



HAL
open science

Dispositifs et procédures d'irrigation : analyse critique de la littérature et évaluation des pratiques courantes dans les cabinets dentaires en France

Florian Apap

► **To cite this version:**

Florian Apap. Dispositifs et procédures d'irrigation : analyse critique de la littérature et évaluation des pratiques courantes dans les cabinets dentaires en France. Sciences du Vivant [q-bio]. 2019. dumas-03332197

HAL Id: dumas-03332197

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03332197>

Submitted on 2 Sep 2021

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

UNIVERSITE PARIS DIDEROT - PARIS 7

FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

5, Rue Garancière 75006 PARIS

Année : 2019

Thèse N° :

N° attribué par la bibliothèque :

THESE pour le DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR

en CHIRURGIE DENTAIRE

présentée et soutenue publiquement le **5 Avril 2019**

par **APAP Florian**

**DISPOSITIFS ET PROCEDURES D'IRRIGATION
ANALYSE CRITIQUE DE LA LITTERATURE ET EVALUATION DES
PRATIQUES COURANTES DANS LES CABINETS DENTAIRES
EN FRANCE**

Directeur de thèse : Docteur SEMENNIKOVA Katherine

Co-Directeur de thèse : Professeur SIMON Stéphane

J U R Y

M. le Professeur SIMON Stéphane	Président
Mme la Docteure BOSCO Julia	Assesseur
Mme la Docteure FONTANILLE Isabelle	Assesseur
M. le Docteur FOURNIER Benjamin	Assesseur
M. le Docteur MARCHI Valentin	Assesseur
Mme la Docteure ROCHEFORT Juliette	Assesseur
Mme la Docteure SEMENNIKOVA Katherine	Membre Invité

UNIVERSITE PARIS DIDEROT – PARIS 7

Présidente de l'Université :

Mme la Professeure Christine CLERICI

Doyenne de l'U.F.R. d'Odontologie :

Mme la Professeure Ariane BERDAL

Directrice Générale des Services :

Madame Pascale SAINT-CYR

JURY

M. le Professeur SIMON Stéphane

Président

Mme la Docteure BOSCO Julia

Assesseur

Mme la Docteure FONTANILLE Isabelle

Assesseur

M. le Docteur FOURNIER Benjamin

Assesseur

M. le Docteur MARCHI Valentin

Assesseur

Mme la Docteure ROCHEFORT Juliette

Assesseur

Mme la Docteure SEMENNIKOVA Katherine

Membre Invité

M. le Professeur Stéphane SIMON

Docteur en Chirurgie Dentaire
Docteur en Sciences Odontologiques
Diplôme d'Etat en Odontologie
Professeur des Universités
Praticien Hospitalier

Pour l'honneur que vous me faites de présider ce jury de thèse. Pour avoir accepté de codiriger ce travail. Veuillez croire en l'expression de ma profondeur reconnaissance et de mes sincères remerciements.

Mme la Docteure Julia BOSCO

Docteure en Chirurgie Dentaire
Diplôme de Doctorat
Maître de Conférences des Universités
Praticien Hospitalier

Pour l'honneur que vous me faites d'accepter de participer à ce jury, veuillez trouver ici l'expression de ma profondeur reconnaissance.

Mme la Docteure Isabelle FONTANILLE

Docteure en Chirurgie Dentaire
Assistante Hospitalo-Universitaire

Pour l'honneur que vous me faites accepter de juger ce travail. Soyez assuré de mon profond respect.

M. le Docteur Benjamin FOURNIER

Docteur en Chirurgie Dentaire
Diplôme de Doctorat
Maître de Conférences des Universités
Praticien Hospitalier

Je suis heureux de vous compter parmi les membres de ce jury. Pour m'avoir accueilli dans le Centre de Référence des Maladies Rares. Pour votre gentillesse et bienveillance envers les étudiants. Pour tous vos conseils et votre soutien tout au long de mes études. Veuillez trouver ici l'expression de ma profonde reconnaissance et de remerciements les plus sincères.

M. le Docteur Valentin MARCHI

Docteur en Chirurgie Dentaire
Assistant Hospitalo-Universitaire

Pour l'honneur que vous me faites en prenant part au jury de cette thèse, veuillez trouver ici mes remerciements les plus sincères.

Mme la Docteure Juliette ROCHEFORT

Docteure en Chirurgie Dentaire
Maître de Conférences des Universités
Associée

Pour l'honneur que vous me faites d'accepter de juger ce travail. Soyez assuré de mon profond respect.

Mme la Docteure Katherine SEMENNIKOVA

Docteure en Chirurgie Dentaire
Ancienne Assistante Hospitalo-
Universitaire

Pour l'honneur que vous me faites d'avoir accepté la direction de cette thèse. Pour m'avoir accordé votre confiance pour la réalisation de ce travail. Pour votre aide et le temps que vous y avez consacré. Veuillez trouver ici ma sincère reconnaissance, et tout mon respect.

TABLE DES MATIERES

1. INTRODUCTION.....	3
2. IRRIGATION EN ENDODONTIE.....	5
2.1 LES OBJECTIFS DE L'IRRIGATION	5
2.1.1 <i>Faciliter l'action mécanique des instruments.....</i>	6
2.1.2 <i>Dissoudre les tissus mous dans les zones hors d'atteinte des instruments</i>	6
2.1.3 <i>Supprimer la boue dentinaire</i>	7
2.1.4 <i>Désinfecter l'espace endodontique le plus parfaitement possible</i>	8
2.2 LES PRODUITS D'IRRIGATION CANALAIRE	9
2.2.1 <i>L'hypochlorite de sodium</i>	9
2.2.2 <i>L'EDTA.....</i>	12
2.3 LES PROCEDES D'IRRIGATION CANALAIRE.....	14
2.3.1 <i>Difficultés liées à l'irrigation canalaire</i>	14
2.3.2 <i>Méthodes actuelles d'irrigation et de désinfection canalaire.....</i>	15
3. DISPOSITIFS D'IRRIGATION CANALAIRE.....	18
3.1 LA PRESSION POSITIVE (PP).....	18
3.1.1 <i>Dynamique des fluides.....</i>	18
3.1.2 <i>Dispositifs.....</i>	24
3.1 LA PRESSION APICALE NEGATIVE (ANP)	27
3.1.1 <i>Principe</i>	27
3.1.2 <i>Dispositifs.....</i>	28
3.1.3 <i>Efficacité.....</i>	30
3.2 LE SYSTEME SAF® (SELF AJUSTING FILE)	32
3.2.1 <i>Principe</i>	32
3.2.2 <i>Efficacité.....</i>	34
3.3 ACTIVATION MANUELLE DYNAMIQUE (AMD)	35
3.3.1 <i>Principe</i>	35
3.3.2 <i>Efficacité.....</i>	36
3.4 ACTIVATION ULTRASONORE (PUI/UIA).....	37
3.4.1 <i>Principe</i>	37
3.4.2 <i>Modalité d'utilisation</i>	37
3.4.3 <i>Dispositifs.....</i>	38
3.4.4 <i>Efficacité.....</i>	41
3.5 ACTIVATION SONORE	43
3.5.1 <i>Principe</i>	43
3.5.2 <i>Dispositifs.....</i>	43
3.5.3 <i>Efficacité.....</i>	46
3.6 ACTIVATION MECANIQUE.....	49
3.6.1 <i>Principe</i>	49
3.6.2 <i>Dispositifs.....</i>	49
3.6.3 <i>Efficacité.....</i>	50
3.7 ACTIVATION PAR LASER (LAI)	51
3.7.1 <i>Principe</i>	51
3.7.2 <i>Efficacité.....</i>	53
4. CRITERES D'EVALUATION ERGONOMIQUE.....	54
4.1 INTRODUCTION.....	54
4.1.1 <i>Critères ergonomiques pour choisir un équipement.....</i>	54
4.1.2 <i>Critères économiques</i>	54
4.2 SYSTEMES D'IRRIGATION A PRESSION POSITIVE.....	54
4.2.1 <i>Seringue conventionnelle.....</i>	54
4.2.2 <i>RinsEndo® (Dürr Dental).....</i>	56
4.2.3 <i>AutoSyringe® (Vista Dental).....</i>	56
4.3 SYSTEMES D'IRRIGATION A PRESSION NEGATIVE.....	57
4.3.1 <i>EndoVac® (Kerr)</i>	57
4.3.2 <i>EndoSafe® (Vista Dental).....</i>	57
4.4 SAF® (REDENT NOVA).....	58
4.5 ACTIVATION MANUELLE DYNAMIQUE (AMD)	58

4.6 SYSTEMES D'ACTIVATION PAR ULTRASON (PUI).....	59
4.6.1 IrriSafe® (Actéon/Satelec)	59
4.6.2 Endochuck (EMS).....	60
4.6.3 EndoUltra® (Vista Dental Products).....	60
4.6.4 UltraFlo (Vista Dental)	61
4.6.5 ProUltra PiezoFlow (Dentsply).....	61
4.7 SYSTEMES D'ACTIVATION SONORE.....	61
4.7.1 EndoActivator® (Dentsply).....	61
4.7.2 Flosser® (Waterpick) + embout d'EndoActivator®	62
4.7.3 Eddy® (VDW).....	62
4.7.4 Vibringe® (Cavex).....	63
4.7.5 Irrigatys® (Itena).....	63
4.8 SYSTEMES D'ACTIVATION MECANIQUE	63
4.8.1 CanalBrush® (Coltène).....	63
4.8.2 XP Endo Finisher® (FKG/Actéon).....	64
4.9 LASER	64
5. DISCUSSION	66
6. QUESTIONNAIRE : L'IRRIGATION CANALAIRE EN ENDODONTIE EN FRANCE.....	69
6.1 MATERIELS ET METHODES	69
6.2 STATISTIQUES	70
6.3 RESULTATS	70
6.3.1 Profil du praticien	70
6.3.2 Dispositifs d'irrigation	73
6.3.3 Dispositifs d'activation en fin de préparation	76
6.3.4 Seriez-vous intéressé(e) par un nouveau système d'irrigation - d'activation ?.....	80
6.4 DISCUSSION.....	82
6.4.1 Population étudiée.....	82
6.4.2 Dispositifs d'irrigation	82
6.4.3 Dispositifs d'activation en fin de préparation	83
6.4.4 Seriez-vous intéressé(e) par un nouveau système d'irrigation - activation ?.....	84
6.5 SYNTHESE	85
7. CONCLUSION.....	86
8. BIBLIOGRAPHIE.....	88
9. ANNEXE.....	94
10. TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	98

1. Introduction

Depuis la fin des années 1980 et l'apparition des instruments de préparation canalaire en Nickel-Titane, il ne se passe pas une année sans qu'apparaissent de nouvelles limes toujours plus performantes. L'essor industriel et commercial dans ce domaine se révèle sans précédent.

Mais si les instruments et les techniques de mise en forme ont constamment évolué dans l'objectif d'atteindre un niveau proche de la perfection, les méthodes d'irrigation sont longtemps restées rudimentaires. Or, on sait que l'irrigation endodontique est autant, sinon plus importante que la préparation mécanique des canaux pour la guérison des infections radiculaires.

La préparation des parois canalaire ne peut être accomplie efficacement sans l'utilisation d'une ou plusieurs solutions dont les rôles sont multiples :

- Lubrification des parois canalaire afin d'optimiser l'action mécanique des instruments ;
- Evacuation par rincage des débris en suspension, à la fois organiques et minéraux, engendrés par le travail des limes ;
- Dissolution des composants organiques dans les régions inaccessibles à l'instrumentation mécanisée ;
- Désinfection de l'espace endodontique afin d'éradiquer au maximum les bactéries présentes dans les canaux principaux et accessoires, ainsi que dans les parois canalaire sur la plus grande profondeur possible.

Malgré les progrès techniques accomplis depuis quelques décennies, le succès de nos traitements endodontiques a atteint un plateau. L'importance du biofilm bactérien et de sa persistance dans l'espace canalaire, hors de portée de l'instrumentation mécanique est considérable. C'est le nœud du problème et la limite de nos possibilités thérapeutiques. Cela ne doit pas nous empêcher de trouver les meilleures solutions de désinfection possible dans l'espoir d'améliorer le pourcentage de succès de nos interventions.

Même si le succès des procédures dépend en grande partie de l'opérateur lui-même, nous sommes persuadés qu'à résultat égal et coût acceptable, les techniques les plus simples et les plus pratiques à mettre en œuvre ont le plus de chance d'être adoptées et maîtrisées par la plupart des praticiens pour en faire bénéficier le maximum de patients.

Des centaines de publications ont été consacrées à l'irrigation et la désinfection canalaire ces 30 dernières années. Le travail présenté ici vise à faire le point sur les pratiques en cours, sous l'angle de leur efficacité d'abord puis de leur praticité.

Dans cette optique, après avoir défini les objectifs de l'irrigation canalaire, les produits proposés sur le marché et les obstacles à surmonter dans cette entreprise, nous décrirons les différents dispositifs disponibles pour atteindre ces objectifs. Chacun d'eux sera d'abord analysé pour ses performances, puis succinctement évalué pour sa facilité de mise en œuvre et son ergonomie.

Dans une seconde partie, nous présenterons les résultats d'un questionnaire réalisé auprès d'une population de chirurgiens-dentistes exerçant en France pour connaître les moyens qu'ils utilisent pour l'irrigation canalaire, leurs critiques, leurs attentes.

La confrontation des conclusions de la première partie et de celles de la deuxième nous permettra de tirer quelques leçons et de faire éventuellement des propositions de matériels et protocoles.

2. Irrigation en Endodontie

2.1 Les objectifs de l'irrigation

Le traitement endodontique par voie orthograde répond à deux indications possibles :

- Lorsque la pulpe est enflammée de manière irréversible, il vise à éliminer toute matière vivante du système canalaire, et par conséquent l'inflammation qui en découle. Le système endodontique sera obturé ensuite au moyen d'un matériau étanche et biocompatible. Même si l'évolution des connaissances et des biomatériaux permet d'envisager dans certains cas la conservation d'une partie de la pulpe, la procédure habituelle reste encore d'actualité.

- En cas d'infection endodontique, la prolifération bactérienne provoque une inflammation non guérissable spontanément des structures périradiculaires. Cette inflammation peut être aiguë ou chronique. Elle ne peut disparaître qu'à la condition de débarrasser le système canalaire des bactéries qu'il contient avant de l'obturer.

On estime qu'il est aujourd'hui impossible de stériliser l'espace canalaire, mais qu'une réduction importante de la charge bactérienne, suivie d'une obturation la plus étanche possible pour emmurer les bactéries résiduelles est suffisante pour assurer la guérison dans un grand nombre de cas (Siquiera et Rôcas 2008).

Le pourcentage de succès des traitements canalaires sur dents vivantes s'établit à environ 92 % (Friedman et al. 2003 ; Ricucci et al. 2011). Cela s'explique par l'absence de bactéries ou leur présence en quantité limitée dans le canal au moment de l'intervention. En revanche, le succès des traitements de dents dont la pulpe est nécrosée et infectée s'est stabilisé à seulement 80 % (Su et al. 2011), et n'a guère évolué depuis des années.

On sait depuis longtemps que la solution potentielle à ces résultats insuffisants réside dans l'élimination la plus parfaite possible des bactéries envahissant le canal et attachées aux parois. Nair (1987) fut le premier à identifier la présence de biofilms endodontiques, très résistants aux agents antibactériens (20 à 1000 fois plus que leur forme planctonique). Il est généralement multi-espèces, d'épaisseur et de composition variable et peut se minéraliser (Ricucci et Siqueira, 2010).

Les conditions anatomiques et les limites techniques de notre instrumentation ne permettent pas, pour l'instant, d'améliorer significativement ces résultats. De nombreuses innovations ou évolutions en cours laissent entrevoir certains espoirs. Toutefois, même si les expériences de laboratoire semblent concluantes, il existe trop peu d'essais cliniques contrôlés et randomisés pour définir un consensus sur les protocoles.

Pour savoir comment la mener à bien et employer les méthodes les plus efficaces, il convient d'abord de comprendre quels sont ses buts et les obstacles à surmonter.

2.1.1 Faciliter l'action mécanique des instruments

En élargissant le canal, les instruments endodontiques produisent des débris dentinaires et des résidus de pulpe et de biofilm bactérien.

La solution d'irrigation qui remplit le canal lubrifie les instruments. Elle peut aussi déstructurer la dentine pariétale par son action chimique, facilitant l'action mécanique des limes. La mise en forme est plus rapide, les contraintes sur les instruments sont réduites, leur risque de fracture diminue.

Comme mentionné plus haut, toute action d'alésage s'accompagne de la production de débris. Ceux-ci s'accumulent en partie dans les spires de l'instrument, mais également sur les parois du canal et dans des zones latérales ou apicales.

La présence d'un bouchon apical de dentine, tassé par l'action mécanique des instruments et devenant de plus en plus difficile à dissocier, peut compromettre la réussite du traitement. Pire encore, les bouchons apicaux peuvent dévier les instruments endodontiques, qui risquent de créer une butée ou une fausse route dans la paroi ou à l'extrémité du canal.

Paqué et al. (2009) ont montré que les limes en rotation propulsaient des débris dentinaires dans les isthmes et les parties plates des canaux, où ils se retrouvent tassés progressivement, au risque d'être ensuite indélogeables.

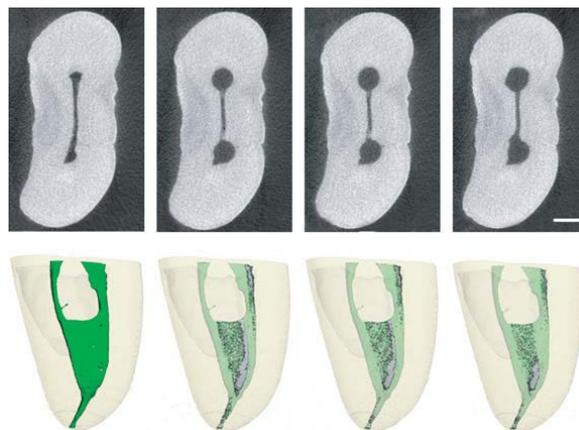


Figure 1 : Accumulation des débris dentinaires dans l'isthme de prémolaire au cours de la mise en forme (Paqué et al. 2009)

La solution d'irrigation a d'abord pour but de mettre en suspension ces débris pour empêcher qu'ils s'agglomèrent, puis de les évacuer via un flux hydrodynamique en les faisant remonter dans la chambre pulpaire. C'est donc une action de lessivage physique qui est recherchée en premier lieu. Ce flux d'irrigation devrait avoir lieu dès le début de la préparation, au moment où les premiers instruments commencent à élargir le canal.

2.1.2 Dissoudre les tissus mous dans les zones hors d'atteinte des instruments

L'une des choses les plus surprenantes que l'on découvre lorsque l'on s'intéresse à la problématique de la préparation canalaire, est que les instruments ne touchent qu'une partie des parois, même en fin de mise en forme. Nous savons depuis longtemps que l'espace endodontique ne se résume pas à un canal principal régulièrement conique depuis son entrée jusqu'à l'extrémité apicale avec un foramen unique débouchant dans le péri-apex.

L'observation au MEB de parois canalaires instrumentées et irriguées à l'hypochlorite de sodium montre systématiquement et de manière évidente, des zones instrumentées présentant des stries d'usinage au voisinage d'autres restées intactes.

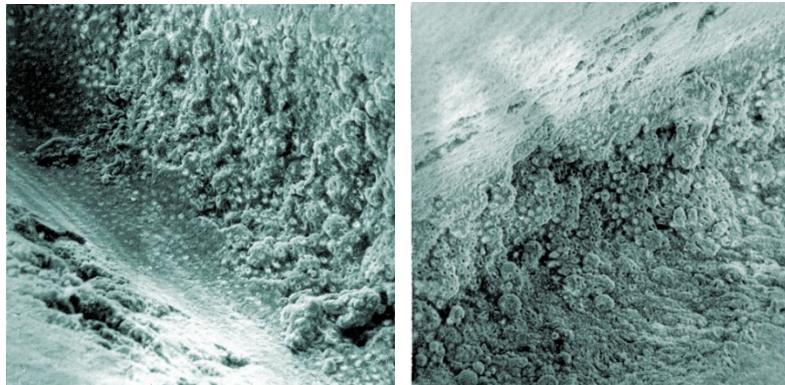


Figure 2 : Parois canalaires observées au MEB après mise en forme mécanique et irrigation à l'hypochlorite des zones instrumentées alternent avec des régions que les limes ont laissées intactes. (Document Marc Apap)

Même avec les instruments en Nickel-Titane qui suivent beaucoup plus fidèlement les courbures canalaires présentes dans plusieurs plans de l'espace, plus de 35 % des parois sont laissées intactes par les limes en rotation (Peters 2004). Les méthodes récentes de microtomoradiographies mettent parfaitement en évidence cet espace canalaire avant et après instrumentation en montrant les zones hors d'atteinte des limes mécaniques. (Hübscher et al. 2003)

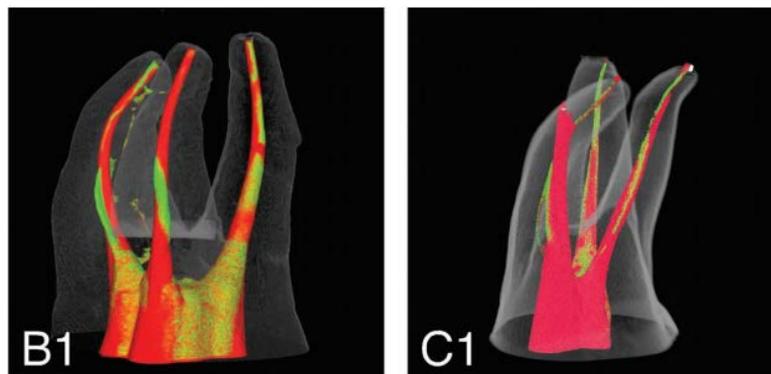


Figure 3 : Anatomie du canal radiculaire et effets de la mise en forme du canal, illustrés par tomographie micro-informatique. En vert, les zones non instrumentées. (Hübscher et al. 2003)

Le rôle de la solution d'irrigation est donc, en plus d'éliminer mécaniquement par lessivage les débris dentinaires et pulpaire générés par l'action des instruments endodontiques, de dissoudre chimiquement après diffusion à partir du canal principal, tous les tissus mous occupant l'espace endodontique hors de portée des limes.

2.1.3 Supprimer la boue dentinaire

Les limes endodontiques produisent une couche de surface qui vient immédiatement se fixer sur elle, appelée « smear layer » (ou boue dentinaire en français). Cette couche de quelques microns d'épaisseur est constituée de débris dentinaires et pulpaire et de composants bactériens agglomérés avec la solution d'irrigation.

Faut-il ou non l'éliminer avant l'obturation, le débat reste tranché. Lorsque l'on travaille sur une dent vivante non infectée, que toutes les conditions d'asepsie sont respectées et que l'obturation canalaire est parfaitement étanche, la suppression de la boue dentinaire n'est pas considérée comme indispensable. Cette pratique est toutefois de plus en plus discutée avec l'apparition des ciments biocéramiques.

Si la dent était infectée préalablement en revanche, la dentine radiculaire peut contenir des bactéries jusqu'à une certaine profondeur dans ses canalicules. De plus, cette fine couche peut également contenir des résidus de biofilm dont on sait qu'il est particulièrement résistant et peut servir de nouvelle source d'infection si l'obturation devient défectueuse. L'élimination de la « smear layer » est par conséquent nécessaire, pour permettre la désinfection de la dentine canalaire, et améliorer l'étanchéité de l'obturation canalaire.

2.1.4 Désinfecter l'espace endodontique le plus parfaitement possible

L'objectif final de la préparation canalaire est de débarrasser l'espace endodontique de tout résidu endogène (pulpe, pulpolithes, dentine infectée), exogène (matériaux d'obturation précédents, débris d'instruments) et bien sûr des bactéries.

L'importance des biofilms a été découverte récemment : les parois canalaires et même les tubuli sont tapissés de bactéries non pas sous forme planctonique – c'est-à-dire en suspension dans un liquide – mais de biofilm. Le biofilm (dont on connaît un exemple avec la plaque dentaire responsable des caries et pathologies parodontales) est une structure complexe composée de micro organismes divers, noyés dans une matrice protectrice de glycoprotéines. Sans entrer dans les détails de sa composition qui est encore imparfaitement connue, on sait qu'elle est la cause des parodontites apicales qui ne guérissent pas et qu'elle résiste à la plupart des agents antimicrobiens (Noiri et al. 2002). Les antibiotiques, par exemple n'ont pratiquement aucun effet sur ce biofilm. Pour le désorganiser et le détruire, il faut utiliser des agents chimiques à forte concentration en quantité suffisante et durant un certain laps de temps.

Cela implique non seulement d'identifier les produits en question, mais surtout les méthodes d'application qui font précisément l'objet de cette thèse.

Avant d'aller plus loin dans l'étude des dispositifs d'irrigation, intéressons-nous aux produits et solutions les plus à même d'accomplir les objectifs précisés dans ce chapitre.

2.2 Les produits d'irrigation canalaire

De l'eau courante jusqu'aux préparations combinant 2 ou 3 principes actifs différents, les produits d'irrigation canalaire proposés au fil du temps représentent un éventail très riche de possibilités.

Le but du travail présenté ici étant la description et l'analyse des dispositifs d'irrigation, nous ne ferons pas une revue exhaustive de tous les produits évoqués depuis les débuts de l'ère moderne de l'Endodontie. Seuls les plus significatifs, les plus utilisés et les plus éprouvés seront décrits ici : à ce jour, les deux solutions recommandées en Endodontie sont l'hypochlorite de sodium (ClONa) et l'acide éthylènediaminetétraacétique (EDTA) (pour revue Caron et al. 2010).

2.2.1 L'hypochlorite de sodium

Peu coûteux et facilement disponible, l'hypochlorite de sodium ou eau de Javel, est le produit le plus utilisé dans le monde comme solution d'irrigation endodontique (Basrani et Malkhassian 2015).

2.2.1.1 Mode d'action

L'hypochlorite de sodium est une base forte avec un pH supérieur à 11. Il agit comme solvant organique et lipidique (Estrela et al. 2002). Il dégrade les acides gras et les transforme en sels d'acides gras (savon) et glycérol (alcool), réduisant la tension superficielle de la solution restante (réaction de saponification). C'est cette réaction qui est mise à profit pour lubrifier les instruments et lessiver les résidus durant la préparation mécanique du canal.

Le chlore, oxydant puissant, détruit la membrane des bactéries, provoque une altération de leur métabolisme, inhibe leurs enzymes par oxydation irréversible des groupes SH, et entraîne une dégradation des phospholipides par peroxydation. (Estrela et al. 2002).

2.2.1.1.1 Action sur la pulpe

La dissolution de pulpe bovine par l'hypochlorite de sodium à différentes concentrations (0,5%, 1,0 %, 2,5 % et 5,0 %) a été étudiée *in vitro* par Estrela et al. (2002). Selon ces auteurs, la vitesse de dissolution des fragments de pulpe bovine est directement proportionnelle à la concentration de la solution d'hypochlorite.

2.2.1.1.2 Action sur la dentine

En tant qu'agent protéolytique, l'hypochlorite de sodium est capable de désorganiser la dentine qui contient 22 % de protéines, mais n'a pas effet sur son contenu minéral. De ce fait, il ne peut dissoudre la boue dentinaire, mais il favorise l'action mécanique des instruments endodontiques grâce à son action lubrifiante, et déstructurante des débris dentinaires.

Les études de Zou et al. (2010) ont permis de chiffrer précisément sa pénétration dans les canalicules dentinaires. Dans le cadre de leur dispositif expérimental, ces auteurs ont évalué entre 77 et 300 μm la profondeur de pénétration de l'hypochlorite (1, 2, 4 et 6 %) dans les tubuli. Plus la concentration, le temps d'application et la température augmentent, plus la pénétration est importante. Les valeurs les plus élevées ont été obtenue avec du ClONa à 6 % durant 20 minutes à 37°.

2.2.1.1.3 Effet sur le biofilm

Clegg et al. (2006), ont constaté que le ClONa était le seul agent capable d'éliminer physiquement les biofilms artificiels et de détruire les bactéries. Ils notent un effet dose-dépendant de l'hypochlorite, les concentrations les plus élevées ayant une activité antibactérienne supérieure. Plus la concentration de l'hypochlorite est faible, meilleures sont les chances de survie des bactéries. Les effets du ClONa sur le biofilm peuvent résulter de l'élimination des tissus organiques, de la destruction de la liaison des bactéries entre elles et à la dentine.

2.2.1.2 Effets secondaires ou indésirables

L'hypochlorite de sodium n'a malheureusement pas que des avantages. Ses inconvénients sont directement liés à sa forte réactivité chimique.

Ce produit est instable. Pour assurer leur bonne durée de conservation, toutes les solutions doivent être stockées dans des récipients étanches à la lumière, et dans un endroit frais. Si l'on utilise de l'eau de Javel non diluée, la bouteille doit toujours être scellée hermétiquement et jetée avant la date limite d'utilisation. L'ouverture fréquente d'un flacon, ou le fait de ne pas le refermer hermétiquement a un effet similaire à celui de le laisser ouvert, réduisant en conséquence sa durée de conservation.

L'hypochlorite est très corrosif. Il détériore rapidement le matériel dans lequel il circule si celui-ci n'est pas entièrement en plastique, notamment les vannes et toutes les pièces métalliques qu'il traverse (Clarkson et Moule 1998).

Les gouttelettes de ClONa vaporisées ou répandues par inadvertance autour du champ opératoire décolorent les vêtements et provoquent des taches irréversibles. Mais surtout, il est très irritant pour les tissus vivants, et cela, d'autant plus que sa concentration est élevée. Ses effets toxiques vont de l'hémolyse à l'ulcération épithéliale et la nécrose (Hülsmann et Hahn 2000). Il faut prendre garde aux éclaboussures dans l'œil du patient ou de l'opérateur. Il faut veiller à isoler parfaitement la dent traitée (digue étanche) pour éviter que le patient n'avale du produit, qui pique les muqueuses et brûle la gorge. Un rinçage abondant et rapide à l'eau suffit heureusement à dissiper les traces de liquide qui sont généralement infimes et n'entraînent aucun préjudice.

Le danger est beaucoup plus réel en cas d'extrusion d'hypochlorite au-delà du foramen apical. L'injection de l'irrigant sous pression, même légère, peut provoquer des dommages sévères largement documentés dans la littérature (Hülsmann et Hahn 2000).



Figure 4 : Accident d'extrusion apicale d'hypochlorite à 3 % sur une dent maxillaire au cours d'un traitement endodontique

2.2.1.3 Facteurs affectant l'efficacité de l'hypochlorite

2.2.1.3.1 Concentration et volume

Les concentrations des solutions d'hypochlorite de sodium les plus couramment utilisées en Endodontie sont comprises entre 0,5 et 6 %. Toutefois la concentration idéale reste encore discutée. Si certains préfèrent des concentrations faibles pour limiter le risque cytotoxique en cas d'extrusion dans les tissus péri-apicaux (Estrela et al. 2002), d'autres au contraire sélectionnent des solutions plus concentrées afin d'optimiser leur efficacité à volume constant.

Certaines études *in vitro* ont montré que les concentrations les plus élevées étaient plus efficaces contre *Enterococcus faecalis* et *Candida albicans* (Waltimo et al. 1999 ; Radcliffe et al. 2004). En revanche, les études cliniques n'ont pas montré de différences significatives d'efficacité entre des concentrations faibles ou élevées (Cvek et al. 1976 ; Bystrom et Sundqvist, 1981).

Si ces résultats restent discutés, le volume de la solution utilisé semble un point encore plus crucial en raison de l'inactivation très rapide du ClO₂. En effet, le chlore, qui est responsable de l'action protéolytique et antibactérienne de l'hypochlorite, est un élément instable. Il est consommé rapidement pendant la première phase de dissolution des tissus, probablement durant les 2 premières minutes (Moorer et Wesselink 1982). Ainsi, seul le renouvellement continu de la solution d'hypochlorite de sodium dans le canal permet d'avoir en permanence de la solution active *in situ* et d'optimiser la désinfection endocanalaire.

Ceci est d'autant plus important que les techniques de préparation canales actuelles en rotation ont accéléré le processus de mise en forme.

Il semble préférable pour le moment de se limiter à l'utilisation d'une solution modérément concentrée de 2,5 à 3 % et d'assurer son renouvellement en permanence afin d'optimiser ses effets. (Siqueira et al. 2000).

2.2.1.3.2 Durée d'action

Combien de temps faut-il au ClO₂ pour tuer les bactéries ? Certains articles montrent une destruction bactérienne en 30 minutes à une concentration de 0,5 %, et 30 secondes aux concentrations les plus élevées. Il faut interpréter ces résultats avec prudence car tout dépend des méthodes utilisées.

Haapasalo et al. (2010) ont montré que la présence de dentine retardait considérablement la destruction de l'*E. faecalis* par l'hypochlorite à 1 %. Bon nombre d'études ont été effectuées en présence d'une quantité inconnue de matière organique. Lorsque les facteurs d'incertitude sont levés, il a été démontré que le ClO₂ tue rapidement les micro-organismes cibles, même à des concentrations inférieures à 0,1 % (Vianna et al. 2004 ; Portenier et al. 2005). Cependant, *in vivo*, la présence de matière organique (exsudat inflammatoire, restes de tissus et biomasse microbienne) consomme du ClO₂ et limite son effet.

La durée d'action optimale de l'hypochlorite à une concentration donnée dans le système canalaire est encore un problème qui n'a pas encore été totalement résolu (Zehnder 2006).

2.2.1.3.3 Température et agitation

Plusieurs moyens existent pour améliorer l'efficacité de préparations à base d'hypochlorite : augmenter la température et/ou agiter *in situ* la solution d'irrigation au moyen de dispositifs vibrants à basse fréquence (soniques) ou aux ultrasons.

En 1980, Cunningham et Joseph constatent *in vitro*, que l'action bactéricide d'une solution de ClONa à 2,6 % chauffée à 37 °C était la même qu'une solution à 5,25 % à température ambiante (22 °C).

Stojcic et al., en 2010, ont évalué et comparé les effets de la concentration, de la température et de l'agitation de la solution d'irrigation sur la capacité de dissolution des tissus dans l'hypochlorite de sodium. Des températures plus élevées et l'agitation du liquide améliorent considérablement l'efficacité du ClONa. L'effet de l'agitation sur la dissolution des tissus était supérieur à celui de la température. L'agitation continue a entraîné la dissolution des tissus la plus rapide.

2.2.2 L'EDTA

Si l'hypochlorite de sodium exerce une action solvante sur les tissus organiques, il est totalement inactif sur les composants minéraux de la dentine. Pour que la solution d'hypochlorite accède aux micro-organismes contenus dans les tubuli, la phase minérale des boues dentinaires doit être préalablement éliminée.

On utilise pour cela une solution chélatante d'EDTA à 17 % qui a la capacité de "séquestrer" les ions métalliques di- et tri-cationnels comme les Ca²⁺ et Fe³⁺. Après avoir été liés par l'EDTA, ces ions restent en solution, avec une réactivité réduite.

En plus de sa capacité chélatante, l'EDTA pourrait détacher les biofilms adhérant aux parois canalaires (Gulabivala et al. 2005). Lors d'une exposition directe durant une période prolongée, l'EDTA extrait les protéines de surface des bactéries en se combinant avec les ions métalliques de leur membrane cellulaire, ce qui peut éventuellement entraîner leur mort (Hülsmann 2003).

L'EDTA exerce une action érosive sur la dentine. Il est recommandé de ne pas dépasser un temps d'action d'une minute au risque d'altérer de façon plus ou moins significative la structure dentinaire ; ce qui pourrait bien fragiliser les racines et favoriser leur fracture (Qian et al. 2011).

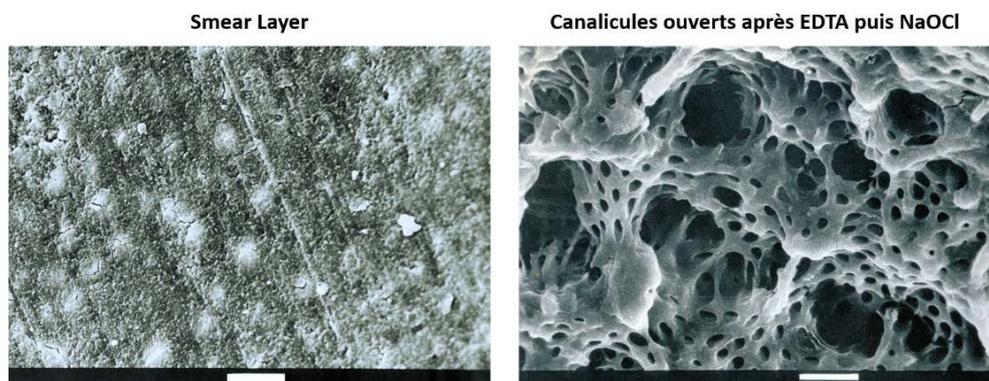


Figure 5 : États de surface de la dentine dans le tiers moyen d'un canal radiculaire observés au même grossissement (MEB)
La barre blanche représente 10 µm. (Document Marc Apap)

La séquence d'irrigation qui s'est révélé la plus efficace est : rinçage à l'EDTA pendant 1 minute après la mise en forme, suivi d'un rinçage abondant à l'hypochlorite de sodium.

2.2.2.1 Interactions entre EDTA et ClONa

Mélangé à l'hypochlorite de sodium, l'EDTA conserve sa capacité à complexer le calcium. Cependant, il fait perdre à l'hypochlorite sa capacité de dissolution des tissus, et pratiquement aucun chlore libre n'a été détecté lorsque les deux produits étaient utilisés ensemble (Grawehr, 2003). Sur le plan clinique, cela implique que l'EDTA et le ClONa doivent être utilisés séparément.

2.2.2.2 Influence de la rhéologie

Les agents chélatants peuvent être appliqués sous forme liquide ou pâteuse. L'origine des préparations pâteuses remonte à 1961, lorsque Stewart a mis au point une combinaison de peroxyde d'urée et de glycérol. Plus tard, l'oxyde d'urée et l'EDTA ont été combinés dans du polyéthylène glycol hydrosoluble (carbowax) (Basrani et Haapasalo, 2014).

Ces pâtes sont inefficaces pour empêcher la formation de la « smear layer ». En outre, au lieu de réduire les contraintes physiques sur les instruments rotatifs comme le prétendent leurs promoteurs, les lubrifiants à base de carbowax n'auraient, selon la géométrie de l'instrument, aucun effet ou seraient même contre-productifs (Boessler et al. 2007).

A ce jour, aucune solution ne rassemble toutes les qualités requises pour atteindre les objectifs chimiques recherchés (anti-bactérienne, solvante, chélatante,). Seule l'hypochlorite de sodium remplit deux de ces objectifs et doit être associée à l'EDTA pour remplir le troisième. L'hypochlorite de sodium utilisée à 2,5 % à 3 % semble être un bon compromis et devra être utilisée durant toute la préparation mécanique du canal. Son renouvellement fréquent est la condition *sine qua non* du succès du nettoyage et de la désinfection canalaire.

2.3 Les procédés d'irrigation canalaire

2.3.1 Difficultés liées à l'irrigation canalaire

Nous connaissons les objectifs de l'irrigation canalaire, nous savons quels produits utiliser, à quelle concentration et dans quel ordre. Il faut maintenant comprendre les difficultés à affronter pour mener à bien cette tâche.

2.3.1.1 Remplir la totalité du système canalaire

Remplir d'eau une cuvette ou un seau est une opération aisée. Remplir d'hypochlorite une racine de dent humaine est autrement plus difficile. Cela tient bien sûr, à la taille réduite du canal et à sa forme, étroite et allongée. Son entrée, au niveau de la chambre pulpaire, mesure moins d'un millimètre de diamètre. Son extrémité apicale, de 10 à 30/100^{ème} de mm en moyenne. Sans parler de sa section souvent aplatie, avec des isthmes, des canaux secondaires et des deltas apicaux. Jamais parfaitement rectiligne, il présente souvent plusieurs courbures dans différentes directions de l'espace.

Les outils pour introduire le liquide doivent pouvoir pénétrer le plus loin possible jusqu'au bout de la racine, en principe. Cela n'est pas forcément indispensable comme nous le verrons plus tard, mais c'est l'idée la plus logique qui vient à l'esprit, car on ne peut pas remplir un espace étroit et profond en déposant quelques gouttes de liquide à son entrée, en raison de problèmes de tension superficielle et de pression gazeuse.

2.3.1.2 Agir dès le début de la préparation

L'irrigant doit accompagner l'action des instruments de préparation canalaire le plus tôt et le plus loin possible, idéalement jusqu'à leur point de pénétration le plus profond. L'élargissement progressif du canal facilite son remplissage par la solution d'irrigation, mais si les débris ne sont pas évacués dès le début, ils peuvent s'agglomérer dans des zones d'où ils seront très difficiles à déloger par la suite.

2.3.1.3 Préserver le péri-apex

Tout comme il faut élargir le canal jusqu'à la longueur de travail mais pas plus loin, il est encore plus impératif de ne jamais faire déborder le liquide du foramen, sous peine d'endommager sérieusement les tissus péri-apicaux ou provoquer des réactions violentes et dangereuses pour le patient. Toute pression excessive doit donc être évitée si l'on envisage l'injection d'une solution d'hypochlorite à proximité du foramen.

2.3.1.4 Renouveler et agiter la solution d'irrigation

La solution d'irrigation doit pouvoir être renouvelée souvent tout au long de la préparation canalaire afin de conserver toute son activité. Cela implique la multiplication d'opérations plus ou moins délicates et fastidieuses, à moins que cela ne s'effectue automatiquement.

Pour améliorer son efficacité, il est souhaitable que l'irrigant soit agité par un moyen quelconque à l'intérieur du canal. Un flux liquidien, si possible en continu, semblerait souhaitable pour le maximum de succès.

2.3.1.5 Récupérer sans risque le liquide

La solution épuisée après avoir dissout ou mis en suspension les débris pulpaire, dentinaires et microbiens, doit être évacuée du canal par voie occlusale et récupérée aisément et rapidement, sans couler ni déborder du champ opératoire. Il ne faut pas vaporiser de gouttelettes d'hypochlorite autour de la bouche du patient, en direction des yeux et des vêtements du patient ou de l'équipe soignante.

2.3.1.6 Optimiser l'ensemble des opérations

Pour accomplir l'ensemble de ces opérations, le matériel disponible doit être fiable, offrir la possibilité de contrôler les flux et les longueurs de travail, ne pas se fracturer ou se détériorer dans le canal. Il doit pouvoir résister à la corrosion de l'hypochlorite ou être à usage unique totalement ou en partie pour celles qui sont en contact avec l'irrigant.

Il doit enfin, être facile à mettre en œuvre, confortable d'utilisation, rapide à charger en solution d'irrigation et à purger si nécessaire, simple à entretenir, le moins encombrant possible, et d'un prix abordable à l'achat comme à l'exploitation.

2.3.2 Méthodes actuelles d'irrigation et de désinfection canalaire

Pour réussir l'ensemble des opérations détaillées dans les paragraphes précédents, plusieurs systèmes d'irrigation canaux ont été proposés depuis ces 20-30 dernières années.

A l'heure actuelle on peut distinguer 4 catégories de méthodes et de dispositifs.

- ***Les systèmes de délivrance de l'irrigant***

Cette catégorie recouvre les dispositifs à pression positive (PP) et à pression négative (ANP « *apical négative pressure* »).

- ***Les systèmes associant préparation et irrigation continue***

Plusieurs dispositifs endodontiques de cette sorte ont été développés dans les années 1980, mais ils ont pratiquement tous disparu. Un seul système basé sur ce principe et apparu au début des années 2010 est actuellement opérationnel. Il s'agit du SAF® (Self Adjusting File).

- ***Les systèmes d'activation de la solution d'irrigation***

Après avoir été introduite dans le canal de manière conventionnelle, la solution d'irrigation est agitée de façon à pénétrer et agir dans les zones latérales, isthmes et parties inaccessibles aux instruments mécanisés. Cette opération est généralement effectuée une fois la mise en forme canalaire achevée. Plusieurs procédés sont disponibles pour cela.

- ***Agitation manuelle dynamique (AMD)***

Cette méthode consiste à agiter un cône de gutta calibré dans le canal selon un mouvement rapide de va et vient axial. Elle vise à mieux répartir la solution d'irrigation dans l'espace endodontique et faciliter sa diffusion.

- ***Activation ultrasonore***

Cette technique fait intervenir l'énergie d'une sonde ultrasonore placée dans le canal pour induire un flux électro-acoustique de liquide. La solution d'irrigation est agitée sous l'effet des vibrations de haute fréquence, et circule dans l'espace endodontique et les zones latérales où

elle pénètre d'une façon plus rapide et plus efficace. La PUI (« *irrigation passive ultrasonore* ») s'effectue avec le canal rempli d'irrigant introduit à la seringue, et non avec une irrigation continue. Cette deuxième option reste possible, mais a été peu documentée dans la littérature.

➤ ***Activation sonore***

Le principe de l'activation ultrasonore a été transposé à des systèmes vibrants à une fréquence plus basse que les ultrasons. Ces dispositifs appelés soniques, font vibrer un instrument lisse dans le canal à des fréquences de l'ordre de 1000 à 6000 Hz.

On trouve dans cette catégorie, des appareils très différents les uns des autres, qui ont été regroupés dans la même classe de produits en raison de leur mode d'action similaire.

➤ ***Activation mécanique***

Toujours dans l'optique d'agiter la solution d'irrigation précédemment introduite dans le canal d'une façon conventionnelle, des dispositifs mécaniques ont été récemment introduits sur le marché. Il s'agit de sortes de limes endodontiques à mouvement rotatif ou réciproque qui s'installent sur un contre-angle, lui-même branché sur le micro-moteur. Ces instruments sont fabriqués soit en métal mais sans arêtes sécantes, soit en plastique lisse.

➤ ***Activation par Laser (LAI)***

Cette méthode fait intervenir l'action de certains types de laser pour activer ou agiter la solution d'irrigation dans tout l'espace canalaire. La lumière cohérente du laser génère un puissant flux liquidien au voisinage de la fibre de l'appareil, et même à quelque distance de son extrémité, ce qui permet de limiter la pénétration de celle-ci à la chambre pulpaire.

• ***Les systèmes de délivrance et d'activation de l'irrigant***

A l'intérieur de ces 3 grandes catégories de systèmes et méthodes, il existe des dispositifs qui combinent deux principes à la fois : Seringue à pression positive et vibration sonore de l'aiguille (Vibringe®), Pression positive et mouvement alternatif de l'aiguille (Irrigatys®), PP et PUI (Pro Ultra Piezoflow® et Ultraflo®), ANP et PP (CANUI non commercialisé).

L'ensemble de ces dispositifs ou méthodes sera décrit dans les chapitres correspondant à leur mode de fonctionnement principal.

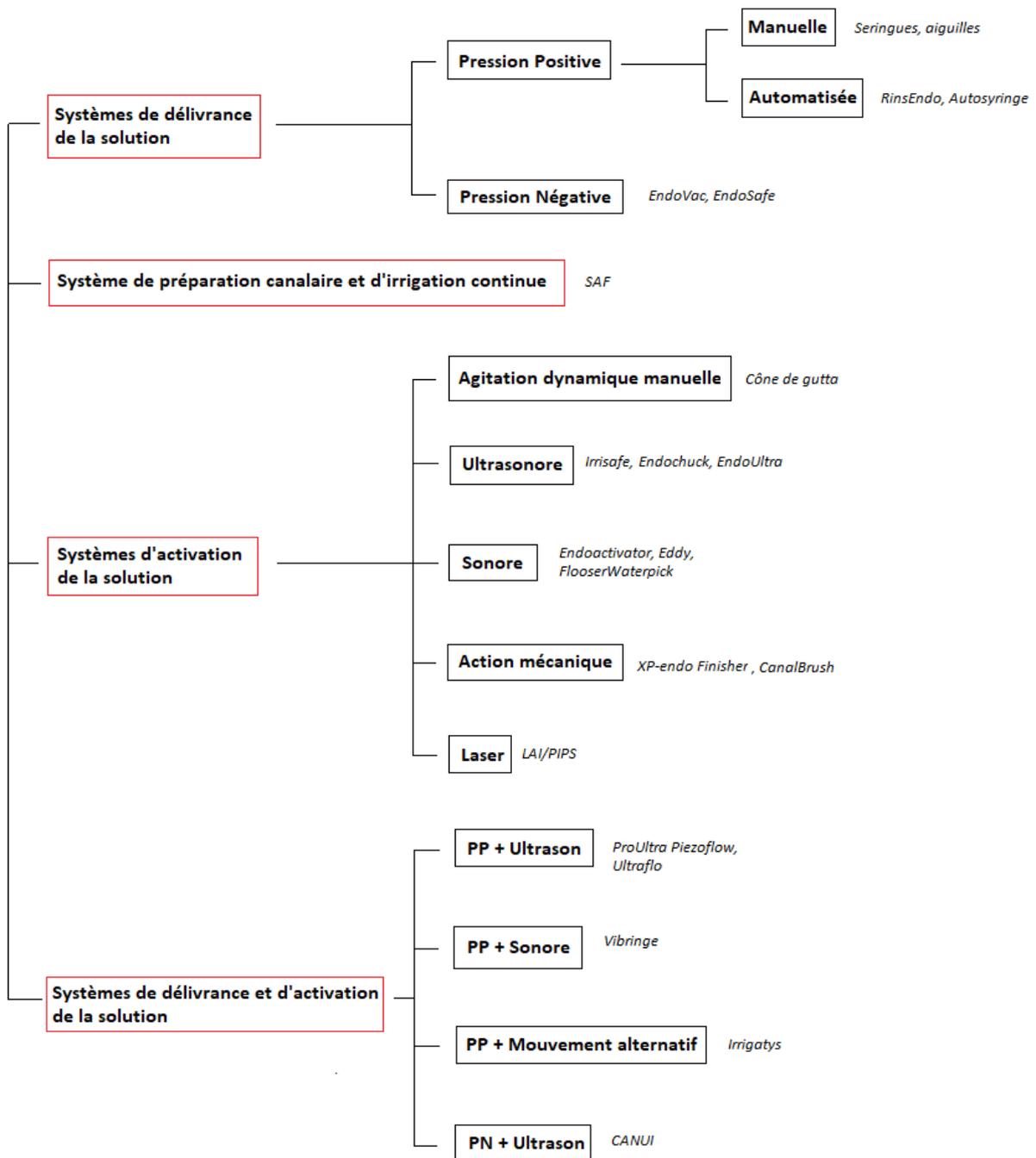


Figure 6 : Les dispositifs d'irrigation et d'activation canalaire

3. Dispositifs d'irrigation canalaire

3.1 La Pression Positive (PP)

L'irrigation du canal au moyen d'une seringue et d'une aiguille remonte à plus d'un siècle (Sedgley 2004). Malgré sa longue histoire et le développement de systèmes d'irrigation plus récents et plus sophistiqués, son utilisation est toujours recommandée (Peters 2004).

Durant l'irrigation, le praticien applique une force sur le piston de la seringue, qui pousse le liquide à travers l'aiguille et dans le canal radiculaire. Cette technique est de ce fait, désignée sous le terme de « Pression positive » (PP) (Brunson et al. 2010).

3.1.1 Dynamique des fluides

Lorsque l'on se plonge dans la littérature scientifique, on découvre une multitude de publications consacrées à la technique d'irrigation à la seringue. Elles traitent de la dynamique des fluides dans le canal en fonction de sa taille, de sa forme, de celles des aiguilles, de la pression du liquide à l'orifice d'éjection, et des dangers de l'extrusion accidentelle d'hypochlorite au-delà du foramen.

Malgré la finesse des aiguilles, celles-ci ne peuvent s'introduire profondément dans les canaux en début de préparation, sauf s'ils sont déjà très larges. Comment donc, arriver à nettoyer correctement le canal avec une seringue dont l'aiguille ne pénètre pas plus loin que les deux-tiers de la longueur de travail ? Car, comme l'écrit Pierre Machtou (2012), « le meilleur des produits ne sera d'aucune utilité s'il ne peut pénétrer profondément dans les canaux, entrer en contact avec les tissus et/ou les bactéries et être renouvelé ».

3.1.1.1 Irrigation passive vs active

Les conclusions d'Yves Yana dans son mémoire de thèse publié à Boston en 1989 fournissent un début de réponse. Cet auteur a étudié *in vivo* à l'aide de radiographies, la progression dans les canaux, de solutions radio-opaques selon deux protocoles différents (Machtou 2012). Il a défini deux modes d'irrigation : **l'irrigation passive** (IP) simplement délivrée à la seringue, et **l'irrigation active** (IA) qui permet de pousser la solution jusqu'à l'apex en y faisant travailler un instrument. Selon Machtou (2012) « l'étude confirme que la **progression de la mise en forme améliore la pénétration et l'échange de la solution** et que seule, la mise en forme conique complète du canal permet d'intéresser totalement sa trajectoire ».

Naturellement, plus le canal est élargi, meilleure est la pénétration du liquide.

Toujours selon Machtou, Klinghofer en 1990, dans la même université que Yana, duplique son protocole sur des dents nécrosées avec les mêmes résultats. La pénétration de la solution est plus facile et rapide, les canaux latéraux peuvent être concernés par l'irrigation et cette dernière ne dépasse pas le foramen apical même sur des apex ouverts si l'aiguille de la seringue reste libre dans le canal.

En 2010 Bronnec et al. publient deux études *in vitro* (a et b) reprenant un protocole similaire pour comparer irrigation active et passive sur dents naturelles instrumentées en rotation continue à l'aide de ProTaper. Les canaux mésio-lingaux de molaires inférieures ont été

préparés jusqu'à un diamètre apical de 20/100^{ème} de mm avec une conicité de 7 %. Ils ont été irrigués à l'aide d'une seringue munie d'une aiguille de 0,40 mm de diamètre (27G) qui ne pénétrait jamais plus loin que « la jonction entre les tiers coronaire et moyen ». Une solution d'hypochlorite a été introduite dans les canaux après chaque étape de la préparation, constituant l'irrigation passive. Pour mettre en évidence l'irrigation active, une solution de diatrizoate de sodium (Hypaque Sodium 50 %, Amersham Health Inc, Princeton, NJ, USA) un liquide radio-opaque de mêmes caractéristiques physiques que l'hypochlorite, a ensuite été injectée à la seringue à débit constant et sans pression. