naaman A. Dentinal crack formation during root canal preparations by the Twisted File Adaptive, Reciproc and WaveOne instruments. *Eur J Dent.* 2015;9(4):508.
37. Karataş E, Gündüz HA, Kırıcı DÖ, Arslan H, Topçu MÇ, Yeter KY. Dentinal crack formation during root canal preparations by the Twisted File Adaptive, ProTaper Next, ProTaper Universal, and WaveOne instruments. *J Endod.* 2015;41(2):261-4.
38. Page web de la marque Kerr sur les TFA [Internet]. Disponible sur: [http://www.dentistrytoday.com/Media/emails/2014/0714/AxisSybron/0714\\_AxisSybron.html](http://www.dentistrytoday.com/Media/emails/2014/0714/AxisSybron/0714_AxisSybron.html)
39. A. Versiani M, Souza E, De-Deus G. Critical appraisal of studies on dentinal radicular microcracks in endodontics: methodological issues, contemporary concepts, and future perspectives. *Endod Top.* 2015;33(1):87-156.
40. Al-Zaka I. The effects of canal preparation by different NiTi rotary instruments and reciprocating WaveOne file on the incidence of dentinal defects. *Mustansiria Dent J.* 2012;9(2):137-42.
41. Arslan H, Karataş E, Capar ID, Özsü D, Doğanay E. Effect of ProTaper Universal, Endoflare, Revo-S, HyFlex coronal flaring instruments, and Gates Glidden drills on crack formation. *J Endod.* 2014;40(10):1681-3.
42. Ashwinkumar V, Krithikadatta J, Surendran S, Velmurugan N. Effect of reciprocating file motion on microcrack formation in root canals: an SEM study. *Int Endod J.* 2014;47(7):622-7.
43. 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.
44. 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.
45. 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.
46. Çiçek E, Koçak MM, Sağlam BC, Koçak S. Evaluation of microcrack formation in root canals after instrumentation with different NiTi rotary file systems: A scanning electron microscopy study. *Scanning.* 2015;37(1):49-53.
47. 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.
48. 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.

49. Helvacioğlu-Yigit D, Aydemir S, Yılmaz A. Evaluation of dentinal defect formation after root canal preparation with two reciprocating systems and hand instruments: an *in vitro* study. *Biotechnol Biotechnol Equip.* 2015;29(2):368-73.
50. Hin ES, Wu M-K, Wesselink PR, Shemesh H. Effects of Self-Adjusting File, Mtwo, and ProTaper on the root canal wall. *J Endod.* 2013;39(2):262-4.
51. 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.
52. Karataş E, Gündüz HA, Kırıcı D ö., Arslan H. Incidence of dentinal cracks after root canal preparation with ProTaper Gold, Profile Vortex, F360, Reciproc and ProTaper Universal instruments. *Int Endod J.* 2015;49(9):905-10.
53. 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.
54. 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.
55. Mavani P, Pujar M, Uppin V. Comparative evaluation of root micro cracks by different rotary and reciprocating endodontic file systems. *J Dent Med Sci.* 2015;14(9):18-22.
56. Monga P, Bajaj N, Mahajan P, Garg S. Comparison of incidence of dentinal defects after root canal preparation with continuous rotation and reciprocating instrumentation. *Singapore Dent J.* 2015;36:29-33.
57. Priya NT, Chandrasekhar V, Anita S, Tummala M, Raj TBP, Badami V, et al. « Dentinal microcracks after root canal preparation » A comparative evaluation with hand, rotary and reciprocating instrumentation. *J Clin Diagn Res.* 2014;8(12):ZC70-2.
58. Ustun Y, Sagsen B, Aslan T, Kesim B. The effects of different Nickel-Titanium instruments on dentinal microcrack formations during root canal preparation. *Eur J Dent.* 2015;9(1):41.
59. Yoldas O, Yılmaz 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.
60. A. Versiani M, Souza E, De-Deus G. Critical appraisal of studies on dentinal radicular microcracks in endodontics: methodological issues, contemporary concepts, and future perspectives. *Endod Top.* 2015;33(1):87-156.
61. 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.
62. Kinney JH, Nalla RK, Pople JA, Breunig TM, Ritchie RO. Age-related transparent root dentin: mineral concentration, crystallite size, and mechanical properties. *Biomaterials.* 2005;26(16):3363-76.
63. Kuttler S, McLean A, Dorn S, Fischzang A. The impact of post space preparation with Gates-Glidden drills on residual dentin thickness in distal roots of mandibular molars. *J Am Dent Assoc* 1939. 2004;135(7):903-9.

64. Metzger Z. The Self-Adjusting File (SAF) system: An evidence-based update. *J Conserv Dent*. 2014;17(5):401-19.
65. Bensoussan D. Présentation d'une nouvelle lime endodontique. *Inf Dent*. 2011;93(8):14-7.
66. Hof R, Perevalov V, Eltanani M, Zary R, Metzger Z. The Self-Adjusting File (SAF). Part 2: Mechanical analysis. *J Endod*. 2010;36(4):691-6.
67. Metzger Z. From files to SAF: 3D endodontic treatment is possible at last. *Alpha Omegan*. 2011;104(1-2):36-44.
68. Metzger Z, Teperovich E, Cohen R, Zary R, Paqué F, Hülsmann M. The Self-Adjusting File (SAF). Part 3: Removal of debris and smear layer - A scanning electron microscope study. *J Endod*. 2010;36(4):697-702.
69. De-Deus G, Barino B, Marins J, Magalhães K, Thuanne E, Kfir A. Self-Adjusting File cleaning-shaping-irrigation system optimizes the filling of oval-shaped canals with thermoplasticized gutta-percha. *J Endod*. 2012;38(6):846-9.
70. Pasqualini D, Scotti N, Tamagnone L, Ellena F, Berutti E. Hand-operated and rotary ProTaper instruments: a comparison of working time and number of rotations in simulated root canals. *J Endod*. 2008;34(3):314-7.
71. West JD. Introduction of a new rotary endodontic system: progressively tapering files. *Dent Today*. 2001;20(5):50-2, 54-7.
72. Schäfer E, Vlassis M. Comparative investigation of two rotary Nickel-Titanium instruments: ProTaper versus RaCe. Part 2. Cleaning effectiveness and shaping ability in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J*. 2004;37(4):239-48.
73. Bürklein S, Schäfer E. Apically extruded debris with reciprocating single-file and full-sequence rotary instrumentation systems. *J Endod*. 2012;38(6):850-2.
74. Zandbiglari T, Davids H, Schäfer E. Influence of instrument taper on the resistance to fracture of endodontically treated roots. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2006;101(1):126-31.
75. Blum JY, Machtou P, Esber S, Micallef JP. Analysis of forces developed during root canal preparation with the balanced force technique. *Int Endod J*. 1997;30(6):386-96.
76. Franco V, Fabiani C, Taschieri S, Malentacca A, Bortolin M, Del Fabbro M. Investigation on the shaping ability of Nickel-Titanium files when used with a reciprocating motion. *J Endod*. 2011;37(10):1398-401.
77. Kim H-C, Kwak S-W, Cheung GS-P, Ko D-H, Chung S-M, Lee W. Cyclic fatigue and torsional resistance of two new Nickel-Titanium instruments used in reciprocation motion: Reciproc versus WaveOne. *J Endod*. 2012;38(4):541-4.
78. 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*. 2011;37(4):522-5.

