

**UNIVERSITE TOULOUSE III – PAUL SABATIER**  
**FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE**

---

Année : 2015

Thèse : 2015-TOU3-3077

# THESE

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

Présentée et soutenue publiquement

Par

**Mathieu BOYER**

Le 14 Décembre 2015

---

**LA MISE EN FORME CANALAIRE : LE POINT EN 2015**

Directeur de thèse : Pr Franck DIEMER

---

## JURY

Président  
Assesseur  
Assesseur  
Assesseur

Professeur Franck DIEMER  
Docteur Sabine JONOT  
Docteur Marie GURGEL-GEORGELIN  
Docteur Bertrand ARCAUTE





## Faculté de Chirurgie Dentaire



### ➔ DIRECTION

#### DOYEN

Mr Philippe POMAR

#### ASSESEUR DU DOYEN

Mme Sabine JONIOT

#### CHARGÉS DE MISSION

Mr Karim NASR

Mme Emmanuelle NOIRRIT-ESCLASSAN

#### PRÉSIDENTE DU COMITÉ SCIENTIFIQUE

Mme Anne-Marie GRIMOUD

#### RESPONSABLE ADMINISTRATIF

Mme Marie-Christine MORICE

### ➔ HONORARIAT

#### DOYENS HONORAIRES

Mr Jean LAGARRIGUE +

Mr Jean-Philippe LODTER

Mr Gérard PALOUDIER

Mr Michel SIXOU

Mr Henri SOULET

### ➔ ÉMÉRITAT

Mme Geneviève GRÉGOIRE

Mr Gérard PALOUDIER

### ➔ PERSONNEL ENSEIGNANT

#### **56.01 PÉDODONTIE**

##### ***Chef de la sous-section :***

Professeur d'Université :

Maîtres de Conférences :

Assistants :

Chargés d'Enseignement :

##### ***Mme BAILLEUL-FORESTIER***

Mme BAILLEUL-FORESTIER, Mr VAYSSE

Mme NOIRRIT-ESCLASSAN

Mme DARIES, Mr MARTY

Mr DOMINÉ

#### **56.02 ORTHOPÉDIE DENTO-FACIALE**

##### ***Chef de la sous-section :***

Maîtres de Conférences :

Assistants :

Assistant Associé

Chargés d'Enseignement :

##### ***Mr BARON***

Mr BARON, Mme LODTER, Mme MARCHAL-SIXOU, Mr ROTENBERG,

Mme GABAY-FARUCH, Mme YAN-VERGNES

Mr TOURÉ

Mme MECHRAOUI, Mr MIQUEL

#### **56.03 PRÉVENTION, ÉPIDÉMIOLOGIE, ÉCONOMIE DE LA SANTÉ, ODONTOLOGIE LÉGALE**

##### ***Chef de la sous-section :***

Professeur d'Université :

Maître de Conférences :

Assistant :

Chargés d'Enseignement :

##### ***Mr HAMEL***

Mme NABET, Mr PALOUDIER, Mr SIXOU

Mr HAMEL, Mr VERGNES

Mlle BARON

Mr DURAND, Mr PARAYRE

**57.01 PARODONTOLOGIE**

**Chef de la sous-section :** **Mr BARTHET**  
 Maîtres de Conférences : Mr BARTHET, Mme DALICIEUX-LAURENCIN  
 Assistants : Mr MOURGUES, Mme VINEL  
 Chargés d'Enseignement : Mr CALVO, Mr LAFFORGUE, Mr SANCIER

**57.02 CHIRURGIE BUCCALE, PATHOLOGIE ET THÉRAPEUTIQUE, ANESTHÉSIOLOGIE ET RÉANIMATION**

**Chef de la sous-section :** **Mr COURTOIS**  
 Professeur d'Université : Mr DURAN  
 Maîtres de Conférences : Mr CAMPAN, Mr COURTOIS, Mme COUSTY  
 Assistants : Mme BOULANGER, Mme CROS, Mr EL KESRI  
 Chargés d'Enseignement : Mr FAUXPOINT, Mr L'HOMME, Mme LABADIE

**57.03 SCIENCES BIOLOGIQUES (BIOCHIMIE, IMMUNOLOGIE, HISTOLOGIE, EMBRYOLOGIE, GÉNÉTIQUE, ANATOMIE PATHOLOGIQUE, BACTÉRIOLOGIE, PHARMACOLOGIE)**

**Chef de la sous-section :** **Mr POULET**  
 Professeurs d'Université : Mr KEMOUN  
 Maîtres de Conférences : Mme GRIMOUD, Mr POULET  
 Assistants : Mr BARRAGUÉ, Mme DUBOSC, Mr LEMAITRE, Mme PESUDO  
 Chargés d'Enseignement : Mr BLASCO-BAQUE, Mr SIGNAT, Mme VALERA

**58.01 ODONTOLOGIE CONSERVATRICE, ENDODONTIE**

**Chef de la sous-section :** **Mr DIEMER**  
 Professeurs d'Université : Mr DIEMER  
 Maîtres de Conférences : Mr GUIGNES, Mme GURGEL-GEORGELIN, Mme MARET-COMTESSE  
 Assistants : Mr BONIN, Mr BUORO, Mme DUEYMES, Mr MICHETTI, Mme RAPP  
 Assistant Associé : Mr HAMDAN  
 Chargés d'Enseignement : Mr BALGUERIE, Mr ELBEZE, Mr MALLET

**58.02 PROTHÈSES (PROTHÈSE CONJOINTE, PROTHÈSE ADJOINTE PARTIELLE, PROTHÈSE COMPLÈTE, PROTHÈSE MAXILLO-FACIALE)**

**Chef de la sous-section :** **Mr CHAMPION**  
 Professeurs d'Université : Mr ARMAND, Mr POMAR  
 Maîtres de Conférences : Mr BLANDIN, Mr CHAMPION, Mr ESCLASSAN, Mme VIGARIOS  
 Assistants : Mr CHABRERON, Mr GALIBOURG, Mr HOBEILAH, Mr KNAFO, Mme SELVA  
 Chargés d'Enseignement : Mr BOGHANIM, Mr DESTRUHAUT, Mr FLORENTIN, Mr FOLCH, Mr GHRENASSIA, Mme LACOSTE-FERRE, Mr POGÉANT, Mr RAYNALDY, Mr GINESTE

**58.03 SCIENCES ANATOMIQUES ET PHYSIOLOGIQUES, OCCLUSODONTIQUES, BIOMATÉRIAUX, BIOPHYSIQUE, RADIOLOGIE**

**Chef de la sous-section :** **Mme JONJOT**  
 Professeur d'Université : Mme GRÉGOIRE  
 Maîtres de Conférences : Mme JONJOT, Mr NASR  
 Assistants : Mr CANIVET, Mme GARNIER, Mr MONSARRAT  
 Chargés d'Enseignement : Mr AHMED, Mme BAYLE-DELANNÉE, Mr ETIENNE, Mme MAGNE, Mr TREIL, Mr VERGÉ

-----  
 L'université Paul Sabatier déclare n'être pas responsable des opinions émises par les candidats.  
 (Délibération en date du 12 Mai 1891).

Mise à jour au 3 Novembre 2015

## Remerciements

Avant de débiter, je souhaiterais remercier toutes les personnes que j'oubliais de citer, et elles sont nombreuses ; pour les moments partagés, les joies, les peines, et qui ont fait que je suis la personne qui écrit ces lignes ce soir.

A **Maman**, comment ne pas commencer par celle qui m'a tout donné ? J'admire la femme et la mère que tu es. Tout l'amour que tu nous a donné, tous les sacrifices que tu as faits. Si je suis là, c'est grâce à ton soutien inconditionnel, et aux valeurs que tu m'as inculquées. J'espère te rendre fière chaque jour, et cela me pousse à avancer !

A **Axel**, on est passé par des moments difficiles plus jeune, et je suis conscient de mon manque de communication récurrent. Je ne te l'ai pas assez dit, mais je suis fier de toi mon frère, de l'homme que tu es en train de devenir. Ton abnégation et ta dévotion pour aider la famille, mais aussi ton sens de la déconne... On sent bien là les gènes Moretti !

A **Mamie Susie**, à ta gentillesse légendaire, à toutes ces vacances à trainer dans tes pattes alors que des effluves enivrantes émanaient de la cuisine. *Suffit Suffit !*

A **Papi André**, et à tous les étés à la Bordeneuve, à jouer au basket, à Nacho. Je travaille tous les jours à être un digne héritier de l'humour Boyer.

A **Tati Flo** et à **Xav'**, vous m'avez toujours accueilli à bras ouvert, comme le plus grand de vos fils, merci. J'ai adoré tous les moments passés ensemble lorsque les familles Le Galles et Boyer sont réunis. Xavier, puisse ton nouveau pari te combler.

**Quentin, Gaëtan** et **Aurélien**, je vous souhaite le meilleur, ne rendez pas trop folle votre mère.

A **Tati Sylvie**, de cette lointaine contrée Alsacienne où je ne m'aventure malheureusement pas assez, c'est toujours un plaisir de passer du temps avec toi et avec les filles, **Jade** et **Jilliane**.

A **Maïté**, merci encore pour ton aide à l'oral de français et ton éternelle bonne humeur.

A **Rafaelle**, il t'en aura fallu du courage pour grandir entourée de tous ces Boyer, et tu t'en es tirée avec les honneurs. Aux après-midi déguisements à Artigat !

A mes amis du 1<sup>er</sup> soir,

**Chef**, je ne te remercierai jamais assez pour le bridge complet de Mme Arcari ni pour tes plats de cantinier !

**Pierre Besse Besse**, le professeur au grand cœur, un petit U Libecciu puis direction Tao, tu me suis ?

**Pesto**, collage et point de chaînette inversée, l'obsession de la qualité et l'amour des bulldogs, soon Paris-Nantes *2 minutes d'arrêt...*

**VED** et **PX**, 2 many Dj at Via Notte dormants dans une cabine téléphonique, à la triplète de belleville!

**#Saucier**, #brunch #lavraievie #11+5 #goldgym #25gdecajou #turemontesquandtuveux

A **Dominique** Aka Domi, AKA the MVP moth\* F\*\*\*\*\* Doum'si, purulent, puruls, burruls, béreilloni, toreile, toreillon, georges, bérébéré, roooobert & briiigitte, gaillac, pinot blanc.

**Dubeud**, merci pour tes maisons à Hossegor et à Montjoi ! J'ai perdu mes trapèzes à maigrir sur tes photos...

**TGB**, depuis cette soirée avec Marco, et jusqu'au dirty corner

**Cremastos**, parce que c'est toujours utile d'avoir un pote orthoptiste.

Aux **filles**, capou, clémentine, tati, hélène, diane, marine, pour tous les bons moments passés, et surtout de m'avoir supporté moi et mon humour douteux durant toutes ces années !

J'ai adoré tout ce qu'on a partagé durant toutes ces années incroyables, il m'est difficile de trouver les mots pour l'un, pour l'autre, tant notre groupe est pour moi une entité à part entière, où chaque individu est irremplaçable.

Je suis heureux de vous avoir rencontré, d'avoir grandi à vos côtés. Cette nouvelle étape, et la vie nous a fait prendre des chemins différents, faisons en sorte de maintenir nos liens serrés en dépits des kilomètres... *Je vous aime putain !*

A la Team parisienne :

**Picobel biocare®**, à l'heure où j'écris ces lignes, doit être en train de récupérer son A3 schpougnée à la fourrière pour la 5ème fois.. Au mec qui ressemble au **Gros** de very bad trip, BIG UP. A **Kiche** et **Dadoo** les princes de la Nuba. A nos virées à venir !

**Inès...** Force et Robustesse...

Quelques mots à l'attention de deux personnes pour qui ce jour a une saveur plus particulière,

A toi **Papi Roland**, cher confrère, merci de m'avoir transmis le virus. C'est un honneur pour moi de reprendre le flambeau, je ferai tout pour m'en montrer digne, en tant que professionnel mais aussi en tant qu'homme. Paraît-il cela saute une génération, et plus le temps passe plus cet adage se vérifie (et je ne parle pas de l'amour du bon vin et de la Pilsener !)

**Mathilde**, me lever tous les matins à tes côtés embelli ma vie. Tu es une femme formidable, accompli et ne laissant rien au hasard. Quel plaisir indescriptible que celui d'admirer celle qui partage sa vie ! Après des débuts hésitants, voilà que Paris nous ouvre ses bras... Pleins de promesses... J'ai l'habitude de te dire que les actes valent plus que les mots, mais aujourd'hui je te le dis, Je t'aime.

*Et enfin, à toi **Papa**, mon modèle, mon mentor, toujours le mot juste, le geste juste. Tu m'as transmis le goût de l'effort, du don de soit. Je t'ai vu chérir la femme que tu aimes chaque jour et m'en inspire quotidiennement. J'espère devenir un homme aussi accompli que toi. Nous, les Boyer, sommes pudique dans l'expression de nos sentiments, je m'en veux de ne pas avoir été à tes côtés dernièrement comme tu l'as toujours été pour moi dans mes moments de doutes. De tout mon cœur cette thèse est pour toi.*

**A notre président de jury de thèse et notre directeur de thèse,**

**Monsieur le professeur Franck DIEMER :**

- Professeur des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie  
Responsable de la sous-section d'Odontologie Conservatrice, Endodontie,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- D.E.A. de Pédagogie (Education, Formation et Insertion) Toulouse Le Mirail,
- Responsable du Diplôme Inter Universitaire d'Endodontie à Toulouse,
- Habilitation à diriger des recherches (H.D.R.),
- Lauréat de l'Université Paul Sabatier,
- Vice- Président de la Société Française d'Endodontie.

*Vous nous faites le très grand honneur d'accepter la présidence de cette thèse*

*Nous souhaitons vous exprimer notre immense reconnaissance et notre profonde gratitude pour avoir été un guide et pour la bienveillance dont vous avez fait preuve tout au long de ces années.*

*Merci pour la qualité de vos enseignements, merci pour la confiance que vous nous avez accordée, de votre soutien indéfectible, et enfin merci de l'aide apportée à rédaction de ce travail en tant que directeur de thèse.*

*Nous espérons nous montrer dignes de ce que vous nous avez transmis.*

**A notre jury de thèse,**

**Madame le docteur Sabine JONIOT :**

- Maître de Conférences des Universités, Praticien hospitalier d'Odontologie,
- Responsable de la sous-section « Sciences Anatomiques et physiologiques, Occlusodontiques, Biomatériaux, Biophysique, Radiologie »,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- Docteur d'Etat en Odontologie,
- Habilitation à diriger des recherches (HDR),
- Lauréate de l'Université Paul Sabatier.

*Nous vous remercions très chaleureusement d'avoir accepté de participer à notre jury de thèse. Nous nous souviendrons longtemps de votre bonne humeur et de votre gentillesse auprès de nous.*

*Veillez trouver ici le témoignage de notre plus grande gratitude.*

**A notre jury de thèse,**

**Madame le docteur Marie GURGEL-GEORGELIN :**

- Maître de Conférences des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- Doctorat d'Université – Université d'Auvergne-Clermont I,
- Ancienne Interne des Hôpitaux,
- D.E.A. MASS Lyon III,
- Maîtrise des Sciences Biologiques et Médicales.

*Nous sommes très honorés que vous ayez accepté de siéger dans ce jury de thèse.*

*Notre cursus clinique à fait que nous n'avons pu que très brièvement bénéficier de votre encadrement, et nous le déplorons aujourd'hui tant les retours de mes jeunes confrères sont élogieux à votre égard.*

*Veillez trouver ici l'assurance de notre profond respect et de notre estime.*

**A notre jury de thèse,**

**Monsieur le docteur Bertrand ARCAUTE :**

- Ex-assistant hospitalo-universitaire d'Odontologie,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- Master 1 « Biosanté », mention : Anthropologie,
- Master 2 Recherche anthropologie et génétique des populations,
- Lauréat de l'Université Paul Sabatier.

*Vous nous faites l'honneur de siéger à notre jury de thèse.  
Nous souhaitons vous en remercier, ainsi que pour vos conseils  
avisés et votre enthousiasme durant nos premières vacances  
cliniques.*

*Nous vous prions d'accepter nos considérations les plus  
distinguées*

## TABLES DES MATIERES :

<b>Introduction.....</b>	<b>14</b>
<b>1. Généralités.....</b>	<b>15</b>
<b>1.1. Objectifs et impératifs du traitement endodontique.....</b>	<b>15</b>
1.1.1. Impératifs biologiques .....	16
1.1.2. Impératifs mécaniques .....	17
<b>1.2. Concepts et objectifs de la mise en forme canalaire .....</b>	<b>18</b>
1.2.1. Approche Scandinave, standardisée.....	18
1.2.2. Approche Nord-Américaine, fondée sur la conicité .....	19
<b>1.3. Définitions.....</b>	<b>20</b>
1.3.1. Rappels.....	20
1.3.1.1. Rayon de courbure canalaire.....	20
1.3.1.2. Diamètre.....	20
1.3.1.3. Conicité.....	20
1.3.1.4. Cathétérisme .....	21
1.3.1.5. Perméabilité canalaire et apicale.....	22
1.3.2. L'instrument.....	22
1.3.2.1. Section.....	22
1.3.2.2. Angle de coupe .....	22
1.3.2.3. Angle de dégagement.....	23
1.3.2.4. Méplat Radian.....	24
1.3.2.5. Pas et Angle d'hélice .....	24
1.3.2.6. Angle de pointe et de transition .....	25
<b>1.4. Longueur de travail et limite apicale de préparation .....</b>	<b>26</b>
1.4.1. Anatomie apicale .....	26
1.4.2. Détermination de la LT.....	28
1.4.2.1. Détermination sensitive .....	28
1.4.2.2. Détermination radiographique .....	28
1.4.2.3. Détermination électronique.....	29
1.4.3. Choix de la limite apicale de préparation .....	30
1.4.3.1. Lime apicale primitive .....	30
1.4.3.2. Lime apicale maitresse.....	30
<b>1.5. Incidents lors de la mise en forme .....</b>	<b>31</b>
1.5.1. Stripping.....	31
1.5.2. Déformation apicale.....	31
1.5.2.1. Par instrumentation manuelle .....	31
1.5.2.2. Par instrumentation rotative.....	31
1.5.3. Butée .....	32
1.5.4. Faux canal .....	32
1.5.5. Perforation.....	32
<b>1.6. Historique des concepts .....</b>	<b>33</b>
1.6.1. Technique standardisé.....	33
1.6.2. Step-Back.....	34
1.6.3. Technique sérielle .....	35
1.6.4. Anticourvature filing.....	35
1.6.5. Crown-Down.....	36
1.6.6. Technique des forces équilibrées .....	37

<b>2. Les instruments endodontiques .....</b>	<b>39</b>
<b>2.1. Manuels acier .....</b>	<b>39</b>
2.1.1. Le tire-nerf .....	39
2.1.2. Lime K (Kerr) .....	39
2.1.3. La broche .....	39
2.1.4. Lime H (Hedström).....	39
<b>2.2. Instruments en Nickel-Titane (Ni-Ti).....</b>	<b>40</b>
2.2.1. Généralités .....	40
2.2.2. Caractéristiques.....	40
2.2.2.1. Mémoire de forme.....	40
2.2.2.2. Super-élasticité.....	41
<b>2.3. Utilisation des instruments Ni-Ti.....</b>	<b>43</b>
2.3.1. Principes de base.....	43
2.3.2. Limite mécanique : la fracture instrumentale .....	44
2.3.2.1. Fracture par torsion.....	44
2.3.2.2. Fracture par fatigue cyclique (flexion) .....	45
2.3.2.3. Associée .....	46
<b>2.4. Techniques de mise en forme.....</b>	<b>46</b>
2.4.1. Mise en forme des 2/3 coronaires .....	47
2.4.2. Mise en forme du 1/3 apical.....	48
2.4.3. Courbures apicales .....	48
<b>3. Les nouveaux concepts .....</b>	<b>49</b>
<b>3.1. Mise en forme mono-instrumentale en rotation continue .....</b>	<b>49</b>
3.1.1. One Shape .....	49
3.1.2. F360 .....	50
3.1.3. Discussion.....	51
<b>3.2. Mise en forme mono-instrumentale en mouvement réciproque.....</b>	<b>51</b>
3.2.1. Mouvement Alternatif Transversal Asymétrique (MATA).....	52
3.2.1.1. Protocole .....	52
3.2.1.2. MATA et courbures canalaires sévères .....	52
3.2.1.3. MATA et canaux larges .....	53
3.2.2. WaveOne.....	55
3.2.3. WaveOne Gold.....	57
3.2.4. Réciproc .....	59
<b>3.3. Mouvement hybride : Twisted File Adaptive.....</b>	<b>61</b>
<b>3.4. Instruments de nettoyage .....</b>	<b>62</b>
3.4.1. Self Adjusting File .....	62
3.4.2. XP-Endo Finisher.....	63
<b>3.5. Rotation Continue / Nouvelles techniques : Revue non systématique de la littérature.....</b>	<b>65</b>
3.5.1. Introduction.....	65
3.5.2. Qualité du nettoyage et désinfection du canal .....	65
3.5.3. Qualité de la mise en forme .....	68
3.5.4. Résistance à la fracture instrumentale.....	74
3.5.5. Temps de préparation.....	77
<b>4. Conclusion .....</b>	<b>78</b>
<b>5. Bibliographie .....</b>	<b>79</b>

## Introduction

Lorsque Herbert Schilder énonça « Les canaux non préparés ne peuvent être nettoyés, les canaux non préparés ne peuvent être obturés », il soulignait déjà l'importance de la mise en forme canalaire comme base de tout traitement endodontique.

Depuis l'avènement de l'endodontie moderne au début des années 70, les objectifs essentiels de la thérapeutique n'ont pas évolués, mais les progrès technologiques ont été majeurs.

En effet le traitement endodontique est minutieux et difficile, de part la variabilité anatomique, la complexité du réseau à nettoyer, et le manque de visibilité lors de l'acte, le praticien ayant le plus souvent pour seule référence, une image en deux dimensions.

En réponse aux difficultés rencontrées par les praticiens, les industriels n'ont cessé d'innover. L'instrumentation, d'abord manuelle, s'est mécanisée, puis les séquences instrumentales se sont simplifiées.

Récemment de nouveaux alliages et mouvements originaux ont vu le jour pour sécuriser l'acte.

Chaque fabricant développe et commercialise un nombre important d'instruments, laissant le praticien parfois démuné face à une offre si diversifiée, et à des arguments commerciaux difficilement vérifiables.

L'objectif de cette thèse est donc de mettre en avant dans un premier temps les éléments clés de la mise en forme canalaire, l'évolution des techniques et les contributions apportées par les dernières générations d'instruments.

La mise au point de systèmes mono-instrumentaux que ce soit en rotation continue ou en mouvement réciproque a constitué une avancée certaine dont les intérêts, les avantages et les inconvénients seront discutés dans une seconde partie par rapport aux séquences pluri-instrumentale.

*« Il y a peut-être un million de méthodes et même un peu plus, mais quant aux principes, ils sont en nombre limité.*

*L'homme qui maîtrise les principes pourra avec succès choisir ses propres méthodes.*

*L'homme qui essaye les méthodes, ignorant les principes, est condamné à avoir des problèmes »*

- Ralph Waldo Emerson

## **1. Généralités**

### **1.1. Objectifs et impératifs du traitement endodontique**

Les objectifs de l'endodontie sont la prévention, le diagnostic et le traitement des maladies de la pulpe et de ses manifestations péri-radicales (CNEOC, 2010)

Le traitement endodontique a pour objectif de traiter les maladies de la pulpe et du péri apex et ainsi de transformer une dent pathologique en une entité saine, asymptomatique et fonctionnelle sur l'arcade. (HAS, 2008)

La Haute Autorité de Santé a établi en 2008 les indications et contre-indications du traitement endodontique.

#### **Le traitement endodontique est indiqué dans les cas suivant :**

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

#### **Il existe cependant des contre-indications :**

- D'ordre médical :
  - formelle : cardiopathie à haut risque d'endocardite infectieuse si la pulpe est nécrosée,
  - relative : cardiopathie à haut risque d'endocardite infectieuse si la dent est vivante et cardiopathie à risque moins élevé dans tous les cas. Chez ces patients, les soins endodontiques ne doivent être réalisés que si trois conditions sont remplies : champ opératoire étanche
- Dent sans avenir fonctionnel, ne pouvant être restaurée de manière durable.
- Dent avec un support parodontal insuffisant.

Le but du traitement endodontique est donc de créer un environnement favorable à la cicatrisation des tissus péri apicaux en isolant, après une désinfection la plus complète possible, l'endodonte du parodonte.

Pour se faire, le traitement se doit de respecter un ensemble d'impératifs mécaniques et biologiques indissociables pour pouvoir atteindre les objectifs définis par Schilder en 74, et qui restent aujourd'hui encore, d'actualité :

- la suppression du tissu organique pulpaire et des irritants,
- le respect du trajet canalaire initial,
- la préservation des structures apicales,
- l'aménagement d'une conicité majorée et régulière. Le but est de réaliser ensuite une obturation tridimensionnelle hermétique, qui va conditionner la réussite du traitement endodontique.

Ce dernier point étant peut-être celui qui ouvre la discussion car il fait débat depuis de nombreuses années.

### **1.1.1. Impératifs biologiques**

La suppression de la totalité du contenu organique canalaire est l'objectif biologique majeur du traitement endodontique. La complexité anatomique peut constituer un obstacle au bon nettoyage du système canalaire par la présence d'isthmes, canaux ovales, accessoires, latéraux. (Hess et al., 1925; Vertucci, 2005)

Certaines études montrent qu'environ 35% des surfaces dentinaires intra-canales ne sont pas concernées par l'instrumentation, quelque soit le système utilisé (Peters et al., 2001)

Le nettoyage est rendu possible grâce à l'utilisation concomitante de solutions d'irrigations palliant les manques de l'action mécanique. Irrigation elle-même facilitée par la mise en forme, créant un espace facilitant son renouvellement jusque dans la zone apicale, et permettant ainsi l'élimination du tissu pulpaire, des débris nécrotiques, de la boue dentinaire et des micro-organismes des zones inaccessibles mécaniquement (Machtou, 1993)

Les solutions d'irrigations jouent dès lors un rôle central lors de la préparation chimio-mécanique, elles doivent répondre aux exigences suivantes (Zehnder, 2006) :

- Large spectre microbien
- Haute efficacité contre les micro-organismes anaérobies et facultatifs organisés dans les biofilms
- Capacité de dissoudre le tissu pulpaire nécrotique
- Capacité de désactivation des endotoxines
- Capacité d'empêcher la formation de boue dentinaire durant l'instrumentation, et de la dissoudre une fois celle-ci formée.
- Non toxique pour les tissus vivants péri apicaux, non caustique pour l'organe dentaire, et ne provoquant pas de réaction allergique.

En dehors des capacités intrinsèques de chaque irrigant, c'est surtout la capacité à atteindre les micro-organismes, le temps de contact et le renouvellement de la solution qui conditionne l'efficacité de la procédure, d'où l'importance de la préparation canalaire.

Préparation qui doit également répondre à des impératifs mécaniques bien définis.

### **1.1.2. Impératifs mécaniques**

D'un point de vue mécanique, les points clés suivant sont à respecter impérativement :

- La cavité d'accès, permettant une visualisation claire des orifices canaux, dépourvu de toutes interférences à la pénétration des instruments de mise en forme et d'irrigation (Simon et al., 2012)
- Le respect du trajet canalaire initial, à la recherche d'une mise en forme terminale « homothétique ».
- La préservation des structures apicales, dépendant majoritairement du respect de la trajectoire canalaire initiale, sous peine de transport apicaux, et foraminaux. Une atteinte des structures rendra l'obturation difficilement hermétique. Inversement, une diminution du diamètre du foramen, par la perte de sa perméabilité, maintiendra une partie des irrigants in situ, pouvant être responsable d'une réaction inflammatoire péri-apicale.
- L'aménagement d'une conicité majorée et régulière, de la chambre pulpaire à l'apex. Long et fastidieux autrefois malgré l'évolution des techniques manuelles, l'apport de la rotation continue a facilité son obtention. Permettant une instrumentation et un nettoyage chimio-mécanique efficace de la portion apicale.

## **1.2. Concepts et objectifs de la mise en forme canalaire**

Le triptyque sur lequel repose le traitement endodontique est donc la mise en forme, la désinfection et l'obturation du réseau canalaire.

La mise en forme est l'étape initiale qui conditionne les deux autres, en effet désinfecter et obturer un canal qui n'a pas été préparé se révèle très délicat voir impossible. (Castellucci, 2004)

La mise en forme est définie comme l'aménagement de l'espace canalaire principal selon une forme conique, régulière et homothétique du canal radiculaire pour faciliter son nettoyage et permettre le remplissage du réseau canalaire radiculaire par un matériau d'obturation. (CNEOC, 2010)

### **1.2.1. Approche Scandinave, standardisée**

Basée sur les principes dictés par John Ingle (1961), cette approche dite « standardisée » prône le retrait d'une épaisseur importante de dentine jusqu'à la constriction apicale, entre 1 et 2 mm de l'apex anatomique, dans le but de créer une boîte permettant l'élimination des débris et bactéries de la région apicale par action mécanique et chimique avec un renouvellement de la solution d'irrigation plus aisé dans les derniers millimètres (Ram, 1977), puis afin de bloquer les matériaux d'obturation canalaire.

Elle implique l'utilisation d'instruments manuels en acier de type broches ou limes de Hedström (lime H). Les broches de calibre croissant sont successivement utilisées à la même longueur de travail.

La préparation apicale doit être supérieur au plus grand diamètre du canal pour une élimination optimale de dentine sur l'ensemble des parois.

La conicité n'est donc, pour l'école scandinave, pas un critère majeur de réussite. C'est l'élargissement du canal dans son ensemble qui autorise l'élimination des bactéries présentes sur les parois.

### 1.2.2. Approche Nord-Américaine, fondée sur la conicité

Largement décrite par Schilder en 1974, cette approche est fondée sur la conicité dont les objectifs et impératifs ont été développés précédemment.

La conicité recherchée a plusieurs rôles :

- Circulation efficace des solutions d'irrigation, et remonté de débris facilité jusqu'au tiers apical
- Bloquer la progression apicale du cône de gutta lorsque ce dernier sera compacté en technique verticale à chaud, et transformer la poussée verticale en pression hydraulique latérale permettant la propulsion des matériaux dans les zones non instrumentées favorisant une obturation tridimensionnelle

La littérature ne permet pas de départager en terme d'efficacité clinique ces deux concepts qui se sont affronté depuis de nombreuses années. Ces deux écoles reconnaissent l'une comme l'autre l'importance majeure de la zone apicale et la nécessité de la nettoyer de la manière la plus complète possible.

Les instruments et la technique d'obturation utilisés dépendront du concept choisi, d'où l'importance de leur compréhension

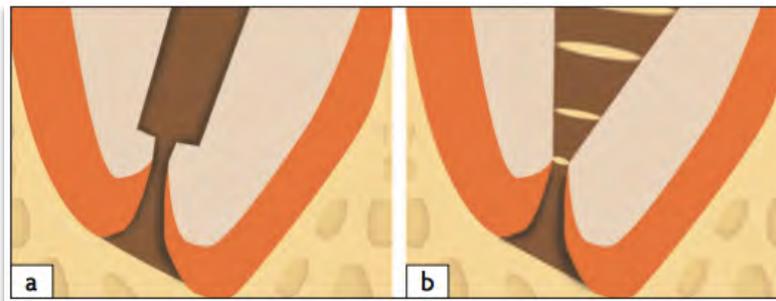


Figure : La « boîte apicale » préconisée selon l'école scandinave (a), et la technique basée sur la conicité de l'approche nord-américaine (b). (Simon et al., 2012)

## 1.3. Définitions

### 1.3.1. Rappels

#### 1.3.1.1. Rayon de courbure canalaire

Le rayon de courbure d'un tracé indique son niveau d'incurvation : plus le rayon de courbure est élevé, plus le tracé se rapproche d'une ligne droite, et inversement.

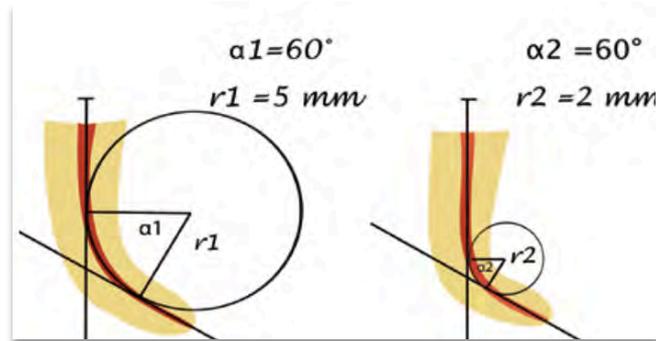


Figure : Deux canaux présentant des angles équivalents ( $60^\circ$ ) mais des rayons de courbures différentes. (Pruett et al., 1997)

#### 1.3.1.2. Diamètre

Le diamètre se définit comme la dimension de la section transversale passant par le centre de l'instrument ou du canal en un point donné. En endodontie il est exprimé en centièmes de millimètre.

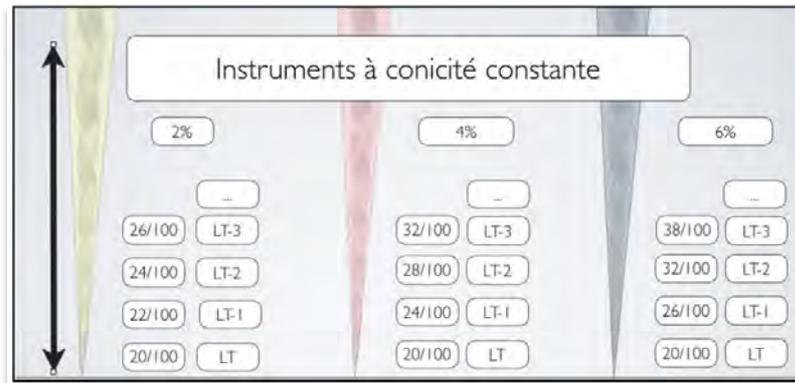
Il ne doit pas être confondu avec la conicité.

#### 1.3.1.3. Conicité

La conicité traduit une variation de diamètre par millimètre, le long d'un volume (instrument ou canal). Si la conicité est constante le diamètre augmente régulièrement de la pointe de l'instrument vers la base de la partie active (CNEOC, 2010). Des instruments peuvent avoir un même diamètre de pointe mais des conicités différentes.

Pour un instrument à conicité constante de 2% ou .02 (instruments endodontiques en acier selon la norme ISO), le diamètre augmentera de 0,02mm tous les millimètres.

Il a également été mis au point des instruments à conicité variables présentant plusieurs conicités différentes sur la partie active, permettant d'optimiser leur efficacité tout en diminuant les contraintes mécaniques.



Calcul de différents diamètres en fonction de la conicité (Bukiet et al., 2003)

L'accroissement de la conicité à diamètre apical égal améliore l'efficacité de l'irrigation ainsi que la remontée de débris résultants de la préparation. (Albrecht et al., 2004)

Mais le débat perdure quant à la stratégie à adopter lors de la préparation canalaire. Effectivement, comme nous venons de le voir, l'école scandinave préconise en général une augmentation du diamètre apical (Tronstad, 1992) par la création d'une boîte apicale alors que l'école américaine prône plutôt une augmentation de la conicité (Schilder, 1974)

#### 1.3.1.4. Cathétérisme

Exploration initiale du canal, généralement effectué à l'aide d'une lime manuelle, de type K, en acier, de faible diamètres (06, 08 ou 10/100<sup>e</sup> de mm) et pré-incurvée (CNEOC, 2010).

L'exploration canalaire se fait de manière passive, et nous informe sur l'anatomie canalaire, la présence de courbures, d'interférence avec les parois de la cavité d'accès, de ramifications, c'est une étape de prise d'information, on ne recherche pas d'emblée la longueur de travail.

Il existe aujourd'hui des instruments de cathétérisme en Nickel-Titane (Ni-Ti) utilisés en rotation continue tels que le PathFile® (Dentsply Maillefer) ou le G-files® (Micro-Méga). Ces instruments permettraient un passage plus rapide et plus sûr jusqu'au tiers apical (sans risque de formation de butée) tout en respectant au mieux l'anatomie canalaire grâce à leur flexibilité et faible conicité (Nakagawa et al., 2014)

### **1.3.1.5. Perméabilité canalaire et apicale**

Le mouvement vertical répété des instruments lors de la mise en forme est responsable de la formation de débris dentinaires, pouvant créer de véritables bouchons canaux et bloquer la progression instrumentale. (Paqué et al., 2012)

Le contrôle et maintien de la vacuité canalaire est effectué par l'utilisation d'une lime de perméabilité, ou de récapitulation, de faible diamètre (comparable à celle utilisée pour le cathétérisme) en dépassant légèrement le foramen est recommandé pour vérifier l'absence de bouchon et favoriser la mise en suspension des débris dans l'irrigant.

## **1.3.2. L'instrument**

### **1.3.2.1. Section**

Elle conditionne le profil global de l'instrument. Le profil de lame correspond aux types de lames en contact avec la paroi canalaire. La partie centrale est nommée masse résiduelle, masse centrale ou âme centrale, elle correspond à la section instrumentale débarrassée de sa partie périphérique (CNEOC, 2010). La masse centrale conditionnera la flexibilité et la résistance à la fracture.

### **1.3.2.2. Angle de coupe**

Angle formé par l'intersection entre la tangente passant par la pointe de l'arête coupante et le rayon du cercle dans lequel s'inscrit l'instrument, lorsque l'instrument est sectionné perpendiculairement à la direction de l'arête coupante (Définition de J. Mac Spadden)

L'angle de coupe est formé par l'intersection, d'une part, de la tangente à la surface de la partie avant de la lame de l'instrument et d'autre part, du rayon, passant par l'arête, du cercle dans lequel s'inscrit l'instrument. L'angle de coupe intervient dans l'efficacité travaillante des instruments. (CNEOC, 2010)

Cet angle, aussi appelé angle d'attaque, conditionne la façon dont se forme le copeau sur la face de coupe Il peut être :

- Positif, la coupe est active, l'instrument agit à la manière d'une curette, détachant des copeaux de dentine de la paroi canalair.
- Neutre, la coupe est perpendiculaire à la paroi du canal, l'instrument agit en raclant la surface dentinaire.
- Négatif, la coupe est passive, l'instrument agit par lissage, usure sur les parois canalaires.

### 1.3.2.3. Angle de dégagement

Il est formé par l'intersection de la tangente à la surface de la partie arête de la lame (surface de dépouillement) et la tangente du cercle dans lequel s'inscrit l'instrument. (CNEOC, 2010)

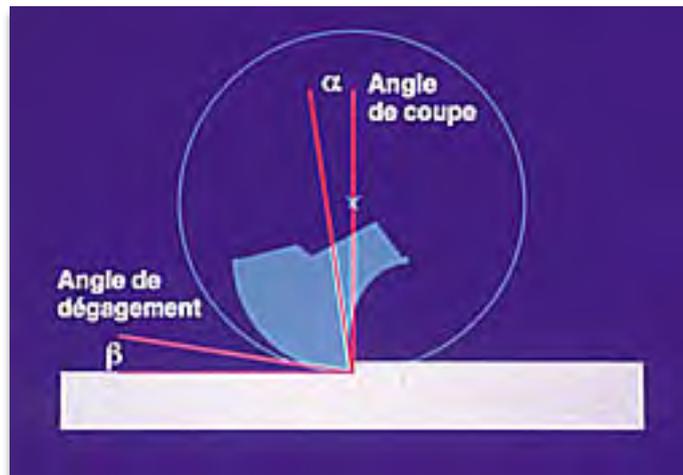


Figure : Angle de coupe et de dégagement positifs (Benkirane et Al., 2001)

#### 1.3.2.4. Méplat Radian

Le méplat radian est la surface plane de l'instrument en contact avec les parois canalaires. La présence de méplat radian permet d'optimiser le centrage de l'instrument dans le canal, donc de respecter les trajectoires anatomiques. Il limite également le phénomène vissage (aspiration sentie par l'opérateur). Cependant, ces instruments présentent une efficacité de coupe diminuée. (Pertot and Simon, 2003)

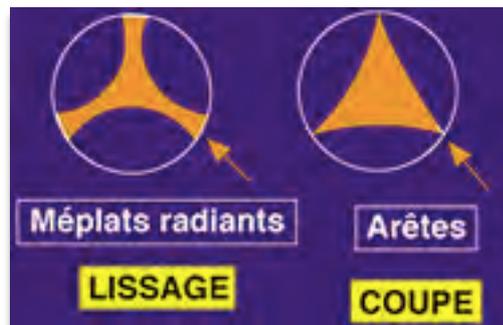


Figure : représentation de la section de deux instruments, passif (à gauche) et actif (à droite). (Benkirane et Al., 1999)

On dit d'un instrument qu'il est :

- Passif ou non coupant, lorsqu'il présente un ou plusieurs méplats radians, et un angle de coupe négatif
- Actif ou coupant, lorsqu'il ne possède pas de méplat radian et un angle de coupe positif

Toutefois, par abus de langage, des instruments présentant un méplat radian sont appelés passifs et tous les autres actifs.

#### 1.3.2.5. Pas et Angle d'hélice

Le pas apparent est la distance entre deux spires successives sur la partie travaillante de l'instrument. Il est généralement variable au sein d'un même instrument. Utilisé en rotation continue le pas d'hélice aura une influence sur la flexibilité de l'instrument et son aptitude à l'effet de vissage.

L'angle d'hélice est l'angle formé par l'axe des lames et l'axe longitudinal de l'instrument. (CNEOC, 2010), il aura une influence sur l'évacuation des débris et la tendance au vissage en rotation continue

En manuel, plus l'angle est fermé ( $60^\circ$  pour les limes H) plus l'instrument est actif en traction, plus l'angle est ouvert ( $20^\circ$  pour les broches) plus l'instrument est actif en rotation. (Simon, 2010)

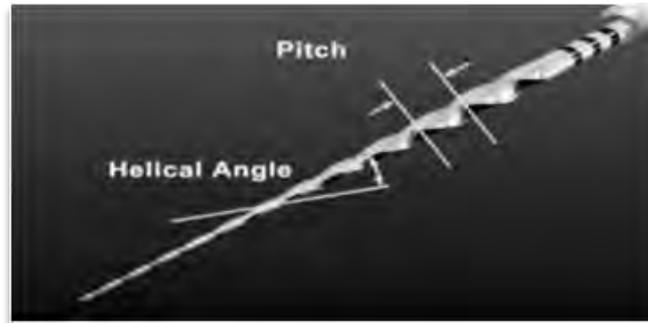


Figure : Pas d'hélice (Pitch) et Angle d'Hélice (Helical Angle) (Ruddle, 2001)

#### 1.3.2.6. Angle de pointe et de transition

L'angle formé par l'intersection des lames à l'extrémité de l'instrument. Il doit être compris, selon la norme ISO, entre  $60^\circ$  et  $90^\circ$ . (CNEOC, 2010).

L'angle de jonction entre la pointe et la première spire de l'instrument (CNEOC, 2010).

