



Quel avenir pour les systèmes de mise en forme canalaire ?

Raphael Benaroch

► To cite this version:

Raphael Benaroch. Quel avenir pour les systèmes de mise en forme canalaire ?. Sciences du Vivant [q-bio]. 2017. dumas-01495243

HAL Id: dumas-01495243

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01495243>

Submitted on 24 Mar 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0
International License



AVERTISSEMENT

Cette thèse d'exercice est le fruit d'un travail approuvé par le jury de soutenance et réalisé dans le but d'obtenir le diplôme d'État de docteur en chirurgie dentaire. Ce document est mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt toute poursuite pénale.



UNIVERSITÉ
**PARIS
DESCARTES**

MEMBRE DE

U-S-PC
Université Sorbonne
Paris Cité

UNIVERSITÉ PARIS DESCARTES

FACULTÉ DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année 2017

N° 014

THÈSE

POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement le : 19 janvier 2017

Par

Raphael BENAROCH

Quel avenir pour les systèmes de mise en forme canalaire ?

Dirigée par M. le Docteur Romain ORLU

JURY

M. le Professeur Bruno Gogly

M. le Docteur Jean-Claude Tavernier

Mme le Docteur Céline Gaucher

M. le Docteur Romain Orлу

M. le Docteur Jérémie Ohayon

Président

Assesseur

Assesseur

Assesseur

Invité

Tableau des enseignants de la Faculté

DÉPARTEMENTS	DISCIPLINES	PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS	MAÎTRES DE CONFÉRENCES
1	ODONTOLOGIE PÉDIATRIQUE	Mme VITAL Mme DAVIT-BEAL	M. COURSON Mme DURSUN Mme VANDERZWALM Mme JEGAT
	ORTHOPÉDIE DENTO-FACIALE		Mme BENAHMED M. DUNGLAS Mme KAMOUN-GOLDRAT Mme LE NORCY
	SANTÉ COMMUNAUTAIRE ET POPULATIONS SINGULIÈRES	Mme FOLLIGUET M. PIERRISNARD	M. NEBOT
2	PARODONTOLOGIE	Mme COLOMBIER	M. BIOSSE DUPLAN Mme DRIDI Mme GOSSET M. GUEZ
	MÉDECINE ET CHIRURGIE BUCCALES	M. MAMAN	Mme EJEIL M. GAULTIER M. HADIDA M. NGUYEN Mme RADOI
3	ODONTOLOGIE CONSERVATRICE ENDODONTIE	Mme CHEMLA M. LASFARGUES	Mme BESNAULT M. BONTE Mme BOUKPESSI M. DECUP Mme GAUCHER
	PROTHÈSE	M. POSTAIRE	M. CHEYLAN M. DAAS M. DOT M. EID Mme FOUILLOUX-PATEY Mme GORIN M. RENAULT M. RIGNON-BRET M. TIRLET M. TRAMBA Mme WULFMANN
4	PRÉVENTION-ÉPIDÉMIOLOGIE ÉCONOMIE DE LA SANTÉ ET ODONTOLOGIE LÉGALE		Mme GERMA M. PIRNAY M. TAVERNIER
	SCIENCES BIOLOGIQUES	Mme CHAUSSAIN M. GOGLY Mme POLIARD M. ROCHEFORT Mme SEGUIER	M. ARRETO Mme BARDET Mme CHARDIN M. LE MAY M. FERRE (MCU associé) Mme CHERIFI (MCU associée)
	SCIENCES ANATOMIQUES PHYSIOLOGIQUES ET OCCLUSODONTIQUE		M. ATTAL Mme BENBELAID Mme BENOIT M. BOUTER M. CHARRIER M. CHERRUAU M. FLEITER Mme FRON M. SALMON Mme TILOTTA

Janvier 2017

À Monsieur le Professeur Bruno Gogly

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur de l'Université Paris Descartes

Spécialiste qualifié en Médecine Bucco-Dentaire

Habilitation à Diriger des Recherches

Professeur des Universités, Faculté de Chirurgie Dentaire Paris Descartes

Praticien Hospitalier, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris

Responsable du département d'odontologie du groupe hospitalier Henri Mondor

Qui me fait l'honneur de présider le jury de cette thèse

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

À Monsieur le Docteur Jean-Claude Tavernier

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur de l'Université Paris Descartes

Maitre de conférences des Universités, Faculté de Chirurgie Dentaire de Paris Descartes

Praticien hospitalier, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris

Chevalier de l'ordre national du mérite

Officier de l'ordre des palmes académiques

Qui me fait l'honneur d'accepter de participer à ce jury de thèse.

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

À Madame le Docteur Céline Gaucher

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur de l'Université Paris Descartes

Maitre de conférences des Universités, Faculté de Chirurgie Dentaire de Paris Descartes

Praticien hospitalier, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris

Qui me fait l'honneur d'accepter de participer à ce jury de thèse.

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

Merci pour tout ce que vous m'avez transmis pendant mes études.

À Monsieur le Docteur Romain Orlu

Docteur en Chirurgie Dentaire

Assistant Hospitalo-Universitaire, Faculté de Chirurgie Dentaire Paris Descartes

Qui m'a fait l'honneur de diriger cette thèse.

*Merci de m'avoir aidé et soutenu dans sa réalisation.
Merci de m'avoir transmis ta passion pour l'endodontie, ta voie
est un modèle pour moi.*

À Monsieur le Docteur Jérémie Ohayon

Docteur en Chirurgie Dentaire

*On avait parié, tu as gagné, j'ai tenu ma promesse. Te voilà
comme un grand, membre du jury.*

Remerciements

A ma femme merci de m'avoir soutenu pendant mes études et de m'encourager et me supporter chaque jour. Je t'aime.

A mes parents qui me soutiennent depuis toujours et sur qui je pourrai toujours compter. Ce diplôme, je vous le dédie.

A mon frère, merci pour ton soutien inconditionnel. Kelchak !!

A mes grands-parents, que vous soyez présents à mes côtés jusqu'à 120 ans.

A ma famille, vous êtes géniaux.

A ma belle-famille, beaux-frères, belle-sœur, merci de partager tous ces moments avec moi.

A tous mes amis, présents ou non à cette thèse, sans qui la vie serait beaucoup moins drôle.

Table des matières

Introduction.....	3
1) Les instruments rotatifs nickel-titane : état des lieux des problèmes rencontrés	6
1.1 Fracture de l'instrument	6
1.2 Le transport apical.....	8
1.3 L'extrusion apicale des débris	14
1.4 La fracture verticale de la racine	23
2) L'avenir de la mise en forme ?	28
2.1 Le Système Self Adjusting File (SAF).....	28
2.1.1 Présentation	33
2.1.2 Propriétés mécaniques.....	32
2.1.3 Mise en forme et analyse selon l'anatomie canalaire	35
2.1.3.1 Les canaux en « C »	35
2.1.3.2 Les canaux en « ovales et ovales-longs »	43
2.1.4 Désinfection et débridement apical.....	42
2.1.5 Discussion	47
2.2 TRUShape 3D Conforming.....	48
2.2.1 Présentation	52
2.2.2 Revue de littérature	50
2.2.3 Discussion	54
2.3 XP-endo Finisher (FKG)	54
2.3.1 Présentation	58

2.3.2 Revue de littérature	58
2.3.3 Discussion	60
Conclusion	61

Introduction

Le traitement endodontique est un acte essentiel dans la pratique quotidienne de l'odontologie. Il a pour objectif de traiter les maladies de la pulpe et du périapex et ainsi transformer une dent pathologique en une entité saine, asymptomatique et fonctionnelle sur l'arcade (HAS, 2008).

Il se décompose en trois étapes clés : mise en forme, désinfection, obturation. Ces objectifs de traitement ont été introduits dès 1974 par Schilder¹ et ont depuis très peu évolués.

Si les concepts ont peu évolués, les moyens de réalisation de ces étapes ont quant à eux progressés et particulièrement l'étape de mise en forme canalaire qui a profité d'une meilleure connaissance des instruments mécaniques et de l'avancée technologique des matériaux qui les composent. Les instruments en acier inoxydable ont été progressivement remplacés après l'introduction des instruments en nickel-titane au début des années 1990.

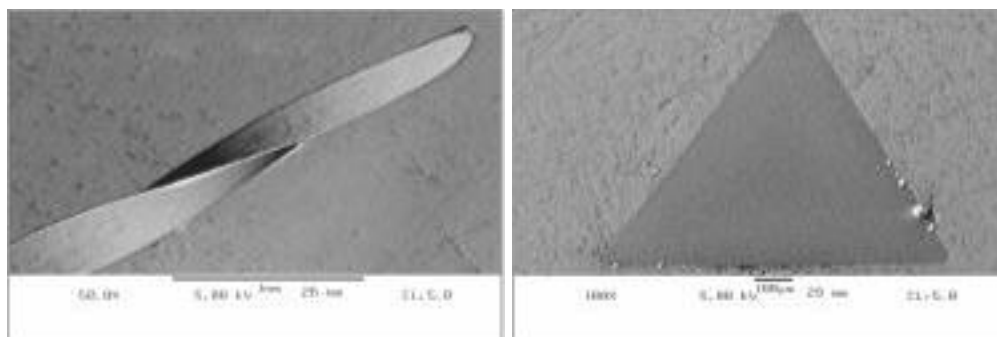
Ces instruments en nickel-titane sont composés de 56% de nickel et 44% de titane. Ils se caractérisent par une super-élasticité, une mémoire de forme et une flexibilité plus importante.² Ces propriétés permettent à l'instrument de prendre la forme du canal puis de reprendre sa forme initiale après que la charge appliquée à l'instrument est retirée. Ils ont rapidement montrés leur efficacité sur les traitements réalisés par rapport aux instruments en acier.³

Les instruments en nickel-titane sont rapidement associés à la rotation continue à partir de 1996. Ces instruments se répandent très rapidement et améliorent considérablement la qualité et la reproductibilité des traitements endodontiques ainsi qu'une réduction du temps de mise en forme. Plusieurs fabricants sortent leurs instruments avec chacun ses spécificités au niveau de leur design : diamètre à la pointe, conicité, section transversale, angle d'hélice.

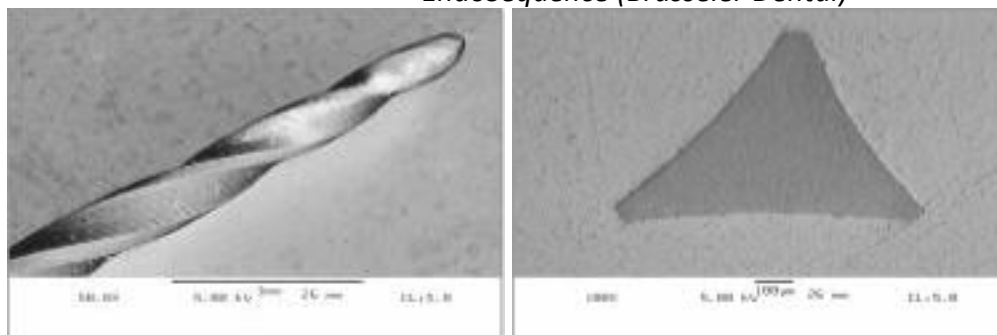
¹ Schilder, « Cleaning and shaping the root canal ».

² Gambarini et al., « Mechanical properties of a new and improved nickel-titanium alloy for endodontic use ».

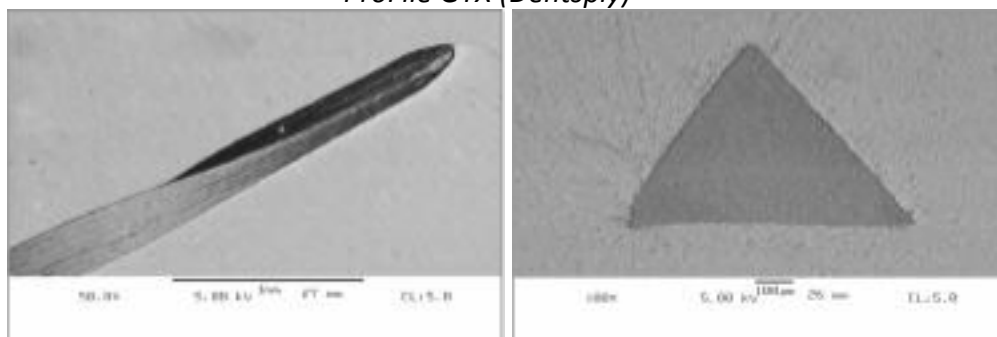
³ Sonntag et al., « Root canal shaping with manual stainless steel files and rotary ni-ti files performed by students ».



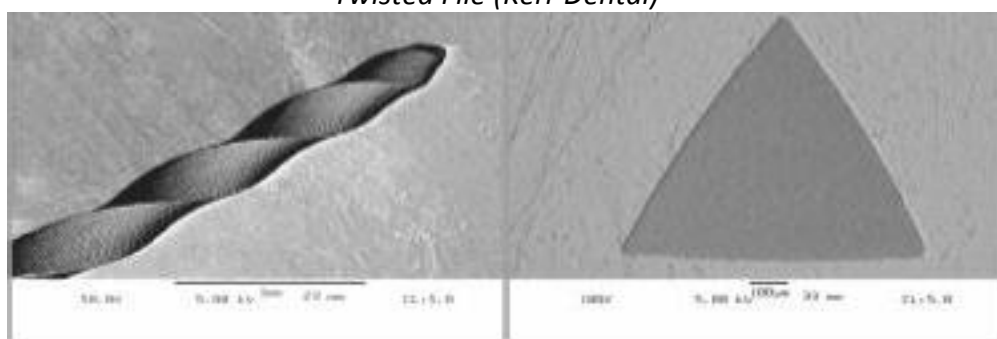
EndoSéquence (Brasseler Dental)



ProFile GTX (Dentsply)



Twisted File (Kerr Dental)



Vortex (Dentsply Maillefer)

Figure 1 Section latérale et transversale de différents instruments en nickel-titane. Images provenant d'un microscope électronique à balayage.

Source : Peters et Paque, « Current developments in rotary root canal instrument technology and clinical use ».

Cependant, après plusieurs décennies d'utilisation, les instruments rotatifs en nickel-titane ont montré certaines limites : les fractures des instruments se sont faites plus nombreuses, les transports apicaux n'ont pas disparues, l'extrusion apicale des débris reste toujours mal contrôlée, un réseau canalaire complexe pas toujours complètement mis en forme et une tendance à fragiliser la racine traitée pouvant entraîner une fracture verticale de celle-ci.

Ces problèmes étant bien connus, désormais, les nouveaux systèmes de mise en forme développés par les fabricants ont pour but de remédier à ces problèmes tout en ayant la possibilité d'avoir une capacité toujours supérieure à réaliser les objectifs du traitement endodontique (mise en forme, désinfection, obturation). Ces améliorations concernent principalement le design des instruments qui leur permettront de s'adapter à l'anatomie du canal, d'éviter la fragilisation de la dent et d'augmenter le nettoyage canalaire.

Un point sera fait sur certains de ces nouveaux instruments et leur potentiel avenir en endodontie.

1) Les instruments rotatifs nickel-titane : état des lieux des problèmes rencontrés

Les instruments rotatifs en nickel-titane ont permis, depuis plusieurs décennies déjà, une nette amélioration de la préparation canalaire lors des traitements endodontiques. Cependant, plusieurs problèmes sont apparus au fil du temps liés à ces instruments : fracture de l'instrument à l'intérieur du canal, le transport apical, extrusion apicale des débris non contrôlée et une tendance à fragiliser la racine pouvant entraîner une fracture de la dent. Un point de ces divers problèmes sera fait ci-après.

1.1 Fracture instrumentale

L'utilisation de plus en plus fréquente des instruments rotatifs en nickel-titane depuis 20 ans a entraîné un nombre de fractures de plus en plus élevé.

La prévalence de ces fractures a été étudiée dans plusieurs rapports de cas, synthétisée dans un article par Shebab en 2008. Dans les 10 études de rapports de cas recensées (Tableau 1), le taux de fracture varie entre 0,4 et 4,4%.

La fracture instrumentale peut survenir par torsion ou par fatigue cyclique.⁴

La fracture par torsion survient quand la pointe ou tout autre partie de l'instrument se bloque dans le canal tandis que la rotation continue. C'est la fracture la plus fréquente cliniquement.⁵ Pruett et al.⁶ font la différence entre la fracture par torsion statique (expliquée ci-dessus) et la fracture par torsion dynamique qui résulte des forces de friction causées par les débris dentinaires qui s'accumulent dans les spires de l'instrument et augmentent sa surface de contact.

La fracture par fatigue cyclique est la conséquence d'une accumulation de stress dans la masse de l'alliage au cours d'une utilisation prolongée dans une courbure ou lors d'utilisations successives. La fracture par fatigue cyclique survient sans déformation préalablement visible à l'œil nu, elle est très difficile à prévoir ou à détecter. Le rayon de courbure du canal et la vitesse de rotation de l'instrument influencent fortement la fracture par fatigue cyclique.⁷

⁴ Pertot et Pommel, « Mise en forme et nettoyage du système canalaire. »

⁵ Sattapan et al., « Defects in rotary nickel-titanium files after clinical use ».

⁶ Pruett, Clement, et Carnes, « Cyclic fatigue testing of nickel-titanium endodontic instruments ».

⁷ Haïkel et al., « Dynamic and cyclic fatigue of engine-driven rotary nickel-titanium endodontic instruments ».

Tableau 1 Tableau établi par Shebab récapitulant les études de cas sur la prévalence des fractures des instruments rotatifs en nickel-titane

Source : d'après Shebab El Din Mohamed, « Factors influencing the fracture of rotary nickel titanium instruments. »

Auteurs	Cas/Canaux	Fractures %
Wolcot et al.	4652 canaux	2.4
Tzanetakis et al.	4897 canaux	1.33
Spili et al.	8460 cas	4.4
Iqbal et al.	4865 cas	1.68
Knowels et al.	3543 canaux	1.3
DiFiore et al.	3181 canaux	1.9
Al Fouzan	1457 canaux	1.44
Ramirez-Salomon et al.	162 canaux	3.7
Schäfer et al.	110 canaux	1.81
Pettiette et al.	570 dents	0.4

La fracture de l'instrument dans le canal peut être un élément indirectement responsable de l'échec du traitement endodontique si le fragment empêche la bonne réalisation des objectifs du traitement endodontique (mise en forme, désinfection et obturation).⁸

⁸ Simon et al., « Influence of fractured instruments on the success rate of endodontic treatment ».

1.2 Le transport apical

L'apparition des instruments rotatifs en nickel-titane a permis la création d'instruments ayant une conicité de plus en plus importante. Ces instruments de conicité de plus en plus importante ont permis une meilleure désinfection et une obturation de meilleure qualité mais ont aussi entraîné un transport apical de plus en plus élevée.⁹

Selon l'*American Association of Endodontist*, C'est une déviation externe du canal original dans les courbures, notamment dans la partie apicale de la racine. Elle est due à un manque de flexibilité de l'instrument et à leur capacité à reprendre leur forme initiale. Elle peut conduire à de possibles perforations de la racine.

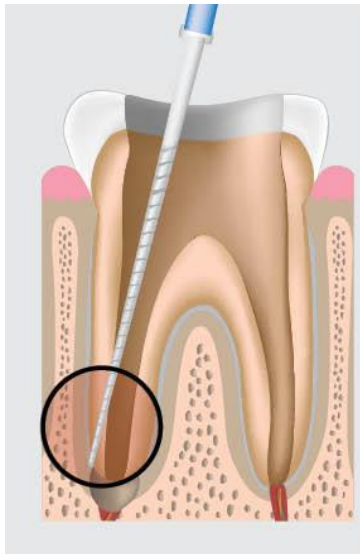


Figure 2 Schéma d'un transport apical.

Javaheri et al¹⁰ ont comparé le transport apical et les déviations dans les courbures canalaire après l'utilisation de trois instruments rotatifs en nickel-titane différents : Hero642 (Micro-Mega), RaCe (FKG Dentaire), ProTaper (Dentsply-Maillefer).

Les auteurs ont utilisés le canal mésio-vestibulaire principal de 60 premières molaires maxillaires qui avaient été extraites précédemment pour raisons parodontales ou prothétiques. Les dents ont ensuite été attribuées aléatoirement en 3 groupes de 20 dents chacun pour être instrumentées par les trois séquences de mise en forme. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous.

⁹ Bergmans et al., « Mechanical root canal preparation with niti rotary instruments ». ¹⁰ Javaheri et Javaheri, « A comparison of three ni-ti rotary instruments in apical transportation ».

Tableau 2 Tableau montrant le transport apical moyen (en mm) en fonction du l'instrument utilisé selon l'étude de Javaheri et al.

Source : d'après Javaheri et Javaheri, « A comparison of three Ni-Ti rotary instruments in apical transportation ».

Groupes de 20 dents	Transport apical moyen (en mm)
Hero 642	0.17 +/- 0.02
RaCe	0.13 +/- 0.02
ProTaper	0.27 +/- 0.03

Les auteurs ont observé un transport apical pour tous les systèmes de mise en forme testés. Le groupe instrumenté par le système ProTaper est apparu comme le groupe où il existe une différence significative avec les autres groupes (RaCe et Hero 642) concernant le transport apical ainsi que dans les déviations de courbure canalaire.

Al-Sudani et al.¹¹ ont mené une étude sur la capacité de trois instruments rotatifs en nickel-titane à rester centré dans le canal lors de leur utilisation et ainsi de déterminer le degré de transport canalaire lié aux différents instruments.

Ces instruments sont :

- Le *ProFile* (Dentsply, Maillefer, Ballaigues, Suisse)
- Le *K3* (SybronEndo, West Collins, Californie, USA)
- Le *RaCe* (FKG, La Chaux-de-Fonds, Suisse)

Pour cette étude, les auteurs ont utilisé uniquement les 60 canaux mésiaux de 30 premières ou deuxièmes molaires mandibulaires qui avaient des apex fermés, une courbure du canal similaire (entre 15 et 40 degrés) et deux canaux mésiaux bien séparés.

Les résultats ont été relevés au tiers coronaire et au tiers médian du canal. Plus la valeur est petite, plus le système rotatif en nickel-titane utilisé reste centré par rapport au canal avant instrumentation. Cette valeur est le rapport calculé par la formule $X1-X2/Y$ décrite par Calhoun

¹¹ Al-Sudani et Al-Shahrani, « A comparison of the canal centering ability of ProFile, K3, and RaCe nickel titanium rotary systems ».

et Montgomery. X1 représente l'étendue maximale du canal dans une direction, X2 le mouvement dans la direction opposée et Y le diamètre du canal final après instrumentation. Le rapport de centrage a été calculé par deux évaluateurs et la moyenne a été prise en compte.