## VI. Table des illustrations

<i>Figure 1 : Vue schématique des principaux constituants pulpaire (6).</i>	10
<i>Figure 2 : Localisation histologique des deux types de dentine physiologique (6).</i>	11
<i>Figure 3 : Illustration des deux types de dentine tertiaire (6).</i>	12
<i>Figure 4 : La dent et son environnement en coupe sagittale (8).</i>	12
<i>Figure 5 : Représentation schématique des réactions majeures induites par l'exposition bactérienne de la pulpe et des tissus péri-apicaux (6).</i>	13
<i>Figure 6 : Illustration du profil de la lime K (14).</i>	16
<i>Figure 7 : Illustration du profil de la lime H (14).</i>	17
<i>Figure 8 : Présentation schématique de la section et de la dynamique des TFA® (38).</i>	21
<i>Figure 9 : (A) Machine conventionnelle de sciage à basse vitesse. (B,C) Procédure de sectionnement d'une canine mandibulaire. (D-F) Procédure de sectionnement de la dent à l'aide de résine acrylique (60).</i>	28
<i>Figure 10 : Images obtenues par microscope optique binoculaire illustrant des défauts dentinaires (dans l'ordre : lignes, fissure partielle et fissure complète) (56).</i>	29
<i>Figure 11 : Images obtenues par microscopie électronique à balayage de a - (Groupe sans préparation) ; b - (Groupe manuel limes K) ; c - (Groupe manuel limes ProTaper Universal®) (42).</i>	32
<i>Figure 12 : Images obtenues par microscopie électronique à balayage de d - (Groupe ProTaper Universal® en rotation continue) et e - (Groupe WaveOne® en réciprocité) (42).</i>	32
<i>Figure 13 : Le pourcentage et le nombre de racines présentant un défaut en fonction des groupes. Ceux ayant la même lettre (a ou b) ne dénotent aucune signification statistique entre eux (59).</i>	33
<i>Figure 14 : Images obtenues par microscopie optique binoculaire illustrant a – (coupe à 6mm sans défaut dentinaire) et b – (coupe à 6mm montrant une microfissure complète et une autre incomplète) (44).</i>	36
<i>Figure 15 : Images des coupes de 3 racines mésiales de molaires mandibulaires montrant la présence de microfissures avant et après préparation des canaux vestibulaire et lingual avec les systèmes Reciproc®, WaveOne® et BioRace® (48).</i>	39
<i>Figure 16 : Nombre total de dents présentant des microfissures selon le niveau, avec différentes techniques d'instrumentation (55).</i>	41
<i>Figure 17 : Images des coupes de 3 racines mésiales de molaires mandibulaires montrant la présence de microfissures avant et après préparation des canaux vestibulaire et lingual avec les systèmes PTN® et TFA® (47).</i>	43

## VII. Table des tableaux

<i>Tableau 1 : Tableau récapitulatif des systèmes fréquemment étudiés et cités dans les articles sélectionnés.</i>	22
<i>Tableau 2 : Analyse des études.</i>	24
<i>Tableau 3 : Type des dents utilisées dans les études sélectionnées, sur la formation de microfissures dentinaires après préparation canalairre mécanique.</i>	25
<i>Tableau 4 : Type, concentration et quantité de la solution d'irrigation utilisée dans les études sur la formation de microfissures après préparation canalairre.</i>	26
<i>Tableau 5 : Méthodes d'observation utilisées dans les études sur la formation de fissures après différentes procédures d'endodontie.</i>	27
<i>Tableau 6 : Définition des divers termes utilisés pour décrire les différents types de fissures dans la littérature (60).</i>	30
<i>Tableau 7 : Nombre de coupes avec des microfissures aux trois niveaux différents de la racine (42).</i>	31
<i>Tableau 8 : Nombre de sections présentant des défauts dentinaires en fonction des coupes transversales et des systèmes (49).</i>	32
<i>Tableau 9 : Nombre et pourcentage de microfissures en fonction du niveau des coupes et du système utilisé (52).</i>	38
<i>Tableau 10 : Quantité de chaque type de microfissures pour chaque groupe à chaque tiers radiculaire (58).</i>	40
<i>Tableau 11 : Nombre et pourcentage de microfissures aux différents niveaux de coupe en fonction du système endodontique (37).</i>	42
<i>Tableau 12 : Nombre et pourcentage de microfissures complètes aux différents niveaux de coupe (36).</i>	42
<i>Tableau 13 : Nombre et pourcentage de microfissures incomplètes aux différents niveaux de coupe (36).</i>	43
<i>Tableau 14 : Spécificités méthodologiques des études portant sur l'incidence de la préparation canalairre mécanique sur la formation de défauts dentinaires (60).</i>	65
<i>Tableau 15 : L'incidence de la préparation canalairre sur la formation de microfissures dentinaires en utilisant différents protocoles et systèmes de préparation (60).</i>	68



## VIII. Annexes

Auteurs	Sélection de l'échantillon et préparation	Objectif	Groupe de contrôle	Stockage (temps/type)	Approche méthodologique	Irrigation	Principaux résultats et conclusions
Al-Zaka 2012  (40)	Racine mésiale de 1° molaires mandibulaires (n = 80).  - Sélection : SM - CTE : NR / DE : NR - Couronne enlevée : Oui - LPS : Oui	Comparer 4 techniques de préparation (LM 30.02 ; WO 30.08 ; PTU SX-F3 ; ES 30.04) sur le développement de microfissures. 4 groupes de 20.	NR	Temps d'extraction : NR  Stockage : eau distillée  Durée de stockage: NR	Sectionnement des racines à 3, 6 et 9mm de l'apex. 60 coupes par groupe. Analyse : SM (40X). Analyse en aveugle : NR.	NaOCl à 2,5% après chaque instrument. Quantité par canal : NR. Rinçage final : NR.	Le plus petit nombre de défauts a été observé dans le groupe LM (1/20) suivi par ES (2/20), WO (5/20), et PT (10/20). La plus forte incidence des défauts a été montrée dans le groupe PT, avec 2 cas de microfissure complète, de la paroi du canal à la surface de la racine.
Arslan et coll. 2014  (41)	Racine mésiale de 1° molaires mandibulaires (n = 108).  - Sélection : SM - CTE : NR / DE : largeur racine - Couronne enlevée : Oui - LPS : Oui	Evaluer la formation de microfissures après instrumentation des canaux avec 5 systèmes (GG 1-3 ; PTU SX ; EF ; Revo-S SC1 ; et HF 25.08). 5 groupes de 18.	1 groupe a été laissé non préparé (n = 18).	Temps d'extraction : NR  Stockage : eau distillée  Durée de stockage: NR	Sectionnement des racines à 1, 2, 3, 4, 6 et 8mm de l'apex. 108 coupes par groupe. Les sections ont été colorées. Analyse : SM (15X). Analyse en aveugle : Oui.	2mL de NaOCl à 2,5% entre chaque lime. Rinçage final: 5mL de 2,5% NaOCl.	L'incidence des fissures était de 16,6% pour le groupe témoin, 50% pour les GG, 22,2% pour PTU, 16,6% pour EF, 27,7 % pour Revo-S, et 27,7% pour HF. Exceptés les GG, les instruments ont montré un taux de formation de microfissures comparable à celui trouvé dans le groupe témoin. Une plus grande conicité des instruments à la profondeur utilisée dans les échantillons pourrait influencer la formation de microfissures.

<p>Ashwinkumar et coll. 2013 (42)</p>	<p>Racine mésiale courbe (25 à 30°) de 1<sup>e</sup> molaires mandibulaires (n = 150).  - Sélection : MC - CTE : NR / DE : aléatoire - Couronne enlevée : Oui - LPS : Oui</p>	<p>Comparer 4 techniques de préparation (MNT 25.02 ; PTM S1-F2 ; PT S1-F2 ; et WO 25.08) dans l'induction de microfissures dentinaires dans les canaux courbes. 4 groupes de 30.</p>	<p>1 groupe a été laissé non préparé (n = 30).</p>	<p>La collecte et le stockage ont suivi les directives de l'OSHA (Tate et White 1991).</p>	<p>Sectionnement des racines à 3, 6 et 9mm par rapport à l'apex. 90 coupes par groupe. Analyse : MEB. Analyse en aveugle : NR.</p>	<p>10mL de NaOCl à 2,5% par canal. Rinçage final : NR.</p>	<p>Aucun défaut n'a été observé dans les groupes témoin et MNT à tous les niveaux. Des défauts ont été trouvés dans les racines instrumentées avec PTM (n = 31), PT (n = 72), et WO (n = 35). Les limes PT produisent plus de microfissures à tous les niveaux. En intra-groupe, il n'y avait pas de différence significative, ce qui suggère que les microfissures se sont formées sur toute la longueur des canaux.</p>
<p>Bier et coll. 2009 (43)</p>	<p>Prémolaires mandibulaires monoradiculées (n = 260).  - Sélection : SM - CTE : NR / DE : aléatoire - Couronne enlevée : Oui - LPS : Non</p>	<p>Comparer 4 techniques de préparation (PTU SX-F4 ; GT 40.06 ; PF 40,06 ; S-ApeX) dans l'induction de microfissures. 4 groupes de 50.</p>	<p>1 groupe a été laissé non préparé (n = 40). 1 groupe a été préparé avec LM (n = 20).</p>	<p>Temps d'extraction : NR  Stockage : eau distillée  Durée de stockage : NR</p>	<p>Sectionnement des racines à 3, 6 et 9mm de l'apex. 120 coupes par groupe. Analyse : SM (12X). Analyse en aveugle : Oui.</p>	<p>NaOCl à 2% après chaque instrument. Quantité par canal : 12mL. Rinçage final: IUP (IrriSafe) suivi de 2mL d'eau distillée.</p>	<p>Aucune fracture complète n'a été observée dans aucun des échantillons. Le groupe témoin, groupe LM, et les canaux préparés avec S-ApeX n'ont pas montré de défauts. Des « crazy lines » et microfissures partielles ont été trouvées dans les groupes SystemGT (4%), ProFile (8%) et ProTaper (16%). L'utilisation de certains instruments NiTi rotatifs pourrait entraîner un risque accru de défauts dentinaires.</p>

<p>Bürklein et coll. 2013 (44)</p>	<p>Incisives centrales mandibulaires monoradiculées (n = 100).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sélection : SM, X-ray</li> <li>- CTE : NR / DE : aléatoire</li> <li>- Couronne enlevée : NR</li> <li>- LPS : Non</li> </ul>	<p>Comparer 4 techniques de préparation (M2 40.04 ; PTU SX-F4 ; RC 40.06 ; WO 40.08) dans l'induction de microfissures dentinaires. 4 groupes de 20.</p>	<p>1 groupe a été laissé non préparé (n = 20).</p>	<p>Temps d'extraction : fraîchement</p> <p>Stockage : eau distillée</p> <p>Durée de stockage : NR</p>	<p>Sectionnement à 3, 6 et 9mm de l'apex. Seules les couronnes des dents ont été scellées dans la résine. 60 coupes par groupe. Analyse : SM (25X). Analyse en aveugle : Oui.</p>	<p>2mL NaOCl après chaque instrument. Concentration : NR. Quantité par canal : NR. Rinçage final : NR.</p>	<p>RC (n = 11) et WO (n = 7) ont été associés à plus de microfissures complètes que M2 (n = 2) et PT (n = 3). Aucune différence n'a été trouvée entre les systèmes en ce qui concerne les différents niveaux. Mais dans la section apicale (3 mm), RC (n = 17) et WO (n = 16) ont produit plus de microfissures incomplètes que M2 (n = 7) et PT (n = 8). Des « crazy lines » ont été observées dans le groupe de contrôle.</p>
<p>Capar et coll. 2014 (45)</p>	<p>Prémolaires mandibulaires (n = 100).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sélection : SM, X-ray</li> <li>- CTE : NR / DE : NR</li> <li>- Couronne enlevée : Oui</li> <li>- LPS : Oui</li> </ul>	<p>Comparer 3 techniques de préparation (PTU SX-F4 ; PTN SX-X4 ; HF 40.04) dans l'induction de microfissures. 3 groupes de 25.</p>	<p>1 groupe a été laissé non préparé (n = 25).</p>	<p>Temps d'extraction : NR</p> <p>Stockage : eau distillée</p> <p>Durée de stockage : NR</p>	<p>Sectionnement à 2, 4, 6, et 8mm de l'apex. 100 coupes par groupe. Analyse : SM (25X). Analyse en aveugle : Oui.</p>	<p>NaOCl à 1% après chaque instrument. Quantité par canal : 12mL. Rinçage final: eau distillée 5mL.</p>	<p>Aucune fissure n'a été observée dans le groupe témoin. Aucune FRV n'a été observée. PTN (28%) et HF (28%) ont provoqué moins de microfissures que PTU (56%). Aucune différence n'a été observée entre le PTN et le HF. La préparation canalaire avec PTU, PTN et HF peut provoquer la formation de microfissures dentinaires.</p>