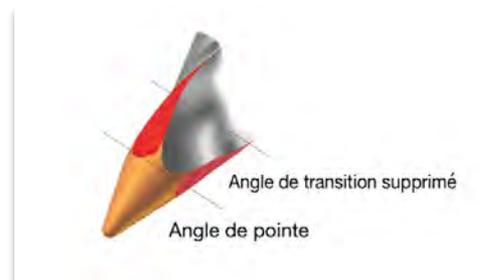
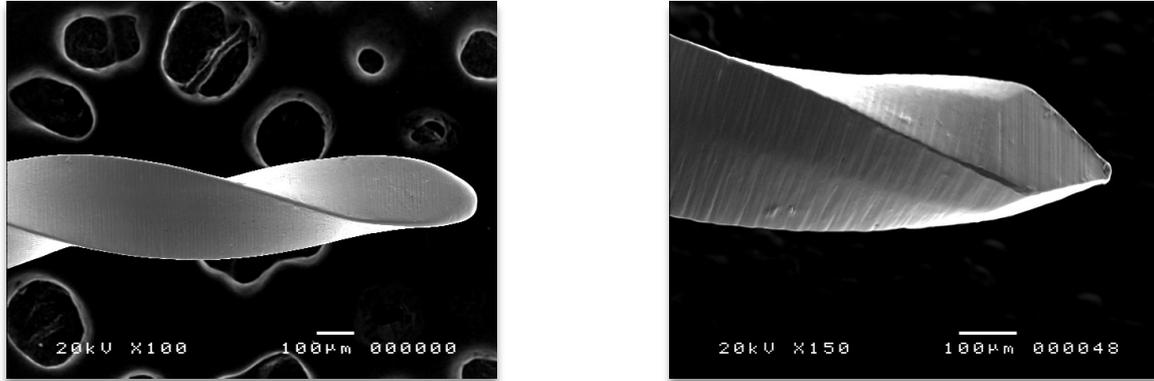


Figure : schéma d'une pointe conique (orange) avec des angles de transitions nettement supprimés (rouge)

Le design de la pointe détermine la capacité de guidage de l'instrument et permet d'améliorer l'efficacité de coupe (Villalobos et al., 1980). En effet des pointes pyramidales (angles aigus) ont montré des capacités de coupe supérieures aux pointes coniques (Miserendino et al., 1986).

Des recherches ont été entreprises sur les effets induits par une modification du design de la pointe, plus particulièrement par la suppression de l'angle de transition. D'autres ont noté que les instruments à pointe modifiée maintiennent mieux la courbure canalaire d'origine et de façon plus prédictible que les instruments manuels classiques (Sabala et al., 1988).



Figures : Exemple à gauche la pointe passive du R-Endo® R3 (Micro-Mega), conique et sans angle de transition, et présentant un état de surface lisse et à droite la pointe active du Protaper® D1 (Dentsply Maillefer), pyramidale avec un angle de transition et des rainures marquées. (Diemer. F)

#### 1.4. Longueur de travail et limite apicale de préparation

##### 1.4.1. Anatomie apicale

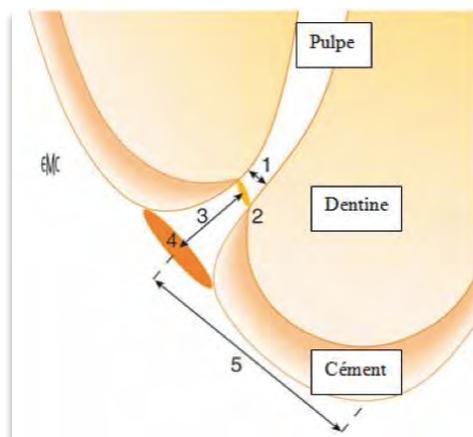


Figure : Constriction Apicale (1) Jonction Cémento-dentinaire (2) Distance foramen apical-constriction apicale (3) Foramen apical (4) Distance vertex-apex radiologique (5)

Kuttler réalisa une étude anatomique de la région apicale de la racine, plusieurs structures sont identifiables (Kuttler, 1955) :

- La constriction apicale, qui est le point le plus étroit apicalement, elle oppose 2 cônes opposables par leur sommet, l'un dentinaire qui rétrécit jusqu'à la jonction cémento-dentinaire, l'autre cémentaire qui s'évase en direction du parodonte, formant le foramen apical.
- Le dôme apical représente le vertex de la dent
- L'apex radiologique est la projection de la partie la plus apicale de la racine.

Les données statistiques recoupées par Kuttler positionnent la constriction apicale en moyenne à 0,5-0,6 mm du foramen apical.

De plus, Kuttler décrit un épaissement significatif du cément apical, en découle une augmentation du diamètre du foramen par un allongement du cône cémentaire, ce qui en élargit la base.

4 types de constrictions ont été ensuite décrites (Dummer et al., 1984):

- Type A : Traditionnel, décrite par Kuttler n'est retrouvé que dans 46% des cas.
- Type B : Conique, ce qui rend la constriction plus difficile à détecter, retrouvé dans 30% des canaux, préférentiellement sur les incisives mandibulaires.
- Type C : Multiple, observé dans 19% des cas, et pouvant être source d'erreur lorsque le praticien ne se fie à la sensation tactile pour déterminer la longueur de travail.
- Type D : Parallèle, dans 5% des cas, la constriction se trouve en amont de l'apex et se poursuit par une portion étroite et parallèle jusqu'au cône cémentaire.

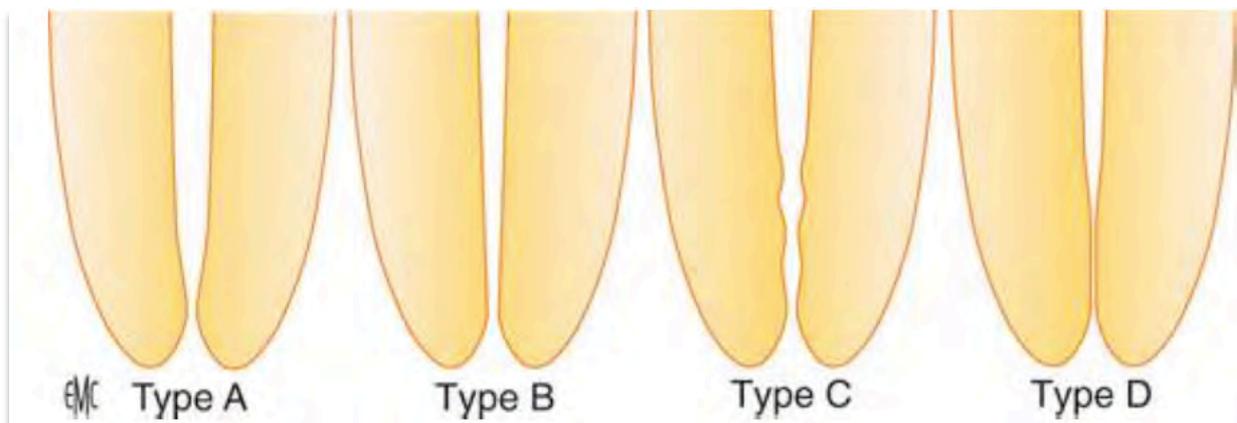


Figure : Les 4 types de constrictions apicales (Pérard et al., 2009)

### 1.4.2. Détermination de la LT

Voici un autre sujet a controverse entre les deux écoles de mises en forme.

Dans l'approche scandinave, les longueurs de travail vont différer en fonction du traitement endodontique à effectuer.

Si la dent est vivante, la limite conseillée se situe entre 1 et 2 mm de l'apex radiographique, maintenant un moignon apical pulpaire vital. Dans le cas d'une pulpe nécrosée et infectée, il est conseillé de positionner la limite le plus proche possible de la constriction apicale, tout en restant dans la dentine radiculaire, afin d'éliminer un maximum de tissus nécrosés et de bactéries. (Sjögren et al., 1990)

L'école « schildérienne » quant à elle recommande de placer la limite apicale de préparation à la jonction cémento-dentinaire, dans le but de s'assurer du nettoyage du canal sur toute sa longueur. (Grove, 1930; Kuttler, 1955)

Il existe plusieurs méthodes pour la déterminer

#### 1.4.2.1. Détermination sensitive

La détection de la constriction apicale basée sur la sensation tactile de l'opérateur est difficilement reproductible et peu fiable. En effet, même pour un opérateur expérimenté, elle n'est détectée que dans 64% des cas (Seidberg et al., 1975)

#### 1.4.2.2. Détermination radiographique

La radiographie intra-orale, lime-en place, permet d'apporter à l'opérateur des éléments anatomiques indispensables, ainsi que la position apicale de celle-ci par rapport à l'apex radiologique.

De nombreuses études ont été faites sur la position de la limite apicale de préparation par rapport à l'apex radiologique et le taux d'échec du traitement endodontique.

Les meilleurs résultats ont été obtenus lorsque la préparation et l'obturation se situent entre 0 et 2 mm de l'apex radiologique, le taux d'échec augmente significativement lorsque l'obturation est au-delà de 2 mm. (Sjögren et al., 1990)

Une dent présentant une pulpe et des tissus péri-apicaux sains avant traitement bénéficie d'un taux de réussite plus élevé lorsqu'elle est obturée à 1 mm de l'apex radiographique. Lorsqu'elle présente un tissu pulpaire nécrotique et des lésions péri-apicales, le plus haut taux de succès situe la limite apicale de préparation au plus proche de l'apex radiologique. (Chugal et al., 2001)

Radiologiquement, et d'après la littérature, il est donc recommandé de mettre en forme et d'obturer le réseau canalaire jusqu'au foramen apical, idéalement à la jonction cémento-dentinaire. (Schaeffer et al., 2005)

Le problème essentiel que rencontre dès lors l'opérateur est du aux caractéristiques propres de la radiographie intra-orale, qui est une projection bidimensionnelle d'un volume. Or nous avons vu que l'anatomie apicale est extrêmement variable, présentant des courbures dans tous les plans de l'espace. (Vertucci, 2005)

La projection plane de ces courbures apicales conduit à des erreurs de détermination de la longueur de travail.

L'image radiographique ne peut donc se suffire pour une détermination précise et reproductible. Et l'utilisation couplée d'un localisateur d'apex électronique s'impose comme une évidence. (Cianconi et al., 2010; Vieyra and Acosta, 2011)

### 1.4.2.3. Détermination électronique

La résistance entre le desmodonte et la muqueuse buccale est constante de 6500 Ohms, quelque soit la dent, l'âge du patient et le diamètre canalaire. (Suzuki, 1942)

Les localisateurs d'apex électronique de première génération étaient basés sur la résistance, soit un Ohmmètre relié à deux électrodes :

- Une buccale, mesurant la valeur de la résistance du ligament parodontal
- Une intra canalaire, fixée sur l'instrument d'exploration

Lors de la progression apicale de l'instrument, la résistance varie jusqu'à atteindre 6,5 K $\Omega$ . La frontière endodonte/desmodonte est représentée anatomiquement par la constriction apicale.

Le problème majeur de ce type de localisateurs était qu'ils fournissaient des résultats dépendant des conditions intra canalaire rencontrés :

- Des canaux asséchés fournissent des résultats plus précis
- La présence d'électrolytes tels que les solutions d'irrigations, le pus, le sang ou des débris pulpaire mène à des résultats erronés et instables. (Renner et al., 2012)

Les générations suivantes ont permis d'améliorer la précision et la stabilité des résultats. Les localisateurs d'apex basés sur la résistance les plus récents fournissent la position précise de la constriction apicale dans 55 à 75% des cas. Toutefois, l'exactitude des informations est toujours diminuée en présence de fluide. (Fouad et al., 1993, 1990)

Des localisateurs basés sur le voltage, sur des fréquences électriques (basses, hautes, dual) sont apparus par la suite apportant leurs lots d'avantages et d'inconvénients que nous ne détailleront pas ici.

Par la suite des appareils sont apparus pour palier aux défauts des localisateurs indiquant la constriction apicale.

Ils fonctionnent selon un système de « ratio method » (le Root ZX de Morita), qui détermine la position du foramen apical par la mesure simultanée de l'impédance de deux fréquences émises utilisés pour en calculer le quotient. En présence de fluides intra-canalaires, les impédances des deux fréquences vont varier avec le même ratio, ce qui permet de déterminer avec précision la position de la lime dans le canal. (Kobayashi and Suda, 1994)

Les études in vitro ont montré que le Root ZX était précis, même en présence d'électrolytes, avec une fiabilité à déterminer la position du foramen apical variant entre 85 et 95% (Goldberg et al., 2005; Jenkins et al., 2001)

La détermination d'une limite apicale de préparation précise se fait donc par recoupement des données tactiles, radiographiques, celles fournies par le localisateur d'apex électronique et les connaissances anatomiques de l'opérateur.

### **1.4.3. Choix de la limite apicale de préparation**

#### **1.4.3.1. Lime apicale primitive**

La lime apicale primitive, est la première lime dont le diamètre autorise une insertion jusqu'à la longueur de travail sans possibilité de franchissement, ce qui permet le jaugeage du petit diamètre apical avant la mise en forme.

Une détermination précise de la lime apicale primitive n'est possible qu'après suppression des contraintes corono-radiculaires.

Elle permettra de choisir le diamètre apical de mise en forme.

#### **1.4.3.2. Lime apicale maitresse**

Dernière lime atteignant la limite de la préparation lors de la mise en forme d'un canal et déterminant le diamètre apical final de préparation et d'obturation. (CNEOC, 2010)

## **1.5. Incidents lors de la mise en forme**

Les incidents de mise en forme sont souvent liés à des phénomènes de transport canalaire, à des stades plus ou moins avancés.

Le transport est défini comme une déviation iatrogène intra radiculaire du trajet du canal principal, due à la mémoire élastique des instruments endodontiques.

Le transport est qualifié d'interne lorsque les instruments sont confinés dans le canal, et externe lorsqu'il s'agit d'une sur-instrumentation, avec pour conséquence la déchirure du foramen. (CNEOC, 2010)

Un transport léger est le plus souvent inévitable en présence de canaux courbes.

### **1.5.1. Stripping**

Le stripping est une lésion iatrogène. Elle consiste en une sur préparation de la partie interne de la courbure canalaire aboutissant à une perforation latérale. Ce phénomène est rencontré plus particulièrement sur la face distale des racines mésiales des molaires mandibulaires (CNEOC, 2010). Il est très difficile de retrouver l'axe original du canal et des parois se trouvent dès lors non instrumentées.

### **1.5.2. Déformation apicale**

#### **1.5.2.1. Par instrumentation manuelle**

Au fur et à mesure qu'augmentent le diamètre des instruments (leur rigidité) et la contrainte exercée, il est observé un redressement de la courbure apicale ainsi qu'un déplacement du foramen, responsable d'une ovalisation de ce dernier (appelé Zipping). Cette ouverture du foramen en forme de « sablier » rend l'étanchéité de l'obturation très difficile et prédisposant à un dépassement du matériau d'obturation.

#### **1.5.2.2. Par instrumentation rotative**

Le dépassement du foramen par un instrument rotatif ayant une capacité de coupe importante est à l'origine d'un sur élargissement ou d'une déchirure du foramen.

Cette déformation apicale peut être causée par une mauvaise interprétation lors de la détermination radiologique seule de la longueur de travail. La LT peut par la suite être faussée par un changement de la longueur canalaire après élimination des contraintes des 1/3 coronaire et médian ainsi que par un repère coronaire instable, des stops qui se déplacent à l'utilisation et majorent cette dernière.

### 1.5.3. Butée

La butée résulte d'un travail en force de l'opérateur et lorsque l'instrument manque de flexibilité. C'est un stripping dans une zone étroite, souvent localisé au niveau d'une courbure canalaire importante, qui conduit à la déviation du canal et au blocage de l'instrument.

### 1.5.4. Faux canal

Stade suivant la butée lorsque le travail en force se poursuit, et caractérisé par la création d'un canal iatrogène pouvant aboutir à une perforation. La racine est fragilisée par la création d'une zone de faiblesse. La reprise du trajet original est difficile du fait de la tendance des instruments à se loger dans le faux canal.

### 1.5.5. Perforation

La perforation est la suite iatrogène de la préparation instrumentale d'un faux canal. L'instrument traverse dès lors la dentine radiculaire ainsi que le cément et fait communiquer le réseau canalaire avec le desmodonte créant une irritation, pouvant aboutir à une lésion des tissus péri-apicaux irréversible menant à l'extraction (AAE, 2012).

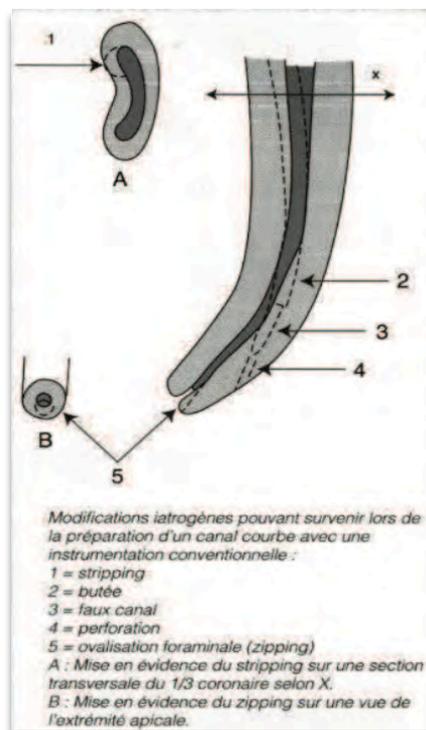


Figure : Schématisation des échecs de mise en forme (Calas et Vulcain, 1999)

## 1.6. Historique des concepts

Table 11 Summary of Preparation Techniques Suggested for Hand and Rotary Instruments		
Reference	Year	Technique
Ingle <sup>276</sup>	1961	Standardized instrumentation
Clem <sup>277</sup> , Weine <sup>278</sup>	1969–1974	Step-back, serial preparation
Schilder <sup>3</sup>		
Abou-Rass <sup>279</sup>	1980	Anticurvature filing
Marshall <sup>280,281</sup>	1980	Crown-down pressureless
Goerig <sup>282</sup>	1982	Step-down
Fava <sup>282,283</sup>	1983/1992	Double flare, with modifications
Roane <sup>284</sup>	1985	Balanced force
Torabinejad <sup>285,286</sup>	1994	Passive step back
Siqueira <sup>287</sup>	2002	Alternate rotary motion

Figure : Chronologie des techniques de préparations. (Ingle's Endodontics)

### 1.6.1. Technique standardisé

A l'origine de l'approche scandinave. Une fois la longueur de travail déterminée en amont de 1 à 2 mm de l'apex anatomique, la mise en forme du canal est initiée par différents instruments de diamètre croissant amenés jusqu'à la LT, menant à la formation d'une « boîte apicale ». Les limes K sont utilisées en ¼ de tour-retrait pour découper les copeaux dentinaires, tandis que les racleurs correspondants sont utilisés pour le retrait des débris détachés en suivant la séquence :

- K 08
- K 10
- K 15 ⇒ Racleur 15
- K 20 ⇒ Racleur 20
- K 25 ⇒ Racleur 25
- ...

La forme canalaire terminale ainsi que le cône de gutta correspondant sont prédit par le diamètre du dernier instrument utilisé au niveau de la LT (Lime apicale maitresse).

Cette technique à récemment gagné en intérêt avec la rotation continue avec les systèmes ProTaper® et MTwo® (Dentsply Maillefer) basés sur cette technique.

Les principaux défauts de cette technique sont :

- Les canaux (en particuliers ceux avec des courbures apicales) finissent plus large que la taille de l'instrument terminal le suggérerait, du fait du transport (Stripping) et du limage pariétal, conduisant à une sur préparation. (Alodeh et al., 1989)
- La variabilité du diamètre apical des maitres cônes de gutta-percha conduirait à des variations de l'ajustement apical et une épaisseur qui pourrait être importante de ciment (Moule et al., 2002)

### 1.6.2. Step-Back

Conscient de l'importance d'une conicité de mise en forme plus importante que dans la technique standardisée pour permettre un bon nettoyage et une irrigation adéquate.

Clem et Weine introduisirent la technique du Step-Back qui consiste en un élargissement par paliers successifs.(Clem, 1969; Weine et al., 1975)

Une fois un pré-élargissement effectué avec des Gates dans la partie cervicale du canal et la longueur de travail déterminée, la mise en forme apicale est menée jusqu'à la lime apicale maitresse.

Enfin, la conicité du tiers apical est élaborée à l'aide d'instruments de diamètre croissant utilisés successivement en retrait les uns des autres (CNEOC, 2010). En fonction des paliers choisis la conicité sera de 5% (1mm) ou 10% (0,5mm)

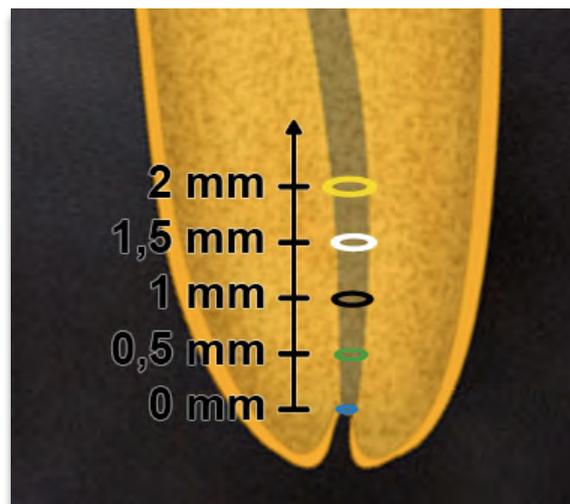


Figure : Step-Back avec retrait de 0,5 mm, pour une conicité de 10% et un diamètre de LAM 30/100° (Univ-Rennes, TP)

### 1.6.3. Technique sérielle

Décrite par Schilder (1974), et basée sur une philosophie différente, l'utilisation passive (« sans forcer » en direction apicale les instruments) d'une séquence d'instruments utilisés en ordre croissant et en retrait successif.

Des mouvements de rotation et de retrait avec appui pariétal permet une instrumentation tridimensionnelle du canal.

La séquence sérielle de limes 15 à 35 s'effectue à partir de la longueur initiale atteinte par la lime K15 puis par des retraits de 1mm.

- 15 à LT « initiale »
- 20 à LT<sub>i</sub> - 1mm
- 25 à LT<sub>i</sub> - 2mm
- ...

L'élargissement coronaire libère les contraintes pariétales et permet à la lime 15 de descendre plus apicalement, jusqu'à une longueur qui sera le point de départ d'une nouvelle séquence. L'opérateur répète le protocole jusqu'à atteindre la LT vraie.

Cette technique trouve son intérêt lorsqu'il est impossible d'atteindre la longueur de travail directement avec une lime 10 ou 15, dans des canaux courbes ou calcifiés.

### 1.6.4. Anticurvature filing

Cette méthode de mise en forme a pour but d'éviter un retrait excessif de dentine dans les zones anatomiques dites « à risques » (canaux fins et courbes). (Abou-Rass et al., 1980)

Elle se base sur l'observations de zones de danger (furcation, parois internes) à éviter, en privilégiant une préparation de zones présentant une épaisseur de dentine plus importante, dites de sécurité (parois opposées à la courbure et à la furcation)

L'anatomie radulaire est soigneusement étudiée par l'opérateur avant de débiter la mise en forme, par une radiographie lime en place, pour déterminer le mouvement de torsion généré par l'instrument, révéler le degré de courbure et orienter le choix de la paroi à instrumenter préférentiellement

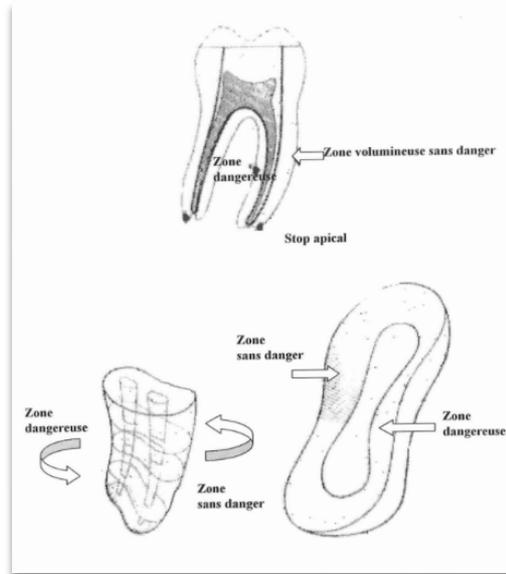


Figure : localisation des zones de danger et de sécurité  
(D'après Abou-Rass)

Des auteurs ont démontré que cette technique réduisait le risque de transport (stripping) conduisant à des perforations latérales en préservant les parois internes par rapport à d'autres techniques de mise en forme. (Kessler et al., 1983; Lim and Stock, 1987)

### 1.6.5. Crown-Down

Technique de mise en forme corono-apicale, qui nécessite l'utilisation d'instruments de diamètre et/ou de conicité décroissant en direction apicale.

Les contraintes pariétales coronaires sont éliminées puis progressivement en direction apicale, permettant aux instruments de plus petit diamètre ou plus petite conicité d'avancer.

Cette technique présente l'intérêt d'insérer des instruments pour la mise en forme apicale qu'une fois les portions coronaire et médianes préparées et désinfectées. Réduisant la quantité de débris apicaux pouvant former des bouchons ou être extrudés au-delà du foramen et responsable de sensibilité post-opératoire (Al-Omari and Dummer, 1995; Turek and Langeland, 1982)

Actuellement, l'approche « crown-down » est celle utilisée par la majorité des systèmes rotatifs mécanisés en raison de la réduction des zones de contact et des forces appliquées aux instruments. (Blum et al., 1999)

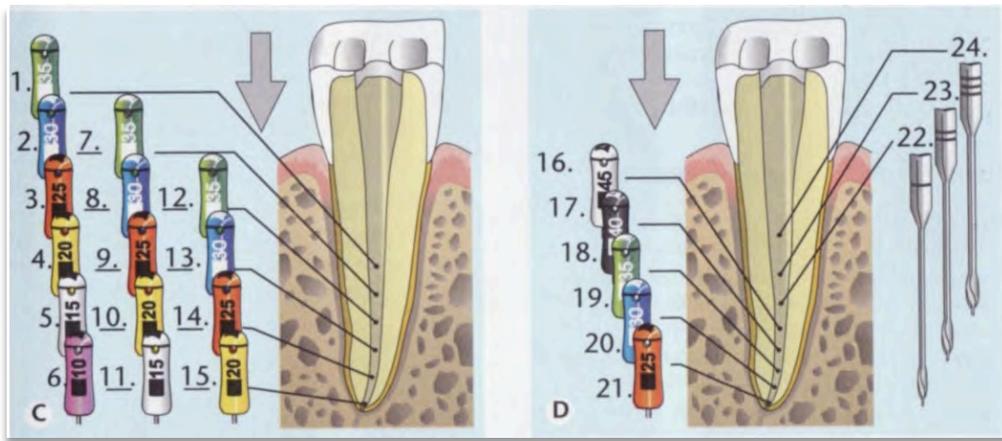


Figure : Technique du Crown-Down (Atlas de poche d'Endodontie, 2008)

Le step down (Goerig et al., 1982), et le double flaring (Fava, 1983) sont des variantes du crown down que nous ne développeront pas ici.

### 1.6.6. Technique des forces équilibrées

Après des années d'expérimentation, Roane a introduit le concept des forces équilibrées, « Balanced Force » pour la préparation canalaire (Roane et al., 1985). Faisant appel à un nouveau type d'instrument, au design spécifique basé sur des limes de section triangulaire avec une suppression de l'angle de transition (Flex-R).

Le but de cette technique était de limiter le phénomène de transport apical lors de l'instrumentation manuelle, en particulier en traction.

Le mouvement se décompose en suivant :

- $\frac{1}{4}$  de tour horaire associé à une pression apicale, engagement des bords de l'instrument dans les parois dentinaires, par léger effet de vissage.
- $\frac{3}{4}$  de tour antihoraire avec maintien en place de l'instrument, dépassement de la résistance au cisaillement de la dentine, donc découpe des parois.
- Tour complet horaire, pour charger les débris dans les spires, puis retrait pour les évacuer et permettre l'irrigation.

L'opérateur répète cette séquence jusqu'à atteindre la LT. La lime apicale primitive, puis maitresse sont ensuite déterminées. La mise en forme sera terminée par une technique de step-back.

L'auteur remarque que la dynamique de l'instrument, et son alternance de mouvement de rotation horaire/antihoraire est à l'origine d'un centrage naturel de l'instrument dans le canal et du maintien de la trajectoire initiale

La capacité de centrage de l'instrument avec cette méthode intéressera fortement la communauté scientifique avec l'apparition de la rotation continue.

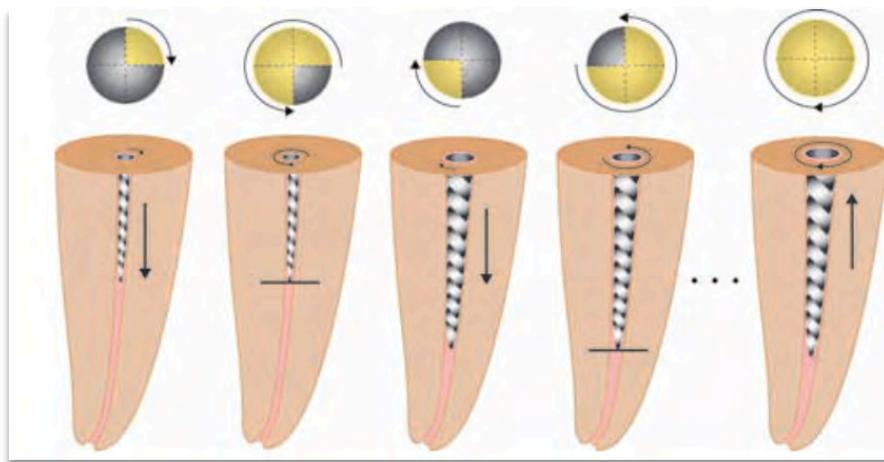


Figure : séquence du mouvement décrit par Roane ; Rotation  $\frac{1}{4}$  de tour avec pression apicale,  $\frac{3}{4}$  de tour pour section dentinaire, tour horaire pour remonter les débris jusqu'au retrait pour nettoyage et irrigation. Cette séquence est répétée jusqu'à ce que la LT soit atteinte, une rotation finale de nettoyage dans le sens horaire est utilisé pour charger les débris de canal dans les spires et éliminer les débris en évitant l'extrusion au delà du foramen apical.

## 2. Les instruments endodontiques

### 2.1. Manuels acier

#### 2.1.1. Le tire-nerf

Il s'agit d'un instrument constitué d'un corps présentant des barbelures pour extirper le tissu pulpaire en une fois. Le mode opératoire de cet instrument semble aujourd'hui désuet.

#### 2.1.2. Lime K (Kerr)

Elle est fabriquée par usinage ou par torsion antihoraire d'une matrice à section généralement carrée, mais qui peut être à section triangulaire pour plus de flexibilité (FlexoFile®, Dentsply Maillefer) ou losangique (K-Flex®, SybronEndo). Utilisé en traction pure et/ou rotation alternée. Certaines possèdent des modifications leurs permettant d'être utilisées selon les mouvements de forces équilibrés. (Pointe modifiée, angle de transition supprimé).

L'utilisation de ce type de lime en acier est aujourd'hui encore d'actualité, en particulier lors du cathétérisme ou de la négociation de crochets apicaux avec des rayons de courbures proscrivant l'utilisation de l'instrumentation rotative en NiTi.

#### 2.1.3. La broche

Elle possède une matrice triangulaire torsadée en acier inoxydable ou en Ni-Ti, la principale différence avec la lime K repose dans le nombre de spires moins important à un angle d'hélice plus petit et un pas plus espacé.

De part son design, l'utilisation suivant une dynamique de rotation est recommandée.

#### 2.1.4. Lime H (Hedström)

Egalement appelé *Racleur*, cet instrument est obtenu par usinage d'une ébauche de section ronde en acier inoxydable ou en Nickel-Titane, avec un angle de coupe de 90° et un pas court et constant (s'apparente à une vis à bois). Elle est d'une grande efficacité en traction pure.

## 2.2. Instruments en Nickel-Titane (Ni-Ti)

### 2.2.1. Généralités

Développé à partir des années 60, les propriétés de cet alliage ont rapidement intéressés la communauté scientifique et les endodontistes. Les premiers instruments étaient destinés à une utilisation manuelle, bien que présentant une flexibilité plus de 6 fois supérieur aux instruments en acier (Camps and Pertot, 1992), l'efficacité de coupe était bien en deçà (Haïkel et al., 1998) L'apport de la rotation continue a permis de palier au manque d'efficacité de coupe de l'alliage. Ainsi le couple NiTi-Rotation continue à constituer une évolution majeure dans la technique de mise en forme canalaire, permettant entre autre un meilleur respect de l'anatomie canalaire, une reproductibilité de la mise en forme et un gain de confort pour l'opérateur.

Malgré cela, le NiTi associé à la rotation continue ne permet pas de s'affranchir du respect des concepts fondamentaux de mise en forme canalaire énoncés précédemment.

### 2.2.2. Caractéristiques

Le Nickel-Titane fait parti de la famille des alliages à mémoire de forme (AMF) qui possèdent une propriété particulière : après avoir subi une déformation, l'alliage peut récupérer intégralement sa forme initiale prédéfinie s'il est soumis à des cycles thermiques ou mécaniques adaptés.

En odontologie cet alliage est utilisé car il présente deux propriétés caractéristiques :  
*La mémoire de forme* et *la super-élasticité*.

#### 2.2.2.1. Mémoire de forme

Le comportement mécanique de ces alliages s'explique par un changement de phase cristallographique solide-solide d'austénite en martensite sans variation de la composition chimique. Les deux systèmes cristallins ont des volumes différents, il s'en suit alors que des déformations thermoélastiques réversibles.

Cette transformation martensitique peut être induite thermiquement ou sous l'effet d'une contrainte.

La mémoire de forme est intéressante en orthodontie, et plutôt contraignante en endodontie.

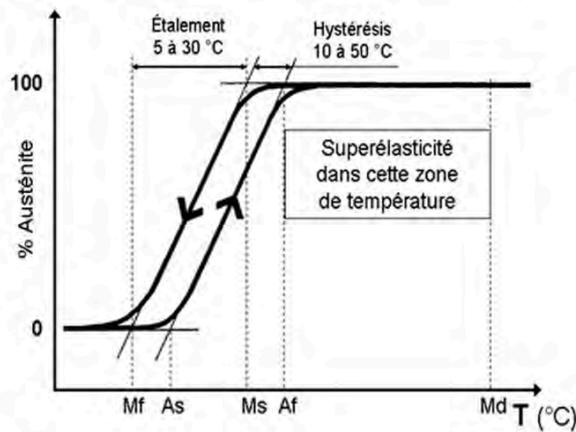


Figure : Transformation martensitique, Mf (Martensite finish) As (Austénite start) Ms (Martensite start) Af (Austénite finish) . (Jordan and Rocher, 2010)

Les propriétés du Ni-Ti vont dépendre des températures auxquelles se produisent ces changements de phase lors du chauffage et refroidissement. Températures dépendantes de la composition chimique (rapport Ni/Ti, traces d'alliages) et de la structure de l'alliage (usage, traitement de surface)

#### 2.2.2.2. Super-élasticité

Lorsque ces alliages sont utilisés à des températures supérieures à la température caractéristique Austénite finish ( $T > A_f$ ), ils peuvent subir des déformations importantes réversible sous la contrainte, de l'ordre de 10-15%. (Auricchio et al., 2003)

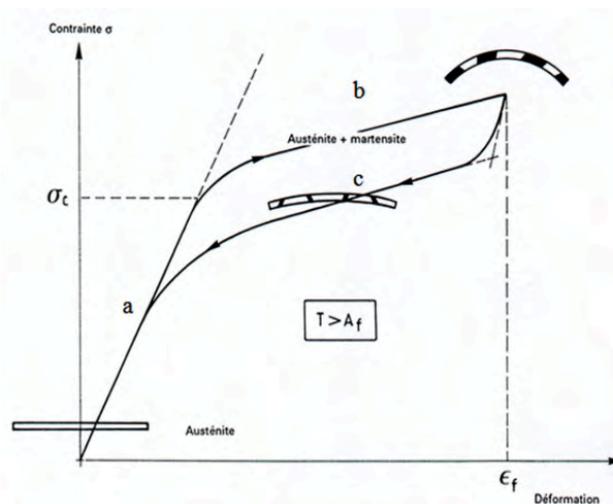


Figure : dynamique de déformation que subit un alliage super-élastique en fonction d'une contrainte  $\sigma$ . (Jordan and Rocher, 2010)

En dessous de la valeur critique de la contrainte «  $\sigma_c$  », l'alliage a un comportement purement élastique «  $a$  » (élasticité de la phase austénitique).

Au-delà du seuil, la transformation de phase martensitique a lieu, donnant naissance à un nouveau mécanisme de déformation «  $b$  ».

Au-delà d'une déformation maximale (de l'ordre de 10%), la transformation martensitique est totale et le comportement redevient purement élastique (élasticité de la phase martensitique).

Lorsque la contrainte cesse il y a réversion totale de la martensite vers l'austénite «  $c$  » et l'on constate qu'aucune déformation résiduelle ne subsiste. (Patoor and Berveiller, 1994)

L'intérêt en endodontie est que les contraintes appliquées à l'instrument lors de la négociation de courbures canalaires peuvent correspondre au plateau de déformation martensitique «  $b$  » et induire une déformation super-élastique permettant de réduire le transport canalaire même pour des instruments avec des diamètres/conicité importants. (Schäfer and Vlassis, 2004a, 2004b)

## 2.3. Utilisation des instruments Ni-Ti

### 2.3.1. Principes de base

De nombreux systèmes d'instruments en Ni-Ti sont disponibles de nos jours. Bien que présentant chacun leurs spécificités, quelques précautions d'utilisations communes sont à respecter afin d'obtenir des résultats fiables et reproductibles :

- Cathétérisme essentiel avant l'utilisation de l'instrumentation rotative pour élargir le canal et analyser la morphologie canalaire avec un instrument manuel.
- Instrumentation à vitesse lente et continue (300 à 500 tours/min), en respectant les consignes d'utilisation du fabricant en utilisant des contre-angles réducteurs ou des moteurs spécifiques.
- Suppression des contraintes coronaires avec élargissement des entrées canalaires (avec des openers type EndoFlare®).
- Dynamique du mouvement : la pression doit toujours être légère et accompagnée de mouvements verticaux de faible amplitude en direction apicale. L'instrument ne doit jamais être changé d'axe brutalement ni rester en rotation à la même longueur à l'intérieur du canal (augmentation du risque de fracture par fatigue cyclique, et du risque de transport canalaire avec création de butée)
- Un instrument ne doit jamais être forcé, les instruments Ni-Ti requièrent une utilisation passive. Si l'instrument a du mal à progresser, ne pas forcer, le retirer, élargir la portion canalaire apicale ou coronaire, explorer avec des limes manuelles avec appuis pariétal.
- Retrait de l'instrument après plusieurs secondes d'utilisation pour permettre l'irrigation intra canalaire nécessaire à la désinfection, à la remontée de débris, et à la lubrification.
- Nettoyage de l'instrument à chaque retrait pour éviter l'encrassement, et vérifier l'aspect pour détecter l'apparition d'éventuels défauts (allongement du pas, dévissage) précurseur de fracture instrumentale
- Limitation du nombre d'utilisation pour éviter les fractures dues à la fatigue instrumentale. L'usage unique est l'idéal mais entraîne un surcout opératoire important pour le praticien, les industriels ont mis au point des systèmes pour évaluer l'usure instrumentale en fonction du nombre de canaux préparés et du stress emmagasiné par l'instrument. (Tray avec curseur du nombre d'utilisation - Safety Memo Disc®, FKG)

### 2.3.2. Limite mécanique : la fracture instrumentale

La faiblesse principale des instruments en Nickel-Titane en rotation continue est la faculté de se fracturer sans signes précurseurs, malgré les précautions prises par le praticien. (Pruett et al., 1997; Sattapan et al., 2000)

La sévérité de la courbure canalaire est un facteur déterminant dans l'apparition de ce phénomène (Haïkel et al., 1998; Pruett et al., 1997)

#### 2.3.2.1. Fracture par torsion

Lors de l'application d'une contrainte sur un instrument, ce dernier subit une déformation élastique réversible. Si la contrainte appliquée est supérieure à sa limite élastique, la déformation devient plastique, et permanente. L'instrument ne peut plus retrouver sa forme initiale, ce qui d'un point de vue macroscopique se manifeste par un dévissage, une déspiralisation de la partie active.

Certains facteurs influencent la résistance à la torsion :

- La masse centrale ;
- Le diamètre ;
- La conicité de l'instrument.

Plus le volume de l'instrument augmente, plus ce dernier devient résistant à la torsion.

Ce type de fracture intervient essentiellement lorsque la portion active (le plus souvent la pointe) est forcée puis bloquée dans un canal de plus petit diamètre, alors que l'instrument est toujours en rotation. (Sattapan et al., 2000)

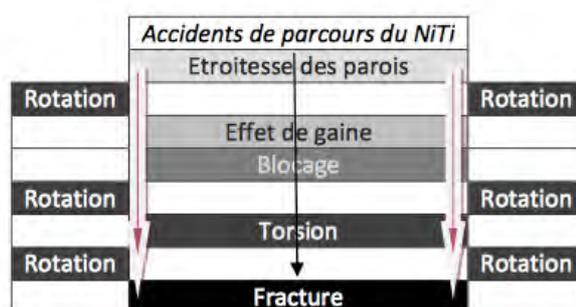


Figure : Gradient d'accidents de parcours (Mandel, 2004)

L'accumulation de débris dans les spires d'un instrument insuffisamment nettoyé, augmente sa surface de contact et donc sa friction. Devenant moins efficace l'opérateur aura tendance à exercer une pression apicale plus importante, augmentant le risque de fracture par torsion.

C'est pourquoi il est indispensable de retirer très régulièrement l'instrument pour vérifier son aspect, nettoyer ses lames et d'irriguer le canal.

### 2.3.2.2. Fracture par fatigue cyclique (flexion)

La fatigue cyclique est la conséquence de contraintes, d'intensités inférieures à la limite élastique, et répétées de tension/compression à l'intérieur des courbures canalaires. Effectivement, en flexion, un instrument mis en rotation est soumis à deux forces simultanées : une compression sur la partie de l'instrument située à l'intérieur de la courbure et une tension sur sa face externe.

La résistance à la fatigue cyclique d'un instrument est le nombre de cycle que ce dernier est capable d'effectuer sous cette double contrainte compression/tension avant la fracture. Ce qui explique que le degré de courbure et la vitesse de rotation influence grandement la résistance à la fatigue cyclique.

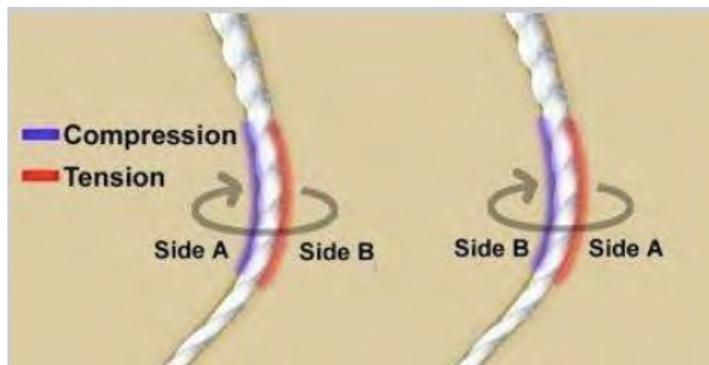


Figure : Schématisation de la contrainte subit par l'instrument lorsqu'il effectue un cycle sous contrainte.

Cette alternance de compression/tension en un point est responsable de modifications microscopiques qui interviennent sans déformation permanente visible à l'œil nu. Elle est donc impossible à prévoir. (De-Deus et al., 2010)

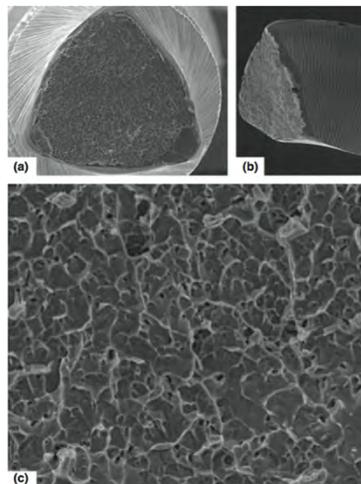


Figure : micro-fractures au sein de l'alliage, l'utilisation répétée et inadaptée de l'instrument provoque leurs progressions fragilisant l'instrument de manière totalement invisible à l'œil nu.

### 2.3.2.3. Associée

Cliniquement, la fracture est un phénomène multifactoriel et complexe résultant de contraintes combinées.

La réelle contribution des contraintes de torsion et de la fatigue cyclique dans le processus de fracture dépend de la géométrie de la section de l'instrument et de la distribution des forces sur ce dernier. (Ullmann and Peters, 2005)

Les contraintes de flexion sont liées à l'anatomie canalaire de la dent et ne peuvent être limitées par le praticien. A l'inverse l'opérateur peut réduire l'intensité des forces de torsion subie par l'instrument. (Sattapan et al., 2000)

## 2.4. Techniques de mise en forme

Voici un débat en cours sur la forme la plus utile, grâce à des changements dans la géométrie des instruments la mise en forme canalaire a été simplifiée.

Les systèmes de rotation continue proposent des séquences opératoires différentes. Certains adaptent la séquence à utiliser en fonction de la configuration anatomique du canal alors que d'autres privilégient la simplicité en proposant une seule et même séquence.

Cependant la plupart des fabricants d'instruments s'accordent et recommandent une préparation corono-apicale inspirée de la technique manuelle « crown down ».

Cela consiste en un élargissement des entrées canalaires visant à supprimer les interférences avec un instrument à forte conicité, puis les 2/3 coronaires, et le 1/3 apical sont préparés avec des instruments à conicité décroissante.

La raison principale à l'utilisation de cette approche, est d'éviter à l'instrument d'avoir une trop grande surface de contact avec les parois canalaires responsable de la friction (effet de gaine), et ainsi réduire l'incidence de fracture par torsion. (Roland et al., 2002; Sattapan et al., 2000)

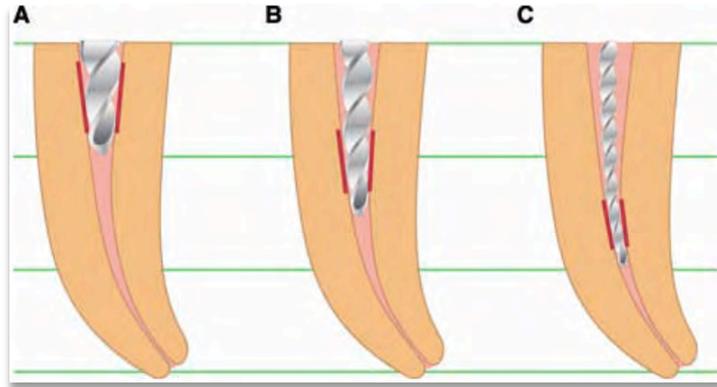


Figure : schématisation de la technique crown down, l'instrument s'engage dans la dentine radiculaire sur sa portion apicale (zone rouge) réduisant la surface de contact, le torque et le risque de fracture. (Ingle's endodontics, 6th Edition)

Cette technique présente d'autres avantages :

- Diminution du risque de blocage, de vissage
- Création d'un réservoir à solution d'irrigation, facilitant son renouvellement.
- Meilleure élimination des débris dès lors mis en suspension dans l'irrigant.
- Nettoyage canalaire 1/3 par 1/3
- Diminution du refoulement apical, puisqu'une grande partie des débris ont déjà été éliminés au préalable dans les portions supérieures

La gestion correcte des parties canales cervicales permet d'aborder le tiers apical correctement, permettant un travail contrôlé, et sans pression.

Chaque étape est précédée d'une phase d'exploration et pré-élargissement.

#### 2.4.1. Mise en forme des 2/3 coronaires

De nombreux instruments sont à disposition pour la mise en forme de cette partie du canal, qui peut se faire soit manuellement, à l'aide de forets de gates où en utilisant les instruments NiTi conçu a cet effet et présent dans quasiment tous les systèmes de rotation continue.

Plus courts et ayant une forte conicité pour supprimer les contraintes corono-radiculaires et permettre un accès direct aux instruments vers la portion apicale.

### 2.4.2. Mise en forme du 1/3 apical

Après la mise en forme des 1/3 supérieurs, l'exploration de la zone apicale nous permet de :

- Rassembler des informations sur l'anatomie apicale
- Déterminer de manière précise la LT
- Vérifier la perméabilité foraminale

Ces informations récoltées, la mise en forme apicale peut être réalisée de manière extrêmement fiable avec les instruments du système choisi par l'opérateur.

En fonction du diamètre du canal et de l'objectif à atteindre, le praticien s'orientera sur des systèmes à conicité apicale (Schilder, 1974) en maintenant petit diamètre apical et une conicité importante (ProTaper Universal®, ProTaper Next®, RevoS®, K3®, MTwo®, One Shape®, Reciproc®, WaveOne®..), ou sur des systèmes basés sur le concept de l'élargissement apical avec création d'un stop apical (fort diamètre et faible conicité), afin de remplir les objectifs biologiques. (Profile®, RaCe®, K3®, F360®...)

### 2.4.3. Courbures apicales

Les canaux possédant des courbures apicales supérieures à 30°, des doubles courbures prononcées (baïonnette) ou des crochets apicaux constituent des contre-indications à l'utilisation des instruments Ni-Ti en rotation continue.

Les contraintes importantes que subissent les instruments associant torsion et fatigue cyclique diminuent les propriétés mécaniques et peuvent entraîner des fractures rapidement.

Ces courbures sont détectées à la radiographie, et à l'exploration apicale suivant la mise en forme des 2/3 coronaires et nécessitent d'adapter le protocole de mise en forme (Vertucci, 2005)

Un pré-élargissement avec des limes manuelles acier de faible diamètre est effectué avant négociation des courbures par des instruments rotatifs Ni-Ti de faible conicité (PathFile).

Dans les cas extrêmes l'ensemble de la mise en forme se fera avec des instruments Ni-Ti manuels (Simon 2012)

### 3. Les nouveaux concepts

#### 3.1. Mise en forme mono-instrumentale en rotation continue

##### 3.1.1. One Shape

Le One Shape® (Micro-Mega) est un instrument en Ni-Ti conventionnel (austénite 55-NiTi) à usage unique utilisable en rotation continue (400 tours/min). Il présente une conicité à 6% constante et un diamètre apical de 25/100° de mm.

L'instrument est caractérisé par un design à section dissymétrique et variable le long des 16 mm de sa partie active lui conférant une efficacité de mise en forme spécifique dans chacune des 3 zones canalaire :

- 3 arêtes de coupe dans les 2 derniers mm apicaux (triple hélice)
- Une zone de transition de 7,5 mm
- 2 arêtes de coupe sur les 6,5 mm restants. (double hélice ou section en S)

L'instrument possède également un pas variable limitant le phénomène de vissage, et une pointe non travaillante.

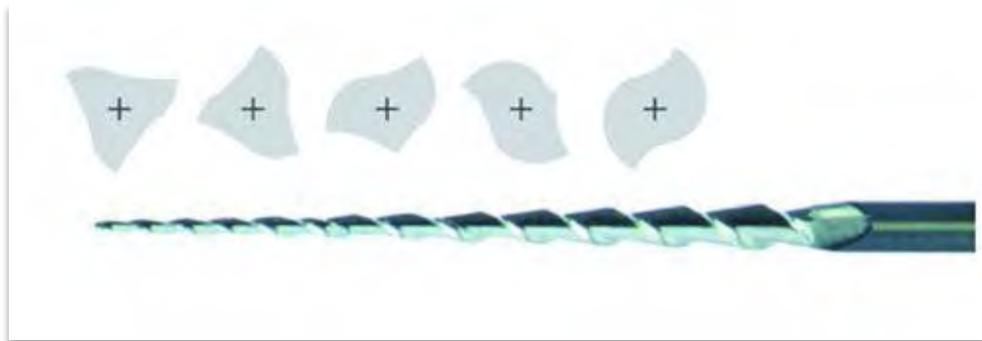


Figure : présentation schématique des différentes sections de l'instrument le long de sa partie active.

#### Protocole :

La radiographie préopératoire permet d'analyser l'anatomie canalaire et les difficultés éventuelles. Une fois la cavité d'accès et l'élimination des contraintes coronaires effectuées, le canal est exploré avec une lime manuelle K10 jusqu'à la longueur de travail estimée.

Si la LTe est atteinte facilement, le cathétérisme est poursuivi avec une lime manuelle K15.

Si la LTe ne peut être atteinte avec la lime K10, il est recommandé d'utiliser les limes de cathétérisme de plus faible diamètre (ou en rotation continue de type G-Files) amenés à la LTe.

Une fois le cathétérisme terminé, une détermination précise de la LT peut être initiée avant la mise en forme à proprement parlé.

La mise en forme canalaire avec le One Shape® se déroule en trois étapes :

- Mise en forme jusqu'aux 2/3 de la LT,
- Mise en forme jusqu'à LT-3 mm,
- Mise en forme jusqu'à la LT.

L'efficacité de coupe et la remontée de débris étant importante, il est essentiel de nettoyer la lime entre chaque passage, d'irriguer abondamment et de vérifier la perméabilité canalaire avec une lime K10.

Récemment le One Shape® s'est enrichi de deux nouvelles limes de finitions apicales, également à usage unique. Le One Shape® Apical 1 et 2, ont respectivement des diamètres de pointe de 30/100° de mm et 37/100° de mm pour une conicité de 6%.

### **3.1.2. F360**

La gamme du F360® (Komet) possède des instruments de diamètre 25, 35, 45, 55/100° de mm avec une conicité constante de 4%. Ils sont en Ni-Ti à usage unique utilisant le mouvement de rotation continue.

La section en double « S » asymétrique et l'instrument possède une pointe inactive et un pas progressif variable de la pointe vers le mandrin favorisant l'évacuation des débris.

Dans la majorité des canaux, il est conseillé d'utiliser les F360® #25 et #35.

Le F360® #25 pourra être utilisé seul dans les canaux fins.

Pour les canaux larges, les tailles #45 et #55 seront utilisés en complément des deux autres.

#### **Protocole :**

Le protocole d'utilisation de ces instruments paraît relativement simple.

Après la suppression des contraintes au niveau des entrées canales, et de l'exploration canalaire effectué avec une lime K15.

Le F360® #25 sera amené jusqu'à la LT déterminée progressivement avec un mouvement de va et vient. Le retrait régulier de l'instrument pour nettoyage et pour permettre une irrigation abondante est un impératif comme pour toute utilisation d'instrument Ni-Ti en rotation continue.

Suivant les mêmes modalités, les diamètres supérieurs seront conduits jusqu'à la LT.

### 3.1.3. Discussion

On peut légitimement se poser la question de l'utilisation d'un instrument unique pour la mise en forme de l'ensemble des canaux rencontrés en pratique clinique alors qu'il existe une extrême variabilité de morphologies canalaire (Vertucci, 2005).

Il apparaît qu'une préparation canalaire avec ces instruments première génération (One Shape® #25/.06 et F360 #25/.04) s'avère insuffisante en présence de canaux larges.

Ce manque de préparation, entraîne le non-respect de plusieurs impératifs biologiques (élimination des tissus et débris insuffisant, renouvellement de la solution d'irrigation insuffisante dans le 1/3 apical) qui peuvent conduire à l'échec du traitement endodontique. (Schilder, 1974)

Pour pallier à ces défauts, les industriels ont sorti des instruments de plus grand diamètres (de 35/100° à 55/100° pour le F360® et de 30/100° et 37/100° pour le One Shape®) à utiliser en séquence croissante après l'instrument d'origine.

Quid de l'appellation mono-instrumentale lorsque le protocole d'utilisation oriente le praticien vers une mise en forme pluri-instrumentale ?

### 3.2. Mise en forme mono-instrumentale en mouvement réciproque

Les instruments en NiTi étaient jusqu'à présent utilisés en rotation continue essentiellement, mais le nombre d'instruments par séquence, et le cout opératoire rapporté ont poussé les praticiens à réutiliser ces systèmes au-delà des préconisations énoncées par les fabricants, responsable d'une baisse des propriétés physiques, de l'augmentation des fractures liées à la fatigue instrumentale ainsi qu'un risque accru de contamination croisée, dû à l'impossibilité d'effectuer un nettoyage et une décontamination complète de l'instrument.

En 2008, une innovation majeure a été proposée par Yared dans le but de répondre à ces problématiques. L'utilisation d'un instrument unique avec une dynamique de mouvement dit, de réciprocité. (Mouvement alternatif asymétrique)

### **3.2.1. Mouvement Alternatif Transversal Asymétrique (MATA)**

Yared proposa une technique associant un instrument NiTi unique (Finisher 2 Protaper®) et un mouvement original, qui se décompose d'abord en une rotation horaire (engagement de l'instrument) suivi d'une rotation antihoraire (désengagement) d'amplitude différente ;

L'instrument entreprend sa coupe lors du mouvement horaire, et se désengage en sens inverse avant de subir une contrainte trop importante.

Le protocole suivant et la valeur des angles ne peuvent s'appliquer que pour l'instrument F2.

L'amplitude horaire étant plus importante, c'est la différence qui permet à l'instrument de progresser apicalement.

La préparation canalaire en réciprocité décrite par Yared semble être une évolution de deux principes déjà connus en endodontie ; la rotation et la technique des forces équilibrées en instrumentation manuelle décrite précédemment (Roane et al., 1985)

#### **3.2.1.1. Protocole**

Les mouvements de la composante horaire et antihoraire sont respectivement de 144° et 72° programmé sur un moteur délivrant 400 cycles/minute.

Après avoir établi un accès canalaire direct et déterminé la longueur de travail, l'instrument est utilisé sous une pression légère et fréquemment débarrassé de ses débris jusqu'à la longueur voulu.

Une irrigation abondante à chaque retrait de l'instrument est un prérequis indispensable au bon déroulement du protocole.

L'auteur développe également la gestion des cas particuliers (Yared, 2008)

#### **3.2.1.2. MATA et courbures canales sévères**

La préparation mécanisée ne concerne que la partie située en amont de fortes courbures (type crochet apical). Cette dernière sera mise en forme à l'aide de limes manuelles où d'instrument NiTi utilisés manuellement. Il s'agit d'un impératif commun aux instruments NiTi en rotation continue.

### 3.2.1.3. MATA et canaux larges

Lorsque le diamètre apical est supérieur au diamètre du F2 (25/100), la préparation est terminée en rotation continue traditionnelle suivant la séquence Protaper® (F3, F4 ou F5).

Selon Yared, la préparation de la partie coronaire du canal n'est pas une nécessité mais il semble judicieux d'élargir la préparation si le praticien s'oriente vers une technique de condensation verticale à chaud pour pouvoir amener le fouloir jusqu'à 5mm de la longueur de travail.

De nombreux travaux ont été effectués suite à la publication de Yared en 2008.

La durée de vie de l'instrument (F2) lors de la préparation de canaux courbes a été analysé (You et al., 2010) ainsi que le temps nécessaire à la mise en forme en mouvement réciproque par rapport à la rotation continue. Les auteurs aboutissent à la conclusion que l'utilisation de l'instrument en MATA, permet une mise en forme plus rapide (50% de temps en moins qu'une séquence complète) et une durée de vie minimum de 6 utilisations.

Ce qui semble être confirmé dans une autre étude (Varela-Patiño et al., 2010) où le F2 pourrait être utilisé jusqu'à une dizaine de fois sans fracture en réciprocité.

Les propriétés mécaniques des instruments NiTi utilisés en mouvement de réciprocité ont intéressés d'autres auteurs (De-Deus et al., 2010). Ils ont comparé la résistance à la fatigue cyclique de l'instrument F2 suivant différents protocoles ; en rotation continue à différentes vitesses (250-400 rpm) et en mouvement réciproque suivant les modalités décrites par Yared.

Ils ont observé des différences significatives entre les différents groupes, le mouvement réciproque rallonge la durée de vie de l'instrument, alors que l'augmentation de la vitesse en rotation conventionnelle diminue considérablement la résistance à la fatigue cyclique.

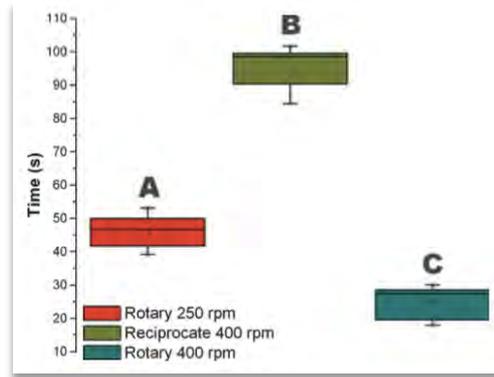


Figure : Temps moyen nécessaire avant fracture instrumentale liée a la fatigue cyclique. (De-Deus et al., 2010)

Ces résultats peuvent s'expliquer par le fait que les micro-cracks apparaissent lorsque se produit en un même point de l'instrument un couple tension /compression lors d'une rotation complète (cycle). Chaque nouveau cycle alimentant l'expansion de défauts à la surface de l'alliage, responsable de la fatigue cyclique. (Christ, 2008; Martín et al., 2003)

Lors du mouvement alternatif transversal asymétrique, un cycle correspond à  $72^\circ$  (144-72). La rotation complète ( $360^\circ$ ) se produit donc au bout de 5 cycles. L'expansion des micro-cracks en est réduite et prolonge la durée de vie de l'instrument.

L'utilisation de la technique décrite par Yared est possible depuis la commercialisation de système conçus à cet effet et de moteur préprogrammés permettant le mouvement alternatif asymétrique.

### 3.2.2. WaveOne

L'instrument WaveOne® est commercialisé sous 3 longueurs différentes, 21, 25 ou 31mm et 3 diamètres/conicités :

- Le WaveOne® « primaire » (bague rouge) possède un diamètre apical de 25/100 et une conicité de 8% sur les 3mm apicaux
- Le WaveOne® fin (bague jaune) possède un diamètre apical de 21/100 et une conicité constante de 6%
- Le WaveOne® large (bague noire) possède un diamètre apical de 40/100 et une conicité de 8% sur les 3mm apicaux



Figure : Instruments WaveOne® fin (jaune), primaire (rouge) et large (noir)

L'alliage qui compose les instruments est un NiTi usiné de type M-Wire®, soumis sous tension à des variations thermiques lors de sa fabrication, contribuant à l'amélioration des propriétés mécaniques, notamment une augmentation de la résistance à la fatigue cyclique.

La section de l'instrument est triangulaire concave (1) au niveau de la pointe et triangulaire convexe au niveau coronaire (2).

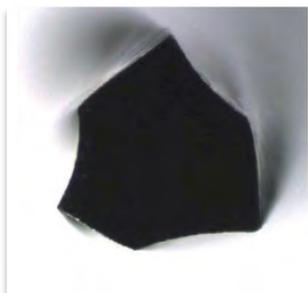


Figure 1

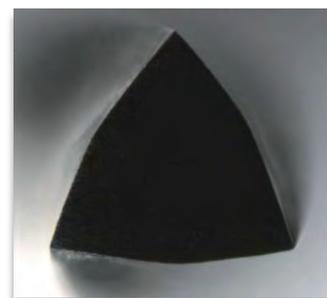


figure 2

Ces instruments à pointe guide modifiée présentent une conicité variable inversée où la plus forte conicité (8%) se situe au niveau des 3mm apicaux (exception faite du WaveOne® fin qui possède une conicité constante) permettant une préparation apicale majorée tout en étant économe coronairement en dentine radiculaire. Le pas et l'angle d'hélice sont variables, l'instrument possède une hélicoïde inversée et engage en rotation antihoraire. Cette architecture confère à l'instrument une grande flexibilité et favorise l'élimination des débris.

Le moteur dédié WaveOne® est couplé à un contre-angle réducteur 6 :1. Le programme WAVEONE ALL imprime à l'instrument une rotation antihoraire de 170° suivi d'une rotation horaire de 50° avec une vitesse de rotation de 300 tours/min.

Tous les instruments sont conditionnés sous blisters stériles et à usage unique, en effet le fabricant a disposé une sécurité ABS® sur le mandrin, une bague qui non seulement indique le diamètre de l'instrument, mais qui se dilate lors de la stérilisation empêchant sa réinsertion dans la tête du contre angle.

Le choix du fabricant pour l'usage unique est justifié par 2 facteurs :

- Les importantes contraintes mécaniques emmagasinées par l'instrument qui réalise l'ensemble de la mise en forme, au contraire d'un instrument en rotation conventionnelle utilisé pour préparer la partie du canal pour laquelle il a été conçu. Ce choix peut être discuté au vu de la littérature, le mouvement en réciprocité et les propriétés de l'alliage M-Wire® augmentant la résistance à la fatigue cyclique
- La stérilisation, et l'élimination complète des agents pathogènes est actuellement impossible, avec un risque de contamination croisée. D'un point de vue microscopique les micro-cracks à la surface constitueraient de véritables grottes empêchant le nettoyage efficace des débris organiques (Alapati et al., 2003; Sonntag and Peters, 2007)

### **Protocole :**

La multitude de diamètres apicaux et conicités disponibles permettent d'adapter le choix de l'instrument à la situation clinique en fonction de l'anatomie canalaire rencontrée lors de l'exploration manuelle initiale.

Dans la majorité des cas le WaveOne® « primaire » est recommandé.

Le choix s'orientera vers WaveOne® large si une lime K20 progresse facilement, ou vers le WaveOne® fin lorsque la pénétration d'une lime K10 se fait avec résistance dans le canal.

- Analyse radiographique préopératoire, cavité d'accès, éliminations des contraintes coronaires. Exploration canalaire passive à l'aide de limes K manuelles qui permet la sélection du WaveOne® le plus adapté et détermination de la longueur de travail si la lime pénètre jusqu'à la longueur estimée radiologiquement.
- Préparation canalaire de la portion explorée avec l'instrument sélectionné, animé de va-et-vient verticaux de faible amplitude sous une légère pression qui le font progresser en direction apicale jusqu'à la longueur de pénétration initiale. L'instrument est retiré après 2 ou 3 mouvements ou dès qu'un blocage est ressenti pour être nettoyé à l'aide d'une compresse stérile et permettre une irrigation abondante.
- La longueur de travail « réelle » est déterminée à l'aide de limes manuelles, et d'un localisateur d'apex.
- La mise en forme canalaire reprend selon la même dynamique instrumentale jusqu'à atteindre la longueur de travail.
- Un jaugeage apical pour déterminer la nécessité d'utiliser un instrument de diamètre et de conicité supérieur.

### 3.2.3. WaveOne Gold

Présenté à l'IDS 2015, le système WaveOne® Gold en est l'évolution, le traitement thermique spécifique de l'alliage et la modification de la section des instruments permettraient selon le fabricant d'améliorer de façon significative les propriétés mécaniques (flexibilité, torsion, fatigue cyclique) ainsi que le temps opératoire.



La gamme s'élargie avec 4 instruments à conicité variable majorée apicalement en 3 longueurs, 21, 25 et 31mm :

- Small (bague jaune), possède un diamètre apical de 20/100 pour une conicité de 7%
- Primary (bague rouge), possède un diamètre apical de 25/100 pour une conicité de 7%
- Medium (bague verte), possède un diamètre apical de 35/100 pour une conicité de 6%
- Large (bague blanche), possède un diamètre apical de 45/100 pour une conicité de 5%

Hélice inversée constante avec un angle de 24°.



Figure : La section du WaveOne® Gold, a été optimisée pour augmenter l'efficacité de coupe et la résistance à la torsion.

Le protocole d'utilisation est le même que pour le WaveOne®, et la programmation du moteur 150° antihoraire et 30° horaire à 350 tours/min.

Le Protaper® a pu bénéficier de l'alliage « Gold » un an auparavant et a pu être étudié par la communauté scientifique.

Les résultats obtenus suggèrent une plus grande résistance à la fatigue cyclique (Elnaghy and Elsaka, 2015; Hieawy et al., 2015; Uygun et al., 2015), une flexibilité accrue, essentielle pour la préparation des canaux avec une courbure apicale abrupte (Gagliardi et al., 2015; Hieawy et al., 2015), ainsi qu'une formation de micro-crack dentinaires réduite (E. Karataş et al., 2015b).

Bien que les deux systèmes (Protaper® et WaveOne®) utilisent des cinématiques et des architectures différentes, les résultats des études comparatives entre le Protaper® Next conçu en alliage M-Wire® et le Protaper® Gold et son traitement de surface particulier laissent entrevoir des perspectives intéressantes quant à l'utilisation de l'alliage « Gold » en réciprocité.

### 3.2.4. Réciproc

Ce système partage les principales caractéristiques du WaveOne®, qui sont le mouvement réciproque, une conicité variable, l'alliage M-Wire, le pas variable et l'hélicoïde inversée. Il est également commercialisé sous blisters stériles et à usage unique (pour les raisons vues précédemment), et disponible en 3 longueurs différentes : 21, 25 ou 31mm, le système Réciproc® comporte les 3 instruments suivants :

- Le Réciproc® R25 (bague rouge) possède un diamètre apical de 25/100 et une conicité de 8% sur les 3mm apicaux
- Le Réciproc® R40 (bague noire) possède un diamètre apical de 40/100 et une conicité de 6% sur les 3mm apicaux
- Le Réciproc® R50 (bague jaune) possède un diamètre apical de 50/100 et une conicité de 5% sur les 3mm apicaux.



Figure : De bas en haut, R50, R40 et R25

La principale différence se situe dans le profil de l'instrument, la section présente une angulation en « S » sur la totalité de la partie travaillante. Les angles préenregistrés dans le moteur dédié en mode RECIPROC ALL sont également différents : 150° antihoraire et 30° horaire

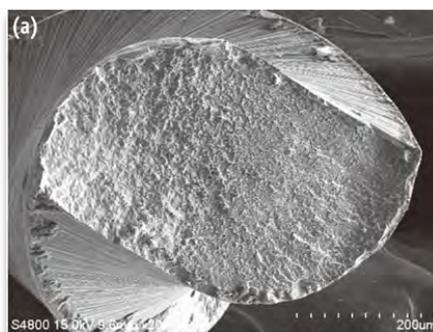


Figure : Image au MEB de la section d'un Reciproc®

**Protocole :**

Suivant les recommandations du fabricant la présélection de l'instrument le plus adapté est fonction de la radiographie préopératoire.

Si le canal est partiellement ou complètement invisible le canal est considéré comme étroit. Il faut utiliser le R25.

S'il est complètement visible sur la radiographie, le choix s'effectuera en fonction de la résistance rencontrée à l'exploration manuelle :

- Insérer une lime K 30 passivement dans le canal. Si elle atteint passivement la longueur de travail déterminée radiologiquement, le canal est considéré comme large : Utilisation de l'instrument R50
- Si la lime K 30 n'atteint pas passivement la longueur de travail, insérer passivement des instruments manuels de diamètre décroissant jusqu'à atteindre la longueur de travail.
- Si une lime K 25 n'atteint pas passivement, le canal sera préparé à l'aide du R40.
- Si une lime K 20 n'atteint pas passivement la longueur de travail, le R25 sera privilégié.

Le protocole présente de grandes similitudes avec celui employé pour le WaveOne® :

- Analyse radiographique préopératoire, cavité d'accès, éliminations des contraintes coronaires. Exploration canalaire passive à l'aide de limes K manuelles qui permet la sélection du Reciproc® le plus adapté et détermination de la longueur de travail si la lime pénètre jusqu'à la longueur estimée radiologiquement.
- Préparation canalaire de la portion explorée avec l'instrument sélectionné, animé de va-et-vient verticaux de faible amplitude sous une légère pression qui le font progresser en direction apicale jusqu'à la longueur de pénétration initiale. L'instrument est retiré après 2 ou 3 mouvements ou dès qu'un blocage est ressenti pour être nettoyé à l'aide d'une compresse stérile et permettre une irrigation abondante
- La longueur de travail « réelle » est déterminée à l'aide de limes manuelles, et d'un localisateur d'apex
- La mise en forme canalaire reprend selon la même dynamique instrumentale jusqu'à atteindre la longueur de travail.
- Un jaugeage apical pour déterminer la nécessité d'utiliser un instrument de diamètre et de conicité supérieur

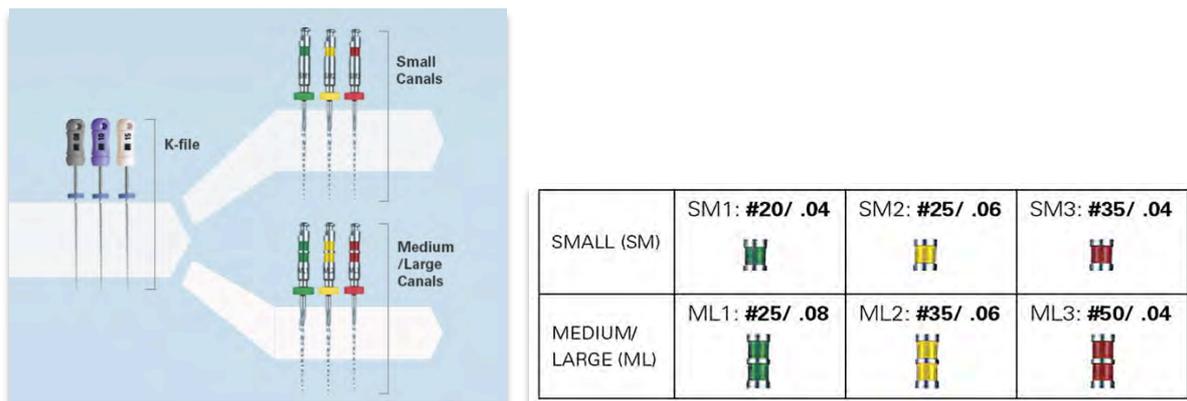
### 3.3. Mouvement hybride : Twisted File Adaptive

Disponible depuis 2013, le TF Adaptive (Axis/SybronEndo) est un système censé, selon ses concepteurs, allier les avantages de la rotation continue et du mouvement réciproque.

En effet la dynamique instrumentale dépend des contraintes instrumentales. En dessous d'un seuil de stress, le moteur imprime un mouvement de rotation pseudo-continue à l'instrument. Plus précisément une rotation interrompu 600° horaire / 0° antihoraire qui réduirait l'effet de vissage, permettant un brossage pariétal continu, et une meilleure élimination des débris dans les canaux ovoïdes.

Lorsque les contraintes instrumentales augmentent, le moteur passe en « mode » réciprocity avec un mouvement 370° horaire / 50° antihoraire.

Ces angles ne sont pas constants mais varient selon l'anatomie canalaire et le stress appliqué à l'instrument. Le moteur adapte automatiquement les angles de réciprocity ce qui réduirait les risques de fractures intra canalaire.



Ce système s'utilise suivant une séquence de 3 instruments amenés jusqu'à la LT. Une exploration manuelle du canal et jaugeage du diamètre du foramen apical orientera l'opérateur sur la séquence à utiliser :

- Si la progression apicale de la lime K 15 se fait avec résistance, la séquence Small (SM/ Simple bande colorée) sera privilégiée.
- Si la lime K 15 atteint la LT passivement, la séquence Medium/Large (ML/ Double bande colorée) sera choisi.

## Protocole :

La séquence instrumentale choisi en fonction de l'anatomie canalaire s'utilise exclusivement avec le moteur SybronEndo en mode TF ADAPTIVE :

- La préparation canalaire avec l'instrument VERT (SM1 ou ML1) avec des mouvements de faible amplitude de va et vient en direction apicale
- Retirer l'instrument régulièrement pour nettoyer les spires et irriguer jusqu'à atteindre la LT
- Répéter l'opération avec l'instrument JAUNE (SM2 ou ML2), si l'opérateur désire une mise en forme basée sur la conicité, il s'arrête à cet instrument.
- Pour la création d'une boîte apicale, les instruments ROUGE (SM3 ou ML3) qui possède un diamètre de pointe plus important et une conicité minorée sont amenés à la LT progressivement.

### 3.4. Instruments de nettoyage

#### 3.4.1. Self Adjusting File

Le Self Adjusting File® (ou SAF) est un système original de mise en forme à usage unique, conçu sans masse centrale, avec une armature NiTi asymétrique. Il est compressible et déformable dans tous les sens de l'espace avec un état de surface légèrement abrasif (Metzger, 2014)

Une fois inséré dans le canal, il exerce une pression contre les parois et s'adaptant transversalement et longitudinalement à l'anatomie canalaire, sans même que l'opérateur ne s'en rende compte, d'où son nom. Ce qui en fait une caractéristique particulièrement intéressante pour les canaux ovalaires ou aplatis.

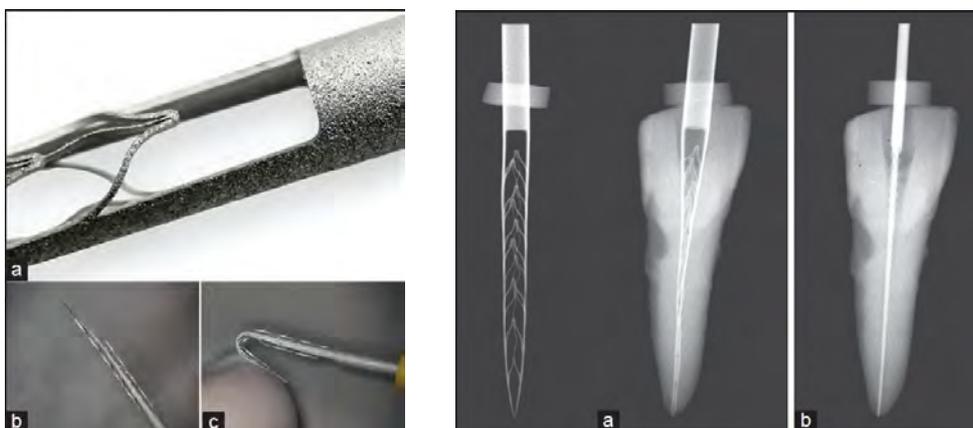


Figure 1 : Illustration de la vacuité centrale permettant le flux de solvant (a), l'armature asymétrique et sa capacité de déformation (b, c)

Figure 2 : Adaptation de l'instrument aux parois canalaire (a, b) (Metzger 2014)

Un moteur spécifique (RDT3) imprime à l'instrument un mouvement oscillatoire vertical d'une amplitude de 0,4 mm à une fréquence de 5000 vibrations par minutes ainsi qu'une rotation libre hors du canal qui s'arrête une fois l'instrument inséré complètement.

Il est accompagné d'un dispositif d'irrigation interne (VATEA – ReDent ou plus récemment Endostation – ReDent/Acteon) qui délivre un flux du solvant sans pression (pompe péristaltique) choisi à un débit compris entre 1 et 10 ml, qui est alors activé par le mouvement de la lime.

L'un des avantages de ce système serai de coupler un effet de brossage des parois canalaire (scrubbing) avec un flux de solution d'irrigation, ce qui déstabiliserai le biofilm et serai responsable d'une réduction significative de la charge bactérienne (Lin et al., 2013; Metzger, 2014)

Il est disponible en trois longueurs (21, 25 et 31mm) et deux diamètres (1,5 et 2mm) choisis en fonction du diamètre de la lime de cathétérisme :

- 20/100 mm = diamètre du SAF 1,5 mm
- 30/100 mm = diamètre du SAF 2 mm

### **3.4.2. XP-Endo Finisher**

Dernier né des instruments de mise en forme canalaire (2015), le XP-Endo Finisher® (FKG) n'en est pas un au sens propre. Sa conception et ses propriétés en font un instrument de nettoyage canalaire, de finition, qui ne s'utilise qu'après une préparation d'au moins 25/100.

Son but est d'atteindre les zones non instrumentées à la fin de la préparation (environ 35% selon Peters et Al. 2001) sans changer la forme du canal.

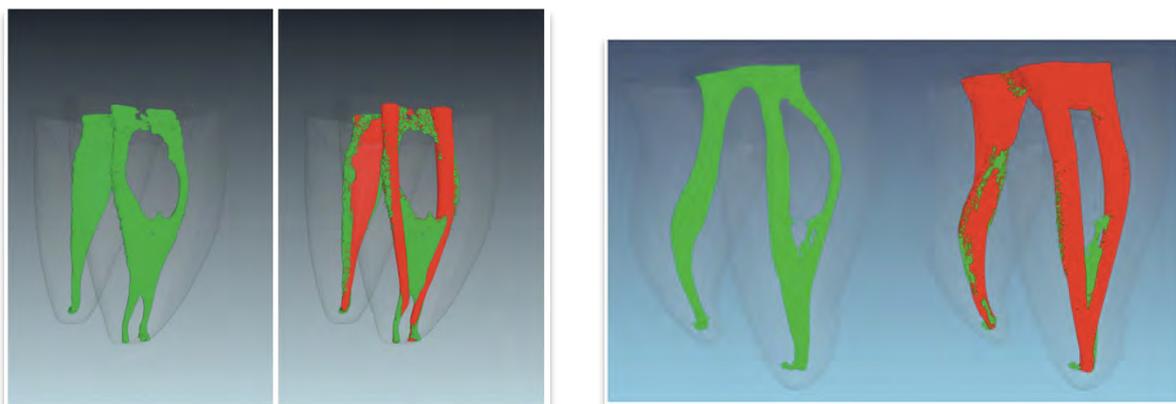
Cette lime d'un diamètre 25/100° de mm, a une conicité nulle (25/.00), est fabriquée en alliage NiTi MaxWire® (Martensite-Austénite, Electropolish- FleX) à mémoire de forme qui réagit à différentes températures. Ce qui lui confèrerait une grande flexibilité et une résistance à la fatigue cyclique inégale.



Cette lime a été éduquée à haute température où elle a mémorisé sa forme de crochet. Mais elle peut se redresser dans sa phase M (Martensite), lorsqu'elle est refroidie à 20°, ce qui permet une insertion dans le canal aisé.

Une fois à la température du corps (35°), la lime change de forme grâce à sa mémoire de forme (phase A – Austénite). Forme qui permettra une fois mise en rotation à 800 tr/min pendant 1 minute, un nettoyage des zones accessible au seul crochet.

Cet instrument de finition à l'air prometteur mais du fait de sa nouveauté, il n'y a pas de publications disponibles hormis les données du fabricant.



Figures : 3D  $\mu$ CT, en vert les morphologies canalaire avant traitement. A gauche parois atteintes par limes NiTi Standard, à droite par limes NiTi Standard + XP-Endo Finisher. Images du Dr Frank Paqué (Suisse) pour FKG.

### **3.5. Rotation Continue / Nouvelles techniques : Revue non systématique de la littérature**

#### **3.5.1. Introduction**

La comparaison des différents systèmes présentés se base sur une analyse de la littérature scientifique internationale récente.

L'étude porte sur différents critères tels que :

- La qualité du nettoyage et de la désinfection du canal.
- La qualité de la mise en forme en étudiant le respect du trajet canalaire initial, la quantité de dentine retirée, les erreurs de préparation, les extrusions apicales de débris, la formation de micro-fêlures dentinaire.
- La résistance à la fracture instrumentale en analysant les différents alliages, les dynamiques instrumentales, l'effet de l'état de surface et du design.
- Le temps de préparation.

#### **3.5.2. Qualité du nettoyage et désinfection du canal**

Les bactéries et leurs sous-produits sont considérés comme la cause principale d'infection pulpaire et péri-apicale. (Kakehashi et al., 1965)

L'élimination chimio-mécanique de la totalité du tissu pulpaire, des contaminants ainsi que des débris de préparation est d'une importance primordiale pour la réussite du traitement endodontique.

Cette partie analysera s'il existe des différences entre les systèmes présentés concernant la désinfection canalaire en observant la diminution de la charge bactérienne et l'aire instrumentée.

Réf.	Systèmes	Méthode	Mesure	Résultats/Discussions
(Lin et al., 2013)	Manuel (Lime K) ProFile SAF	3 groupes de 10 monoradiculées ovoïdes + 6 <i>contrôles</i> . Rainure dans la paroi pour simulation d'isthme et culture 4 sem. pour croissance biofilm.	Analyse au MEB après instrumentation et irrigation. Dans et hors de la rainure.	Dans la rainure : Bactéries sur <b>3,25% de la surface pour SAF</b> , et <b>19,25% pour ProFile</b> . Hors de la rainure : <b>pas de différence</b> significative entre les 3 systèmes. La quantité de biofilm retiré est en adéquation avec le taux de surface instrumentée, et donc dépendant de la géométrie canalaire. Efficacité <b>identique</b> instrumentation <b>manuelle</b> et <b>rotation continue</b> dans le canal principal en accord avec les travaux précédents (Dalton et al., 1998; Siqueira Jr. et al., 1998)
(Siqueira Jr. et al., 2013)	SAF Reciproc TFA	3 groupes de 24 canaux mésiaux de molaires mandibulaires. Droits à très peu courbés.	Analyse au $\mu$ CT de la mise en forme et de la charge bactérienne	<b>Pas de différences</b> significatives dans la mise en forme et la diminution de la charge bactérienne intra canalaire. Dans canaux droits <b>SAF</b> ne montre <b>pas de meilleurs</b> résultats.
(Marinho et al., 2015)	Reciproc MTwo PTU RaCe	4 groupes de 10 prémolaires mandibulaires avec 1 canal. Contaminées avec E.Coli pendant 21j.	Récolte avant/après instrumentation des bactéries et endotox. Irrigation LAL Water. Mise en culture.	Le Reciproc montre des <b>résultats comparables</b> aux instruments en rotation continue en terme de nettoyage.
(Alves et al., 2011)	SAF	2 groupes de 11 canaux ovoïdes infectés par E. faecalis pendant 30j. Irrigation 2,5% ou 6% NaOCl.	Échantillonnage à 2, 4 et 6 minutes de mise en forme. Mise en culture, analyse.	Nombre de cultures positives à 2,4 et 6 min : - 2,5% ; 6/11, 5/11 et 2/11 - 6% ; 4/11, 2/11 et 1/11 Réduction significative de la pop. bactérienne après 2 min, meilleurs résultats après 6 min, dû au <b>temps d'irrigation</b> et capacité du SAF à atteindre une surface dentinaire importante dans les <b>canaux ovoïdes</b> .

**Tableau :** Analyse des articles traitant de la désinfection canalaire

La complexité anatomique du réseau canalaire présente des contraintes physiques qui constituent un sérieux défi pour obtenir une désinfection optimale avec les systèmes actuels. Des bactéries résiduelles sont souvent retrouvées dans les isthmes, ramifications, deltas, canaux accessoires et latéraux, ainsi que dans les tubulis dentinaire.

Il semblerait qu'aucun instrument ou dynamique instrumentale n'apporte une désinfection sensiblement supérieure aux autres dans les canaux droits.

Une corrélation positive a été trouvée entre le taux de surface canalaire instrumentée et la diminution de la charge bactérienne.

Une augmentation du diamètre apical et/ou de la conicité améliorera la désinfection, s'expliquant par une plus grande aire de mise en forme (action mécanique) et une meilleure pénétration des solutions d'irrigation (action chimique).

Cependant certains auteurs ont mis en évidence que l'incapacité de démontrer une différence de pronostic en fonction du diamètre apical de préparation sera dû au fait que les deux alternatives (diamètre apical large et conicité) associent des problèmes différents (Friedman, 2002)

Un élargissement excessif pouvant mener à un redressement de la courbure canalaire et à une fragilisation de la structure radiculaire tandis qu'un maintien d'un diamètre minimum est susceptible de laisser des débris et de la dentine infecté (Schäfer and Dammaschke, 2006)

Le design original du SAF permet un nettoyage significativement supérieur dans les canaux ovoïdes, présentant des isthmes, etc. par sa capacité à atteindre des zones non accessibles par les instruments conventionnels.

Bien que ne disposant pas, à l'heure actuelle, d'études pour appuyer notre hypothèse, l'instrument de finition XP-Endo Finisher, conçu pour atteindre des zones non-instrumentées apportera une amélioration significative de la désinfection intra canalaire par action mécanique, spécifiquement dans les cas d'anatomies complexes.

### **3.5.3. Qualité de la mise en forme**

Nous pouvons noter les différents critères permettant d'évaluer la qualité d'une mise en forme canalaire : le respect du trajet canalaire initial, le volume de dentine retiré et la régularité de la mise en forme, les erreurs de préparation, la propension à créer des micro-fêlures, la quantité de débris expulsés au-delà du foramen. Le succès à long terme d'un traitement endodontique est directement lié à la qualité de préparation.

Dans ce chapitre, nous allons chercher à mettre en évidence s'il existe, ou non, des différences entre les systèmes concernant les critères précédemment cités.

#### **Respect du trajet initial :**

Un des impératifs du traitement endodontique est le nettoyage tout en maintenant le trajet original du canal, et notamment lorsqu'il présente des courbures.

Lors de la mise en forme des canaux courbes, les instruments ont tendance à se redresser pour retrouver leur forme initiale, ceci est d'autant plus vrai que l'instrument est large, du fait de la rigidité de l'alliage.

Les instruments en NiTi provoquent aussi un redressement malgré leur super-élasticité.

Les conséquences peuvent être un retrait excessif de dentine sur certaines parois, fragilisant la dent. Des erreurs de préparation peuvent survenir et compromettre le pronostic.

Cette partie tentera d'analyser quelles sont les différences qui existent entre les systèmes, spécifiquement dans les canaux présentant des courbures apicales importantes.

Réf.	Systèmes	Méthode	Mesure	Résultats/Discussions
(Topcu et al., 2014)	SAF Reciproc WO PTU Manuel	5 groupes de 15 incisives centrales mandibulaire avec canaux ovoïdes.	Radiographie avec contrastant intra-canaulaire avant/après mise en forme	WO>PTU = R> SAF = Manuel Aucun instrument ne permet de mettre en forme la totalité du canal. Les résultats seraient expliqués par les différentes conicités. SAF équivalent 40/.02 alors que WO (40/.08), R et PTU (40/.06)
(Ordinola-Zapata et al., 2014)	Reciproc TFA	1 molaire avec une courbure de 62° du canal mésial et 1 molaire avec un canal mésial en S. 10 répliques 3D de chaque molaire par instrument.	μCT avant/après la mise en forme.	Les 2 systèmes <b>maintiennent</b> le trajet canalaire dans le <b>1/3 apical</b> . (redressement inférieur à 1°). Pas de différence significative dans le 1/3 apical. Plus de transport pour R dans le 1/3 moyen (18,4° > 1,3°). Serai dû selon les auteurs à la masse centrale de l'instrument plus importante. La super-élasticité des alliages M-Wire et R-phase permet un respect du trajet canalaire en instrument unique ou séquence.
(Capar et al., 2014)	OS PTU PTN Reciproc TFA WO	6 groupes de 20 canaux mésio-lingual de molaire mandibulaire avec courbure 20°<x<40°	CBCT, analyse du centrage, transport, surface instrumentée et volume retiré avant/après mise en forme	<b>Pas de différence significative</b> quelque soit le paramètre analysé, sauf pour le volume de dentine retiré, qui est augmenté avec R. Dû aux différentes conicités et diamètres apicaux. Peu significatif. La <b>pointe non travaillante</b> et la préparation sous <b>faible pression apicale</b> permet un <b>centrage</b> instrumental en accord avec les études précédentes. Conception de l'instrument par torsion (TFA) ou usiné (autres) peu d'effet sur le transport.
(Bürklein et al., 2012)	Reciproc WO MTwo PTU	4 groupes de 20 avec courbure canalaire 25°<x<39°	Analyse de la variance sur les radiographies et au MEB du nettoyage + temps de préparation	<b>Pas de différence significative</b> , redressement entre 2° et 3°. Aucun canal complètement propre retrouvé.

**Tableau :** Analyse articles traitant du respect du trajet canalaire

Nous avons comparé des instruments présentant des designs, des conceptions (torsadé, usiné), des dynamiques (rotation continue, réciprocité, hybride) et des séquences différentes (mono ou pluri instrumentale).

Tous respectent le trajet canalaire initial, avec des redressements minimes et statistiquement pas de différences significatives entre les instruments.

Cela s'explique par les pointes non travaillantes et les progrès des nouveaux alliages permettant une élasticité accrue (M-Wire et R-Phase)

De part ces caractéristiques, les instruments uniques en réciprocité peuvent tout à fait être utilisé pour la préparation de canaux courbes même avec des diamètres et conicités (25/0.6 ou 25/0.8) importante en ne provoquant qu'un transport minime.

### **Expulsions apicales de débris :**

Durant la préparation canalaire des débris dentinaire, pulpaire, des microorganismes et même des irrigants peuvent se retrouver expulsés dans les tissus péri-apicaux. Pouvant causer des douleurs post-opératoires, une inflammation, et retarder la cicatrisation péri-apicale (Seltzer and Naidorf, 1985).

Les techniques de préparation manuelle en Crown-Down et forces équilibrées sont celles qui produisent le moins d'expulsions au-delà du péri-apex (Al-Omari and Dummer, 1995). Actuellement, la plupart des systèmes de rotation continue sont basés sur une préparation en Crown-Down, et les systèmes en réciprocité simulent la technique des forces équilibrés (Koçak et al., 2013). Mais il existe des disparités entre les systèmes.

Réf.	Systèmes	Méthode	Mesure	Résultats/Discussions
(Ozsu et al., 2014)	PTU PTN WO SAF	4 groupes de 14 prémolaires mandibulaires. Les canaux sont préparés suivant les instructions des fabricants.	Pesée des débris expulsés apicalement durant la préparation et récoltés dans des tubes Eppendorf calibrés.	<b>PTU expulse le plus</b> de débris. <b>SAF en expulse le moins</b> . Pas de différences significatives entre PTN et WO. Pour les auteurs, les résultats du SAF seraient dû à son <b>design et à l'irrigation continue</b> durant la préparation. La différence entre PTU et PTN serai dû au <b>design</b> . Par manque de référence de comparaison, ils n'expliquent pas <b>l'absence de différence significative entre PTN et WO</b> .
(E. Karataş et al., 2015a)	TFA	4 groupes de 12 incisives mandibulaires. Protocole identique, mais 4 mouvements : TF Adaptive, 90°H-30°AH 150°H-30°AH, rotation continue.		<b>90°H-30°AH produit le plus</b> de débris. La <b>rotation continue le moins</b> . Pas de différence entre 150°H-30°AH et TF Adaptive. Plus l'angle d'un cycle est faible, <b>plus l'expulsion de débris est importante</b> . 90°-30° = 60°, 150°-30° = 120°. Et 60° < 120°. Le TF Adaptive module les angles en fonction des contraintes). Il semblerai que la quantité de <b>débris expulsés dépende de l'opérateur</b> et de la pression exercée apicalement.
(Topçuoğlu et al., 2015)	WO Reciproc OS	6 groupes de 15 molaires mandibulaires. 3 groupes sans cathétérisme. 3 groupes cathétérisme avec PathFile.		Lorsque les canaux n'ont pas été pré-élargis avec le PathFile, <b>OS expulse moins de débris que R et WO</b> . Lorsque le cathétérisme à été fait, pas de différence significative. <b>Importance du pré-élargissement pour réduire les débris expulsés</b> , bien que cela ne soit pas explicité dans les protocoles des fabricants de système en réciprocity.
(Silva et al., 2015)	PTU PTN WO Reciproc	4 groupes de 15 prémolaires mandibulaires avec 1 canal. Préparés jusqu'à un diamètre de 40/100°.		<b>PTU expulse le plus</b> de débris. <b>Absence</b> de différence significative entre <b>PTN, WO et R</b> .
(Bürklein et al., 2014)	F360 OS Reciproc MTwo	4 groupes de 20 incisives centrales mandibulaires. Les canaux sont préparés suivant les instructions des fabricants.		<b>R expulse le plus</b> de débris. Pas de différences significative entre F360, OS, et Mtwo. Le F360, le Mtwo et le R ont des designs très similaire. Cela confirme les précédents résultats sur la capacité des instruments en réciprocity à expulser plus de débris au delà du péri-apex que ceux en rotation continue.

**Tableau :** Analyse des articles traitant de la quantité de débris expulsée.

**Apparition de micro-fêlures :**

L'émergence des instruments NiTi en rotation continue a réduit la fatigue de l'opérateur, le temps de préparation et minimisé les erreurs de mise en forme par rapport à l'instrumentation manuelle.

Cependant ils présentent un risque de fracture durant leurs utilisations, dû aux forces appliquées par l'instrument sur les parois radiculaires. Ces forces sont également responsable de défauts de surface dentinaire, ou micro-fêlures (*micro-cracks*).

Il est acquis que ces fêlures dentinaires peuvent fragiliser l'intégrité radiculaire et réduire le pronostic à long terme du traitement endodontique (Kim et al., 2010). En effet, l'application répétée de forces (ex : mastication) peut amener une propagation de la fêlure, jusqu'à la fracture radiculaire (Kruzic et al., 2005).

Les auteurs défendant la réciprocité prétendent que ce mouvement diminue les forces appliquées à l'instrument du fait de sa dynamique particulière. Nous allons analyser dans différentes publications, si cette dynamique associée à une instrumentation unique apporte un avantage par rapport aux séquences conventionnelles en rotation continue dans l'apparition des micro-fêlures radiculaire.

L'apparition de micro-fêlures est directement liée aux forces rotationnelles appliquées à la surface des parois canalaires.

Réf.	Systèmes	Méthode	Mesure	Résultats/Discussions
(Kim et al., 2013)	SAF 1,5 mm Profile 20/.06 PTU F1	µScan de chaque instrument et modèle 3D puis simulation par ordinateur dans un canal 3D.	Calcul du stress appliqué à la dentine. Analyse suivant les critères de Von Mises.	Forces maximales appliquées : SAF 2,9 MPa, Profile 23,5 MPa, PTU 29,5 MPa. <b>10 fois inférieur</b> pour le SAF par rapport au PTU. Le design de l'instrument affecte les forces appliquées à la dentine, et réduirai le risque de fêlures
(Ertuğrul Karataş et al., 2015b)	TFA PTU PTN WO	5 groupes de 15 incisives centrales avec canal droit. (dont 1 groupe contrôle)	Section perpendiculaire à 3, 6 et 9 mm de l'apex. Microscope X25	Tous les instruments ont un <b>nombre équivalent de fêlures totale</b> . A <b>3 mm</b> , <b>PTN</b> et <b>TFA</b> en produisent <b>le moins</b> . Les auteurs pensent que les résultats sont dû au <b>design du PTN</b> et à <b>la conicité</b> (25/.06 pour PTN et TFA ; 25/.08 pour WO et PTU) qui <b>augmenterai</b> le stress apicalement et la survenue de fêlures.
(Priya et al., 2014)	PTU PTN OS Reciproc	10 groupes de 10 incisives centrales. Chaque instrument en rotation continue et réciprocity + manuel + contrôle		L' <b>instrumentation manuelle</b> provoque <b>le moins</b> de fêlures. <b>Séquence complète</b> engendre <b>moins</b> de fêlure que l' <b>instrument unique</b> en rotation continue. La <b>réciprocité</b> engendre <b>moins</b> de fêlure que la <b>rotation continue</b>
(Ertuğrul Karataş et al., 2015a)	TFA avec différente cinématiques : Adaptive - 90°/30°,150°/30°, 210°/30° - Rotation continue + Manuel et contrôle	7 groupes de 15 incisives centrale mandibulaire. 10ml d'irrigation. SM1/ SM2 et SM3 jusqu'à la LT		Cinématique <b>Adaptive</b> et <b>rotation continue</b> ont provoqué le plus de fêlures. Et <b>210°/30°</b> le moins de fêlures à 9mm. A 3 et 6 mm pas de différences significative. Les auteurs suggèreraient que la diminution de l'angle de réciprocity augmenterait l'incidence de formation de fêlures.

**Tableau :** Analyse des articles traitant de l'apparition des micro-fêlure

### 3.5.4. Résistance à la fracture instrumentale

Le principal inconvénient des instruments en NiTi est le risque élevé de fracture intra canalaire durant la mise en forme, ce qui est particulièrement vrai dans les courbures sévères. Lorsque les contraintes sont trop fortes ou trop répétées, l'instrument risque de se fracturer, selon les deux modes vus précédemment :

- Fracture en torsion, lorsque la pointe de l'instrument se bloque mais que la partie supérieure continue de tourner, la limite élastique est atteinte.
- Fracture par fatigue cyclique, par alternance de compression/tension qui propagent des micro-fractures à chaque cycle jusqu'à rupture instrumentale.

Les recherches se concentrent sur différents paramètres pour améliorer la résistance des instruments à la fracture que nous allons analyser pour mettre en évidence s'il existe ou non des différences de résistance entre les systèmes proposés :

- Type d'alliage utilisé et traitement thermomécanique
- Modification de l'état de surface
- Conception de l'instrument par usinage ou torsion
- Design de l'instrument
- Dynamique d'utilisation

Réf.	Systèmes	Méthode	Mesure	Résultats/Discussions
(Kim et al., 2012)	WO R PTU F2	10 instruments de chaque. 25/.08 sur les 3 mm apicaux et L 25 mm. 2 simulateurs pour test la torsion et fatigue cyclique.	Nombre de cycle jusqu'à la fracture : NCF	<b>Fatigue cyclique : R plus résistant que WO</b> <b>Torsion : WO plus résistant que R.</b> <b>Le design</b> affecterait les capacités mécaniques. L'aire de section est plus grande pour le WO, expliquant sa résistance accrue à la torsion.
(Higuera et al., 2015)	WO Primary R25 TFA ML1	15 instruments de chaque. Canal simulé avec rayon de courbure de 5 mm et angle de 60°	NCF et MEB	Résistance à la <b>fatigue cyclique supérieure</b> pour <b>R et TFA</b> par rapport au <b>WO</b> . <b>TFA semble supérieur au R</b> bien que la différence ne soit pas significative statistiquement.
(Neelakantan et al., 2015)	OS Reciproc	25 instruments de chaque. En dynamique (amplitude 3 mm) ou statique. Simulateur de canal en S avec : - 1ère courbure à 8 mm (60° et 5 mm de rayon - 2ème courbure à 2 mm (70° et 2 mm de rayon)	NCF, et mesure des fragments fracturés	<b>R résiste à plus de cycle que OS</b> en statique et dynamique. En <b>dynamique</b> , la résistance à la fatigue cyclique est augmentée <b>pour R</b> . Pas de différence significative en statique ou dynamique pour OS. La taille des <b>fragments fracturés est la même</b> pour R et OS. Et l'instrument se fracture toujours en 1 <sup>er</sup> dans la courbure apicale. <b>Le rayon de courbure est déterminant</b> dans l'incidence de la fracture.
(Kim et al., 2015)	G6 avec électro polissage G6 sans électro polissage PTU F2 (Contrôle)	10 instruments de chaque pour chaque test (torsion et fatigue cyclique). 25/.08 sur les 3 mm apicaux.	NCF et force appliquée.	Avec traitement de surface, <b>meilleure résistance à la fatigue cyclique</b> . Pas d'influence sur la résistance à la torsion. Le polissage de surface <b>réduit les irrégularités</b> qui servent de points d'accumulations du stress et à partir desquels se répandent les micro-fractures.

**Tableau :** Analyse des articles traitant de la résistance à la fracture instrumentale

Réf.	Systèmes	Méthode	Mesure	Résultats/Discussions
(Gambarini et al., 2015)	TFA Small Sequence	10 séquence sans appui pariétal ; 10 séquence avec appui pariétal. Dent en résine avec 4 canaux. 15s de brossage par canal.	Observation au microscope si fracture ou déformation.	2 verts déspirés : 1 avec brossage, 1 sans brossage. 5 jaunes déspirés : 1 avec brossage, 4 sans brossage. <b>L'appui pariétal circumférentiel</b> n'affectera pas la <b>résistance</b> de l'instrument ; <b>L'évasement coronaire</b> résultant du brossage <b>réduit</b> le nombre d'instruments présentant une <b>déformation</b> . En accord avec l'importance de la suppression des contraintes pariétales coronaires pour une <b>progression instrumentale apicale plus sûre</b> .
(Farmakis et al., 2013)	SAF	Canaux droits de molaire extraites (<20° de courbure). 19 instruments et 4 min de préparation répété jusqu'à fracture instrumentale.	Observation toutes les 4 min Loupes x3.	Un total de 56 canaux préparé avec plus de 3 canaux par instruments avant apparition des défauts (soit 12min). Aucuns instruments fracturés, mais de nombreuses fractures aux points de jonction.

**Tableau** : Analyse des articles traitant de la résistance à la fracture instrumentale (suite)

### 3.5.5. Temps de préparation

Plusieurs études montrent que la mise en forme à l'aide d'instruments uniques en rotation continue ou en réciprocité permet un gain de temps d'environ 60% par rapport aux séquences instrumentales classiques. (Bürklein et al., 2014, 2012)

Généralement toutes ces études discutent de la nécessité de l'utilisation du temps gagné grâce aux techniques instrumentales actuelles ou d'une partie de ce temps pour l'irrigation finale, qui est la plus efficace en termes de mécanique des fluides.



**Concept Classique**



**Concept Moderne**

## 4. Conclusion

Cette revue de littérature portant sur les systèmes présentés tout au long de cette thèse semble montrer que les évolutions récentes ont permis d'améliorer la sécurité, la qualité et la reproductibilité de la mise en forme, tout en étant moins chronophage pour le praticien.

Il n'existe pas de système idéal, chacun possède des avantages et des inconvénients, et tous permettent de réaliser un traitement endodontique correct avec un risque limité de fracture (du moment que le praticien suit les recommandations du fabricant).

L'apparition de la réciprocité a permis d'entrevoir la possibilité de traitements plus rapides avec un seul instrument à usage unique. Mais ces instruments nécessitent l'acquisition d'un moteur spécifique, sans gain technique majeur (micro-cracks, expulsion de débris, nettoyage...).

Cependant l'avènement de la réciprocité, de séquences courtes de rotation continue, couplée à des alliages toujours plus flexibles ne doit pas dispenser le praticien de respecter les principes mécaniques et biologiques immuables.

Chaque préparation canalaire est unique, et devant l'immense variabilité anatomique, le succès du traitement endodontique repose sur un protocole minutieux basé sur des connaissances solides.

**Le directeur de thèse et président du jury :**

## 5. Bibliographie

- Abou-Rass, M., Frank, A.L., Glick, D.H., 1980. The Anticurvature Filing Method to Prepare the Curved Root Canal. *J. Am. Dent. Assoc.* 101, 792–794.
- Alapati, S.B., Brantley, W.A., Svec, T.A., Powers, J.M., Mitchell, J.C., 2003. Scanning Electron Microscope Observations of New and Used Nickel-Titanium Rotary Files. *J. Endod.* 29, 667–669.
- Albrecht, L.J., Baumgartner, J.C., Marshall, J.G., 2004. Evaluation of Apical Debris Removal Using Various Sizes and Tapers of ProFile GT Files. *J. Endod.* 30, 425–428.
- Alodeh, M.H., Doller, R., Dummer, P.M., 1989. Shaping of simulated root canals in resin blocks using the step-back technique with K-files manipulated in a simple in/out filling motion. *Int. Endod. J.* 22, 107–117.
- Al-Omari, M.A.O., Dummer, P.M.H., 1995. Canal blockage and debris extrusion with eight preparation techniques. *J. Endod.* 21, 154–158.
- Alves, F.R.F., Almeida, B.M., Neves, M.A.S., Rôças, I.N., Siqueira Jr., J.F., 2011. Time-dependent Antibacterial Effects of the Self-Adjusting File Used with Two Sodium Hypochlorite Concentrations. *J. Endod.* 37, 1451–1455.
- Auricchio, F., Cacciafesta, V., Petrini, L., Pietrabissa, R., 2003. 8 On the mechanics of superelastic orthodontic appliances. *Dent. Biomech.* 132.
- Blum, J.Y., Machtou, P., Micallef, J.P., 1999. Location of contact areas on rotary Profile instruments in relationship to the forces developed during mechanical preparation on extracted teeth. *Int. Endod. J.* 32, 108–114.
- Bukiet, F., Camps, J., Pommel, L., 2003. Anatomie pulpo-radicaire des dents mandibulaires : conséquences cliniques sur la preparation canalaire. *Inf. Dent.* 1891–1900.
- Bürklein, S., Benten, S., Schäfer, E., 2014. Quantitative evaluation of apically extruded debris with different single-file systems: Reciproc, F360 and OneShape versus Mtwo. *Int. Endod. J.* 47, 405–409.
- Bürklein, S., Hinschitzka, K., Dammaschke, T., Schäfer, E., 2012. Shaping ability and cleaning effectiveness of two single-file systems in severely curved root canals of extracted teeth: Reciproc and WaveOne versus Mtwo and ProTaper. *Int. Endod. J.* 45, 449–461.
- Calas, P., Vulcain, J.-M., 1999. Le concept du HERO 642®. *Rev. Odontostomatol. (Paris)* 28, 47–56.
- Camps, J., Pertot, W., 1992. Le choix des instruments endodontiques manuels. *Real Clin* 3, 79–90.
- Capar, I.D., Ertas, H., Ok, E., Arslan, H., Ertas, E.T., 2014. Comparative Study of Different Novel Nickel-Titanium Rotary Systems for Root Canal Preparation in Severely Curved Root Canals. *J. Endod.* 40, 852–856.

- Castellucci, A., 2004. Endodontics, Il Tridente. ed.
- Christ, H.-J., 2008. Fundamental mechanisms of fatigue and fracture. *Stud. Health Technol. Inform.* 133, 56–67.
- Chugal, N.M., Clive, J.M., Spångberg, L.S.W., 2001. A prognostic model for assessment of the outcome of endodontic treatment: Effect of biologic and diagnostic variables. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endodontology* 91, 342–352.
- Cianconi, L., Angotti, V., Felici, R., Conte, G., Mancini, M., 2010. Accuracy of Three Electronic Apex Locators Compared with Digital Radiography: An Ex Vivo Study. *J. Endod.* 36, 2003–2007.
- Clem, W., 1969. Endodontics: the adolescent patient. *Dent. Clin. North Am.* 13, 482–493.
- Dalton, B.C., Ørstavik, D., Phillips, C., Pettiette, M., Trope, M., 1998. Bacterial reduction with nickel-titanium rotary instrumentation. *J. Endod.* 24, 763–767.
- De-Deus, G., Moreira, E.J.L., Lopes, H.P., Elias, C.N., 2010. Extended cyclic fatigue life of F2 ProTaper instruments used in reciprocating movement. *Int. Endod. J.* 43, 1063–1068.
- Dummer, P.M.H., McGINN, J.H., Rees, D.G., 1984. The position and topography of the apical canal constriction and apical foramen. *Int. Endod. J.* 17, 192–198.
- Elnaghy, A.M., Elsaka, S.E., 2015. Mechanical properties of ProTaper Gold nickel-titanium rotary instruments. *Int. Endod. J.* n/a–n/a.
- Farmakis, E.T.R., Sotiropoulos, G.G., Pantazis, N., Kozyrakis, K., 2013. The permanent deformation of the self-adjusting files when used in canals of extracted teeth. *Int. Endod. J.* 46, 863–869.
- Fava, L.R.G., 1983. The double-flared technique : An alternative for biomechanical preparation. *J. Endod.* 9, 76–80.
- Fouad, A.F., Krell, K.V., McKendry, D.J., Koorbusch, G.F., Olson, R.A., 1990. A clinical evaluation of five electronic root canal length measuring instruments. *J. Endod.* 16, 446–449.
- Fouad, A.F., Rivera, E.M., Krell, K.V., 1993. Accuracy of the endex with variations in canal irrigants and formane size. *J. Endod.* 19, 63–67.
- Friedman, S., 2002. Prognosis of initial endodontic therapy. *Endod. Top.* 2, 59–88.
- Gagliardi, J., Versiani, M.A., de Sousa-Neto, M.D., Plazas-Garzon, A., Basrani, B., 2015. Evaluation of the Shaping Characteristics of ProTaper Gold, ProTaper NEXT, and ProTaper Universal in Curved Canals. *J. Endod.* 41, 1718–1724.
- Gambarini, G., Plotino, G., Piasecki, L., Al-Sudani, D., Testarelli, L., Sannino, G., 2015. Deformations and cyclic fatigue resistance of nickel-titanium instruments inside a sequence. *Ann. Stomatol. (Roma)* 6, 6–9.

- Goerig, A.C., Michelich, R.J., Schultz, H.H., 1982. Instrumentation of root canals in molar using the step-down technique. *J. Endod.* 8, 550–554.
- Goldberg, F., Marroquín, B.B., Frajlich, S., Dreyer, C., 2005. In Vitro Evaluation of the Ability of Three Apex Locators to Determine the Working Length During Retreatment. *J. Endod.* 31, 676–678.
- Grove, C.J., 1930. Why Root Canals should be Filled to the Dentinocemental Junction. *J. Am. Dent. Assoc.* 1922 17, 293–296.
- Haïkel, Y., Serfaty, R., Wilson, P., Speisser, J.M., Allemann, C., 1998. Mechanical properties of nickel-titanium endodontic instruments and the effect of sodium hypochlorite treatment. *J. Endod.* 24, 731–735.
- Hess, W., Zürcher, E., Dolamore, W.H., 1925. The anatomy of the root-canals of the teeth of the permanent dentition. *J. Bale, sons & Danielsson, Ltd.*
- Hieawy, A., Haapasalo, M., Zhou, H., Wang, Z., Shen, Y., 2015. Phase Transformation Behavior and Resistance to Bending and Cyclic Fatigue of ProTaper Gold and ProTaper Universal Instruments. *J. Endod.* 41, 1134–1138.
- Higuera, O., Plotino, G., Tocci, L., Carrillo, G., Gambarini, G., Jaramillo, D.E., 2015. Cyclic Fatigue Resistance of 3 Different Nickel-Titanium Reciprocating Instruments in Artificial Canals. *J. Endod.* 41, 913–915.
- Hülsmann, M., Peters, O.A., Dummer, P.M.H., 2005. Mechanical preparation of root canals: shaping goals, techniques and means. *Endod. Top.* 10, 30–76.
- Jenkins, J.A., Walker III, W.A., Schindler, W.G., Flores, C.M., 2001. An In Vitro Evaluation of the Accuracy of the Root ZX in the Presence of Various Irrigants. *J. Endod.* 27, 209–211.
- Jordan, L., Rocher, P., 2010. Les alliages Nickel-Titane (NiTi).
- Kakehashi, S., Stanley, H.R., Fitzgerald, R.J., 1965. THE EFFECTS OF SURGICAL EXPOSURES OF DENTAL PULPS IN GERM-FREE AND CONVENTIONAL LABORATORY RATS. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.* 20, 340–349.
- Karataş, E., Arslan, H., Alsancak, M., Kırıcı, D.Ö., Ersoy, İ., 2015a. Incidence of Dentinal Cracks after Root Canal Preparation with Twisted File Adaptive Instruments Using Different Kinematics. *J. Endod.* 41, 1130–1133.
- Karataş, E., Arslan, H., Kırıcı, D.Ö., Alsancak, M., Çapar, İ.D., 2015a. Quantitative evaluation of apically extruded debris with Twisted File Adaptive instruments in straight root canals : reciprocation with different angles, adaptive motion and continuous rotation. *Int. Endod. J.* n/a–n/a.
- Karataş, E., Gündüz, H.A., Kırıcı, D.Ö., Arslan, H., 2015b. Incidence of dentinal cracks after root canal preparation with ProTaper Gold, Profile Vortex, F360, Reciproc and ProTaper Universal instruments. *Int. Endod. J.* n/a–n/a.

- Karataş, E., Gündüz, H.A., Kırıcı, D.Ö., Arslan, H., Topçu, M.Ç., Yeter, K.Y., 2015b. Dentinal Crack Formation during Root Canal Preparations by the Twisted File Adaptive, ProTaper Next, ProTaper Universal, and WaveOne Instruments. *J. Endod.* 41, 261–264.
- Kessler, J.R., Peters, D.D., Lorton, L., 1983. Comparison of the relative risk of molar root perforations using various endodontic instrumentation techniques. *J. Endod.* 9, 439–447.
- Kim, B.H., Ha, J.-H., Lee, W.C., Kwak, S.-W., Kim, H.-C., 2015. Effect from surface treatment of nickel-titanium rotary files on the fracture resistance. *Scanning* 37, 82–87.
- Kim, H.-C., Kwak, S.-W., Cheung, G.S.-P., Ko, D.-H., Chung, S.-M., Lee, W., 2012. Cyclic Fatigue and Torsional Resistance of Two New Nickel-Titanium Instruments Used in Reciprocation Motion : Reciproc Versus WaveOne. *J. Endod.* 38, 541–544.
- Kim, H.-C., Lee, M.-H., Yum, J., Versluis, A., Lee, C.-J., Kim, B.-M., 2010. Potential Relationship between Design of Nickel-Titanium Rotary Instruments and Vertical Root Fracture. *J. Endod.* 36, 1195–1199.
- Kim, H.-C., Sung, S.Y., Ha, J.-H., Solomonov, M., Lee, J.-M., Lee, C.-J., Kim, B.-M., 2013. Stress Generation during Self-Adjusting File Movement : Minimally Invasive Instrumentation. *J. Endod.* 39, 1572–1575.
- Kobayashi, C., Suda, H., 1994. New electronic canal measuring device based on the ratio method. *J. Endod.* 20, 111–114.
- Koçak, S., Koçak, M.M., Sağlam, B.C., Türker, S.A., Sağsen, B., Er, Ö., 2013. Apical extrusion of debris using self-adjusting file, reciprocating single-file, and 2 rotary instrumentation systems. *J. Endod.* 39, 1278–1280.
- Kruzic, J.J., Nalla, R.K., Kinney, J.H., Ritchie, R.O., 2005. Mechanistic aspects of in vitro fatigue-crack growth in dentin. *Biomaterials* 26, 1195–1204.
- Kuttler, Y., 1955. Microscopic investigation of root apexes. *J. Am. Dent. Assoc.* 1939 50, 544–552.
- Lim, S.S., Stock, C.J., 1987. The risk of perforation in the curved canal : anticurvature filing compared with the stepback technique. *Int. Endod. J.* 20, 33–39.
- Lin, J., Shen, Y., Haapasalo, M., 2013. A Comparative Study of Biofilm Removal with Hand, Rotary Nickel-Titanium, and Self-Adjusting File Instrumentation Using a Novel In Vitro Biofilm Model. *J. Endod.* 39, 658–663.
- Machtou, P., 1993. Ch. 8, La cavité d'accès. *Endod.-Guide Clin.* 125–137.
- Mandel, E., 2004. ID N° 86-26 du 30 Juin 2004 <http://www.information-dentaire.fr/0115-1405-ID-N-86-26-du-30-Juin-2004.html>
- Marinho, A.C.S., Martinho, F.C., Gonçalves, L.M., Rabang, H.R.C., Gomes, B.P.F.A., 2015. Does the Reciproc file remove root canal bacteria and endotoxins as effectively as multifile rotary systems? *Int. Endod. J.* 48, 542–548.

- Martín, B., Zelada, G., Varela, P., Bahillo, J.G., Magán, F., Ahn, S., Rodríguez, C., 2003. Factors influencing the fracture of nickel-titanium rotary instruments. *Int. Endod. J.* 36, 262–266.
- Metzger, Z., 2014. The self-adjusting file (SAF) system : An evidence-based update. *J. Conserv. Dent. JCD* 17, 401–419.
- Miserendino, L.J., Moser, J.B., Heuer, M.A., Osetek, E.M., 1986. Cutting efficiency of endodontic instruments. Part II : Analysis of tip design. *J. Endod.* 12, 8–12.
- Moule, A.J., Kellaway, R., Glarkson, R., Rowell, J., Macfarlane, R., Lewis, D., Cameron, T., Atkins, D., 2002. Variability Of Master Gutta-Percha Cones. *Aust. Endod. J.* 28, 38–43.
- Nakagawa, R.K.L., Alves, J.L., Buono, V.T.L., Bahia, M.G.A., 2014. Flexibility and torsional behaviour of rotary nickel-titanium PathFile, RaCe ISO 10, Scout RaCe and stainless steel K-File hand instruments. *Int. Endod. J.* 47, 290–297.
- Neelakantan, P., Reddy, P., Gutmann, J.L., 2015. Cyclic fatigue of two different single files with varying kinematics in a simulated double-curved canal. *J. Investig. Clin. Dent.*
- Ordinola-Zapata, R., Bramante, C.M., Duarte, M.A.H., Cavenago, B.C., Jaramillo, D., Versiani, M.A., Ordinola-Zapata, R., Bramante, C.M., Duarte, M.A.H., Cavenago, B.C., Jaramillo, D., Versiani, M.A., 2014. Shaping ability of Reciproc and TF Adaptive systems in severely curved canals of rapid microCT-based prototyping molar replicas. *J. Appl. Oral Sci.* 22, 509–515.
- Ozsu, D., Karatas, E., Arslan, H., Topcu, M.C., 2014. Quantitative evaluation of apically extruded debris during root canal instrumentation with ProTaper Universal, ProTaper Next, WaveOne, and self-adjusting file systems. *Eur. J. Dent.* 8, 504–508.
- Paqué, F., Rechenberg, D.-K., Zehnder, M., 2012. Reduction of Hard-tissue Debris Accumulation during Rotary Root Canal Instrumentation by Etidronic Acid in a Sodium Hypochlorite Irrigant. *J. Endod.* 38, 692–695.
- Patoor, E., Berveiller, M., 1994. Technologie des alliages à mémoire de forme: comportement mécanique et mise en œuvre. Hermes.
- Pérard, M., Le Goff, A., Hingant, B., Le Clerc, J., Perez, F., Vulcain, J.-M., Dautel, A., 2009. Documents légaux de l'article: Choix de la limite apicale et de la longueur de travail. *Médecine* 7, 0–2.
- Pertot, W.-J., Simon, S., 2003. Le traitement endodontique. Quintessence international.
- Peters, O.A., Schönenberger, K., Laib, A., 2001. Effects of four Ni–Ti preparation techniques on root canal geometry assessed by micro computed tomography. *Int. Endod. J.* 34,
- Priya, N.T., Chandrasekhar, V., Anita, S., Tummala, M., Raj, T.B.P., Badami, V., Kumar, P., Soujanya, E., 2014. “Dentinal Microcracks After Root Canal Preparation” A Comparative Evaluation with Hand, Rotary and Reciprocating Instrumentation. *J. Clin. Diagn. Res. JCDR* 8, ZC70–ZC72.

- Pruett, J.P., Clement, D.J., Carnes Jr., D.L., 1997. Cyclic fatigue testing of nickel-titanium endodontic instruments. *J. Endod.* 23, 77–85.
- Ram, Z., 1977. Effectiveness of root canal irrigation. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.* 44, 306–312.
- Renner, D., Grazziotin-Soares, R., Gavini, G., Barletta, F.B., 2012. Influence of pulp condition on the accuracy of an electronic foramen locator in posterior teeth: an in vivo study. *Braz. Oral Res.* 26, 106–111
- Roane, J.B., Sabala, C.L., Duncanson Jr., M.G., 1985. The “balanced force” concept for instrumentation of curved canals. *J. Endod.* 11, 203–211.
- Roland, D.D., Andelin, W.E., Browning, D.F., Robert Hsu, G.-H., Torabinejad, M., 2002. The Effect of Preflaring on the Rates of Separation for 0.04 Taper Nickel Titanium Rotary Instruments. *J. Endod.* 28, 543–545.
- Ruddle, C.J., 2001. The ProTaper endodontic system : geometries, features, and guidelines for use. *Dent. Today* 20, 60–67.
- Sabala, C.L., Roane, J.B., Southard, L.Z., 1988. Instrumentation of curved canals using a modified tipped instrument : A comparison study. *J. Endod.* 14, 59–64.
- Sattapan, B., Nervo, G.J., Palamara, J.E.A., Messer, H.H., 2000. Defects in Rotary Nickel-Titanium Files After Clinical Use. *J. Endod.* 26, 161–165.
- Schaeffer, M.A., White, R.R., Walton, R.E., 2005. Determining the Optimal Obturation Length : A Meta-Analysis of Literature. *J. Endod.* 31, 271–274.
- Schäfer, E., Dammaschke, T., 2006. Development and sequelae of canal transportation. *Endod. Top.* 15, 75–90.
- Schäfer, E., Vlassis, M., 2004a. Comparative investigation of two rotary nickel–titanium instruments : ProTaper versus RaCe. Part 1. Shaping ability in simulated curved canals. *Int. Endod. J.* 37, 229–238.
- Schäfer, E., Vlassis, M., 2004b. 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.* 37, 239–248.
- Schilder, H., 1974. Cleaning and shaping the root canal. *Dent. Clin. North Am.* 18, 269–296.
- Seidberg, B.H., Alibrandi, B.V., Fine, H., Logue, B., 1975. Clinical investigation of measuring working lengths of root canals with an electronic device and with digital-tactile sense. *J. Am. Dent. Assoc.* 90, 379–387.
- Seltzer, S., Naidorf, I.J., 1985. Flare-ups in endodontics : I. Etiological factors. *J. Endod.* 11, 472–478.
- Silva, E.J.N.L., Carapiá, M.F., Lopes, R.M., Belladonna, F.G., Senna, P.M., Souza, E.M., De-Deus, G., 2015. Comparison of apically extruded debris after large apical preparations by full-sequence rotary and single-file reciprocating systems. *Int. Endod. J.* n/a–n/a.

- Simon, S., Machtou, P., Pertot, W.-J., 2012. Endodontie, JPIO. ed.
- Siqueira Jr., J.F., Alves, F.R.F., Versiani, M.A., Rôças, I.N., Almeida, B.M., Neves, M.A.S., Sousa-Neto, M.D., 2013. Correlative Bacteriologic and Micro-Computed Tomographic Analysis of Mandibular Molar Mesial Canals Prepared by Self-Adjusting File, Reciproc, and Twisted File Systems. *J. Endod.* 39, 1044–1050.
- Siqueira Jr., J.F., Batista, M.M.D., Fraga, R.C., de Uzeda, M., 1998. Antibacterial effects of endodontic irrigants on black-pigmented Gram-negative anaerobes and facultative bacteria. *J. Endod.* 24, 414–416.
- Sjögren, U., Hägglund, B., Sundqvist, G., Wing, K., 1990. Factors affecting the long-term results of endodontic treatment. *J. Endod.* 16, 498–504.
- Sonntag, D., Peters, O.A., 2007. Effect of Prion Decontamination Protocols on Nickel-Titanium Rotary Surfaces. *J. Endod.* 33, 442–446.
- Topcu, K.M., Karatas, E., Ozsu, D., Ersoy, I., 2014. Efficiency of the Self Adjusting File, WaveOne, Reciproc, ProTaper and hand files in root canal debridement. *Eur. J. Dent.* 8, 326–329.
- Topçuoğlu, H.S., Düzgün, S., Akpek, F., Topçuoğlu, G., Aktı, A., 2015. Influence of a glide path on apical extrusion of debris during canal preparation using single-file systems in curved canals. *Int. Endod. J.* n/a–n/a.
- Tronstad, L., 1992. Recent development in endodontic research. *Eur. J. Oral Sci.* 100, 52–59.
- Turek, T., Langeland, K., 1982. A light microscopic study of the efficacy of the telescopic and the Giromatic preparation of root canals. *J. Endod.* 8, 437–443.
- Ullmann, C.J., Peters, O.A., 2005. Effect of cyclic fatigue on static fracture loads in ProTaper nickel-titanium rotary instruments. *J. Endod.* 31, 183–186.
- Uygun, A.D., Kol, E., Topcu, M.K.C., Seckin, F., Ersoy, I., Tanriver, M., 2015. Variations in cyclic fatigue resistance among ProTaper Gold, ProTaper Next and ProTaper Universal instruments at different levels. *Int. Endod. J.* n/a–n/a.
- Varela-Patiño, P., Ibañez-Párraga, A., Rivas-Mundiña, B., Cantatore, G., Otero, X.L., Martín-Biedma, B., 2010. Alternating versus Continuous Rotation : A Comparative Study of the Effect on Instrument Life. *J. Endod.* 36, 157–159.
- Vertucci, F.J., 2005. Root canal morphology and its relationship to endodontic procedures. *Endod. Top.* 10, 3–29.
- Vieyra, J.P., Acosta, J., 2011. Comparison of working length determination with radiographs and four electronic apex locators. *Int. Endod. J.* 44, 510–518.
- Villalobos, R.L., Moser, J.B., Heuer, M.A., 1980. A method to determine the cutting efficiency of root canal instruments in rotary motion. *J. Endod.* 6, 667–671.

- Weine, F.S., Kelly, R.F., Lio, P.J., 1975. The effect of preparation procedures on original canal shape and on apical foramen shape. *J. Endod.* 1, 255–262.
- Yared, G., 2008. Canal preparation using only one Ni-Ti rotary instrument : preliminary observations. *Int. Endod. J.* 41, 339–344.
- You, S.-Y., Bae, K.-S., Baek, S.-H., Kum, K.-Y., Shon, W.-J., Lee, W., 2010. Lifespan of One Nickel-Titanium Rotary File with Reciprocating Motion in Curved Root Canals. *J. Endod.* 36, 1991–1994.
- Zehnder, M., 2006. Root canal irrigants. *J. Endod.* 32, 389–398.

#### Documents consultés :

- HAS (Haute Autorité de Santé). Rapport d'évaluation des technologies de santé. Traitement endodontique. Septembre 2008
- CNEOC. Dictionnaire francophone des termes d'Odontologie Conservatrice (Endodontie & Restauratrice), 2<sup>ème</sup> édition, 2010.

#### Sites web consultés :

- Brochure XP-Endo Finisher (FKG), [http://www.fkg.ch/sites/default/files/fkg\\_xp\\_endo\\_brochure\\_fr\\_vb.pdf](http://www.fkg.ch/sites/default/files/fkg_xp_endo_brochure_fr_vb.pdf)
- <http://www.oralhealthgroup.com/news/tf-adaptive-a-novel-approach-to-nickel-titanium-instrumentation-rotary-when-you-want-it/1002269594/?&er=NA>
- Benkirane. 2001, <http://www.lecourrierdudentiste.com/dossiers-du-mois/preparation-endodontique-avec-le-systeme-hero-642.html>
- Benkirane. 1999, <http://www.lecourrierdudentiste.com/dossiers-du-mois/introduction-du-nickel-titane-en-endodontie.html>
- American Association of Endodontists, <http://www.aae.org/guidelines/>
- Odontologie TP endodontie, <https://ecm.univ-rennes1.fr/nuxeo/site/esupversions/9bd72a79-1aee-4428-a472-a1cb59bf9697/chainedit2/site/html/tp5/index.html>

**LA MISE EN FORME CANALAIRE : LE POINT EN 2015**

---

**RESUME EN FRANÇAIS :**

Le traitement endodontique est un soin rencontré quotidiennement et constitue la base de restaurations pluridisciplinaires. Il est pourtant redouté par de nombreux praticiens par sa complexité et des complications possible plus nombreuses que pour les autres actes.

Les industriels n'ont cessé d'innover pour faciliter le travail des praticiens, mais nous nous trouvons aujourd'hui face à une offre de plus en plus pléthorique d'instruments.

Quel choix d'instruments ? Pourquoi ?

Ce travail de thèse a pour but de répondre à ces questions en proposant un rappel sur les principes et modalités à respecter pour des mises en formes reproductibles et plus sûres et en évaluant différents systèmes disponibles à travers les critères de qualités de la préparation canalaire.

---

**TITRE EN ANGLAIS :** 2015 an update on endodontic instrumentation

---

**DISCIPLINE ADMINISTRATIVE :** CHIRURGIE DENTAIRE

---

**MOTS CLES :** traitement endodontique, mise en forme canalaire, instrumentation rotative, nickel-titane, rotation continue, mouvement réciproque, nettoyage canalaire.

---

**INTITULE ET ADRESSE DE L'UFR :**

UNIVERSITE TOULOUSE III-PAUL SABATIER  
Faculté de Chirurgie Dentaire  
3, chemin des Maraîchers  
31062 TOULOUSE CEDEX 9

---

**DIRECTEUR DE THESE :** Pr Franck DIEMER