Ce rapport de centrage ainsi que l'étendue du transport du canal a été analysé par un test de variance ANOVA (One-Way Analysis of Variance). Un test HSD de Turkey a ensuite été réalisé pour déterminer des différences significatives.

Tableau 3 Tableau montrant le ratio de centrage moyen obtenu par Al-Sudani et al. selon les instruments utilisés. Plus la valeur est faible, plus le centrage est respecté.

Source : d'après Al-Sudani et Al-Shahrani, « A comparison of the canal centering ability of proFile, K3, and RaCe nickel titanium rotary systems ».

Groupes	Niveau de la racine	Rapport du centrage
ProFile	Coronaire Médian	0.18 +/- 0.12 0.21 +/- 0.09
RaCe	Coronaire Médian	0.32 +/- 0.12 0.31 +/- 0.13
K3	Coronaire Médian	0.29 +/- 0.16 0.22 +/- 0.11

Au niveau coronaire et médian de la racine, le ProFile présente les valeurs les plus faibles, suivi de près par le K3.

Le test de Variance ANOVA montre une différence significative parmi les trois groupes à la fois au niveau coronaire et au niveau médian de la racine. Tandis que le test HSD de Turkey montre une différence significative au niveau coronaire entre les groupes ProFile et RaCe, et entre les groupes ProFile et K3. Au niveau médian de la racine, le test HSD de Turkey montre une différence significative entre les groupes RaCe et ProFile, et entre les groupes RaCe et K3. Le groupe RaCe est celui où le transport est le plus important alors que le groupe ProFile est celui où le transport est le moins important.

En prenant en compte tous les paramètres de cette étude, le système ProFile est le système qui produit le moins de transport canalaire et qui permet de rester le plus centré par rapport au canal initial. Cependant, tous les systèmes ont présentés un transport et une déviation du canal.

Hashem et al.¹² ont évalué et comparé l'effet de l'usage de trois instruments rotatifs en nickel-titane différents sur le volume de dentine radiculaire retirée, le transport canalaire et la capacité de centrage de l'instrument dans le canal. Ils ont pour cela utilisé la technologie du CBCT (Cone-Beam Computed Tomography).

Ces quatre instruments sont :

- Le *Twisted File* (SybronEndo, Amersfoort, The Netherlands)
- Le *ProFile GT Series X* (Dentsply, Tulsa, OK)
- Le *Revo-S* (Micro-Mega, Besançon, France)
- Le *ProTaper* (Dentsply-Maillefer, Switzerland)

Les auteurs ont utilisés 40 premières molaires mandibulaires humaines extraites. Ils n'ont utilisés que les racines mésiales ayant deux canaux mésiaux bien séparés et de ce fait ont sectionnés les canaux distaux ainsi que la partie coronaire correspondante. Seuls les canaux mésiaux ayant une courbure située entre 25 et 40° ont été sélectionnés.

Les spécimens sélectionnés ont été répartis aléatoirement à raison de 10 par groupe pour être instrumentés par chacun des systèmes de mise en forme. Les racines ont été analysées avant et après instrumentation par le CBCT. Ces données ont été évaluées à différents endroits de la racine : à 1.3, 2.6, 5.2, 7.8 mm de l'apex de la racine. Ces valeurs ont été choisies pour représenter le tiers apical et le tiers médian, à l'endroit où les courbures sont le plus susceptibles d'être modifiées.

Comme l'étude précédemment présentée, un test ANOVA de variance puis un test HSD de Turkey ont été réalisés pour décrire et comparer les résultats obtenus.

¹² Hashem et al., « Geometric analysis of root canals prepared by four rotary niti shaping systems ».

Tableau 4 Analyses statistiques du transport moyen (en mm) et du ratio de centrage.

Niveau	Evaluation	Revo-S	Twisted File	ProFile GTX	ProTaper
1.3 mm	Transport	.044 + .015	.025 + .010	.046 +/- .019	.033 +/- .009
	Ratio	.65 + .15	.75 + .07	.72 +/- .15	.68 +/- .13
2.6 mm	Transport	.114 + .025	.05 +/- .020	.141a +/- .035	.16a +/- .019
	Ratio centrage	.71 + .09	.91 + .15	.74 +/- .14	.55 +/- .15
5.2 mm	Transport	.104 + .030	.069 +/- .020	.051 +/- .015	.16 +/- .033
	Ratio	.52 + .12	.82 + .13	.66 +/- .11	.64 +/- .15
7.8 mm	Transport	.162 +/- .032	.137 +/- .044	.159 +/- .040	.250 +/- .035
	Ratio	.70 + .17	.76 +/- .11	.61 +/- .09	.50 +/- .10

Source : d'après Hashem et al., « Geometric analysis of root canals prepared by four rotary niti shaping systems »

Concernant le transport canalaire, à 1.3mm, aucune différence statistique n'a été montrée entre les groupes. A 2.6mm de l'apex, le Twisted File était le groupe où le transport canalaire enregistrée était le moins importante et une différence significative a été montrée avec les trois autres groupes. A 5.2mm, les groupes Twisted File et ProFile GTX présentaient le transport le plus faible et une différence significative a été montrée avec les deux autres groupes. A 7.8mm, le groupe ProTaper présentait la valeur la plus élevée et une différence significative a été montrée entre le ProTaper et les trois autres groupes.

Concernant le ratio de centrage, à 1.3mm, aucune différence statistique n'a été montrée entre les groupes. A 2.6mm, le groupe ProTaper présentait le ratio le plus faible et une différence significative a été montrée avec les trois autres groupes. A 5.2mm, le groupe Revo-S présentait le ratio le plus faible et une différence significative a été montrée avec les trois autres groupes. A 7.8mm, le groupe ProTaper présentait le ratio le plus faible et une différence significative a été montrée avec les trois autres groupes. Pour rappel, plus la valeur de ratio est faible, plus le centrage est respecté par l'instrument.

Yang et al.¹³ ont menés une étude afin de comparer les effets du système *ProTaper Universal* (Dentsply-Maillefer, Switzerland) et du système *Mtwo* (VDW, Antaeus, Munich, Germany) sur la géométrie du canal après instrumentation. Pour cela, ils ont utilisés la technologie du micro-CT (résolution 36µm). Les dents ont été scannées avant et après instrumentation.

Pour l'étude 10 molaires mandibulaires humaines extraites ont été nécessaires, ayant chacune une racine mésiale courbée avec deux canaux mésiaux séparés et deux foramens apicaux distincts.

Deux groupes ont été formés : un a été instrumenté par le ProTaper et un a été instrumenté par le Mtwo. Une moyenne (en µm) a été calculée en se basant sur une étude réalisée par Paqué en 2001. Les différences entre les groupes ont été analysées en utilisant un test de Student (ou *t* test) et un test ANOVA de variance.

Tableau 5 Valeurs moyennes (en µm, +/- la déviation standard) du transport canalaire après instrumentation avec le Mtwo et le ProTaper.

Source : d'après Yang et al., « Effects of two nickel-titanium instrument systems, Mtwo versus ProTaper Universal, on root canal geometry assessed by micro-computed tomography »

Groupes	Tiers Coronaire	Tiers Médian	Tiers Apical
Mtwo	50.67+/- -24.67	36.81+/- -20.41	62.28+/-36.08
ProTaper	68.88+/- -21.39	46.68+/- -15.97	95.35+/-22.26

¹³ Yang et al., « Effects of two nickel-titanium instrument systems, Mtwo versus ProTaper Universal, on root canal geometry assessed by micro-computed tomography ».

Une différence significative a été montrée (en gras) entre les deux groupes au niveau du tiers apical. Dans le groupe ProTaper, une différence significative entre le tiers apical et les tiers coronaire et médian.

Dans les conditions de cette étude, les deux instruments ont montrés un transport apical. Cependant, ce transport reste plus marqué pour le groupe instrumenté par le ProTaper. La conicité de l'instrument F3 qui augmente la raideur de la pointe pourrait être à l'origine de l'augmentation du transport.

Toutes ces études nous montrent une tendance des instruments rotatifs en nickel-titane à créer un transport canalaire et une habilité de l'instrument à rester centré dans le canal parfois limitée. D'après ces études, plus l'instrument utilisé est conique, plus le transport apical est important et plus le centrage de l'instrument dans le canal est mauvais. La déviation canalaire est presque inévitable dans les études présentées. Le diamètre de finition apicale semble également être responsable de transport apical plus important au fur et à mesure qu'il augmente.

Cependant, toutes ces études sont réalisées *in vitro* et ne regroupent pas tous les paramètres de l'environnement buccal.

1.3 L'extrusion apicale des débris

Le traitement endodontique nécessite des procédures spécifiques d'irrigation et de mise en forme. Durant ces procédures des copeaux de dentine infectée, du tissu pulpaire nécrosé et des microorganismes bactériens peuvent être extrudés dans les tissus périapicaux et peuvent être à l'origine d'accidents infectieux aigus et de douleurs post-opératoires.

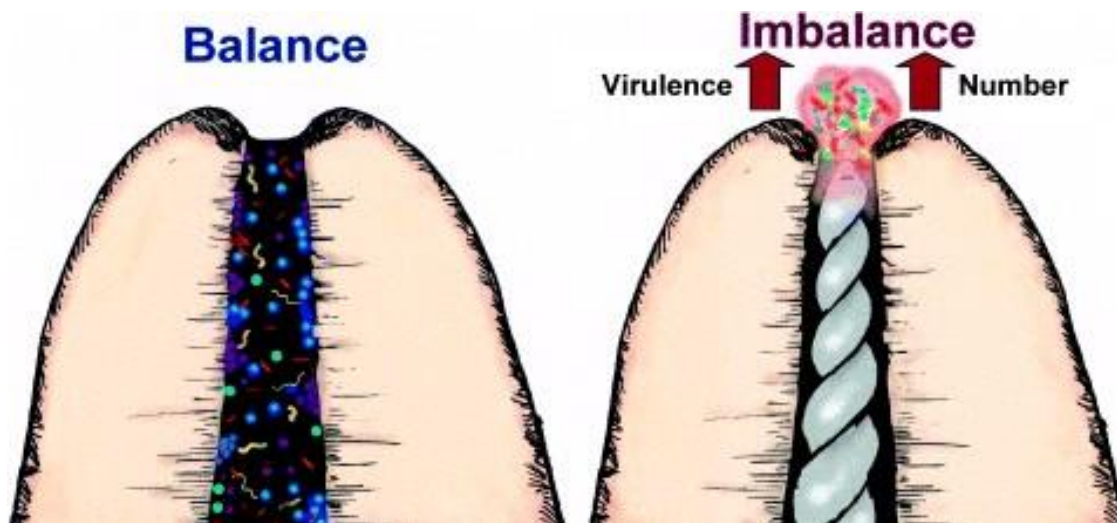
L'extrusion apicale des débris est une des causes principales de ces douleurs post-opératoires, évoquée dans de nombreux articles depuis 1975.¹⁴¹⁵

Dans une lésion chronique d'origine inflammatoire, un équilibre existe entre les défenses de l'organisme et l'agression des microorganismes. Durant les différentes procédures du

¹⁴ Wittgow et Sabiston, « Microorganisms from pulpal chambers of intact teeth with necrotic pulps ».

¹⁵ Seltzer et Naidorf, « Flare-ups in endodontics ».

traitement endodontique, si des débris sont apportés, cet équilibre va être rompu et une nouvelle réaction inflammatoire va être enclenchée pour faire face à cette agression. La réaction inflammatoire va dépendre de la virulence de l'agression.¹⁶



Source : Siqueira, « Microbial causes of endodontic flare-ups ».

Figure 3 Equilibre et rupture entre défense de l'organisme et agression des microorganismes.

Chapman et al. (1968)¹⁷ et Van de Visse & Brilliant (1975)¹⁸ ont été les premiers à s'intéresser à la relation entre l'instrumentation et la quantité de débris extrudés dans les tissus périapicaux.

La technique crown-down avec des instruments rotatifs a considérablement fait évoluer cette problématique par rapport à l'instrumentation manuelle.¹⁹ Cependant, l'extrusion reste toujours un problème majeur de l'instrumentation mécanique à l'aide des systèmes rotatifs en nickel-titane.

¹⁶ Siqueira, « Microbial causes of endodontic Flare-ups ».

¹⁷ Chapman, Collee, et Beagrie, « A preliminary report on the correlation between apical infection and instrumentation in endodontics ».

¹⁸ Vande Visse et Brilliant, « Effect of irrigation on the production of extruded material at the root apex during instrumentation ».

¹⁹ Reddy et Hicks, « Apical extrusion of debris using two hand and two rotary instrumentation techniques ».

Tanalp et al.²⁰ ont menés une étude afin de comparer la quantité de débris extrudés en fonction du système rotatif en nickel-titane utilisé :

- le *ProTaper Universal*
- le *ProFile*
- le *Hero Shaper*

L'étude porte sur 60 incisives centrales mandibulaires extraites récemment présentant qu'un seul canal et un degré de courbure compris entre 0 et 10°. Trois groupes de 20 dents ont été constitués aléatoirement afin d'être respectivement instrumenté par l'un des trois systèmes.

La méthodologie pour la collection des débris extrudés est basée sur le protocole mis en place par Myers et Montgomery qui est repris dans de nombreuses études.²¹

Dans ce protocole de collection des débris, les dents sont fixées pour l'instrumentation à travers un trou pré coupé dans un bouchon en caoutchouc (a) et placées dans un premier flacon (b) pour la collection des débris apicaux extrudés et l'irrigant utilisé (photo de gauche). L'ensemble est placé dans un flacon en verre (c) fixé solidement dans l'ouverture du flacon. Une aiguille de calibre 25 est placée le long du bouchon pendant l'insertion pour égaliser la pression d'air à l'intérieur et à l'extérieur du flacon. L'ensemble est ensuite maintenu solidement dans un étau (photo de droite) et une barrière en caoutchouc est placée pour obscurcir le flacon de sorte que la racine ne puisse pas être observée pendant l'instrumentation.

Les flacons sont ensuite placés dans un dessiccateur (avec des cristaux de CaCl_2) pour éliminer toute l'humidité avant d'obtenir un poids sec. Le dessiccateur est conservé dans une pièce chaude (85°C) jusqu'à ce que les flacons soient secs et ensuite maintenus à la température ambiante pendant 24 h avant le pesage final. Pour finir, toutes les pesées sont effectuées par une balance analytique et au moins deux poids sont enregistrés, un avant et un après la collecte des débris pour vérifier qu'un poids constant a été obtenu.

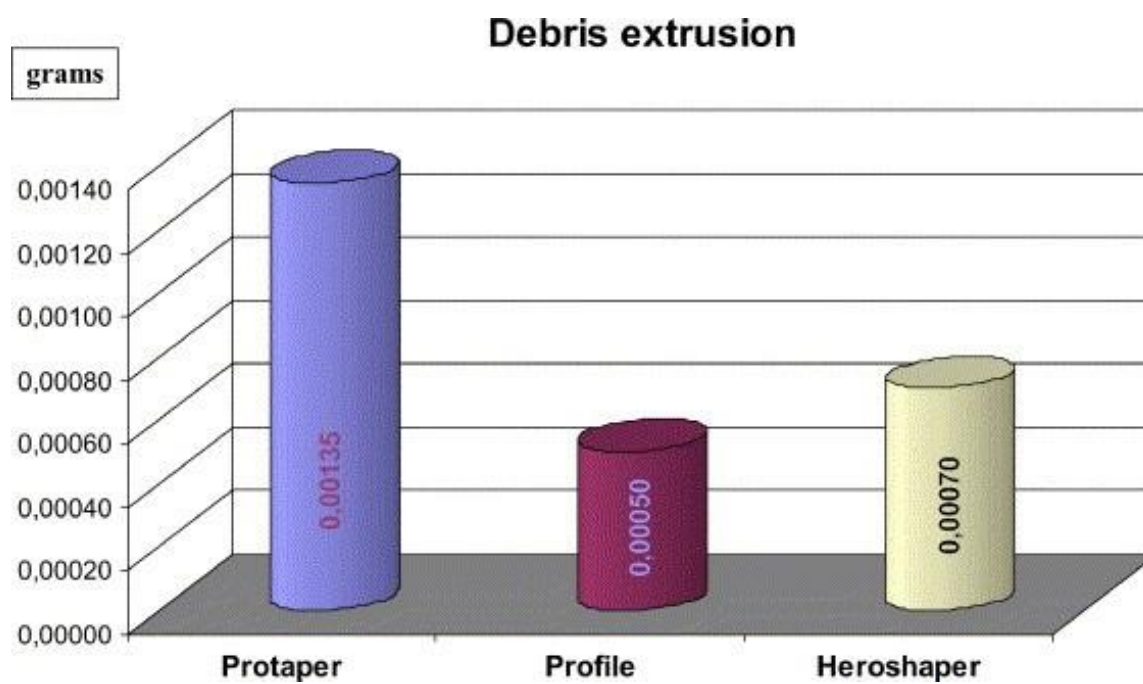
²⁰ Tanalp et al., « Quantitative evaluation of the amount of apically extruded debris using 3 different rotary instrumentation systems ».

²¹ Myers et Montgomery, « A comparison of weights of debris extruded apically by conventional filing and canal master techniques ».



Source : Myers et Montgomery, « A comparison of weights of debris extruded apically by conventional filing and canal master techniques »

Figure 4 Protocole de collection des débris mis en place par Myers et Montgomery.



Source : Tanalp et al., « Quantitative evaluation of the amount of apically extruded debris using 3 different rotary instrumentation systems »

Figure 5 Diagramme représentant les valeurs moyennes (en g) de quantité d'extrusion apicale des débris obtenues.

Aucune différence significative n'a été montrée entre la quantité de débris extrudés avec ProTaper et avec le Hero Shaper et entre la quantité de débris extrudés avec le ProFile et le Hero Shaper. Mais une différence significativement supérieure a été montrée entre la quantité de débris extrudés avec le ProTaper et le ProFile.

Dans les conditions de cette étude, tous les systèmes ont produits une extrusion apicale des débris.

Tasdemir et al.²² ont menés une étude in vitro afin de comparer la quantité de débris extrudés par trois systèmes de préparation canalaire :

- Le *ProTaper Universal* (Dentsply Maillefer)
- Le *Mtwo* (VdW)
- Le *BioRaCe* (FKG Dentaire)

L'étude porte sur 60 prémolaires mandibulaires récemment extraites ne présentant qu'un seul canal, un apex fermé et une courbure comprise entre 0 et 10°. Ces 60 prémolaires ont été réparties aléatoirement dans 3 groupes de 20 chacun afin d'être instrumentées par chaque système.

Le protocole de collection des débris mis en place par Myers et Montgomery est de nouveau utilisé.

Un test ANOVA de variance et un test HSD de Turkey ont été réalisés afin d'analyser et comparer les résultats obtenus.

²² Tasdemir et al., « An in vitro comparison of apically extruded debris using three rotary nickel-titanium instruments ».

Tableau 6 La quantité (en mg) moyenne de débris extrudés (+/- la déviation standard) avec les trois systèmes testés.

Source : d'après Tasdemir et al., « An in vitro comparison of apically extruded debris using three rotary nickel-titanium instruments »

Groupes (n=20)	Quantité moyenne d'extrusion en mg (+/- déviation standard)
ProTaper	1.958+/-0.346
Mtwo	0.984+/-0.279
BioRaCe	0.538+/-0.193

Le groupe ProTaper a significativement extrudé plus de débris que les deux autres groupes. Le groupe BioRaCe a significativement extrudé moins de débris que les deux autres groupes.

Dans les conditions de cette étude, tous les systèmes ont extrudés des débris apicalement même s'il a été montré que le BioRaCe était celui qui en extrudé le moins.

Capar et al.²³ ont menés une étude afin de comparer la quantité de débris extrudés par quatre systèmes de préparation canalaire :

²³ Capar et al., « An in vitro comparison of apically extruded debris and instrumentation times with ProTaper Universal, ProTaper Next, Twisted File Adaptive, and HyFlex instruments ».

- Le *ProTaper Universal* (Dentsply Maillefer)
- Le *ProTaper Next* (Dentsply Maillefer)
- Le *Twisted File Adaptative* (SybronEndo)
- Le *Hyflex* (Coltene-Whaledent)

L'étude porte sur 60 prémolaires mandibulaires humaines récemment extraites pour raisons parodontales ou prothétiques réparties aléatoirement dans quatre groupes de 15 prémolaires chacun afin d'être instrumentées respectivement par chacun des systèmes. Ces prémolaires ne comportent qu'un seul canal et aucune calcification.

Pour cette étude, le protocole de collection des débris de Myers et Montgomery est de nouveau utilisé.

Les données récoltées ont été analysées et comparées à l'aide d'un test ANOVA de variance et d'un test de Bonferroni.

Les systèmes ProTaper Next et Twisted File Adaptative ont significativement moins extrudés de débris comparé aux systèmes ProTaper Universal et Hyflex. Aucune différence n'a été montrée entre le ProTaper Next et le Twisted File Adaptative ; de même entre les systèmes ProTaper Universal et le Hyflex.

A noter qu'une différence de conicité existe entre l'instrument F2 du ProTaper Universal (conicité 8%) et l'instrument F2 du ProTaper Next (conicité 6%) ce qui pourrait expliquer la différence obtenue lors de cette étude.

Dans cette étude, tous les systèmes ont extrudés des débris. Cependant, le ProTaper Next et le Twisted File Adaptive en ont produits moins.

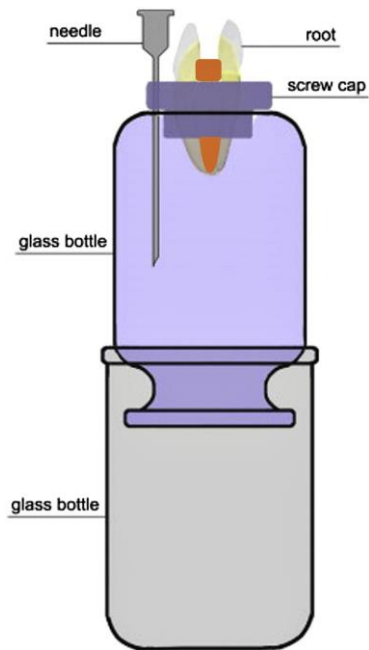
Silva et al.²⁴ ont menés une étude afin de comparer la quantité de débris extrudés au niveau apical lors d'un retraitement endodontique entre la séquence ProTaper de retraitement (Dentsply Maillefer) et deux systèmes de réciprocité : WaveOne (Dentsply Maillefer) et Reciproc (VDW).

L'étude porte sur 45 prémolaires mandibulaires récemment extraites ayant qu'un seul canal et une courbure comprise entre 0 et 10°. Ces 45 prémolaires ont d'abord été traitées à l'aide du système ProTaper Universal puis obturée à la gutta percha selon la technique de condensation verticale à chaud.

24 Silva et al., « Reciprocating versus rotary systems for root filling removal ».

Ensuite, trois groupes de 15 prémolaires chacun ont été constitués afin d'être retraiter par chacun des systèmes étudiés.

Cette étude reprend le protocole de collection des débris de Myers et Montgomery, en l'adaptant quelque peu.



Source : Silva et al., « Reciprocating versus rotary systems for root filling removal »

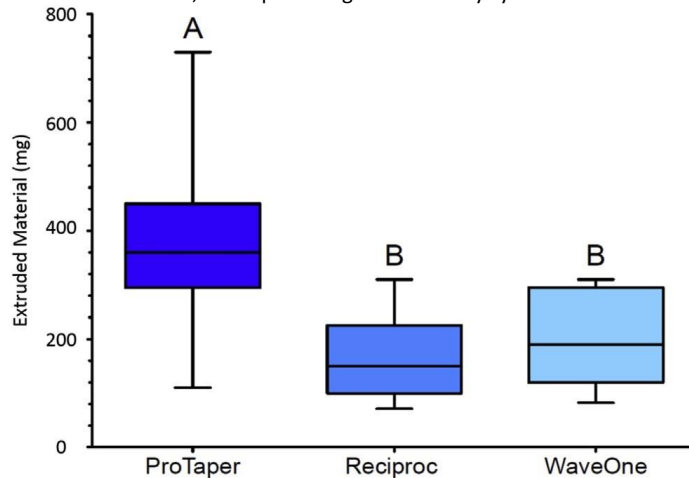
Figure 3 Schéma de l'appareil permettant l'évaluation des débris extrudés au niveau apical.

Le groupe retraité par le système ProTaper de retraitement a significativement extrudé plus de débris apicalement comparé au WaveOne et au Reciproc. Aucune différence n'a été montrée entre le WaveOne et le Reciproc (Figure 4).

Dans les conditions de cette étude, tous les systèmes de retraitement ont produits de l'extrusion des débris au niveau apical, même si le ProTaper en a significativement produit plus.

Figure 6 Graphique montrant la quantité (en mg) moyenne, minimale et maximale des débris extrudés au niveau apical en fonction de l'instrument utilisé.

Source : Silva et al., « Reciprocating versus rotary systems for root filling removal »



Toutes les études présentées montrent que les systèmes rotatifs en nickel-titane produisent une extrusion apicale des débris et que cette extrusion reste un problème majeur de la préparation canalaire en raison des complications que cela peut entraîner.

Cependant, même si toutes ces études utilisent le protocole le plus utilisé pour ce genre d'études mis en place par Myers et Montgomery qui permet de collecter séparément les débris et la solution d'irrigation, toutes ces études sont réalisées *in vitro* et présentent certaines limites :

- Une absence de pression physique des tissus périapicaux ou d'un granulome
- Une possibilité non négligeable de présence de moisissure et d'humidité dans le dispositif de collection des débris
- La procédure de séchage peut être difficilement contrôlée (présence de solution d'irrigation)
- La balance qui est utilisée peut présenter des biais tellement la pesée est infime (10^{-5}).

1.4 La fracture verticale de la racine

La fracture verticale de la racine est définie par l'*American Association of Endodontists* comme une fracture qui traverse les deux crêtes marginales et divise la dent complètement en deux fragments. Le plus souvent, la fracture verticale est le résultat de la progression d'une fêlure coronaire. Elle peut apparaître de vestibulaire en lingual ou de mésial en distal. Elle peut créer des défauts parodontaux isolés souvent très perceptibles à la radiographie.

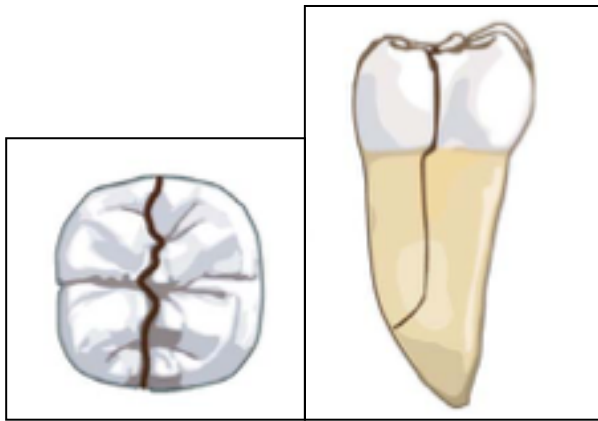


Figure 7 Fracture verticale de la racine.

Source : « Savoir détecter les fêlures et les fractures verticales --- Guide endodontie --- SOP ».

La fracture verticale est un important problème clinique qui est souvent mal diagnostiqué et qui entraîne dans la plupart des cas l'extraction de la dent. Il a été observé cliniquement que la fracture verticale se produit fréquemment dans les dents traitées endodontiquement²⁵. Plus il y a de dentine radiculaire retirée, plus la chance de fracture augmente.²⁶

Alors que la fracture verticale de la racine est le plus généralement attribuée aux stress générés lors de l'étape de l'obturation du traitement canalaire (notamment si la technique de condensation latérale est utilisée)²⁷, un lien a été mis en évidence entre l'instrumentation mécanique lors de la mise en forme du canal et l'augmentation du risque de fracture de la racine.

²⁵ Fuss, Lustig, et Tamse, « Prevalence of vertical root fractures in extracted endodontically treated teeth ».

²⁶ Wilcox, Roskelley, et Sutton, « The relationship of root canal enlargement to finger-spreader induced vertical root fracture ».

²⁷ Lertchirakarn, Palamara, et Messer, « Patterns of vertical root fracture ».

Bier et al.²⁸ ont menés une étude afin de comparer l'incidence plusieurs systèmes de mise en forme canalaire sur les défauts retrouvés dans la dentine radiculaire.

Pour cette étude, 260 prémolaires mandibulaires extraites ont été utilisées et réparties ainsi :

- 40 sont restées non préparées et ont servi de groupe témoin (groupe A)
- 20 ont été préparées par des instruments manuels *K-Flexofiles* (Dentsply Maillefer) (groupe B)
- 50 ont été préparées par le système *ProTaper* (Dentsply Maillefer),
- 50 ont été préparées par le système *ProFile* (Dentsply Maillefer),
- 50 ont été préparées par le système *SystemGT* (Dentsply Maillefer),
- 50 ont été préparées par le système *S-Apex* (FKG Dentaire).

Après avoir été préparées par les différents systèmes, toutes les racines ont été sectionnées horizontalement à 3, 6 et 9mm de l'apex et observées sous microscope (*Zeiss Stemi* grossissement x12) afin de visualiser des défauts dans la dentine.

Les racines étaient qualifiées comme présentant un défaut si une fissure partielle, une ligne de fissure ou une fracture étaient objectivables.

Les résultats sont présentés ci-dessous :

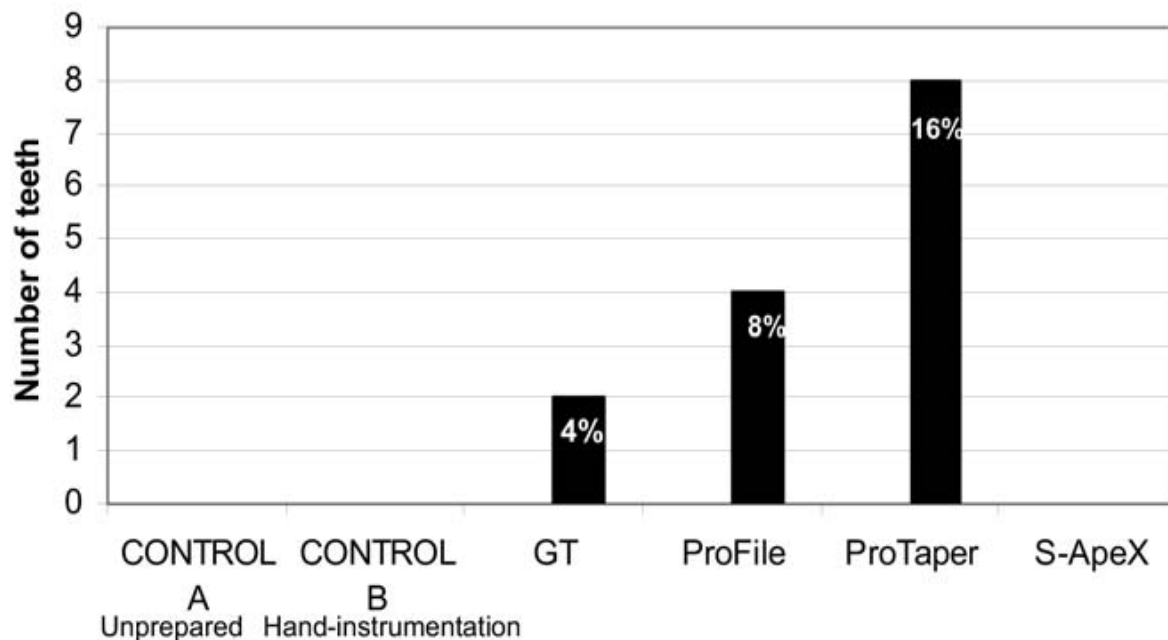


Figure 8 Le nombre de dents et son pourcentage qui présentent des défauts de la dentine.

Source : Bier et al., « The ability of different nickel-titanium rotary instruments to induce dentinal damage during canal preparation »

²⁸ Bier et al., « The ability of different nickel-titanium rotary instruments to induce dentinal damage during canal preparation ».

Les groupes A, B et S-Apex n'ont présentés aucun défauts de la dentine radiculaire. Dans le groupe SystemGT, 2 dents sur 50 ont présentées des défauts (4%) ; dans le groupe ProFile, 4 dents sur 50 ont présentées des défauts (8%) et dans le groupe ProTaper, 8 dents sur 50 ont présentées des défauts.

Une différence statistiquement significative (test du χ^2) a été montrée entre les groupes contrôles et les groupes GT, ProFile et ProTaper.

Seul le groupe instrumenté mécaniquement par le S-Apex n'a présenté aucun défaut. Ceci peut s'expliquer par le fait que le S-Apex est le seul instrument à présenter une conicité nulle alors que les autres systèmes présentent une conicité comprise entre 5 et 6%. Cette conicité peut expliquer que plus de dentine apicale soit retirée et que des défauts se soient créés. Le ProTaper F3 présente une conicité à 9% qui serait en corrélation avec le pourcentage le plus élevé de dents présentant des défauts.

Kim et al.²⁹ ont mené une étude permettant d'établir une potentielle relation entre le design des instruments rotatifs en nickel-titane et l'apparition d'une fracture verticale de la racine.

Ils ont pour cela utiliser trois systèmes différents présentant une coupe transversale différente mais un diamètre apical identique (#30) :

- l'instrument F3 *ProTaper* (Dentsply Maillefer) qui a une coupe transversale convexe triangulaire et une conicité qui augmente,
- le *ProFile* (Dentsply Maillefer) qui a une coupe transversale en U et une conicité constante,
- le *LightSpeed LSX* (Lightspeed Technology) qui a une coupe transversale ronde non coupante et une conicité nulle.

Les auteurs ont utilisés la méthode des éléments finis qui permet de représenter analytiquement le comportement dynamique de certains systèmes physiques.

Cette étude a été réalisée ex vivo sur des racines courbées de 13mm modélisées spécialement pour cette étude. Les canaux présentaient une lumière suffisante pour que tous les instruments puissent être utilisés à l'intérieur. Le foramen apical était de 0.35mm de diamètre et présentait une longueur de travail de 16,5mm de l'orifice coronaire jusqu'à la constriction apicale. La courbure choisie était de 42°.

Dans les conditions de cette étude et malgré ses limites, les conclusions sont les suivantes :

- les contraintes les plus importantes émises par les instruments se situaient dans la région la plus courbée de la racine, à sa moitié.

²⁹ Kim et al., « Potential relationship between design of nickel-titanium rotary instruments and vertical

root fracture ».

- La préparation avec les instruments en nickel-titane était associée à des fêlures apicales et de forces importantes proche de la pointe de l'instrument.
- Le ProTaper génère constamment des contraintes et des tensions dans le tiers apical de la racine.
- Un lien a été mis en évidence entre le design des instruments qui crée des contraintes et des tensions dans le tiers apical durant l'instrumentation mécanique et entre l'augmentation des défauts de la dentine et donc une susceptibilité à une fracture verticale de la racine.

Adorno et al.³⁰ ont menés une étude afin de comparer les effets de trois systèmes différents de mise en forme en nickel-titane sur l'apparition de défauts dans la dentine quand les instruments travaillent à la longueur de travail, à 1mm de moins que la longueur de travail et à 1mm de plus que la longueur de travail.

Pour cette étude, ils ont utilisés les systèmes suivants :

- le *ProFile* (Dentsply Maillefer),
- le *K3* (SybronEndo),
- et l'*EndoWave* (FKG Dentaire).

Ils ont utilisés 108 incisives mandibulaires récemment extraites qui ont été attribués aléatoirement en 9 groupes selon l'instrument utilisé et la longueur travaillée.

³⁰ Adorno, Yoshioka, et Suda, « Crack initiation on the apical root surface caused by three different nickel-titanium rotary files at different working lengths ».

	Longueur	De	Travail
Instrument	LT-1	LT	LT+1
ProFile	3	4	8
K3	4	8	8
EndoWave	3	8	5

Figure 9 Nombre de dents présentant des fissures selon l'instrument et les longueurs de travail. LT = longueur de travail.

Source : d'après Adorno, Yoshioka, et Suda, « Crack initiation on the apical root surface caused by three different nickel-titanium rotary files at different working lengths »

Une différence significative a été montrée entre les longueurs de préparation : significativement moins de fissures se sont produits à 1mm de moins que la longueur de travail comparé aux autres longueurs. Mais aucune différence n'a été montrée entre les différents utilisés.

Dans les conditions de cette étude, les auteurs ont montrés que lorsque l'instrumentation se fait à l'endroit du foramen apical, il y a plus de chances de créer des fissures dans la dentine radiculaire quand des instruments plus larges sont utilisés.

Ces quelques études montrent un lien entre l'instrumentation mécanique et la présence de microfissures dans la dentine radiculaire. Le design spécifique de ces instruments et pour certains, leur conicité importante sont les facteurs majeurs qui causeraient ces microfissures dans le tiers apical de la racine.

2) L'avenir de la mise en forme ?

Désormais, plusieurs systèmes de mise en forme canalaire et de nettoyage ont été introduits sur le marché afin de remédier le plus possible aux différents problèmes évoqués précédemment pour les instruments rotatifs en Ni-Ti. Un point sera fait sur ces nouveaux systèmes.

2.1 Le Système Self Adjusting File (SAF)

2.1.1 Présentation³¹

Un nouvel instrument de mise en forme a été récemment introduit (2011) : le Self Adjusting File.

L'instrument SAF est constitué d'un tube creux compressible de 1,5mm ou 2mm de diamètre, composé d'un treillis en nickel-titane de 120 µm d'épaisseur.

Cet instrument novateur prétend pouvoir s'adapter à la morphologie du canal dans ses trois dimensions, à la fois longitudinalement et selon la section du canal et ainsi permettre une élimination des bactéries plus importante. Cet instrument serait donc très intéressant pour les canaux ovales ou en « C ».



Source : ReDent NOVA « SAF System »

Figure 10 Le Self-Adjusting File et sa flexibilité.

³¹ Metzger et al., « The self-adjusting file (SAF). Part 1 ».



Figure 11 Le Self Adjusting File est présenté sous forme de blister stérile.

Source : Özkan Adigüzel, « A literature review of Self Adjusting File »



Figure 12 Le Self Adjusting File avec son contre-angle spécifique.

Source : ReDent NOVA « SAF System »

Cet instrument est utilisé à l'aide d'un contre angle spécifique permettant entre 3000 et 5000 vibrations par minute.

Un dispositif d'irrigation est relié à l'instrument afin de relâcher continuellement la solution d'irrigation avec un débit compris entre 1 et 10 mL/minute.

Pawar et al.³² ont comparé la résistance à la fracture d'une dent ex vivo après préparation à l'aide du SAF®, ProTaper®, et Revo-S® (instruments en rotation continue en nickel-titane), et WaveOne® et RECIPROC® (instruments de réciprocité).

L'étude porte sur 60 prémolaires ont été extraites : 10 ont été utilisées comme groupe témoin (non traitées, non obturées), 10 ont été instrumentées par le SAF, 10 ont été instrumentées par le ProTaper®, 10 ont été instrumentées par le Revo-S®, 10 ont été instrumentées par WaveOne® et 10 ont été instrumentées par le RECIPROC®. Une semaine après la mise en forme et l'obturation, une force verticale à l'aide d'une machine a été appliquée. Dans cette étude, cette machine est appelée « *universal testing machine* » fabriquée par Instron Corp. Une pointe d'un diamètre de 3mm est appliquée au niveau central de l'orifice du canal puis une force y est exercée graduellement jusqu'à la fracture de la dent.



Figure 13 Machine utilisée pour des tests de fatigue et de dynamique.

Source : ElectroPuls de chez Instron Corp.

³² Pawar et al., « Assessment of the fracture resistance of teeth instrumented using 2 rotary

and 2 reciprocating files versus the Self-Adjusting File (SAF) ».

Voici les résultats :

Instrumentation	Charge nécessaire pour fracturer la dent en Newton (N)	
	Moyenne	Déviati on standard
Contrôle	367.95	17.03
ProTaper®	298.63	31.97
Revo-S®	311.42	47.66
WaveOne®	280.61	32.88
RECIPROC®	287.41	46.36
Self-adjusting file®	395.82	41.63

Tableau 7 Charge moyenne (en N) nécessaire pour fracturer la dent.

Source : d'après Pawar et al., « Assessment of the fracture resistance of teeth instrumented using 2 rotary and 2 reciprocating files versus the Self-Adjusting File (SAF) »

Un test de variance ANOVA puis un test HSD de Turkey ont été réalisés pour étudier ces valeurs et les comparer.

Une différence significative à la résistance à la fracture parmi les groupes a été mise en évidence. Le groupe instrumenté par le Self-Adjusting File présente une résistance à la fracture similaire à celle du groupe contrôle tandis qu'une différence significative a été mise en évidence entre le groupe le contrôle et les groupes instrumentés par le ProTaper, le Revo-S, le WaveOne et le RECIPROC.

2.1.2 Propriétés mécaniques

Le SAF a été soumis à plusieurs tests suivant ceux utilisés par l'American Dental Association.

Après ces tests dans des blocs de résine, les auteurs ont mis en évidence³³ :

- Que la surface rugueuse de l'instrument combiné à la force appliquée sur l'instrument permet l'élimination de la dentine infectée.
- Que l'instrument est mécaniquement durable pendant 29 minutes consécutives
- Que sa capacité à éliminer de la dentine décroît après réutilisation
- Que la solution d'irrigation n'est pas expulsée au-delà de l'apex malgré les mouvements de va-et-vient de l'instrument.

A noter que des biais peuvent exister lors de tests réalisés à l'aide de bloc de résine.

Farmakis et al.³⁴ se sont intéressés au risque de fracture du SAF sur des dents extraites. Après chaque cycle de 4 minutes, l'instrument était examiné à l'aide d'un microscope et photographié pour objectiver une possible déformation. Si aucune déformation n'était présente, l'instrument continuait à être utilisé. Les auteurs précisent que la pointe de tous les instruments SAF est asymétrique ce qui crée une pointe abrasive d'un côté (ce qu'on appellera le côté asymétrique) et non de l'autre (ce qu'on appellera côté symétrique).

Sur les 52 canaux traités, seuls 19 instruments ont présentés une déformation. La majorité des instruments ont complétés la préparation de trois canaux avant de connaître une déformation.

Une différence significative entre la fréquence du nombre de déformations du côté asymétrique (figure 13) de l'instrument et la fréquence du nombre de déformations du côté symétrique de l'instrument. Une différence significative entre la fréquence du nombre de déformations du côté asymétrique de l'arche et la fréquence du nombre de déformations du côté symétrique de l'arche.

Ils ont pu conclure, après cette étude, que le côté irrégulier de l'instrument présentait plus de risques à la déformation. Cependant, aucun instrument ne s'est fracturé à l'intérieur du canal.

³³ Hof et al., « The Self-Adjusting File (SAF). Part 2 ».

³⁴ Farmakis et al., « The permanent deformation of the Self-Adjusting Files when used in canals of extracted teeth ».

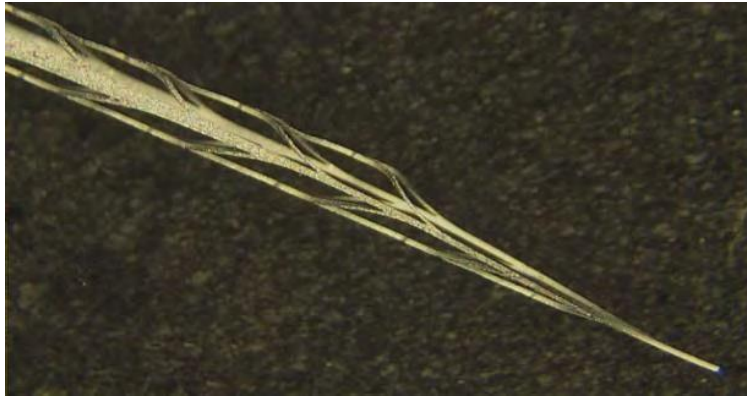


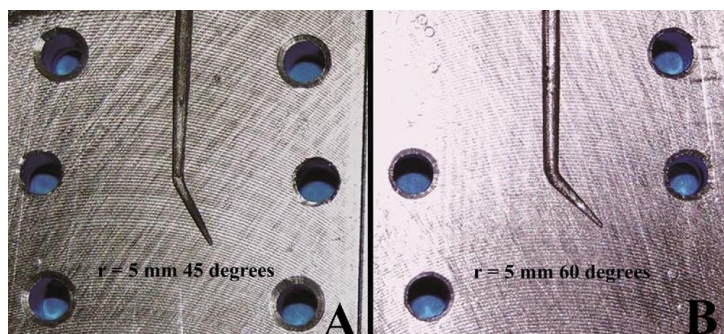
Figure 14 L'extrémité asymétrique du SAF.