<p>Çicek et coll. 2014  (46)</p>	<p>Racine mésiale de molaires mandibulaires (n = 60).  - Sélection : SM - CTE : NR / DE : aléatoire - Couronne enlevée : Oui - LPS : Oui</p>	<p>Comparer 4 techniques de préparation (LM 25.02 ; PTU SX-F2 ; PTN X1-X2 ; WO 25.08) dans l'induction de microfissures dentinaires. 4 groupes de 15.</p>	<p>Canal mésio-lingual dans la même racine a été laissé non préparé.</p>	<p>Temps d'extraction : NR  Stockage : eau distillée  Durée de stockage : NR</p>	<p>Sectionnement à 3, 6, et 9mm de l'apex. 45 coupes par groupe. Analyse : MEB (40X). Analyse en aveugle : NR.</p>	<p>NaOCl à 2,5%. Quantité par canal : NR. Rinçage final : NR.</p>	<p>Aucune microfissure n'a été observée dans le groupe LM. Le pourcentage le plus élevé de microfissures a été observé au niveau apical. Moins de microfissures ont été observées dans le groupe WO (42,2%) en comparaison avec PTN (64,4%) et PTU (75,5%).</p>
<p>De-Deus et coll. 2014  (48)</p>	<p>Racine mésiale de molaires mandibulaires (n = 20).  - Sélection : SM, X-ray, uCT - CTE : Oui / DE : aléatoire - Couronne enlevée : Oui - LPS : Oui</p>	<p>Comparer 3 techniques de préparation (RC ; WO ; BR) avec 2 tailles d'élargissement apical, dans l'induction de microfissures dentinaires. 3 groupes de 10.</p>	<p>Mêmes racines avant préparation.</p>	<p>Temps d'extraction : NR  Stockage : 0,1% thymol  Durée de stockage : NR</p>	<p>65 340 coupes ont été évaluées à partir de la furcation jusqu'à l'apex. Analyse : uCT (résolution de 14,16 um). Analyse en aveugle : NR.</p>	<p>40mL de NaOCl à 5,25% par canal. Rinçage final : NR.</p>	<p>La présence de fissures a été observée à 8,72 % (n = 5,697), 11,01 % (n = 7197) et 7,91 % (n = 5169) dans les groupes Reciproc, WaveOne et BioRaCe, respectivement. Tous les défauts dentinaires identifiés dans l'analyse post-opératoire étaient présents dans les images pré-opératoires correspondantes. Il n'y a pas de lien de causalité entre les microfissures dentinaires et la préparation canalinaire.</p>

<p>De-Deus et coll. 2015 (47)</p>	<p>Racine mésiale de molaires mandibulaires (n = 20).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sélection : SM, X-ray, uCT</li> <li>- CTE : Oui / DE : aléatoire</li> <li>- Couronne enlevée : Oui</li> <li>- LPS : Oui</li> </ul>	<p>Comparer 2 techniques de préparation (PTN X1-X2 ; TFA SM1-SM2) avec 2 tailles d'élargissement apical, dans l'induction de microfissures dentinaires. 2 groupes de 10.</p>	<p>Mêmes racines avant préparation.</p>	<p>Temps d'extraction : NR</p> <p>Stockage : 0,1% thymol</p> <p>Durée de stockage : NR</p>	<p>25 820 coupes ont été évaluées à partir de la furcation jusqu'à l'apex.</p> <p>Analyse : uCT (résolution de 14,25 um).</p> <p>Analyse en aveugle : NR.</p>	<p>40mL de NaOCl à 5,25% par canal.</p> <p>Rinçage final : NR.</p>	<p>Sur un total de 25 820 sections, 34,62 % (8940 tranches) avaient un défaut dentinaire.</p> <p>Des microfissures ont été observées dans 38,7 % (n = 5150) et 30,27 % (n = 3790) des images transversales dans les groupes PTN et TFA.</p> <p>Tous les défauts dentinaires identifiés dans les analyses post-opératoires étaient déjà présents dans les images pré-opératoires correspondantes.</p> <p>Ainsi, aucune nouvelle microfissure n'a été observée après préparation.</p>
<p>Gergi et coll. 2015 (36)</p>	<p>Racine mésiale de molaires mandibulaires (n = 120).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sélection : SM</li> <li>- CTE : NR / DE : aléatoire</li> <li>- Couronne enlevée : Oui</li> <li>- LPS : NR</li> </ul>	<p>Comparer 3 techniques de préparation (RC R25 ; WO 25.08 ; TFA 25.08) dans l'induction de microfissures dentinaires. 3 groupes de 30.</p>	<p>NR</p>	<p>Temps d'extraction : fraîchement</p> <p>Stockage : eau distillée</p> <p>Durée de stockage : NR</p>	<p>Sectionnement à 3, 9 et 15mm de l'apex.</p> <p>90 coupes par groupe.</p> <p>Analyse : SM (25X).</p> <p>Analyse en aveugle : Oui.</p>	<p>3mL de NaOCl à 5,25% après chaque instrument.</p> <p>Quantité par canal : NR.</p> <p>Rinçage final : NaOCl.</p>	<p>L'instrumentation par les TFA a provoqué moins de fissures qu'avec RC et WO.</p> <p>RC a provoqué le plus de microfissures complètes.</p>

<p>Helvacioğlu-Yigit et coll. 2015 (49)</p>	<p>Incisives mandibulaires monoradiculées (n = 60). - Sélection : MO, X-ray - CTE : NR / DE : NR - Couronne enlevée : NR - LPS : Non</p>	<p>Comparer 3 techniques de préparation (LM 30.02 ; WO 25.08 ; RC R25) dans l'induction de microfissures dentinaires. 3 groupes de 15.</p>	<p>1 groupe a été laissé non préparé (n = 15).</p>	<p>Temps d'extraction : fraîchement Stockage : eau distillée Durée de stockage : NR</p>	<p>Sectionnement à 3, 6 et 9mm de l'apex. 45 coupes par groupe. Analyse : SM après coloration au bleu de méthylène à 1% (24X apical ; 18.75X reste). Analyse en aveugle : Oui.</p>	<p>1mL de NaOCl à 5,25% après chaque instrument. Quantité par canal : NR. Rinçage final : eau distillée.</p>	<p>Le groupe témoin n'a pas présenté de microfissures. Une fracture seulement a été observée dans le groupe RC à 3mm. Tous les instruments ont provoqué des défauts dentinaires, surtout à 3mm.</p>
<p>Hin et coll. 2013 (50)</p>	<p>Prémolaires mandibulaires monoradiculées (n = 100). - Sélection : SM, X-ray - CTE : NR / DE : largeur canalaire - Couronne enlevée : NR - LPS : Oui</p>	<p>Comparer 4 techniques de préparation (LM 40.02 ; PT SX-F4 ; M2 40.04 ; SAF 2,0mm) dans l'induction de microfissures dentinaires. 4 groupes de 20.</p>	<p>1 groupe a été laissé non préparé (n = 20).</p>	<p>Temps d'extraction : NR Stockage : eau distillée Durée de stockage : NR</p>	<p>Sectionnement à 3, 6 et 9mm de l'apex. 60 coupes par groupe. Analyse : MO (12X). Analyse en aveugle : Oui.</p>	<p>16mL de NaOCl à 2% par canal. Rinçage final : NR.</p>	<p>Aucun défaut n'a été observé dans le groupe témoin. PT (35%) et M2 (25%) ont provoqué significativement plus de microfissures par rapport au groupe LM (2-3%). Le groupe SAF (10%) n'était pas statistiquement différent du groupe LM. L'instrumentation des canaux avec SAF, M2, et PT a provoqué des défauts dentinaires. Mais le SAF a tendance à moins provoquer de dégâts que les autres instruments.</p>

<p>Kansal et coll. 2014  (51)</p>	<p>Prémolaires mandibulaires monoradiculées (n = 120).  - Sélection : SM, X-ray - CTE : NR / DE : aléatoire - Couronne enlevée : Oui - LPS : Oui</p>	<p>Comparer 3 techniques de préparation (PT SX-F2 ; PTU F2 en mouvement alternatif ; WO 25.08) dans l'induction de microfissures dentinaires. 3 groupes de 30.</p>	<p>1 groupe a été laissé non préparé (n = 30).</p>	<p>Temps d'extraction : NR  Stockage : eau filtrée  Durée de stockage : NR</p>	<p>Sectionnement à 3, 6 et 9mm de l'apex. 90 coupes par groupe. Analyse : SM (12X). Analyse en aveugle : NR.</p>	<p>15mL de NaOCl à 1% par canal. Rinçage final : 2mL d'eau distillée.</p>	<p>Aucun défaut n'a été observé dans le groupe témoin. Aucune fracture complète n'a été observée dans aucun des groupes. Moins de microfissures ont été observées dans le groupe WO (15%), suivi par PT F2 en mouvement alternatif (26 %) et le groupe PT rotatif (53%). La dynamique du mouvement entraîne des différences significatives sur les défauts dentinaires induits lors de la préparation mécanique.</p>
<p>Karatas et coll. 2015  (37)</p>	<p>Incisives centrales mandibulaires (n = 75).  - Sélection : SM, X-ray - CTE : NR / DE : largeur du canal - Couronne enlevée : Oui - LPS : Oui</p>	<p>Comparer 4 techniques de préparation (PTU SX-F2 ; PTN SX-X2 ; WO 25.08 ; TFA SM1-SM2) dans l'induction de microfissures dentinaires. 4 groupes de 15.</p>	<p>1 groupe a été laissé non préparé (n = 15).</p>	<p>Temps d'extraction : NR  Stockage : eau distillée  Durée de stockage : NR</p>	<p>Sectionnement à 3, 6 et 9mm de l'apex. 45 coupes par groupe. Analyse : SM (25X). Analyse en aveugle : Oui.</p>	<p>12mL de NaOCl par canal. Concentration : NR. Rinçage final : NR.</p>	<p>Aucun défaut n'a été observé dans le groupe témoin. PTN (n = 1) et TFA (n = 1) ont produit beaucoup moins de microfissures que PTU (n = 6) et WO (n = 6) uniquement dans la section apicale (3 mm). Dans l'ensemble, aucune différence n'a été observée entre les groupes PTU (37,7%), PTN (33,3%), WO (33,3%) et TFA (28,8%).</p>

<p>Karatas et coll. 2015 (52)</p>	<p>Incisives centrales mandibulaires (n = 90).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sélection : SM, X-ray</li> <li>- CTE : NR / DE : largeur du canal</li> <li>- Couronne enlevée : Oui</li> <li>- LPS : Oui</li> </ul>	<p>Comparer 5 techniques de préparation (PTG SX-F2 ; PF 30.06 ; F360 25.04 ; RC R25 ; PTU SX-F2) dans l'induction de microfissures dentinaires. 5 groupes de 15.</p>	<p>1 groupe a été laissé non préparé (n = 15).</p>	<p>Temps d'extraction : NR</p> <p>Stockage : eau distillée</p> <p>Durée de stockage : NR</p>	<p>Sectionnement à 3, 6 et 9mm de l'apex. 45 coupes par groupe. Analyse : SM (25X). Analyse en aveugle : Oui.</p>	<p>12mL de NaOCl à 2% par canal. Rinçage final : eau distillée.</p>	<p>Tous les groupes, excepté le F360, ont produit plus de microfissures que le groupe témoin. Et il n'y avait pas de différences entre PTG, PF, RC et PTU. Le F360 a provoqué beaucoup moins de microfissures que le PTU. Il n'y avait pas de différences entre les groupes à 6 et 9mm. Mais à 3mm de l'apex, PTU était associé à plus de microfissures que les autres groupes.</p>
<p>Li et coll. 2015 (53)</p>	<p>Molaires avec courbure de 25 à 40° (n = 60).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sélection : SM</li> <li>- CTE : NR / DE : aléatoire</li> <li>- Couronne enlevée : Oui</li> <li>- LPS : Oui</li> </ul>	<p>Comparer 3 techniques de préparation (PTU S1-F2 ; WO 25.08 ; PTN X1-X2) dans l'induction de microfissures dentinaires. 3 groupes de 20.</p>	<p>Les canaux radiculaires non traitées des 60 molaires ont servi de contrôles négatifs.</p>	<p>Temps d'extraction : NR</p> <p>Stockage : préparation salée équilibrée de Hank</p> <p>Durée de stockage : NR</p>	<p>Sectionnement là où la racine est la plus courbe, 2mm au-dessus et 2mm en dessous. 60 coupes par groupe. Analyse : SM (60X) après coloration au bleu de méthylène à 1%. Analyse en aveugle : Oui.</p>	<p>10mL de NaOCl à 1% par canal. Rinçage final : eau distillée (Satelec P5 pendant 30s).</p>	<p>PTU a provoqué plus de microfissures complètes que WO et PTN. PTU et WO ont provoqué plus de microfissures incomplètes que PTN. Excepté pour PTN, il y avait plus de microfissures 2mm au-dessus de l'endroit où la courbure était la plus sévère. Les 3 systèmes peuvent provoquer des microfissures, mais PTN en induit moins que les autres, lors d'une instrumentation dans des canaux courbes.</p>



<p>Liu et coll. 2013  (54)</p>	<p>Incisives mandibulaires (n = 100).  - Sélection : SM, X-ray - CTE : NR / DE : largeur de la racine - Couronne enlevée : Oui - LPS : Oui</p>	<p>Comparer 4 techniques de préparation (PT SX-F2 ; SAF 1,5 mm ; RC R25 ; OS 25.06) dans l'induction de microfissures dentinaires. 4 groupes de 20.</p>	<p>1 groupe témoin (n = 20) : 1/3 coronaire préparé avec GG #2.</p>	<p>Temps d'extraction : NR  Stockage : eau distillée  Durée de stockage : NR</p>	<p>Sectionnement à 2, 4 et 6mm de l'apex. 60 coupes par groupe. Analyse : SM (20X) après coloration au bleu de Méthylène à 1%. Analyse en aveugle : NR.</p>	<p>20mL de NaOCl à 2% par canal. Rinçage final : NR.</p>	<p>Les microfissures sont absentes dans le groupe témoin et dans les images de référence des groupes expérimentaux. Les instruments RC (5 %) et SAF (0%) ont provoqué moins de fissures que OS (35%) et PT (50 %). Des fissures sont apparues à la SA de 5 dents et dans les sections horizontales de 16 dents. Dans 12 des 18 (67%) dents avec des fissures, celles-ci ont été observées à plus d'un niveau.</p>
<p>Mavani et coll. 2015  (55)</p>	<p>Dents monoradiculées avec une courbure de 20° max (n = 90).  - Sélection : SM, X-ray - CTE : NR / DE : largeur du canal - Couronne enlevée : Oui - LPS : Oui</p>	<p>Comparer 5 techniques de préparation (PTU SX- F2 ; M2 25.06 ; K3XF 25.06 ; PTN P1-X2 ; WO 25.08) dans l'induction de microfissures dentinaires. 5 groupes de 15.</p>	<p>1 groupe a été laissé non préparé (n = 15).</p>	<p>Temps d'extraction : NR  Stockage : eau distillée  Durée de stockage : NR</p>	<p>Sectionnement à 2 et 4mm de l'apex. 30 coupes par groupe. Analyse : SM (20X) après coloration au bleu de méthylène 1%. Analyse en aveugle : NR.</p>	<p>16mL de NaOCl à 3% par canal. Rinçage final : NR.</p>	<p>Le groupe témoin ne présentait pas de défauts dentinaires. Tous les autres groupes ont provoqué des microfissures. PTU (53%), M2 (40%) et K3XF (34%) ont provoqué plus de microfissures que PTN (26%) et WO (20%).</p>

<p>Monga et coll. 2015 (56)</p>	<p>Prémolaires mandibulaires monoradiculées (n = 150). - Sélection : SM, X-ray - CTE : NR / DE : aléatoire - Couronne enlevée : Oui - LPS : NR</p>	<p>Comparer 4 techniques de préparation (LM 40.02 ; PTU SX-F4 ; K3XF 40.06 ; WO 40.08) dans l'induction de microfissures dentinaires. 4 groupes de 30.</p>	<p>1 groupe a été laissé non préparé (n = 30).</p>	<p>Temps d'extraction : fraîchement Stockage : eau distillée Durée de stockage : NR</p>	<p>Sectionnement à 3, 6, 9mm de l'apex. 90 coupes par groupe. Analyse : SM (12X). Analyse en aveugle : Oui.</p>	<p>5mL de NaOCl à 3% après chaque instrument. Quantité par canal : NR. Rinçage final : NR.</p>	<p>Une seule microfissure complète a été retrouvée dans le groupe instrumenté par PTU. PTU (33,3%) a d'ailleurs produit plus de microfissures que K3XF (16,7%) et WO (10%). Plus de microfissures ont été retrouvées au niveau du tiers coronaire.</p>
<p>Priya et coll. 2014 (57)</p>	<p>Incisives centrales mandibulaires (n = 100). - Sélection : X-ray - CTE : NR / DE : NR - Couronne enlevée : Oui - LPS : Oui</p>	<p>Comparer 8 techniques de préparation, rotatives (rot) et réciproques (rec) (PTU SX-F3 ; PTN SX-X3 ; OS 25.08 ; RC R25) dans l'induction de microfissures dentinaires. 8 groupes de 10.</p>	<p>1 groupe a été laissé non préparé (n = 10). 1 groupe a été préparé avec LM 40.02 (n = 10).</p>	<p>Temps d'extraction : NR Stockage : eau distillée Durée de stockage : 3 semaines</p>	<p>Sectionnement à 3, 6 et 9mm de l'apex. 30 sections par groupe. Analyse : SM (25X). Analyse en aveugle : NR.</p>	<p>12mL de NaOCl à 1% par canal. Rinçage final : eau distillée 5mL.</p>	<p>Aucune fissure n'a été observée dans les groupes témoin et LM. Aucune FRV n'a été observée. Il y avait une différence statistique entre les groupes (PT rot 80% ; PT rec 75% ; PTN rot 36 % ; PTN rec 38 % ; OS rot 70% ; OS rec 50 % ; RC rot 65% ; RC rec 40 %) en ce qui concerne le pourcentage de microfissures. PTN a montré moins de microfissures en mouvement rotatif ou alternatif. Les séquences instrumentales ont montré moins de microfissures que les instruments uniques.</p>

Ustun et coll. 2015  (58)	<p>Incisives mandibulaires (n = 120).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sélection : MC, X-ray</li> <li>- CTE : NR / DE : NR</li> <li>- Couronne enlevée : Oui</li> <li>- LPS : Oui</li> </ul>	<p>Comparer 5 techniques de préparation (LM 25.02 ; PT F2 alternatif ; PTU SX-F2 ; RC R25 ; PTN X1-X2) dans l'induction de microfissures. 5 groupes de 20.</p>	<p>1 groupe a été laissé non préparé (n = 20).</p>	<p>Temps d'extraction : NR</p> <p>Stockage : eau distillée</p> <p>Durée de stockage : NR</p>	<p>Sectionnement à 3, 6 et 9mm de l'apex. 60 coupes par groupe. Analyse : SM (8X). Analyse en aveugle : NR.</p>	<p>10mL de NaOCl à 2,5% par canal. Rinçage final : NR.</p>	<p>Aucune fissure n'a été observée dans les groupes de contrôle et LM. Une fissure complète a été observée dans les groupes rotatifs PTU et PTN. Des fissures incomplètes ont été observées dans tous les groupes (PTU n = 6 ; PT F2 n = 6 ; RC n = 2 et PTN n = 6). Au niveau apical, une fissure incomplète seulement a été observée dans le groupe PTU.</p>
Yoldas et coll. 2012  (59)	<p>Racine mésiale de 1° molaires mandibulaires (n = 140).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sélection : SM</li> <li>- CTE : NR / DE : NR</li> <li>- Couronne enlevée : Oui</li> <li>- LPS : Oui</li> </ul>	<p>Comparer 6 techniques de préparation (LM 40.02 ; HS 30 ; Revo-S AS30 ; TF 30.06 ; PT SX-F3 ; SAF 1,5mm) dans l'induction de microfissures. 6 groupes de 20.</p>	<p>1 groupe a été laissé non préparé (n = 20).</p>	<p>Temps d'extraction : NR</p> <p>Stockage : eau distillée</p> <p>Durée de stockage : NR</p>	<p>Sectionner la racine à 3, 6 et 9mm par rapport au sommet. 60 coupes par groupe. Analyse : SM (40X). Analyse en aveugle : NR.</p>	<p>12mL de NaOCl à 2,5% par canal. Rinçage final : NR.</p>	<p>Aucune fissure n'a été observée dans les groupes LM, SAF et groupe témoin. Le groupe Revo-S a provoqué le moins de défauts (5/20 racines). Tandis que PT (6/20), TF (8/20) et HS (12/20) ont eu la plus forte incidence de défauts, sans différence entre eux. Seulement 1 fissure complète a été observée (groupe PT). Les instruments NiTi induisent différents degrés de défauts dentinaires pendant la préparation.</p>

Tableau 14 : Spécificités méthodologiques des études portant sur l'incidence de la préparation canalairre mécanique sur la formation de défauts dentinaires (60).

**Légende :** BR : BioRace; CTE : calcul de la taille de l'échantillon; DB : disto-buccal; EF : EndoFlare; ES : EndoSequence; FA : foramen apical; GG : Gates Glidden; GT : System GT; HF : Hyflex; HS : HeroShaper; JEC : jonction émail-cément; LM : limes manuelles; LPS : ligament parodontal simulé; LT : longueur de travail; MEB : microscope électronique à balayage; MC : microscopie chirurgicale; M2 : Mtwo; MNT : limes manuelles NiTi; MO : mesure au microscope; NaOCl: hypochlorite de sodium; NR : non renseigné; OS : OneShape; PF : ProFile; PT : ProTaper; PTM : ProTaper manuel; PTN : ProTaper Next; PTU : ProTaper Universal; IUP : irrigation ultrasonique passive; RC : Reciproc; SAF : Self-Adjusting File; DE : distribution de l'échantillon; SA : surface apicale; SM : stéréomicroscopie; TF : Twisted File; TFA : Twisted File Adaptive; uCT: micro-computed tomography; WO : WaveOne.

Système utilisé	Etude + effectif par groupe	Protocole de préparation	Incidence des microfissures après préparation
<b>PREPARATION MANUELLE</b>			
Limes manuelles en acier inoxydable	Al-Zaka (40) (n=20) Bier et coll. (43) (n=20) Cicek et coll. (46) (n=15) Helvacioğlu et coll. (49) (n=15 ; 45 slices) Hin et coll. (50) (n=20) Monga et coll. (56) (n=30) Priya et coll. (57) (n=10) Ustun et coll. (58) (n=20) Yoldas et coll. (59) (n=20)	Step-back (MAF = 30.02 K-file) Balanced-force + crown-down jusqu'à 40 et step-back avec K-Flexofiles 45→80 Balanced-force (MAF = 25.02 K-Flexofile) Balanced-force jusqu'à 25 et step-back de 30→70 Balanced-force + crown-down jusqu'à 40 et step-back avec K-Flexofiles 45→80 Balanced-force + step-back (MAF = 40.02 K-file) Balanced-force (MAF = 40.02 K-file) Balanced-force (MAF = 25.02 K-file) et step-back de 30→60 MAF : 40.02	5.0% (n=1) 0.0% (n=0) 0.0% (n=0) 25% (n=11 slices) 0.0% (n=0) 0.0% (n=0) 0.0% (n=0) 0.0% (n=0) 0.0% (n=0)
Limes manuelles NiTi	Ashwinkumar et coll. (42) (n=30)	Balanced-force (MAF=25.02)	0.0% (n=0)
<b>INSTRUMENTS ROTATIFS EN ACIER INOXYDABLE</b>			
Gates-Glidden®	Arslan et coll. (41) (n=18)	GG3 → GG2 → GG1 (préparation coronaire seulement)	50.0% (n=9)
<b>INSTRUMENTS (UNIQUES ET MULTIPLES) NiTi ROTATIFS</b>			
BioRace®	De-Deus et coll. (48) (n=10)	25.08 → 15.05 → 25.04 → 25.06 → 35.04 → 40.04	0.0% (n=0)
EndoFlare®	Arslan et coll. (41) (n=18)	Préparation coronaire seulement	16.6% (n=3)
EndoSequence®	Al-Zaka (40) (n=20)	27.04 → 30.04 → 25 → 20 → 15 → 30.04	10% (n=2)
F360®	Karatas et coll. (52) (n=15)	25.04	4.0% (n=2 slices)
HeroShaper®	Yoldas et coll. (59) (n=20)	Crown-down séquence rouge jusqu'à 30	60% (n=12)
Hyflex®	Arslan et coll. (41) (n=18)	25.08 (Préparation coronaire seulement)	27.7% (n=5)
	Capar et coll. (45) (n=25)	25.08 → 25.06 → 30.06 → 40.04	28.0% (n=7)
K3XF®	Mavani et coll. (55) (n=15)	25.10 → 25.08 → 25.04 → 25.06	34.0% (n=5)
	Monga et coll. (56) (n=30 ; 90 slices)	Crown down 40.06	7.0% (n=6 slices)
Mtwo®	Bürklein et coll. (44) (n=20 ; 60 slices)	10.04 → 15.05 → 20.06 → 25.06 → 30.05 → 35.04 → 40.04	33% (n=20 slices)
	Hin et coll. (50) (n=20)	10.04 → 15.05 → 20.06 → 25.06 → 30.05 → 35.04 → 40.04	25.0% (n=5)
	Mavani et coll. (55) (n=15)	10.04 → 15.05 → 20.06 → 25.06	40.0% (n=6)
OneShape®	Liu et coll. (54) (n=20)	25.06 (en mode rotatif)	35.0% (n=7)
	Priya et coll. (57) (n=10 ; 30 slices)	25.06 (en mode rotatif)	70% (n=21 slices)
ProFile®	Bier et coll. (43) (n=50)	OS2 et OS3 : préparation terminée quand 40.06 atteint la LT	8% (n=4)
	Karatas et coll. (52) (n=15 ; 45 slices)	30.06 et 25.06	16% (n=7 slices)
ProTaper Gold®	Karatas et coll. (52) (n=15)	SX → S1 → S2 → F1 → F2	9,0% (n=4 slices)

ProTaper Universal®	Al-Zaka (40) (n=20) Arslan et coll. (41) (n=18) Ashwinkumar et coll. (42) (n=30 ; 90 slices) Bier et coll. (43) (n=50) Bürklein et coll. (44) (n=20 ; 60 slices) Capar et coll. (45) (n=25) Cicek et coll. (46) (n=15 ; 45 slices) Hin et coll. (50) (n=20) Kansal et coll. (51) (n=30 ; 90 slices) Karatas et coll. (52) (n=15 ; 45 slices) Karataş et coll. (37) (n=15 ; 45 slices) Li et coll. (53) (n=20 ; 60 slices) Liu et coll. (54) (n=20) Mavani et coll. (55) (n=15) Monga et coll. (56) (n=30 ; 90 slices) Priya et coll. (57) (n=10 ; 30 slices) Ustun et coll. (58) (n=20) Yoldas et coll. (59) (n=20)	SX → S1 → S2 → F1 → F3 SX (Préparation coronaire seulement) S1 → S2 → F1 → F2 SX → S1 → S2 → F1 → F2 → F3 → F4 S1 → S2 → F1 → F2 → F3 → F4 SX → S1 → S2 → F1 → F2 → F3 → F4 SX → S1 → S2 → F1 → F2 SX → S1 → S2 → F1 → F2 → F3 → F4 SX → S1 → S2 → F1 → F2 SX → S1 → S2 → F1 → F2 SX → S1 → S2 → F1 → F2 S1 → S2 → F1 → F2 SX → S1 → S2 → F1 → F2 S1 → S2 → F1 → F2 SX → S1 → S2 → F1 → F2 → F3 → F4 SX → S1 → S2 → F1 → F2 → F3 SX → S1 → S2 → F1 → F2 SX → S1 → S2 → F1 → F2 → F3	50.0% (n=10) 22.2% (n=4) 80% (n=72 slices) 16.0% (n=8) 38% (n=23 slices) 56.0% (n=14) 75% (n=34 slices) 35.0% (n=7) 53% (n=48 slices) 22% (n=10 slices) 38% (n=17 slices) 42% (n=25 slices) 50.0% (n=10) 53.0% (n=8) 15% (n=14 slices) 80% (n=24 slices) 40.0% (n=8) 30.0% (n=6)
ProTaper® Manuel	Ashwinkumar et coll. (42) (n=30 ; 90 slices)	S1 → S2 → F1 → F2	34% (n=31 slices)
ProTaper Next®	Capar et coll. (45) (n=25) Cicek et coll. (46) (n=15 ; 45 slices) De-Deus et coll. (47) (n=10) Karataş et coll. (37) (n=15 ; 45 slices) Li et coll. (53) (n=20 ; 60 slices) Mavani et coll. (55) (n=15) Priya et coll. (57) (n=10 ; 30 slices) Ustun et coll. (58) (n=20)	SX → X1 → X2 → X3 → X4 X1 → X2 X1 → X2 SX → X1 → X2 X1 → X2 P1 → P2 → X1 → X2 SX → X1 → X2 → X3 X1 → X2	28.0% (n=7) 64% (n=29 slices) 0.0% (n=0) 33% (n=15 slices) 3% (n=2 slices) 26.0% (n=4) 36% (n=11 slices) 35.0% (n=7)
Reciproc®	Priya et coll. (57) (n=10 ; 30 slices)	R25 (25.08) (en mode rotatif)	65% (n=20 slices)
Revo-S®	Arslan et coll. (41) (n=18) Yoldas et coll. (59) (n=20)	SC1 (Préparation coronaire seulement) SC1 → SC2 → SU → AS30	27.7% (n=5) 25.0% (n=5)
S-ApeX®	Bier et coll. (43) (n=50)	Taille 15 à 60 à la LT	0.0% (n=0)
System GT®	Bier et coll. (43) (n=50)	50.12 → 35.12 → GT series 30 et 40 conicité 0.1, 0.08, 0.06, 0.04 ont été utilisées jusqu'à ce que le GT file 40.06 atteigne la LT	4.0% (n=2)
Twisted File®	Yoldas et coll. (59) (n=20)	25.08 → 25.06 → 25.04 → 30.06	40.0% (n=8)

<b>SYSTEMES (UNIQUES ET MULTIPLES) NiTi RECIPROQUES</b>			
One Shape®	Priya et coll. (57) (n=10 ; 30 slices)	25.06 (en mode réciprocité)	50% (n=15 slices)
ProTaper Universal®	Priya et coll. (57) (n=10 ; 30 slices)	SX → S1 → S2 → F1 → F2 → F3 (en mode réciprocité)	75% (n=22 slices)
ProTaper® F2	Kansal et coll. (51) (n=30 ; 90 slices) Ustun et coll. (58) (n=20)	F2 (en mode réciprocité) F2 (en mode réciprocité)	26% (n=23 slices) 30.0% (n=6)
ProTaper Next®	Priya et coll. (57) (n=10 ; 30 slices)	SX → X1 → X2 → X3 (en mode réciprocité)	38% (n=12 slices)
Reciproc®	De-Deus et coll. (48) (n=10) Gergi et coll. (36) (n= 30 ; 90 slices) Helvacioğlu et coll. (49) (n=15 ; 45 slices) Karatas et coll. (52) (n=15) Liu et coll. (54) (n=20) Priya et coll. (57) (n=10 ; 30 slices) Ustun et coll. (58) (n=20) Bürklein et coll. (44) (n=20 ; 60 slices)	R25 (25.08) → R40 (40.06) R25 (25.08) R25 (25.08) R25 (25.08) R25 (25.08) R25 (25.08) R25 (25.08) R25 (25.08) R40 (40.06)	0% (n=0) 22% (n=20 slices) 29% (n=13 slices) 11,0% (n=5) 5,0% (n=1) 40% (n=12 slices) 10,0% (n=2) 67% (n=40 slices)
WaveOne®	Al-Zaka (40) (n=20) Ashwinkumar et coll. (42) (n=30 ; 90 slices) Cicek et coll. (46) (n=15 ; 45 slices) De-Deus et coll. (48) (n=10) Gergi et coll. (36) (n=30 ; 90 slices) Helvacioğlu et coll. (49) (n=15 ; 45 slices) Kansal et coll. (51) (n=30 ; 90 slices) Karataş et coll. (37) (n=15 ; 45 slices) Li et coll. (53) (n=20 ; 60 slices) Mavani et coll. (55) (n=15) Monga et coll. (56) (n=30 ; 90 slices) Bürklein et coll. (44) (n=20 ; 60 slices)	25.08 suivi d'une lime manuelle 30.02 à la LT Primary (25.08) Primary (25.08) Primary (25.08) → Large (40.08) Primary (25.08) Primary (25.08) Primary (25.08) Primary (25.08) Primary (25.08) Primary (25.08) Small (20.06) → Primaire (25.08) Large (40.08) Large (40.08)	25,0% (n=5) 39% (n=35 slices) 42% (n=19 slices) 0,0% (n=0) 13% (n=12 slices) 27% (n=12 slices) 15% (n=13 slices) 33% (n=15 slices) 48% (n=29 slices) 20,0% (n=3) 5,6% (n=5 slices) 57% (n=34 slices)
<b>SYSTEMES NITI ROTATIFS ET RECIPROQUES</b>			
Twisted File Adaptive®	De-Deus et coll. (47) (n=10) Gergi et coll. (36) (n=30 ; 90 slices) Karataş et coll. (37) (n=15 ; 45 slices)	SM1 (20.04) → SM2 (25.06) 25.08 → 25.06 → 25.04 → 25.06 → 25.08 SM1 (20.04) → SM2 (25.06)	0,0% (n=0) 2,2% (n=2 slices) 29% (n=13 slices)
<b>AUTRES SYSTEMES DE PREPARATION</b>			
Self-Adjusting File®	Liu et coll. (54) (n=20) Hin et coll. (50) (n=20) Yoldas et coll. (59) (n=20)	1.5 mm 2.0 mm 1.5 mm	0,0% (n=0) 10,0% (n=2) 0,0% (n=0)

Tableau 15 : L'incidence de la préparation canalair sur la formation de microfissures dentinaires en utilisant différents protocoles et systèmes de préparation (60).

UNIVERSITE DE NANTES  
UNITÉ DE FORMATION ET DE RECHERCHE D'ODONTOLOGIE

Vu le Président du Jury,



M. F. PEREZ

Vu et permis d'imprimer

Vu le Doyen,



Y. AMOURIQ





**CAZOULAT (Mathieu).** – Incidence de la préparation canalaire mécanique sur la formation de microfissures dentinaires. ; 68f ; ill ; tabl ; 78 ref ; 30 cm (Thèse : Chir. Dent. ; Nantes ; 2016)

**RÉSUMÉ :**

La microfissure dentinaire radiculaire est un problème clinique difficile à diagnostiquer et à traiter. Malheureusement, elle conduit le plus souvent à la perte de l'organe dentaire. Selon plusieurs études récentes, l'instrumentation endodontique nickel-titane mécanisée serait plus encline à provoquer le développement ou la propagation de microfissures dentinaires. Ce travail a pour objectif de présenter les différents résultats et différentes méthodologies de ces études, puis de déterminer l'influence des dynamiques instrumentales et des différents systèmes de mise en forme dans le développement des défauts dentinaires.

**RUBRIQUE DE CLASSEMENT :** Odontologie - Endodontie

**MOTS CLEFS MESH :**

Dentine – Dentin  
Endodontie – Endodontics  
Fissures dentaires – Dental fissures  
Instruments dentaires – Dental instruments  
Préparation canalaire radiculaire – Root canal preparation

**JURY :**

Président : Professeur PEREZ F.  
Directeur : Docteur ARMENGOL V.  
Assesseur : Docteur MARION D.  
Assesseur : Docteur BOUCHET X.

**ADRESSE DE L'AUTEUR :**

6 rue des Grisets – 45650 Saint-Jean-le-Blanc  
[matcaz45@hotmail.com](mailto:matcaz45@hotmail.com)