Source : ReDent NOVA « SAF System »

Akçay et al.³⁵ ont menés une étude afin de tester la déformation du SAF. Pour cela, ils ont confectionnés des canaux artificiels métalliques afin de donner à l'instrument une trajectoire bien précise.

L'étude porte sur 40 instruments réparties en deux groupes de 20 chacun : un avec un angle de courbure à 45° et un autre avec un angle de courbure à 60°.

L'état de l'instrument est évalué après chaque cycle de 4 minutes, durant 7 périodes, soit sur une période de 28 minutes.



Source : Akçay et al., « Deformation of the Self-Adjusting File on simulated curved root canals ».

Figure 15 Les canaux artificiels confectionnés pour cette étude.

Cette étude est à mettre en relation avec celles de Hof et Metzger détaillées plus haut.

³⁵ Akçay et al., « Deformation of the self-adjusting file on simulated curved root canals ».

Dans cette étude également, aucune fracture d'instrument n'est observée à l'intérieur du canal métallique. Cependant, au bout de 28 minutes, tous les instruments testés ont montrés un détachement du treillis. On peut constater aussi que la déformation était sévère après les troisième et quatrième périodes dans le groupe avec les canaux à 60°.

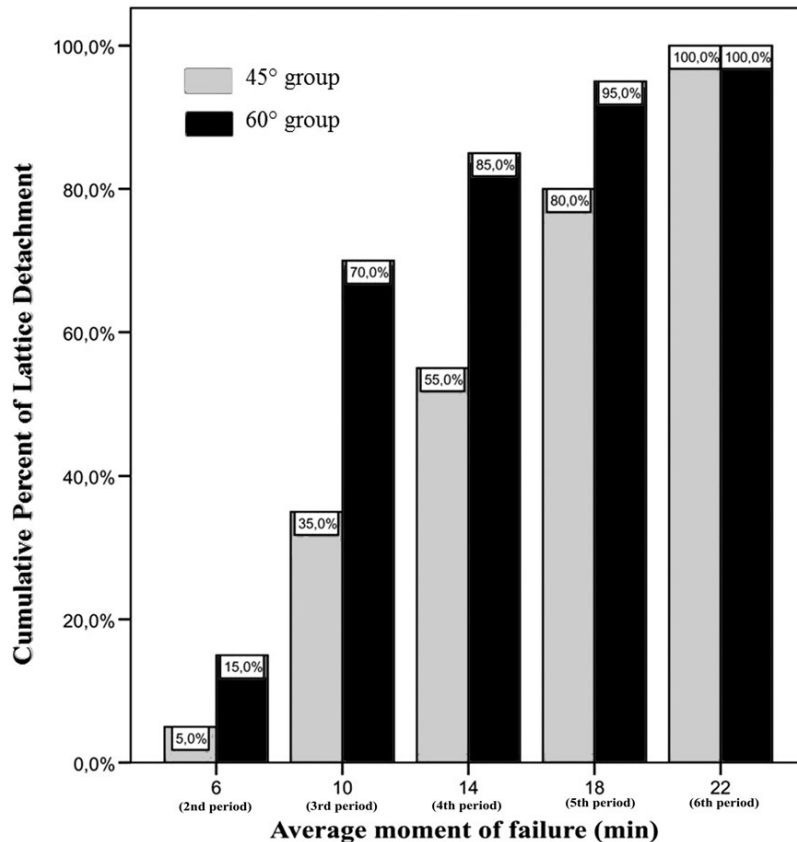


Figure 16 Pourcentage de détachement du treillis en relation avec le moment moyen de fracture.

Source : Akçay et al., « Deformation of the Self-Adjusting File on simulated curved root canals ».

Dans les conditions de cette étude, le SAF semble être un instrument fiable à la déformation et à la fracture. Cependant, l'étude est réalisée avec des canaux artificiels métalliques et ne peut être transposée aux conditions rencontrées en clinique.

2.1.3 Mise en forme et analyse selon l'anatomie canalaire

La plupart des études que nous détaillerons ci-après utilisent la technologie du micro-CT (micro-computed tomography scanner).

En 2000, Paqué a été précurseur en la matière pour étudier le plus précisément possible l'anatomie en 3 dimensions d'une dent et plus particulièrement du réseau canalaire.

Les aires préparées/non préparées et les augmentations de volumes ont pu être évaluées.

2.1.3.1 Les canaux en « C »

Les canaux dits en « C » sont retrouvés dans 5 à 7% des deuxièmes molaires mandibulaires dans la population caucasienne.³⁶ Ce chiffre grimpe à environ 50% pour la population chinoise.³⁷

Une étude comparative entre le SAF et la séquence ProTaper Universal a été menée sur 16 deuxièmes molaires mandibulaires et 4 molaires maxillaires afin de comparer la mise en forme des canaux en « C ».³⁸

Toutes les dents ont été préalablement analysé à l'aide d'un micro-CT à haute résolution (μm 40) et deux groupes ont été ainsi formé selon leur morphologie similaire : un groupe où les dents ont été préparé à l'aide du SAF et un autre groupe où les dents ont été préparé à l'aide de la séquence ProTaper.

Les analyses ont montré :

- dans le groupe SAF : $41 \pm 14\%$ des parois canalaire n'ont pas été touchées.
- dans le groupe ProTaper : $66 \pm 6\%$ des parois canalaire n'ont pas été touchées.

³⁶ Cooke et Cox, « C-shaped canal configurations in mandibular molars ».

³⁷ Yang et al., « C-shaped root canals in mandibular second molars in a chinese population ».

³⁸ Solomonov et al., « The challenge of C-shaped canal systems ».

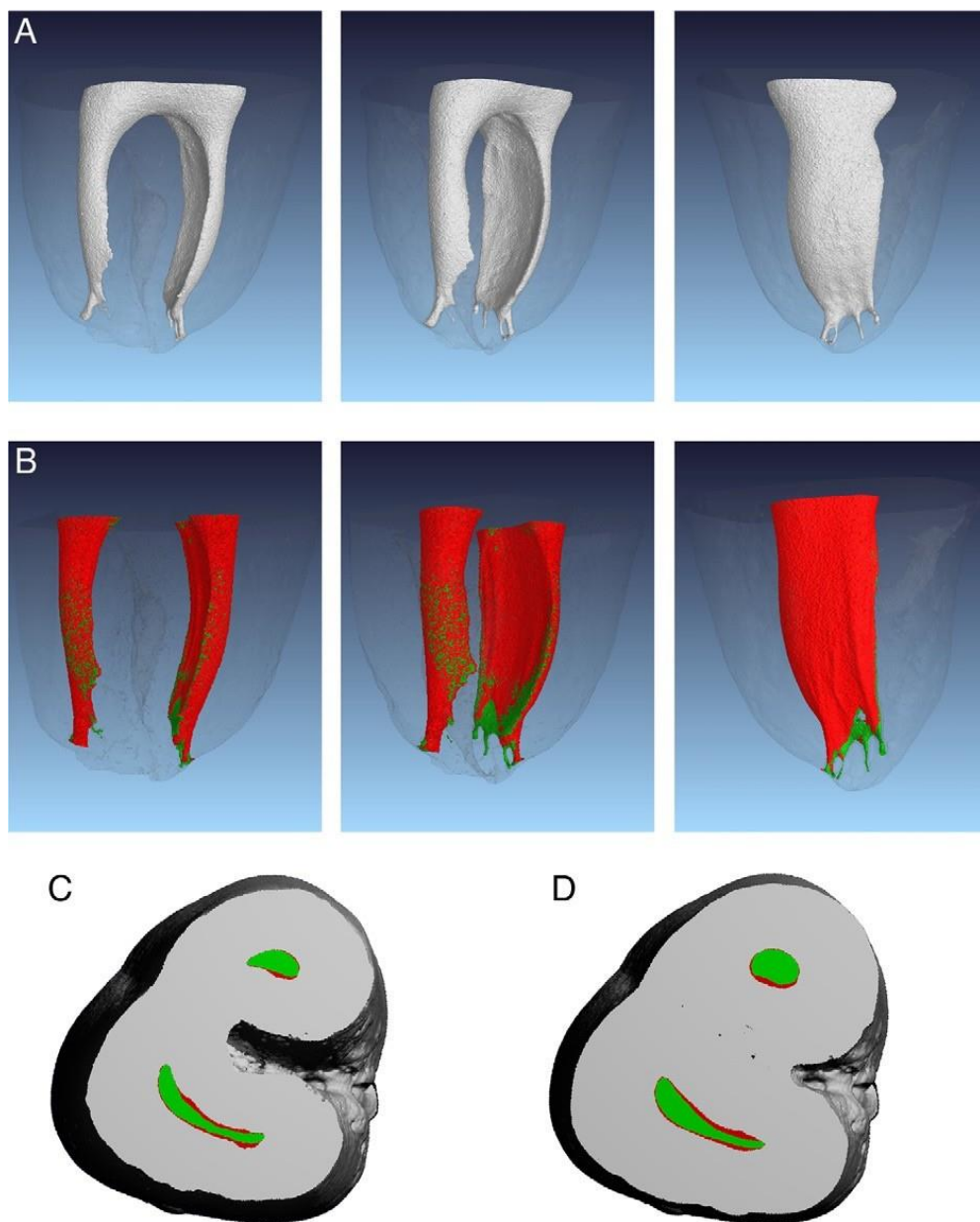


Figure 17 A=Anatomie avant le traitement B=Anatomie après le traitement par le SAF (les parties vertes représentent les aires non préparées) C=Coupes transversales à 4 et 6mm de l'apex. La dentine est éliminée de façon homogène.

Source : Solomonov et al., « The challenge of C-shaped canal systems ».

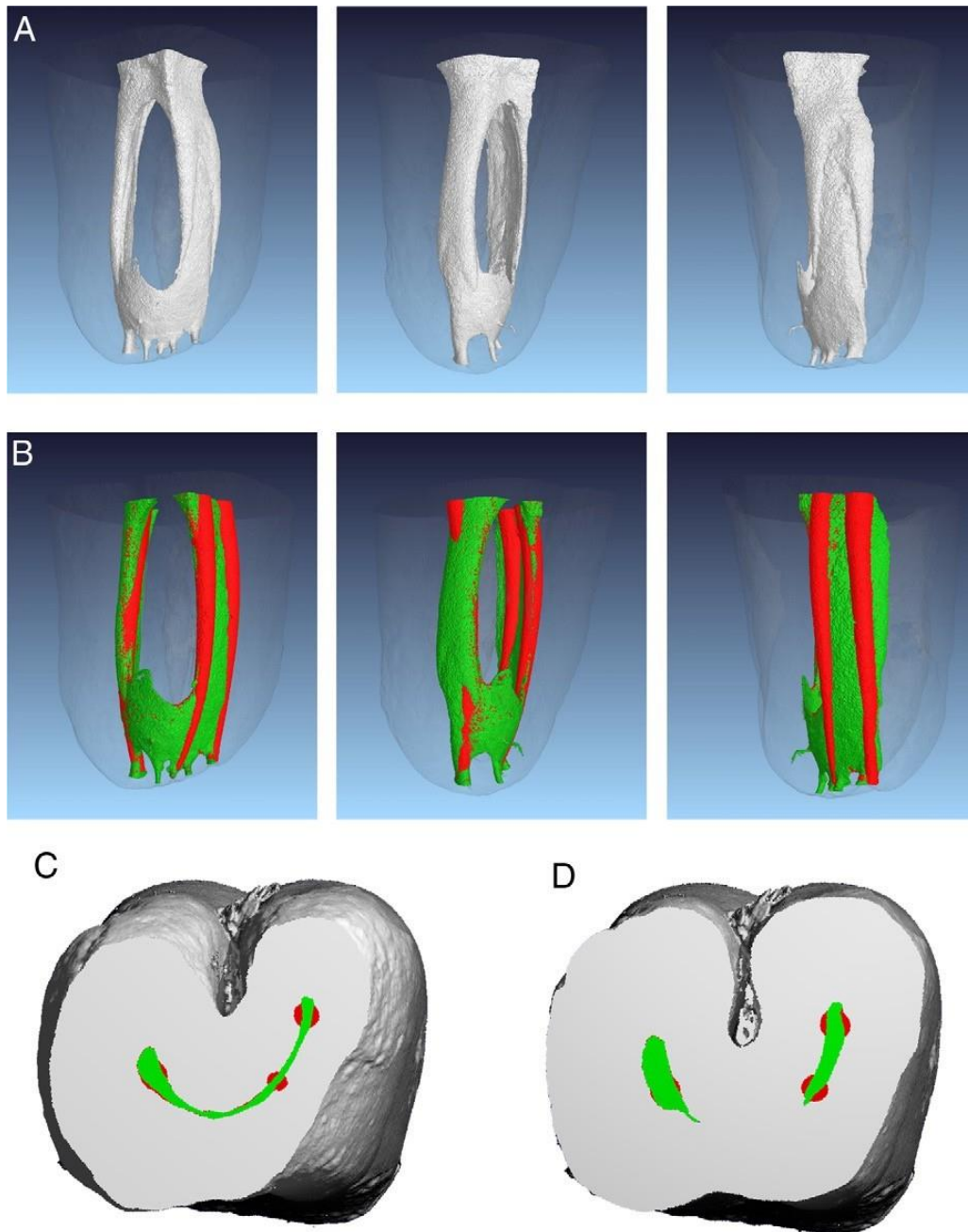


Figure 18 A=Anatomie avant le traitement B=Anatomie après le traitement par la séquence ProTaper (les parties vertes représentent les aires non préparées) C=Coupes transversales à 4 et 6 mm de l'apex. La dentine n'est pas éliminée de façon homogène.

Source : Solomonov et al., « The challenge of C-shaped canal systems ».

2.1.3.2 Les canaux ovales et ovales-longs :

Jou et al³⁹ ont défini les canaux ovales comme ayant un diamètre maximum jusqu'à deux fois supérieur au diamètre minimum du canal et les canaux ovales-longs comme ayant un diamètre maximum de deux à quatre fois supérieur au diamètre minimum du canal.

La prévalence des canaux ovales a été évaluée à 25%.⁴⁰

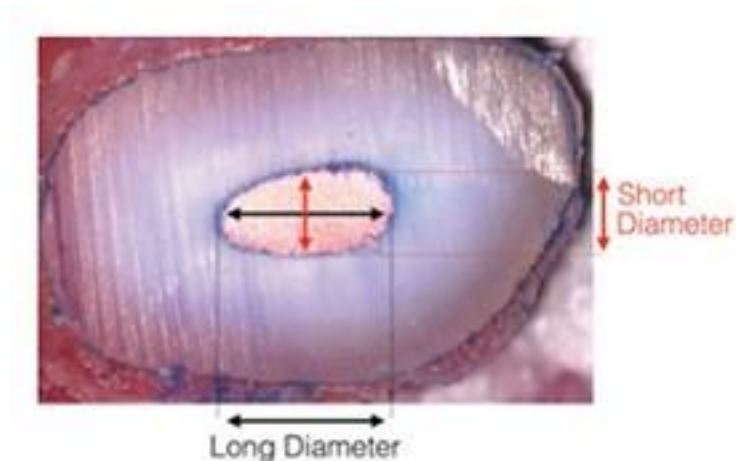


Figure 19 Coupe d'un canal ovale.

Source : Trope et Debélian, « Cleaning the third dimension »

Le SAF va s'adapter à la forme ovale du canal et ainsi permettre la mise en forme ovale d'un canal ovale.

Paqué et Peters⁴¹ ont mené une étude sur 20 molaires mandibulaires extraites présentant des canaux ovales-longs afin de s'assurer si le SAF permettait une mise en forme sûre et adéquate de ces canaux compliqués à travailler avec les instruments rotatifs en nickel-titane. Les auteurs ont utilisés les données d'une autre étude précédemment menée avec le ProTaper Universal.⁴²

³⁹ Jou et al., « Endodontic working width ».

⁴⁰ Wu et al., « Prevalence and extent of long oval canals in the apical third ».

⁴¹ Paqué et Peters, « Micro-computed tomography evaluation of the preparation of long oval root canals in mandibular molars with the Self-Adjusting File ».

⁴² Paqué et al., « Preparation of oval-shaped root canals in mandibular molars using nickel-titanium rotary instruments ».

Après analyse au micro-CT (20 μm) avant et après préparation, les zones du canal non traitées variaient entre 6% et 44% avec une moyenne de $23\% \pm 9\%$.

Une différence significative a été montrée entre les surfaces qui restaient à traiter avec le SAF et le ProTaper.

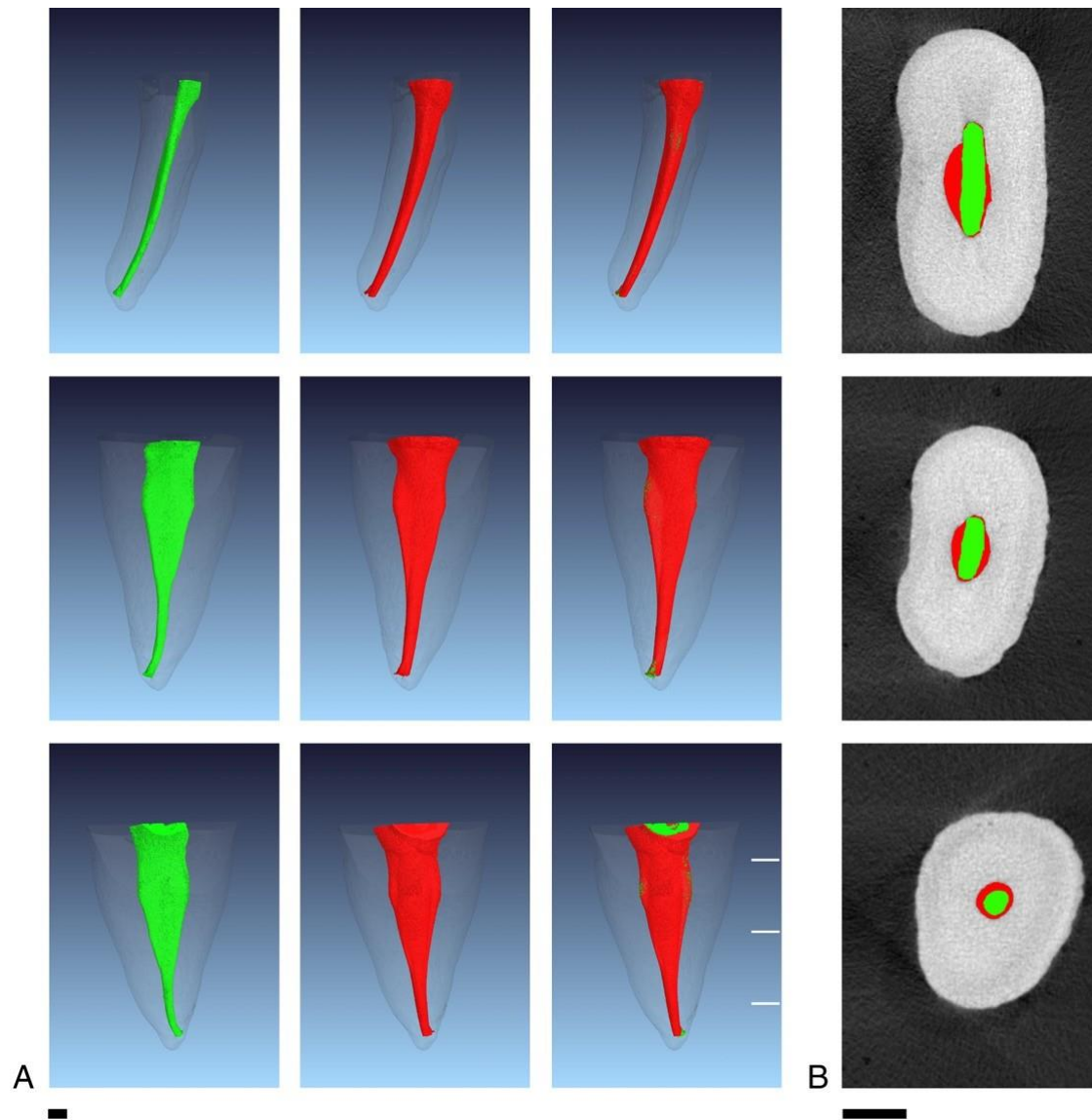


Figure 20 Données venant du micro-CT. La colonne de gauche représente les canaux distaux de molaires mandibulaires avant préparation. Les deux colonnes du milieu représentent les données après préparation (en rouge). La colonne de droite représente les coupes transversales. On notera que la zone non préparée du canal est complètement prise dans la zone préparée.

Source : Paqué et Peters, « Micro-computed tomography evaluation of the preparation of long oval root canals in mandibular molars with the Self-Adjusting File ».

Versiani et al.⁴³ ont voulu comparé la mise en forme de 40 incisives mandibulaires fraîchement extraites présentant un canal ovale disposées en deux groupes : 20 ont été mises en forme par le SAF et 20 ont été mises en forme par le système rotatif en nickel-titane K3.

Les résultats sont présentés ci-dessous :

Tableau 8 La comparaison statistique de pourcentage de préparation des zones du canal préparées par le SAF et par des instruments rotatifs en Ni-Ti aux différents tiers.

Source : d'après Versiani, Pécora, et de Sousa-Neto, « Flat-oval root canal preparation with Self-Adjusting File instrument ».

	Tiers Coronaire		Tiers Médian		Tiers Apical	
Catégorie	K3	SAF	K3	SAF	K3	SAF
Tout ou une partie de la surface de la racine est traitée (80% ou plus)	62	92	44	65	75	85
Tout ou une partie de la surface de la racine n'est pas traitée (20% ou moins)	38	8	56	35	25	15
Total (%)	100	100	100	100	100	100

⁴³ Versiani, Pécora, et de Sousa-Neto, « Flat-oval root canal preparation with Self-Adjusting File instrument ».

Une différence statistique significative a été montrée au niveau du tiers coronaire et du tiers médian entre le SAF et l'instrument rotatif.

Cependant, même si le SAF semble toucher plus de zones dans le tiers apical (85%) que le K3 (75%), aucune différence significative n'a été montrée dans cette étude.

Le SAF semble retirer la dentine des parois radiculaires de façon uniforme et très peu de surface reste non préparée (figure 19).

Le K3 semble augmenter le diamètre du canal uniquement du côté vestibulaire avec une section transversale ronde. On remarque aussi une surface plus importante qui reste non préparée (figure 20).

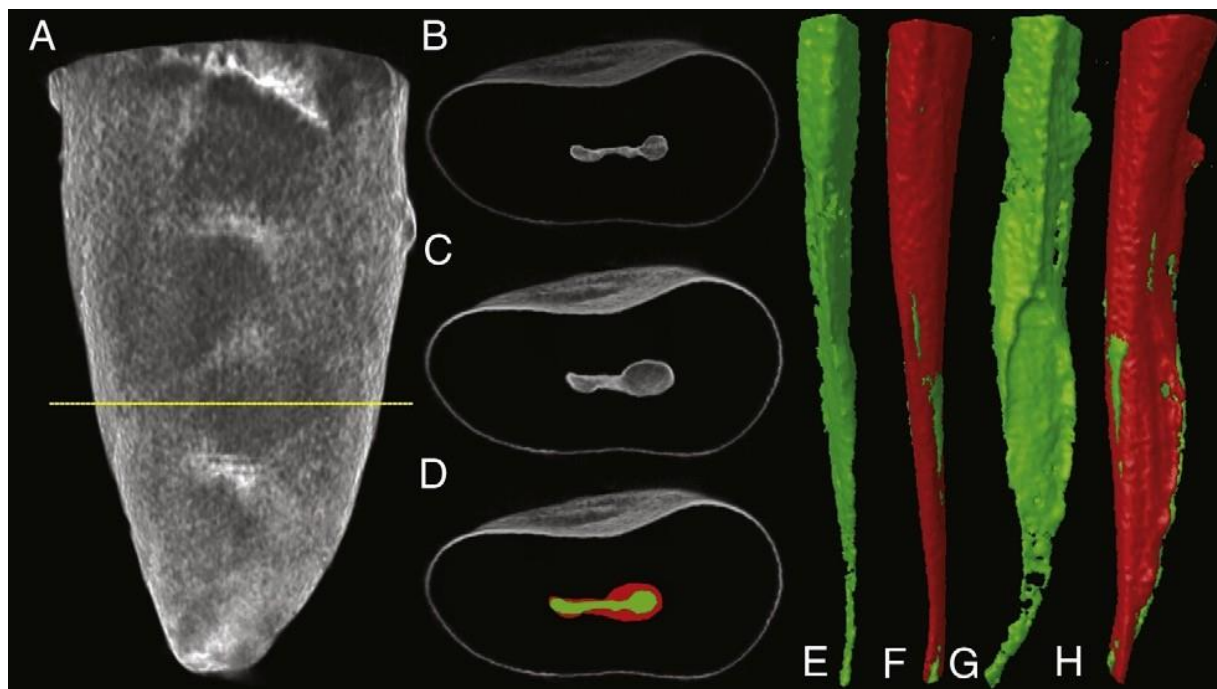


Figure 21 Représentation au micro-CT d'une incisive mandibulaire préparée au SAF. E et F = Vue vestibulaire avant (vert) et après superposition des zones instrumentées (rouge). G et H = Vue distale avant (vert) et après superposition des zones instrumentées (rouge).

Source : Versiani, Pécora, et de Sousa-Neto, « Flat-oval root canal preparation with Self-Adjusting File instrument ».

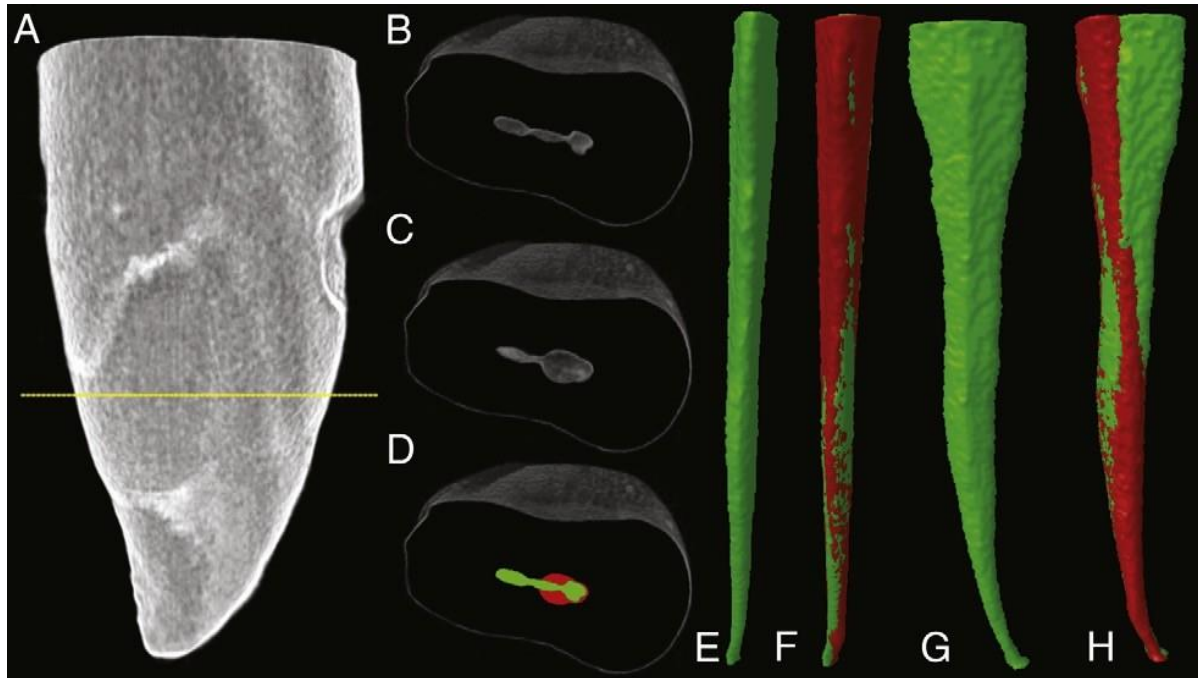


Figure 22 Représentation au micro-CT d'une incisive mandibulaire préparée au K3 (instrument rotatif). E et F = Vue vestibulaire avant (vert) et après superposition des zones instrumentées (rouge). G et H --- Vue distale avant (vert) et après superposition des zones instrumentées (vert).

Source : Versiani, Pécora, et de Sousa-Neto, « Flat-oval root canal preparation with Self-Adjusting File instrument ».

2.1.4 Désinfection et débridement apical

L'évaluation de la qualité du traitement se fait sur la capacité d'élimination des débris et de la boue dentinaire. La boue dentinaire a été définie par l'*American Association of Endodontists* (« *Glossary Contemporary Terminology For Endodontics* ») comme une fine couche de débris retenue sur les surfaces après l'instrumentation mécanique, cette couche est constituée de particules de dentine, de restes de pulpe vitale ou nécrosée, de bactéries non éliminées et de solution d'irrigation non évacuée.

Metzger et al.⁴⁴ ont voulu évaluer de la présence de débris et de boue dentinaire après l'utilisation du SAF.

Dans cette étude, les auteurs ont utilisés 20 dents monoradiculées récemment extraites, présentant un canal droit. Ils ont instrumentés ces dents selon le protocole classique utilisé par le SAF, c'est-à-dire des mouvements de va-et-vient avec un dispositif permettant d'irriguer continuellement le canal d'hypochlorite de sodium et d'EDTA.

⁴⁴ Metzger et al., « The Self-Adjusting File (SAF). Part 3 ».

Un groupe contrôle sans EDTA de 3 dents a été élaboré.

Les dents ont été analysées au microscope électronique à balayage et les scores établis par Hülsmann ⁴⁵ ont été attribués aux différents tiers de la racine des 20 dents.

Les scores de Hülsmann sont les suivants :

- 1 : racine propre ou très peu de particules
- 2 : peu de particules
- 3 : beaucoup de particules qui couvrent moins de 50% de la racine
- 4 : plus de 50% de la racine sont remplis de particules
- 5 : racine entièrement remplie de particules.

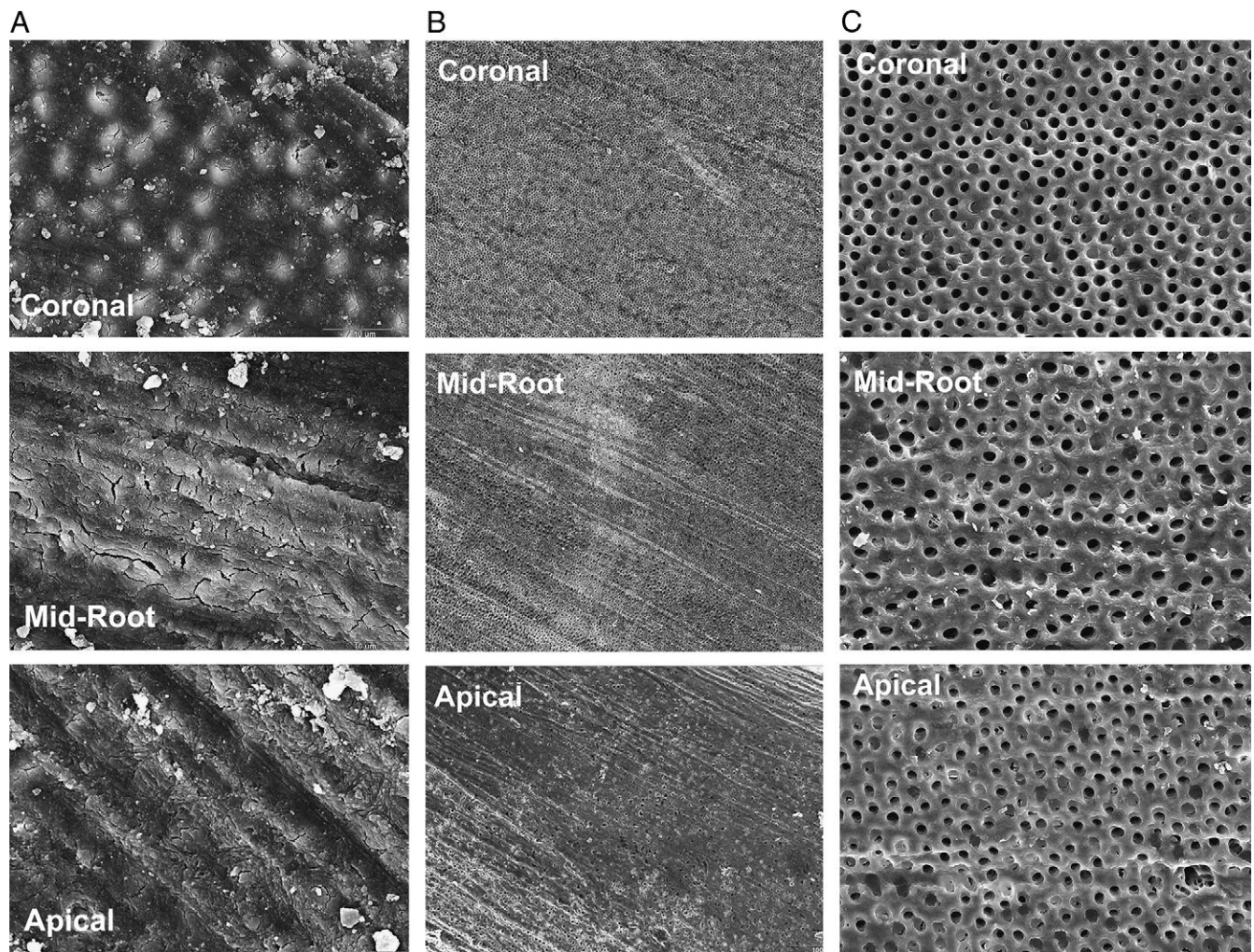
Dans cette étude, les scores ont été modifiés : pas de particules (score 1 et 2) et particules présentes (score 3, 4 et 5).

Concernant la présence de débris, les 20 dents ont présentées un score 1 ou un score 2 aux différents tiers de la racine (figure 16-B).

Concernant la présence de boue dentinaire, au tiers coronaire, les 20 dents ont présentées un score 1 ou un score 2; au tiers médian, 16 dents ont présentées un score 1 ou un score 2 et 4 dents ont présentées un score 3 ou un score 4 ; au tiers apical, 13 dents ont présentées un score 1 ou un score 2 et 7 dents ont présentées un score 3 ou un score 4 (figure 16-C).

Le groupe contrôle a présenté de la boue dentinaire et des débris à tous les tiers de la racine.

⁴⁵ Hülsmann, Rummelin, et Schäfers, « Root canal cleanliness after preparation with different endodontic handpieces and hand instruments ».



Source : Metzger et al., « The Self-Adjusting File (SAF). Part 3 »

Figure 23 Données provenant du microscope électronique à balayage. A = groupe contrôle. B = les débris aux différents tiers. C = la boue dentinaire aux différents tiers.

De-Deus et al.⁴⁶ ont mené une étude afin d'évaluer le débridement dans les canaux ovales par le SAF. Ils ont utilisé comme critère la présence ou l'absence de pulpe vitale après le passage de l'instrument. Le système ProTaper (jusqu'au F2) a été utilisé en comparaison.

Après sélection, 12 paires de 2 dents (canines mandibulaires) ayant une correspondance ont été confectionnées. Une dent de chaque paire a été affectée au hasard dans un des groupes.

Les résultats de cette étude montrent que seulement 9,3% de pulpe résiduelle est encore présente dans le canal après le passage du SAF alors que 21,4% de pulpe résiduelle est encore présente dans le canal après le passage de la séquence ProTaper.

⁴⁶ De-Deus et al. « The Self-Adjusting File optimizes debridement quality in oval-shaped root canals ».

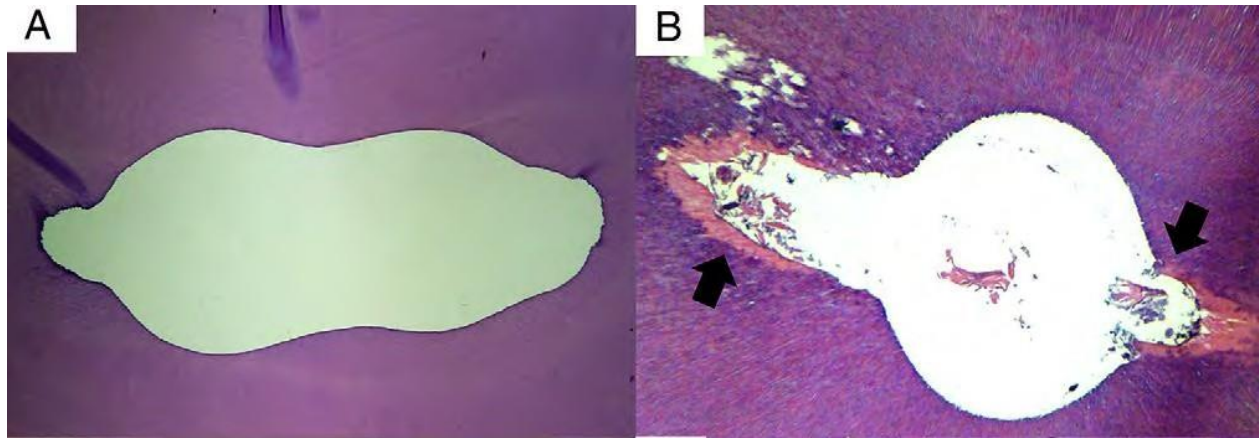
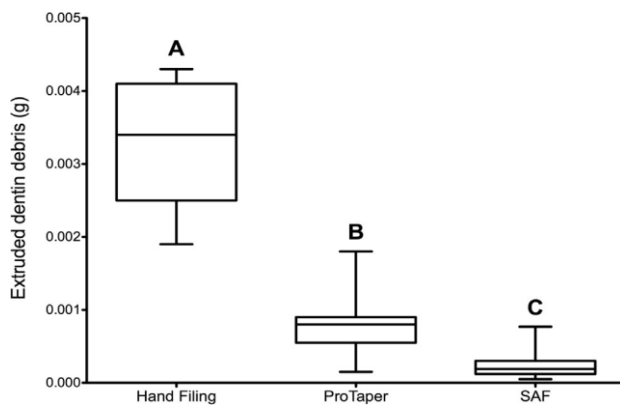


Figure 24 La colonne A représente les canaux traités par le SAF et la B par le ProTaper. Les flèches représentent la pulpe résiduelle.

Source : De-Deus et al. « The Self-Adjusting File optimizes debridement quality in oval-shaped root canals »

L'extrusion apicale des débris a aussi été étudiée par De-Deus et al.⁴⁷. Ils ont comparé la quantité de débris extrudés au niveau apical par le SAF, l'instrumentation manuelle et le ProTaper. D'après cette étude, le SAF rejette moins de débris apicalement que l'instrumentation manuelle et le ProTaper.

Figure 25 Graphique montrant la quantité moyenne, minimale et maximale des débris extrudés apicalement selon l'instrumentation utilisée.



Source : De-Deus et al., « Assessment of apically extruded debris produced by the Self-Adjusting File system ».

⁴⁷ De-Deus et al., « Assessment of Apically Extruded Debris Produced by the Self-Adjusting File System ».

Paqué et al. (2012)⁴⁸ ont voulu tester la capacité d'élimination des débris accumulés dans le canal après le passage du SAF. Ils ont pris comme comparaison le ProTaper.

L'étude porte sur 20 molaires mandibulaires qui ont été réparties dans chaque groupe.

Les résultats de cette étude montrent que seulement 1,7% du volume total du canal étaient occupé par les débris accumulés au cours de la procédure par le SAF alors que ce chiffre grimpait à 10% pour le ProTaper. Après un deuxième passage au micro-CT après rinçage avec de l'EDTA, ces chiffres diminuaient à 1,3% pour le SAF et 7,9% pour le ProTaper. La plupart des débris retrouvés dans cette étude se situaient dans les isthmes.

L'irrigation est un élément clé du succès du traitement endodontique. Selon le produit utilisé, elle dissout les tissus infectés, refroidit l'instrument et la dent, et surtout possède un effet de nettoyage et d'élimination des bactéries intra canalaire.⁴⁹

D'après cette étude, l'irrigation par le SAF à l'aide des deux solutions d'hypochlorite de sodium (NaOCl) et d'EDTA permet l'élimination quasi totale des débris et de la boue dentinaire.

Siqueira et al.⁵⁰ ont voulu comparer la désinfection sur 44 dents (incisives mandibulaires et deuxième prémolaires maxillaires) ayant un canal ovale par le SAF et un des instruments rotatifs (ici la séquence BioRaCe).

Ils ont choisi d'infecter ces dents par *Enterococcus faecalis*. *Enterococcus faecalis* a été choisi car c'est une bactérie présente dans 24 à 77% des infections endodontiques persistantes.⁵¹

L'étude a montré que ces deux séquences de mise en forme ont montré une capacité d'élimination *Enterococcus faecalis* efficace. Cependant, en comparant les analyses entre elles, la capacité d'élimination du SAF est significativement supérieure au niveau statistique à celle de la séquence BioRaCe.

⁴⁸ Paqué, Al-Jadaa, et Kfir, « Hard-tissue debris accumulation created by conventional rotary versus Self-Adjusting File instrumentation in mesial root canal systems of mandibular molars ».

⁴⁹ Haapasalo et al., « Irrigation in endodontics ».

⁵⁰ Siqueira et al., « Ability of chemomechanical preparation with either rotary instruments or Self-Adjusting File to disinfect oval-shaped root canals ».

⁵¹ Stuart et al., « *Enterococcus faecalis* ».

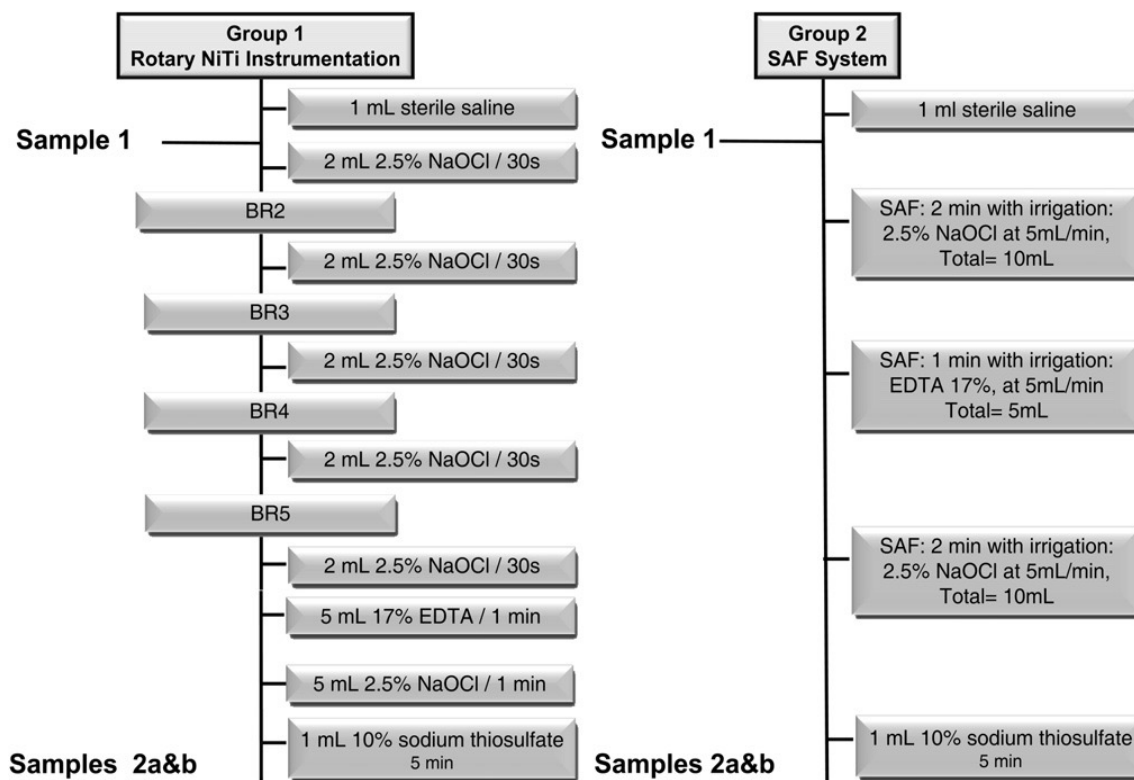


Figure 26 Protocole de l'étude. Groupe 1 : BioRaCe. Groupe 2 : SAF. Sample = échantillon.

Source : Siqueira et al., « Ability of chemomechanical preparation with either rotary instruments or Self-Adjusting File to disinfect oval-shaped root canals ».

2.1.5 Discussion

Le SAF semble très intéressant et semble être un complément prometteur pour améliorer le nettoyage canalaire après une mise en forme⁵². On a pu le constater plus haut : le SAF permet de toucher des zones canalaire encore jamais instrumentées par les systèmes de rotation en nickel-titane et ainsi permettre leur nettoyage.

Le SAF permet d'introduire l'idée d'un nouveau concept possible : la mise en forme *à minima*. Cet instrument permet une adaptation à la géométrie initiale du canal et permet son de conserver l'intégrité de forme (ovale pour un canal ovale ou « C » pour un canal en « C »).

Solomov a utilisé pendant 8 mois le SAF sur des dents nécessitant des traitements endodontiques initiaux.⁵³ Il a constaté une bonne reproductibilité de l'instrument SAF en fonction de la difficulté anatomique du canal. Avec l'utilisation de plus en plus importante du CBCT (Cone Beam Computed Tomography), le SAF pourrait trouver une part plus importante dans l'endodontie de tous les jours avec un rôle auxiliaire de nettoyage, d'élimination des débris et de débridement après le passage des instruments rotatifs en nickel-titane.⁵⁴

⁵² Pertot et Pommel, « Mise en forme et nettoyage du système canalaire. »

⁵³ Solomonov, « Eight months of clinical experience with the self-adjusting file system ».

⁵⁴ Dietrich, Kirkpatrick, et Yaccino, « In vitro canal and isthmus debris removal of the self-adjusting file, K3, and WaveOne files in the mesial root of human mandibular molars ».

Cependant, Paranjpe et al.⁵⁵ ont mis en évidence que l'élargissement apical est difficilement contrôlé avec le SAF ce qui pourrait avoir deux conséquences :

- limiter l'efficacité de la désinfection
- compliquer l'ajustage du maître cône pour l'obturation sans calibrage préalable possible.

2.2 TRUShape 3D Conforming

Nous évoquerons ici un nouvel instrument mis très récemment sur le marché (2015) : le TRUShape 3D Conforming (DENTSPLY Tulsa).

De ce fait, encore peu d'études ont pu être menées sur cet instrument et que peu d'articles sont, à ce jour, parus dans la littérature.

Les données que nous évoquerons par la suite sont essentiellement fournies par les fabricants eux-mêmes.

2.2.1 Présentation⁵⁶

Le TRUShape 3D Conforming est conçu et fabriqué par DENTSPLY Tulsa. C'est un instrument rotatif en nickel-titane ayant un design qui ressemble à un S qui lui donnerait la capacité de se courber à l'intérieur du canal pendant sa rotation. Cela permettrait à l'instrument de s'adapter à l'anatomie du canal et d'éviter une réduction trop importante de dentine radiculaire. Sa couleur distinctive bleue résulte d'un traitement spécifique fait sur l'alliage de l'instrument qui consiste en l'ajout d'une couche d'oxyde de titane breveté par la marque.

Il existe en différents diamètres à la pointe : 20, 25, 30 et 40, d'une conicité de 6%.

⁵⁵ Paranjpe et al., « Efficacy of the Self-Adjusting File system on cleaning and shaping oval canals ».

⁵⁶ DENTSPLY Tulsa Dental Specialties, « TRUShape® 3D Conforming files and orifice modifiers ».

Selon le fabricant, une exploration à l'aide de limes manuelles jusqu'à K-10 à la longueur de travail est nécessaire avant l'utilisation du TRUShape. Un glide path à l'aide de PathFile peut aussi être utilisé. Les TRUShape de diamètre 20 puis 25 sont ensuite utilisés à une vitesse de 300 tours/min et un torque de 300 g/cm selon des mouvements de va-et-vient jusqu'à la longueur de travail.

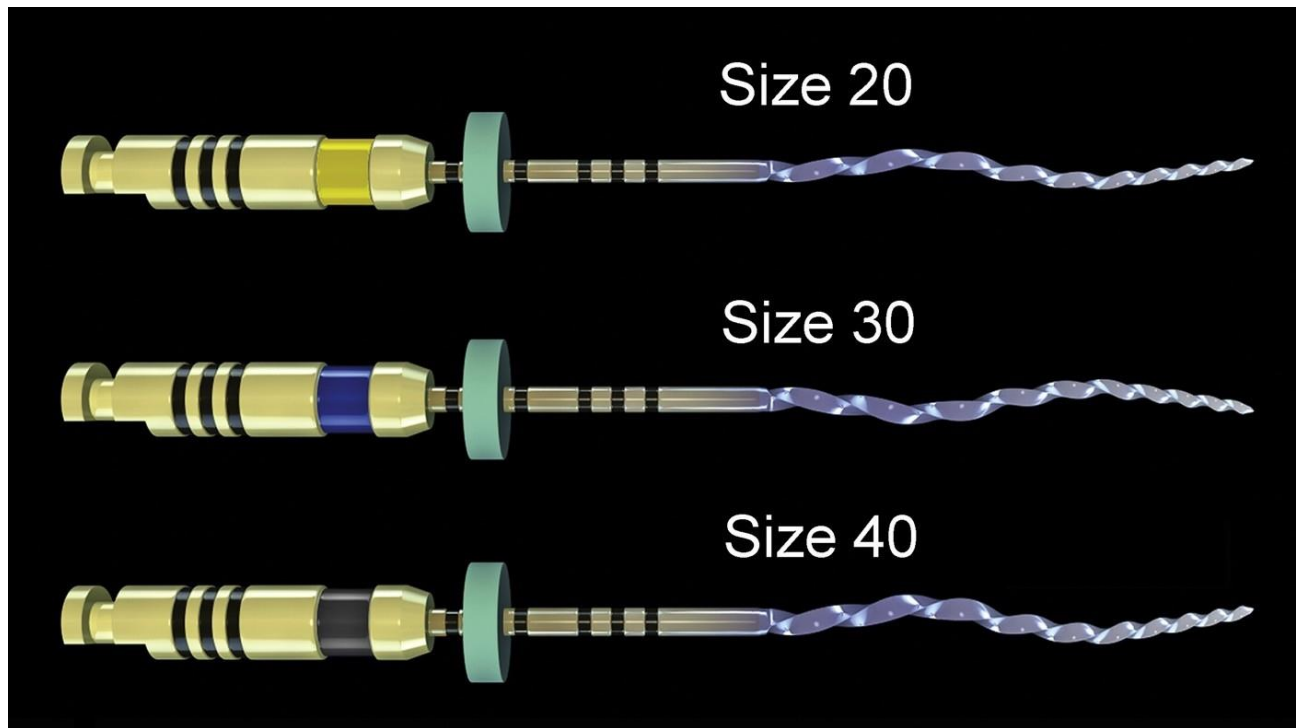


Figure 27 Le set complet de TRUShape 3D Conforming. Sa forme en S est clairement identifiable.

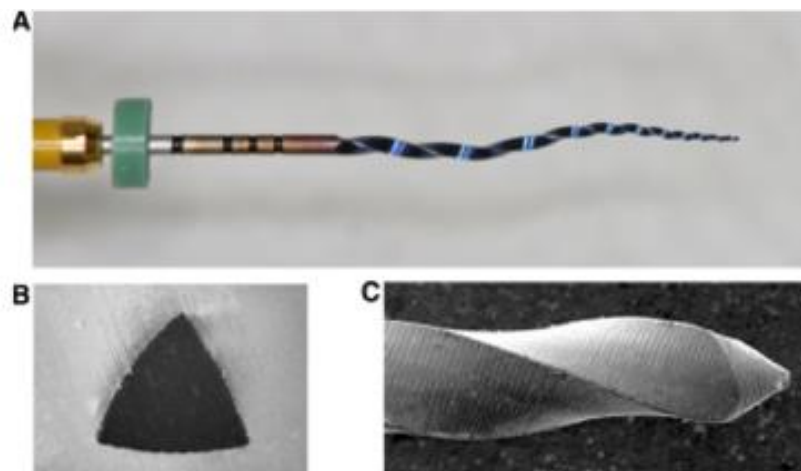


Figure 28 A = TRUShape taille #20. B = Coupe transversale à environ 3mm de la pointe. C = Design de la pointe. Images prises au microscope électronique à balayage.

Source : Bonessio et al., « Effect of root canal treatment procedures with a novel rotary nickel titanium instrument (TRUShape) on stress in mandibular molars ».

2.2.2 Revue de littérature

La recherche documentaire a été effectuée essentiellement en ligne grâce à PubMed, moteur de recherche de la base de données MEDLINE.

ScienceDirect (moteur de recherche de l'éditeur ELSEVIER), Dentistry and Oral Sciences Source, Cochrane Library et Google Scholar ont aussi été consultés.

Sur ces bases de données, seulement 6 articles traitant du TRUShape et de ses diverses propriétés ont pu être sélectionnés. 5 de ces articles 6 articles ont retenus notre attention. Nous les détaillerons ici du moins récent (Mai 2015) au plus récent (Juin 2016).

--- Bortoluzzi et al.⁵⁷ ont mené une étude sur la capacité d'élimination des bactéries intra canalaire du TRUShape par rapport à un instrument rotatif en nickel-titane conventionnel (ici les instruments Twisted). Ils ont, pour cela, récupérés des prémolaires maxillaires extraites ayant un seul canal ovale. Ils ont utilisé *Enterococcus faecalis* pour infecter ces dents.

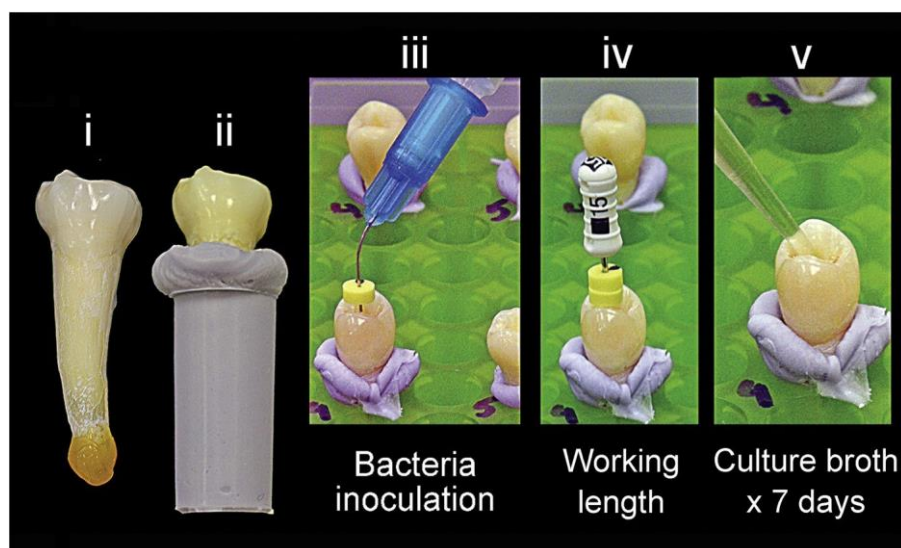


Figure 29 Protocole de l'étude. (i) = L'apex de la racine est fermé par de la cire. (ii) = La racine est montée dans du polyvinylsiloxane. (iii) = Cavité d'accès et inoculation d'*Enterococcus faecalis*. (iv) = La lime K15 amène les bactéries à la longueur de travail. (v) = La culture a fermentée pendant 7 jours.

Source : Bortoluzzi et al., « Efficacy of 3D conforming nickel titanium rotary instruments in eliminating canal wall bacteria from oval-shaped root canals »

⁵⁷ Bortoluzzi et al., « Efficacy of 3D conforming nickel titanium rotary instruments in eliminating canal wall bacteria from oval-shaped root canals ».

40 dents ont été réparties en 4 groupes de 10 dents chacun : TRUShape seul, TRUShape avec EndoActivator, Twisted seul, Twisted avec EndoActivator.

Les auteurs ont utilisé deux solutions d'irrigation différentes (NaOCl et une solution saline qui n'a aucun effet antimicrobienne) afin d'évaluer l'importance de l'instrument dans la réduction bactérienne.

Les résultats de cette étude montre une capacité d'élimination bactérienne supérieure du TRUShape 3D Conforming par rapport au Twisted File avec la solution saline.

- Peters et al.⁵⁸ ont testé le TRUShape 3D Conforming afin d'évaluer la conservation de la dentine radiculaire et la possibilité de transport du canal. Ils ont utilisé l'instrument rotatif Vortex comme comparaison.

Tableau 9 Tableau présentant le volume de dentine perdue (en mm³) et l'épaisseur restante des parois radiculaires. L'utilisation du TRUShape présente moins d'élimination de dentine.

Source : d'après Peters, Arias, et Paqué, « A Micro-computed tomographic assessment of root canal preparation with a novel Instrument, TRUShape, in mesial roots of mandibular molars »

	TRUShape (n = 20)		Vortex (n = 20)	
Diamètre apical	#20	#30	#20	#30
Volume de dentine perdue après la mise en forme (mm ³)	1.34 +/- 0.61	2.17 +/- 0.85	2.10 +/- 0.95	2.95 +/- 1.12
Epaisseur restante des parois radiculaires (mm)	1.09 +/- 0.25	1.02 +/- 0.25	1.02 +/- 0.22	0.94 +/- 0.22

⁵⁸ Peters, Arias, et Paqué, « A micro-computed tomographic assessment of root canal preparation with a novel instrument, TRUShape, in mesial roots of mandibular molars ».

Une différence significative a été montrée entre le TRUShape et le Vortex concernant le volume de dentine perdue et l'épaisseur restante des parois radiculaires. Cette différence est particulièrement marquée après la furcation.

Tableau 10 Tableau montrant le transport du canal (en μm) pour le TRUShape et le Vortex.

Source : d'après Peters, Arias, et Paqué, « A Micro-computed tomographic assessment of root canal preparation with a novel instrument, TRUShape, in mesial roots of mandibular molars »

	TRUShape (n = 20)		Vortex (n = 20)	
Diamètre apical	#20	#30	#20	#30
Tiers coronaire	110 +/- 34	133 +/- 37	153+/60	179+/- 65
Tiers médian	53 +/- 19	71+/- 28	77+/30	102+/- 36
Tiers apical	58 +/- 37	85+/- 57	85+/- 55	112+/- 66

Une différence significative concernant le transport canalaire a été montrée entre le TRUShape et le Vortex à tous les tiers du canal et aux deux diamètres, excepté au tiers apical diamètre #20.

D'après cette étude, le TRUShape retire moins de dentine radiculaire et moins de transport du canal ont été mis en évidence. Le TRUShape taille #20 retire environ 36% moins de dentine radiculaire que le Vortex #20 alors que le TRUShape #30 retire environ 26% moins de dentine radiculaire que le Vortex #30.

- De Vasconcelos et al⁵⁹ ont voulu tester la résistance à la fracture du TRUShape à différentes températures (20 et 37°C) et selon la phase martensitic et austenitic de l'instrument. Le résultat de cette étude montre une phase intermédiaire entre la phase austenitic et martensitic appelée R-phase (rhomboédre). Dans cette étude, le TRUShape a montré une fracture après environ 1372 cycles à 20°C et après 201 cycles à 37°C. Deux valeurs significativement plus élevées par rapport à celles d'un instrument rotatif en nickel-titane comme le ProTaper (F2).
- Shen et al⁶⁰ ont aussi testé la résistance à la fracture du TRUShape, mais cette fois-ci dans des conditions différentes : les différentes courbures radiculaires anatomiques possibles. Le TRUShape a été comparé au ProFile et au Vortex Blue. Les auteurs ont utilisé 3 types de canaux artificiels différents : une courbure simple de 60°, deux doubles courbures de 60° en coronaire et 30° en apical et deux doubles courbures de 60° en coronaire et 60° en apical.

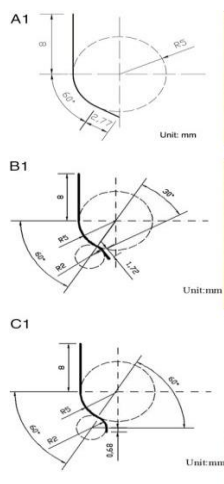


Figure 30 Dessins de la courbure simple (A1) et des deux doubles courbures (B1 et C1).

Source : Duke et al., « Cyclic fatigue of profile vortex and vortex blue nickel-titanium files in single and double curvatures »

Les résultats de cette étude montrent un temps de fracture similaire entre les 3 instruments pour une seule courbure mais un temps significativement plus long pour le TRUShape pour les deux doubles courbures. L'étude laisse suggérer que son design spécifique en S pourrait jouer un rôle important dans cette résistance à la fracture du TRUShape.

⁵⁹ de Vasconcelos et al., « Evidence for reduced fatigue resistance of contemporary rotary instruments exposed to body temperature ».

⁶⁰ Shen et al., « Fatigue resistance of a 3-Dimensional conforming nickel-titanium rotary instrument in

double curvatures ».

2.2.3 Discussion

Le TRUShape 3D Conforming avec sa forme spécifique en S et sa capacité à s'adapter aux différentes courbures semble être un instrument d'avenir pour la mise en forme canalaire. Les précédentes études ont montré une élimination bactérienne importante et une mise en forme moins invasive pour la dentine radiculaire.

Cependant, le recul clinique est, à ce jour, trop minime pour se prononcer définitivement sur cet instrument, qui semble avoir de bonnes prédispositions.

2.3 XP-endo Finisher (FKG)

2.3.1 Présentation⁶¹

Le XP-endo Finisher est une lime de nettoyage qui vient d'être tout récemment introduite sur le marché. Elle est constituée d'un alliage exclusif en nickel-titane développé par le fabricant (FKG Dentaire, La Chaux-de-Fonds, Suisse) appelé MaxWire (Martensite-Austénite, electropolish-flex).

Contrairement aux instruments évoqués précédemment, le XP-Endo Finisher (FKG) est un instrument de nettoyage. Cependant, il a le même but que le SAF, qui est d'atteindre des zones impossible à atteindre par les instruments rotatifs conventionnels en nickel-titane afin de permettre leur nettoyage dans les trois dimensions, notamment pour les canaux ovales, en « C », les isthmes ou les furcations. Rappelons que les instruments rotatifs en nickel-titane ne touchent qu'entre 20 et 40% des aires du canal.⁶²

Le XP-endo doit être utilisée après une mise en forme du canal d'au minimum d'un diamètre ISO #25 et possède une conicité nulle.

Selon le fabricant, cet instrument possède des caractéristiques spécifiques :

- Nettoyage du canal dans des zones auparavant inaccessibles grâce à sa flexibilité et son extension
- Résistance à la fracture grâce à sa conicité nulle et son alliage MaxWire
- Respect de la morphologie canalaire et préservation de la dentine
- Élimination supérieure des débris
- Élimination des médicaments intra-canalaire entre les séances.

⁶¹ FKG Dentaire, « XP-endo Finisher ».

⁶² Paqué et al., « Preparation of oval-shaped root canals in mandibular molars using nickel-titanium rotary instruments ».

Les docteurs Debélian et Trope nous expliquent le fonctionnement et les avancées possibles que peut apporter un instrument de nouvelle génération tel que le XP-endo Finisher dans deux articles.⁶³⁶⁴

L'instrument possède 2 phases en fonction de la température :

- En dessous de 30°C, une phase M (martensitic) durant laquelle l'instrument est flexible et peut être manipuler aisément
- Au dessus de 35°C (soit la température des canaux humains), une phase A (austenitic) durant laquelle l'instrument est droit jusqu'aux 10 derniers millimètres où il a une forme spécifique de faucille qui lui permet de couvrir un champs de travail de 6mm.

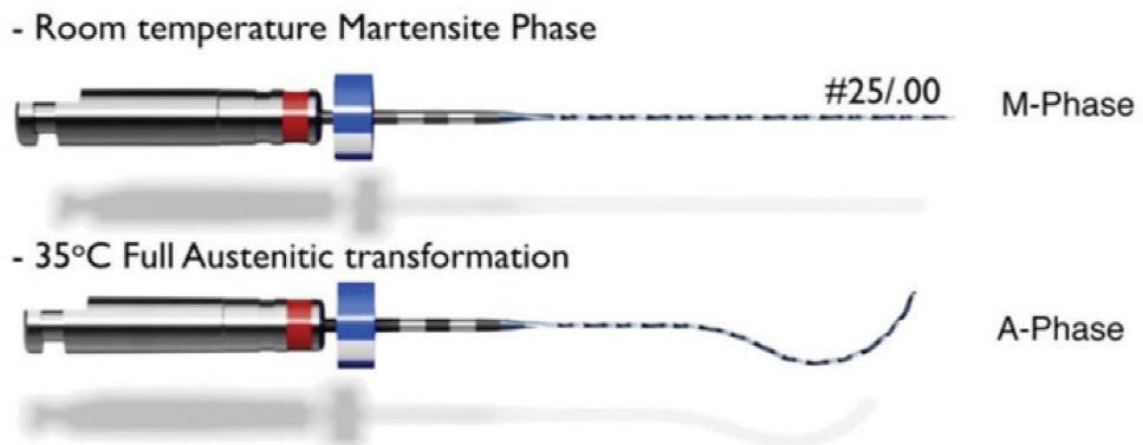


Figure 31 Le XP-endo Finisher dans sa phase M et dans sa phase A.

Source : Trope et Debélian, « Cleaning the third dimension »

Quand l'instrument est en rotation dans sa phase A, la partie en faucille et la pointe de l'instrument ont une expansion totale de 3mm de diamètre.



Figure 32 L'expansion du XP-endo Finisher dans sa phase A.

Source : Trope et Debélian, « Cleaning the third dimension »

Selon ces praticiens, le XP-endo Finisher arrive à maintenir sa flexibilité et sa résistance à la fracture grâce au faible diamètre de base de l'instrument. Cela lui permet de venir gratter les

⁶³ Trope et Debélian, « XP-3D Finisher™ file — the next step in restorative endodontics ».

⁶⁴ Trope et Debélian, « Cleaning the third dimension ».

parois du canal et ainsi, à l'aide de la solution d'irrigation, venir toucher des zones auparavant impossibles d'accès et éliminer le biofilm bactérien.

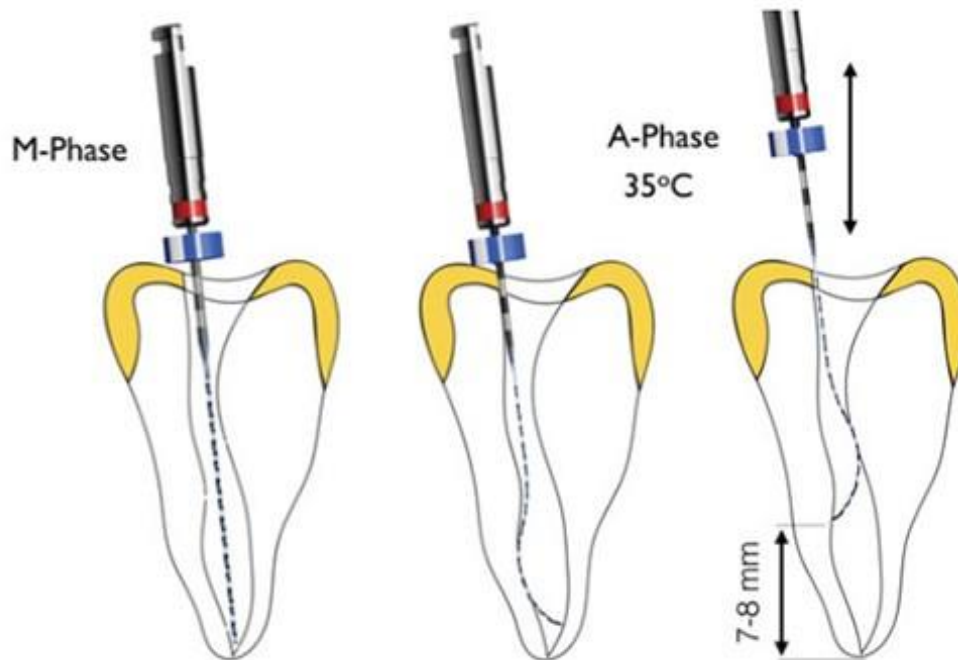


Figure 33 Schéma montrant l'utilisation du XP-endo Finisher. Il est d'abord introduit dans sa phase M puis à l'intérieur du canal, il passera à sa phase A. L'instrument est ensuite utilisé en mouvement de va-et-vient de 7 à 8mm. L'instrument se dilatera selon l'anatomie du canal.

Source : Trope et Debélian, « Cleaning the third dimension »

Les docteurs Debélian et Trope ont présentés quelques cas illustratifs :

-- Le premier cas montre comment le XP-endo Finisher va venir compléter le nettoyage du canal après le passage des instruments rotatifs et ainsi maintenir la forme originelle du canal.

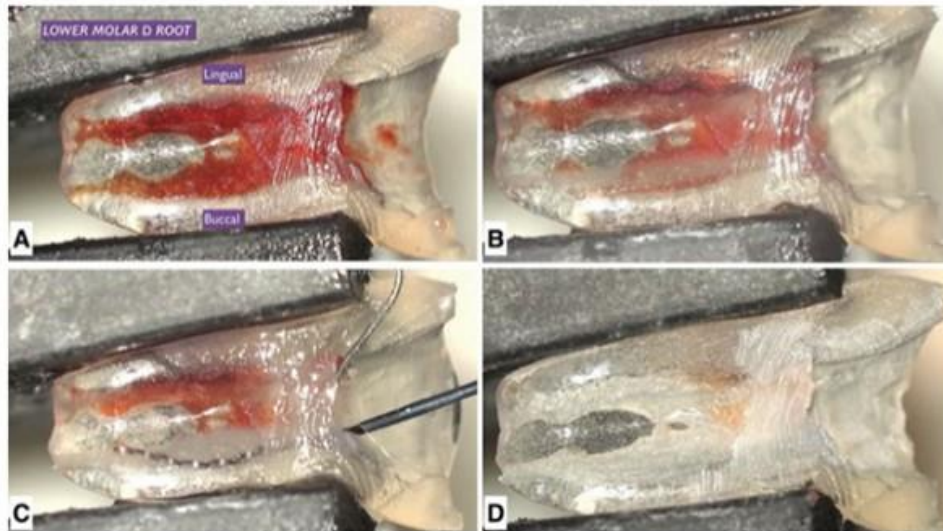


Figure 34 Réplique en plastique d'un canal distal d'une molaire mandibulaire. Le XP-endo Finisher est appliqué lors de la photographie C. On peut évaluer son efficacité à la photographie D.

Source : Trope et Debélian, « Cleaning the third dimension »

-- Ce deuxième cas montre les canaux distaux et mésiaux de molaires mandibulaires extraites par l'intermédiaire du micro-CT. On peut voir les vues pré-opératoire (à gauche), après l'instrumentation avec les instruments rotatifs (au milieu) et après le passage du XP-endo Finisher (à droite). Après le passage des instruments rotatifs, on peut voir l'accumulation de débris et possiblement de bactéries (flèches blanches). Le XP-endo Finisher tâche de les éliminer.

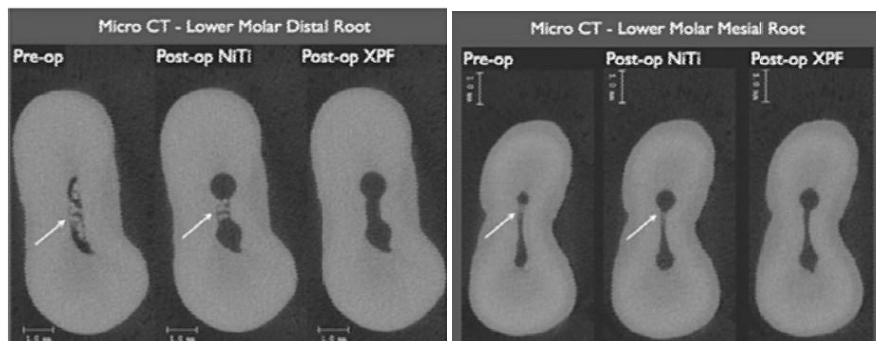


Figure 35 Images venant d'un micro-CT montrant l'efficacité du XP-endo sur l'élimination des débris et des bactéries.

Source : Trope et Debélian, « Cleaning the third dimension »

2.3.2 Revue de littérature

De même que pour le TRUShape 3D Conforming évoqué dans le chapitre précédent, en raison de son apparition récente sur le marché (mars 2015), peu d'articles ont été encore publiés. Sur les différentes bases de données (PubMed, ScienceDirect Dentistry and Oral Sciences Source, Chocrane library et Google Scholar), 5 articles traitants du XP-endo Finisher et de ses caractéristiques ont été retenus. Nous les détaillerons du moins récent au plus récent.

- Zivkovic et al.⁶⁵ ont voulu étudier l'efficacité du nettoyage de la boue dentinaire par le XP-endo Finisher après l'instrumentation par la séquence rotative en nickel-titane BioRace (FKG). Pour cela, ils ont utilisé 30 dents monoradiculées qu'ils ont divisé en deux groupes de 15 dents : le XP-endo Finisher était utilisé pour éliminer la boue dentinaire après les BioRace dans le groupe 1 alors que le groupe 2 servait de contrôle sans utilisation du XP-endo Finisher. Après analyse au microscope électronique et l'utilisation des scores établis par Hülsmann⁶⁶ (déjà évoqués plus haut), l'étude présentée ici a pu mettre en évidence une différence significative de quantité de boue dentinaire éliminée après l'utilisation du XP-endo Finisher et notamment dans le tiers apical.
- Léoni et al.⁶⁷ ont voulu testé quatre protocoles d'irrigation sur l'élimination des débris accumulés au niveau des isthmes des racines mésiales des premières molaires mandibulaires. Ils ont comparé la pression apicale positive, l'irrigation ultrasonique passive, le SAF avec un protocole modifié par rapport à celui décrit par les concepteurs et le XP-endo Finisher.
Les résultats de cette ont montré que l'irrigation ultrasonique passive et le XP-endo Finisher avaient les meilleurs taux d'élimination des débris accumulés avec respectivement une réduction de 94.1% et 87.9% des débris. Le faible taux d'élimination du SAF (43%) présenté ici est contradictoire avec l'étude de Paqué présentée plus haut⁶⁸. Le protocole modifié est à mettre en exergue ici.
- Azim et al.⁶⁹ ont mené une étude sur l'efficacité d'élimination des bactéries de quatre protocoles d'irrigation : irrigation standard à l'aide d'une seringue, le XP-endo Finisher, l'agitation sonique via l'EndoActivator et le laser erbium. Des prémolaires et des racines

⁶⁵ Živković et al., « XP-endo Finisher ».

⁶⁶ Hülsmann, Rummelin, et Schäfers, « Root canal cleanliness after preparation with different endodontic handpieces and hand instruments ».

⁶⁷ Léoni et al., « Ex vivo evaluation of four final irrigation protocols on the removal of hard-tissue debris from the mesial root canal system of mandibular first molars ».

⁶⁸ Paqué, Al-Jadaa, et Kfir, « Hard-tissue debris accumulation created by conventional rotary versus Self-Adjusting File instrumentation in mesial root canal systems of mandibular molars ».

⁶⁹ Azim et al., « Efficacy of 4 irrigation protocols in killing bacteria colonized in dentinal tubules examined by a novel confocal laser scanning microscope analysis ».

distales ayant un seul canal des molaires ont été inoculés avec *Enterococcus Faecalis*. 15 dents ont été utilisées pour les 3 premiers groupes et 13 dents pour le groupe utilisant le laser.

Les résultats de cette étude montrent un taux de réduction des bactéries du canal principal de 98,2% avec le XP-endo, qui est le plus élevé des 4 protocoles d'irrigation. A l'intérieur des tubulis dentinaire, le XP-endo présente aussi le taux le plus élevé d'élimination des bactéries entre 78% et 82% à 50µm de profondeur au tiers coronaire, au tiers médian et au tiers apical.

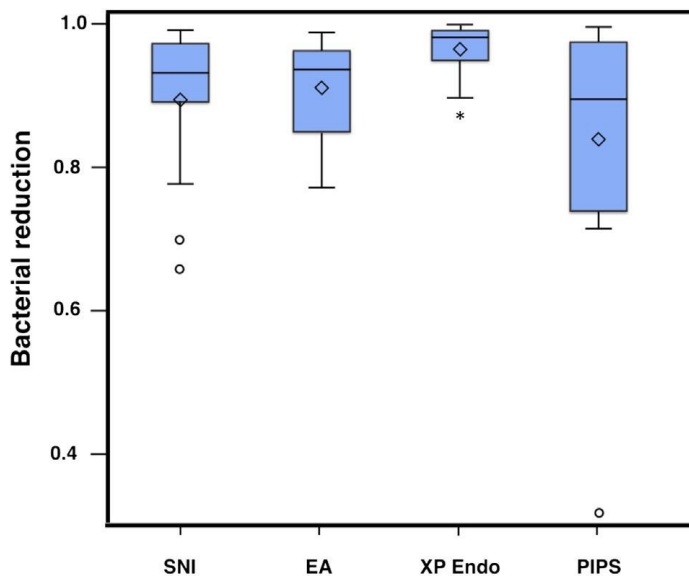


Figure 36 Graphique montrant l'efficacité des quatre protocoles d'irrigation. Le XP-endo Finisher présente le pourcentage le plus élevé d'élimination des bactéries du canal principal. SNI = irrigation standard à l'aide d'une seringue, EA = EndoActivator, XP Endo, PIPS = laser erbium

Source : Azim et al., « Efficacy of 4 irrigation protocols in killing bacteria colonized in dentinal tubules examined by a novel confocal laser scanning microscope analysis ».

- Elnaghy et al.⁷⁰, comme Zivkovic et Léoni, ont voulu tester l'efficacité du XP-endo Finisher sur l'élimination des débris et de la boue dentinaire. Cinq groupes de 15 molaires mandibulaires présentant une racine mésiale courbée de plus de 20° ont été formés : un groupe contrôle sans rinçage final ni activation (1), un groupe avec rinçage à l'EDTA mais sans activation (2), un groupe avec rinçage à l'EDTA et activation manuelle (3), un groupe avec rinçage à l'EDTA et activation par le XP-endo Finisher (4) et un groupe avec rinçage à l'EDTA et activation par l'EndoActivator (5). Les groupes 2 à 5 ont ensuite été rincés à l'hypochlorite de sodium NaOCl. Les 75 dents ont été préparées par

⁷⁰ Elnaghy, Mandorah, et Elsaka, « Effectiveness of XP-Endo Finisher, EndoActivator, and file agitation on debris and smear layer removal in curved root canals ».

la séquence rotative BT-Race (FKG Dentaire).

Dans les conditions de cette étude, les résultats ont montrés que le groupe 4 (XP-endo Finisher) et le groupe 5 (EndoActivator) présentaient les taux d'élimination des débris et de boue dentinaire les plus élevés. Le tiers coronaire était la zone la mieux nettoyée comparé au tiers apical. Cependant, aucune technique n'a permis l'élimination totale de débris et de boue dentinaire.

- Wigler et al.⁷¹ ont testé l'efficacité du XP-endo Finisher comparé à l'irrigation passive ultrasonique et la seringue conventionnelle en ce qui concerne l'élimination de l'hydroxyde de calcium Ca(OH)_2 , médication intra canalaire. Rappelons que l'élimination des médicaments intra canalaire entre les séances est une des caractéristiques spécifiques émise par le fabricant (FKG Dentaire). Les résultats de cette étude ont montré qu'aucun des trois dispositifs n'éliminaient complètement l'hydroxyde de calcium intra canalaire. Cependant, le groupe traité par le XP-endo Finisher était le plus efficace dans sa capacité à éliminer l'hydroxyde de calcium.

2.3.3 Discussion

Les études présentées montrent une capacité de nettoyage des zones du canal non accessibles avec les instruments rotatifs et d'élimination des bactéries, des débris et de la boue dentinaire. Alors que l'irrigation conventionnelle à l'aide d'une seringue a montré ses limites en ne délivrant la solution d'irrigation au-delà d'un millimètre après la pointe de l'aiguille et qu'actuellement, l'irrigation ultrasonique est devenue le système d'irrigation de référence avec des dispositifs tel que l'EndoActivator ou l'EndoVac, le XP-endo Finisher a un vrai rôle à jouer avec ses caractéristiques de mémoire de forme grâce à son nouvel alliage lui permettant d'apporter les solutions d'irrigation dans toutes les zones du canal.

Cependant, notamment en raison de son apparition nouvelle sur le marché, l'efficacité XP-endo Finisher reste encore à prouver sur le long terme afin qu'il puisse trouver son utilisation dans l'endodontie quotidienne.

⁷¹ Wigler et al., « Efficacy of XP-Endo Finisher file in the removal of calcium hydroxide paste from artificial standardized groove in the apical third of oval root canals ».

Conclusion

Nous connaissons désormais les avantages des instruments en nickel-titane en rotation continue utilisés pour l'étape de mise en forme sur de nombreux aspects : l'accès à la désinfection, une obturation de qualité du canal, un temps de travail moins long pour le praticien et une facilité d'utilisation par rapport aux limes en acier inoxydable.

Cependant, certaines limites dues à leur design, leur diamètre et leur conicité ont été mises en évidence lors de la première partie de cette thèse :

- la fracture de l'instrument qui peut être un élément causant l'échec du traitement endodontique
- le transport apical qui se produit lorsque les instruments se redressent lorsqu'ils travaillent
- l'extrusion des débris parfois non contrôlée souvent à l'origine de douleurs post-opératoires importantes
- la fragilisation de la dentine radiculaire pouvant entraîner une fracture verticale de la racine
- le réseau canalaire souvent très complexe n'est pas complètement mis en forme.

L'évolution du mouvement des instruments en nickel-titane en « réciprocité » ne semble pas suffisante pour changer fondamentalement les inconvénients décrits pour la rotation continue.

L'anatomie originelle du canal n'est pas respectée : quelque soit la forme et la section de coupe de la lime en nickel-titane utilisée en rotation continue ou en réciprocité, la mise en forme du canal qui en résulte présente une géométrie ronde alors que la géométrie initiale ne l'est presque jamais.

Dans une seconde partie, nous avons décrits deux nouveaux systèmes de mise en forme qui ont récemment vus le jour dans l'idée d'avoir une approche plus conservatrice de l'endodontie et ainsi surpasser les inconvénients de instruments rotatifs en nickel-titane conventionnels.

Le SAF présente un design et une utilisation qui lui est spécifique et qui lui confère des propriétés uniques : adaptation à la géométrie du canal permettant une mise en forme anatomique, le nettoyage de zones inaccessibles jusqu'à alors avec les instruments en nickel-titane, une irrigation continue permettant une élimination des débris et de la boue dentinaire efficace, une préservation de la dentine radiculaire.

Le TRUShape 3D Conforming présente une forme spécifique en S capable lui aussi de s'adapter à la géométrie du canal. A ce jour, peu d'études ont été menées sur cet instrument et le recul clinique est pour l'instant négligeable se faire une idée précise de son efficacité. Cependant, le TRUShape semble prometteur pour maintenir l'intégrité originelle du canal tout en permettant son nettoyage et sa désinfection.

Ensuite, nous avons traité de l'apparition d'une nouvelle lime de nettoyage : le XP-Endo Finisher qui par son alliage MaxWire spécifique permet un nettoyage très importante du réseau canalaire. Sa conicité nulle et son design particulier en faucille lui confère des caractéristiques qui pourrait en faire un complément prometteur aux instruments rotatifs. Le fabricant FKG

Dentaire vient tout juste de commercialiser le XP-Endo Shaper, qui est un instrument unique de mise forme et qui reprend les caractéristiques du XP-Endo Finisher (notamment son alliage spécifique et son design) avec cependant une conicité supérieure de 4%. Il est trop tôt pour évaluer l'efficacité de cet instrument.

Sur les dents infectées, l'organisation des bactéries en biofilm complexifie la désinfection et nous oblige à avoir une action mécanique sur ce biofilm avant l'action chimique des solutions d'irrigation.

La désorganisation de ce biofilm bactérien présent sur les parois est essentielle à la bonne désinfection du canal.

Même si ces nouveaux systèmes présentent des limites et un manque de recul clinique évident, l'idée générale pour le futur serait donc d'avoir des systèmes de mise en forme ou de nettoyage capables de venir toucher le plus possible ces parois. Ceci pourrait être possible avec des instruments ayant la capacité de respecter au maximum la forme originelle du canal. En s'adaptant à la forme initiale du canal, on peut espérer un meilleur nettoyage des zones actuellement non atteintes avec les systèmes habituels, une préservation des structures restantes et ainsi diminuer le nombre de fractures verticales, un centrage canalaire mieux respecté et un transport apical fortement diminué.

L'objectif étant d'avoir des instruments pouvant s'adapter à la forme du canal et non de dicter la forme de notre lime à notre canal.

Le terme de « mise en forme » serait-il donc à remettre en question ?

Comme expliqué pour le SAF, les techniques d'obturation à chaud actuelles pourraient devenir de plus en plus difficiles à mettre en œuvre avec une mise en forme anatomique en raison de l'ajustage nécessaire d'un maître cône standardisé. Néanmoins, il serait préférable de trouver des moyens d'obturation compatibles avec l'anatomie du canal et non de devoir absolument lui donner une conicité afin d'y adapter un maître cône. L'idée récente d'obturation à froid avec des ciments biocéramiques semble être une voie de recherche intéressante allant de pair avec les concepts de mise en forme anatomique.

Bibliographie

Adorno, C. G., T. Yoshioka, et H. Suda. « Crack initiation on the apical root surface caused by three different nickel-titanium rotary files at different working lengths ». *Journal of endodontics* 37, n^o 4 (2011): 522-25. doi:10.1016/j.joen.2010.12.002.

Akçay, I., S. Yiğit-Özer, Ö. Adigüzel, et S. Kaya. « Deformation of the self-adjusting file on simulated curved root canals: a time-dependent study ». *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics* 112, n^o 5 (2011): e12-17. doi:10.1016/j.tripleo.2011.04.015.

Al-Sudani, D., et S. Al-Shahrani. « A comparison of the canal centering ability of ProFile, K3, and RaCe nickel titanium rotary systems ». *Journal of endodontics* 32, n^o 12 (2006): 1198-1201. doi:10.1016/j.joen.2006.07.017.

Azim, A., H. Aksel, T. Zhuang, T. Mashtare, J. P. Babu, et G. T.-J. Huang. « Efficacy of 4 irrigation protocols in killing bacteria colonized in dentinal tubules examined by a novel confocal laser scanning microscope analysis ». *Journal of endodontics* 42, n^o 6 (2016): 928-34. doi:10.1016/j.joen.2016.03.009.

Bergmans, L., J. Van Cleynenbreugel, M. Wevers, et P. Lambrechts. « Mechanical root anal preparation with niti rotary instruments: rationale, performance and safety ». *American journal of dentistry* 14, n^o 5 (2001): 324-33.

Bier, C. A. S., H. Shemesh, M. Tanomaru-Filho, P. R. Wesselink, et M.-K. Wu. « The ability of different nickel-titanium rotary instruments to induce dentinal damage during canal preparation ». *Journal of endodontics* 35, n^o 2 (2009): 236-38. doi:10.1016/j.joen.2008.10.021.

Bortoluzzi, E. A., D. Carlon, M. M. Meghil, A. R. El-Awady, L. Niu, B. E. Bergeron, L. Susin, et al. « Efficacy of 3D conforming nickel titanium rotary instruments in eliminating canal wall bacteria from oval-shaped root canals ». *Journal of dentistry* 43, n^o 5 (2015): 597-604. doi:10.1016/j.jdent.2015.01.001.

Capar, I. D., H. Arslan, M. Akcay, et H. Ertas. « An in vitro comparison of apically extruded debris and instrumentation times with ProTaper Universal, ProTaper Next, Twisted File Adaptive, and HyFlex instruments ». *Journal of endodontics* 40, n^o 10 (2014): 1638-41. doi:10.1016/j.joen.2014.04.004.

Chapman, C. E., J. G. Collee, et G. S. Beagrie. « A preliminary report on the correlation between apical infection and instrumentation in endodontics ». *International endodontic journal* 2, n^o 1 (1968): 7-11. doi:10.1111/j.1365-2591.1968.tb01184.x.

Cooke, H. G., et F. L. Cox. « C-shaped canal configurations in mandibular molars ». *Journal of the American dental association* 99, n^o 5 (1979): 836-39.

De-Deus, G., E. Nogueira Leal Silva, E. Moreira, A. de Almeida Neves, F. G. Belladonna, et Michele Tameirão. « Assessment of apically extruded debris produced by the self-adjusting file system ». *Journal of endodontics* 40, n^o 4 (2014): 526-29. doi:10.1016/j.joen.2013.07.031.

De-Deus, G., E. Souza, B. Barino, J. Maia, R. Zamolyi, C. Reis, et A. Kfir. « The Self-Adjusting File optimizes debridement quality in oval-shaped root canals ». *Journal of endodontics* 37, n^o 5 (2011): 701-5. doi:10.1016/j.joen.2011.02.001.

DENTSPLY Tulsa Dental Specialties. « TRUShape® 3D Conforming files and orifice modifiers ». Consulté le 5 décembre 2016. <http://www.endopracticeus.com/products/product-spotlight/trushape-3d-conforming-files-and-orifice-modifiers/>.

Dietrich, M. A., T. C. Kirkpatrick, et J. M. Yaccino. « In vitro canal and isthmus debris removal of the Self-Adjusting File, K3, and WaveOne files in the mesial root of human mandibular molars ». *Journal of endodontics* 38, n^o 8 (2012): 1140-44. doi:10.1016/j.joen.2012.05.007.

Elnaghy, A. M., A. Mandorah, et S. E. Elsaka. « Effectiveness of XP-Endo Finisher, EndoActivator, and file agitation on debris and smear layer removal in curved root canals: a comparative study ». *Odontology*, 2016. doi:10.1007/s10266-016-0251-8.

Farmakis, E. T. R., G. G. Sotiropoulos, N. Pantazis, et K. Kozyrakakis. « The permanent deformation of the Self-Adjusting files when used in canals of extracted teeth ». *International endodontic Journal* 46, n^o 9 (2013): 863-69. doi:10.1111/iej.12074.

FKG Dentaire. « XP-Endo Finisher ». Consulté le 5 décembre 2016. <http://www.fkg.ch/fr/produits/endodontie/pr%C3%A9paration-canal-à-et-retraitement/xp-endo-finisher>.

Fuss, Z., J. Lustig, et A. Tamse. « Prevalence of vertical root fractures in extracted endodontically treated teeth ». *International endodontic journal* 32, n^o 4 (1999): 283-86.

Gambarini, G., R. Gerosa, M. De Luca, M. Garala, et L. Testarelli. « Mechanical properties of a new and improved nickel-titanium alloy for endodontic use: an evaluation of file flexibility ». *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics* 105, n^o 6 (2008): 798-800. doi:10.1016/j.tripleo.2008.02.017.

Haapasalo, M., Y. Shen, Z. Wang, et Y. Gao. « Irrigation in endodontics ». *British dental journal* 216, n^o 6 (2014): 299-303. doi:10.1038/sj.bdj.2014.204.

Haïkel, Y., R. Serfaty, G. Bateman, B. Senger, et C. Allemann. « Dynamic and cyclic fatigue of engine-driven rotary nickel-titanium endodontic instruments ». *Journal of endodontics* 25, n^o 6 (1999): 434 – 40. doi:10.1016/S0099-2399(99)80274-X.

Hashem, A. A. R., A. G. Ghoneim, R. A. Lutfy, M. Y. Foda, et G. A. F. Omar. « Geometric analysis of root canals prepared by four rotary niti shaping systems ». *Journal of endodontics* 38, n^o 7 (2012): 996-1000. doi:10.1016/j.joen.2012.03.018.

Hof, R., V. Perevalov, M. Eltanani, R. Zary, et Z. Metzger. « The Self-Adjusting File (SAF). Part 2: mechanical analysis ». *Journal of endodontics* 36, n^o 4 (2010): 691-96. doi:10.1016/j.joen.2009.12.028.

Hülsmann, M., C. Rummelin, et F. Schäfers. « Root canal cleanliness after preparation with different endodontic handpieces and hand instruments: a comparative SEM investigation ». *Journal of endodontics* 23, n^o 5 (1997): 301 – 6. doi:10.1016/S0099-2399(97)80410-4.

Javaheri, H. H., et G. H. Javaheri. « A comparison of three ni-ti rotary instruments in apical transportation ». *Journal of endodontics* 33, n^o 3 (2007): 284-86. doi:10.1016/j.joen.2006.05.004.

Jou, Y.-T., B. Karabucak, J. Levin, et D. Liu. « Endodontic working width: current concepts and techniques ». *Dental clinics of north America* 48, n^o 1 (2004): 323-35. doi:10.1016/j.cden.2003.12.006.

Kim, H.-C., M.-H. Lee, J. Yum, A. Versluis, C.-J. Lee, et B.-M. Kim. « Potential relationship between design of nickel-titanium rotary instruments and vertical root fracture ». *Journal of endodontics* 36, n^o 7 (2010): 1195-99. doi:10.1016/j.joen.2010.02.010.

Leoni, G. B., M. A. Versiani, Y. T. Silva-Sousa, J. F. B. Bruniera, J. D. Pécora, et M. D. Sousa-Neto. « Ex vivo evaluation of four final irrigation protocols on the removal of hard-tissue debris from the mesial root canal system of mandibular First molars ». *International endodontic journal*, 2016. doi:10.1111/iej.12630.

Lertchirakarn, V., J. E. A. Palamara, et H. H. Messer. « Patterns of vertical root fracture: factors affecting stress distribution in the root Canal ». *Journal of endodontics* 29, n^o 8 (2003): 523-28. doi:10.1097/00004770-200308000-00008.

Metzger, Z., E. Teperovich, R. Cohen, R. Zary, F. Paqué, et M. Hülsmann. « The Self-Adjusting File (SAF). Part 3: removal of debris and smear layer-a scanning electron microscope study ». *Journal of endodontics* 36, n^o 4 (2010): 697-702. doi:10.1016/j.joen.2009.12.037.

Metzger, Z., E. Teperovich, R. Zary, R. Cohen, et R. Hof. « The Self-Adjusting File (SAF). Part 1: respecting the root canal anatomy—a new concept of endodontic files and its implementation ». *Journal of endodontics* 36, n^o 4 (2010): 679-90. doi:10.1016/j.joen.2009.12.036.

Myers, G. L., et S. Montgomery. « A comparison of weights of debris extruded apically by conventional filing and canal master techniques ». *Journal of endodontics* 17, n^o 6 (1991): 275—79. doi:10.1016/S0099-2399(06)81866-2.

Paqué, F., A. Al-Jadaa, et A. Kfir. « Hard-tissue debris accumulation created by conventional rotary versus Self-Adjusting File instrumentation in mesial root canal systems of mandibular molars ». *International endodontic journal* 45, n^o 5 (2012): 413 – 18. doi:10.1111/j.1365-2591.2011.01991.x.

Paqué, F., M. Balmer, T. Attin, et O. A. Peters. « Preparation of oval-shaped root canals in mandibular molars using nickel-titanium rotary instruments: A micro-computed tomography study ». *Journal of endodontics* 36, n^o 4 (2010): 703-7. doi:10.1016/j.joen.2009.12.020.

Paqué, F., et O. A. Peters. « Micro-computed tomography Evaluation of the preparation of long oval root canals in mandibular molars with the Self-Adjusting File ». *Journal of endodontics* 37, n^o 4 (2011): 517-21. doi:10.1016/j.joen.2010.12.011.

Paranjpe, A., C. de Gregorio, A. M. Gonzalez, A. Gomez, D. Silva Herzog, A. Piña, et N. Cohenca. « Efficacy of the Self-Adjusting File system on cleaning and shaping oval canals: a microbiological and microscopic evaluation ». *Journal of endodontics* 38, n^o 2 (2012): 226-31. doi:10.1016/j.joen.2011.10.014.

Pawar, A. M., D. Barfiwala, M. Pawar, Z. Metzger, A. Kfir, et N. Jain. « Assessment of the fracture resistance of teeth instrumented using 2 rotary and 2 reciprocating files versus the Self-Adjusting File (SAF): an ex vivo comparative study on mandibular molars ». *Journal of conservative dentistry* 19, n^o 2 (2016): 138 – 42. doi:10.4103/0972-0707.178692.

Pertot, W.-J., et L. Pommel. « Mise en forme et nettoyage du système canalaire. » In *Endodontie*, par S. Simon et P. Machtou, 187 – 241. Reuil-Malmaison: Editions CdP, 2012.

Peters, O. A., A. Arias, et F. Paqué. « A micro-computed tomographic assessment of root canal preparation with a novel instrument, TRUShape, in mesial roots of mandibular molars ». *Journal of endodontics* 41, n^o 9 (2015): 1545-50. doi:10.1016/j.joen.2015.06.007.

Peters, O. A., et F. Paque. « Current developments in rotary root canal instrument technology and clinical use: a review ». *Quintessence international* 41, n^o 6 (2010): 479-88.

Pruett, J. P., D. J. Clement, et D. L. Carnes. « Cyclic fatigue testing of nickel-titanium endodontic instruments ». *Journal of endodontics* 23, n^o 2 (1997): 77 – 85. doi:10.1016/S0099-2399(97)80250-6.

Reddy, S. A., et M. L. Hicks. « Apical extrusion of debris using two hand and two rotary instrumentation techniques ». *Journal of endodontics* 24, n^o 3 (1998): 180-83. doi:10.1016/S0099-2399(98)80179-9.

Sattapan, B., G. J. Nervo, J. E. Palamara, et H. H. Messer. « Defects in rotary nickel-titanium files after clinical use ». *Journal of endodontics* 26, n^o 3 (2000): 161 – 65. doi:10.1097/00004770-200003000-00008.

Schilder, H. « Cleaning and shaping the root canal ». *Dental clinics of North America* 18, n^o 2 (1974): 269-96.

Seltzer, S., et I. J. Naidorf. « Flare-ups in endodontics: I. etiological factors ». *Journal of endodontics* 11, n^o 11 (1985): 472 – 78. doi:10.1016/S0099-2399(85)80220-X.

Shebab El Din Mohamed, S. « Factors influencing the fracture of rotary nickel titanium instruments. » *Endodontic practice today* 2, n^o 4 (2009): 273-83.

Shen, Y., A. Hieawy, X. Huang, Z.-J. Wang, H. Maezono, et M. Haapasalo. « Fatigue resistance of a 3-dimensional conforming nickel-titanium rotary instrument in double curvatures ». *Journal of endodontics* 42, n^o 6 (2016): 961-64. doi:10.1016/j.joen.2016.02.012.

Silva, E. J. N. L., L. Sá, F. G. Belladonna, A. A. Neves, T. Accorsi-Mendonça, V. T. L. Vieira, G. De-Deus, et E. J. Moreira. « Reciprocating versus rotary systems for root filling removal: Assessment of the apically extruded material ». *Journal of endodontics* 40, n^o 12 (2014): 2077-80. doi:10.1016/j.joen.2014.09.009.

Simon, S., P. Machtou, P. Tomson, N. Adams, et P. Lumley. « Influence of fractured instruments on the success rate of endodontic treatment ». *Dental update* 35, n^o 3 (2008): 172-74, 176, 178-79.

Siqueira, J. F. « Microbial causes of endodontic flare-ups ». *International endodontic journal* 36, n^o 7 (2003): 453 – 63. doi:10.1046/j.1365-2591.2003.00671.x.

Siqueira, J. F., F. R. F. Alves, B. M. Almeida, J. C. M. de Oliveira, et I. N. Rôças. « Ability of chemomechanical preparation with either rotary instruments or Self-Adjusting File to disinfect oval-shaped root canals ». *Journal of endodontics* 36, n^o 11 (2010): 1860 – 65. doi:10.1016/j.joen.2010.08.001.

Solomonov, M. « Eight months of clinical experience with the Self-Adjusting File System ». *Journal of endodontics* 37, n^o 6 (2011): 881-87. doi:10.1016/j.joen.2011.02.036.

Solomonov, M., F. Paqué, B. Fan, Y. Eilat, et L. H. Berman. « The Challenge of C-shaped canal systems: a comparative study of the Self-Adjusting File and ProTaper ». *Journal of endodontics* 38, n^o 2 (2012): 209-14. doi:10.1016/j.joen.2011.10.022.

Sonntag, D., A. Guntermann, S. K. Kim, et V. Stachniss. « Root canal shaping with manual stainless steel files and rotary ni-ti files performed by students ». *International endodontic journal* 36, n^o 4 (2003): 246-55.

Stuart, C. H., S. A. Schwartz, T. J. Beeson, et C. B. Owatz. « *Enterococcus faecalis*: its role in root canal treatment failure and current concepts in retreatment ». *Journal of endodontics* 32, n^o 2 (2006): 93-98. doi:10.1016/j.joen.2005.10.049.

Tanalp, J., F. Kaptan, S. Sert, B. Kayahan, et G. Bayırlı. « Quantitative evaluation of the amount of apically extruded debris using 3 different rotary instrumentation systems ». *Oral surgery, Oral medicine, Oral pathology, Oral radiology, and endodontics* 101, n° 2 (2006): 250-57. doi:10.1016/j.tripleo.2005.03.002.

Tasdemir, T., K. Er, D. Çelik, et H. Aydemir. « An in vitro comparison of apically extruded debris using three rotary nickel-titanium instruments ». *Journal of dental sciences* 5, n° 3 (2010): 121 – 25. doi:10.1016/S1991-7902(10)60017-7.

Trope, M., et G. Debélian. « Cleaning the third dimension ». Consulté le 5 décembre 2016. <http://www.endopracticeus.com/ce-articles/4948/>.

Trope, M., et G. Debélian. « XP-3D Finisher™ file — the next step in restorative endodontics ». *Endodontic practice us*. Consulté le 5 décembre 2016. <http://www.endopracticeus.com/case-studies/xp-3d-finisher-file-the-next-step-in-restorative-endodontics/>.

Vande Visse, J. E., et J. D. Brilliant. « Effect of irrigation on the production of extruded material at the root apex during instrumentation ». *Journal of endodontics* 1, n° 7 (1975): 243-46.

Vasconcelos, R. A. de, S. Murphy, C. A. T. Carvalho, R. G. Govindjee, S. Govindjee, et O. A. Peters. « Evidence for reduced fatigue resistance of contemporary rotary instruments exposed to body temperature ». *Journal of endodontics* 42, n° 5 (2016): 782-87. doi:10.1016/j.joen.2016.01.025.

Versiani, M. A., J. D. Pécora, et M. D. de Sousa-Neto. « Flat-oval root canal preparation with Self-Adjusting File instrument: A micro-computed tomography study ». *Journal of endodontics* 37, n° 7 (2011): 1002-7. doi:10.1016/j.joen.2011.03.017.

Wigler, R., R. Dvir, A. Weisman, S. Matalon, et A. Kfir. « Efficacy of XP-Endo Finisher file in the removal of calcium hydroxide paste from artificial standardized groove in the Apical third of oval root canals ». *International endodontic Journal*, 2016. doi:10.1111/iej.12668.

Wilcox, L. R., C. Roskelley, et T. Sutton. « The relationship of root Canal enlargement to finger-spreader induced vertical root fracture ». *Journal of endodontics* 23, n° 8 (1997): 533-34. doi:10.1016/S0099-2399(97)80316-0.

Wittgow, W. C., et C. B. Sabiston. « Microorganisms from pulpal chambers of intact teeth with necrotic pulps ». *Journal of endodontics* 1, n° 5 (1975): 168 – 71. doi:10.1016/S0099-2399(75)80115-4.

Wu, M. K., A. R'oris, D. Barkis, et P. R. Wesselink. « Prevalence and extent of long oval canals in the apical third ». *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics*

89, n^O 6 (2000): 739-43.

Yang, G, G Yuan, X. Yun, X. Zhou, B. Liu, et H. Wu. « Effects of two nickel-titanium instrument systems, Mtwo versus ProTaper Universal, on root canal geometry assessed by micro-computed tomography ». *Journal of endodontics* 37, n^O 10 (2011): 1412-16. doi:10.1016/j.joen.2011.06.024.

Yang, Z. P., S. F. Yang, Y. C. Lin, J. C. Shay, et C. Y. Chi. « C-shaped root canals in mandibular second molars in a chinese population ». *Endodontics & dental traumatology* 4, n^O 4 (1988): 160-63.

Živković, S., J. Nešković, M. Jovanović-Medojević, M. Popović-Bajić, et M. Živković-Sandić. « XP-endo Finisher: a new solution for smear layer removal ». *Serbian dental journal* 62, n^O 3 (2015): 122-129. doi:10.1515/sdj-2015-0013.

Table des illustrations

Figure 1 Section latérale et transversale de différents instruments en nickel-titane. Images provenant d'un microscope électronique à balayage.....	4
Figure 2 Schéma d'un transport apical.....	8
Figure 3 Equilibre et rupture entre défense de l'organisme et agression des microorganismes.	15
Figure 4 Protocole de collection des débris mis en place par Myers et Montgomery	17
Figure 5 Diagramme représentant les valeurs moyennes (en g) de quantité d'extrusion apicale des débris obtenues	17
Figure 6 Fracture verticale de la racine	23
Figure 7 Le nombre de dents et son pourcentage qui présentent des défauts de la dentine	24
Figure 8 Nombre de dents présentant des fissures selon l'instrument et les longueurs de travail. LT = longueur de travail	27
Figure 9 Le Self-Adjusting File et sa flexibilité	28
Figure 10 Le Self Adjusting File est présenté sous forme de blister stérile	29
Figure 11 Le Self Adjusting File avec son contre-angle spécifique	29
Figure 12 Machine utilisée pour des tests de fatigue et de dynamique.....	30
Figure 13 L'extrémité irrégulière du SAF.....	33
Figure 14 Les canaux artificiels confectionnés pour cette étude	33
Figure 15 Pourcentage de détachement du treillis en relation avec le moment moyen de fracture.....	34
Figure 16 A=Anatomie avant le traitement B=Anatomie après le traitement par le SAF (les parties vertes représentent les aires non préparées) C=Coupes transversales à 4 et 6mm de l'apex. La dentine est éliminée de façon homogène	36
Figure 17 A=Anatomie avant le traitement B=Anatomie après le traitement par la séquence ProTaper (les parties vertes représentent les aires non préparées) C=Coupes transversales à 4 et 6 mm de l'apex. La dentine n'est pas éliminée de façon homogène.....	37
Figure 18 Coupe d'un canal ovale	38
Figure 19 Données venant du micro-CT. La colonne de gauche représente les canaux distaux de molaires mandibulaires avant préparation. Les deux colonnes du milieu représentent les données après préparation (en rouge). La colonne de droit représente les coupes transversales. On notera que la zone non préparée du canal est complètement prise dans la zone préparée.....	39
Figure 20 Représentation au micro-CT d'une incisive mandibulaire préparée au SAF. E et F = Vue vestibulaire avant (vert) et après superposition des zones instrumentées (rouge). G et H = Vue distale avant (vert) et après superposition des zones instrumentées (rouge).....	41
Figure 21 Représentation au micro-CT d'une incisive mandibulaire préparée au K3 (instrument rotatif). E et F = Vue vestibulaire avant (vert) et après superposition des zones instrumentées (rouge). G et H --- Vue distale avant (vert) et après superposition des zones instrumentées (vert)	42
Figure 22 Données provenant du microscope électronique à balayage. A = groupe contrôle. B = les débris aux différents tiers. C = la boue dentinaire aux différents tiers	44

Figure 23 La colonne A représente les canaux traités par le SAF et la B par le ProTaper. Les flèches représentent la pulpe résiduelle.....	45
Figure 24 Protocole de l'étude. Groupe 1 : BioRaCe. Groupe 2 : SAF. Sample = échantillon	47
Figure 25 Le set complet de TRUShape 3D Conforming. Sa forme en S est clairement identifiable.	49
Figure 26 A = TRUShape taille #20. B = Coupe transversale à environ 3mm de la pointe. C = Design de la pointe. Images prises au microscope électronique à balayage.....	49
Figure 27 Protocole de l'étude. (i) = L'apex de la racine est fermé par de la cire. (ii) = La racine est monté dans du polyvinylsiloxane. (iii) = Cavité d'accès et inoculation d'Enterococcus faecalis. (iv) = La lime K15 amène les bactéries à la longueur de travail. (v) = La culture a fermentée pendant 7 jours	50
Figure 28 Dessins de la courbure simple (A1) et des deux doubles courbures (B1 et C1)	53
Figure 29 Le XP-endo Finisher dans sa phase M et dans sa phase A	55
Figure 30 L'expansion du XP-endo Finisher dans sa phase A	55
Figure 31 Schéma montrant l'utilisation du XP-endo Finisher. Il est d'abord introduit dans sa phase M puis à l'intérieur du canal, il passera à sa phase A. L'instrument est ensuite utilisé en mouvement de va-et-vient de 7 à 8mm. L'instrument se dilatera selon l'anatomie du canal	56
Figure 32 Réplique en plastique d'un canal distal d'une molaire mandibulaire. Le XP-endo Finisher est appliqué lors de la photographie C. On peut évaluer son efficacité à la photographie D	57
Figure 33 Images venant d'un micro-CT montrant l'efficacité du XP-endo sur l'élimination des débris et des bactéries	57
Figure 34 Graphique montrant l'efficacité des quatre protocoles d'irrigation. Le XP-endo Finisher présente le pourcentage le plus élevé d'élimination des bactéries du canal principal. SNI = irrigation standard à l'aide d'une seringue, EA = EndoActivator, XP Endo, PIPS = laser erbium	59

Vu, le Directeur de thèse

Docteur Romain ORLU

Vu, le Doyen de la Faculté de Chirurgie Dentaire de
l'Université Paris Descartes,

Professeur Louis Maman

Vu, le Président de l'Université Paris Descartes,

Professeur Frédéric DARDEL

Pour le Président et par délégation,

Le Doyen Louis MAMAN

Quel avenir pour les systèmes de mise en forme canalaire ?

Résumé :

Le traitement endodontique est un acte essentiel dans la pratique de l'odontologie de tous les jours. Il a pour objectif de traiter les maladies de la pulpe et du périapex et ainsi transformer une dent pathologique en une entité saine, asymptomatique et fonctionnelle sur l'arcade. Il se décompose en trois étapes clés : mise en forme, désinfection, obturation. Ces objectifs de traitement ont été introduits dès 1974 par Schilder et ont depuis très peu évolués.

L'évolution concerne les moyens de réalisation de ces étapes et plus particulièrement l'étape de mise en forme canalaire qui a profité d'une meilleure connaissance des instruments mécaniques et de l'avancée technologique des matériaux qui les composent.

La rotation continue ou le mouvement alternatif avec des instruments en nickel-titane ont néanmoins présentés certaines limites et certains défauts. Mais quelles sont ces limites ?

Et pourrait-il à l'avenir des nouveaux instruments capables de remédier à ces problèmes ?

Nous commencerons par évoquer les principales limites liées aux instruments en nickel-titane puis nous aborderons l'apparition de nouveaux instruments tel que le SAF (Self-Adjusting File), le TRUShape 3D Conforming ou le XP-Endo Finisher qui ont pour but de réaliser une mise en forme plus anatomique ainsi que leurs propriétés.

Discipline :

Endodontie

Mots clés fMesh et Rameau :

Préparation de canal radiculaire – instrumentation – Dissertations universitaires ; Traitement de canal radiculaire -- Dissertations universitaires ; Endodontie -- Thèses et écrits académiques ; Instruments dentaires -- Dissertations universitaires

Université Paris Descartes

Faculté de Chirurgie dentaire

1, rue Maurice Arnoux

92120 Montrouge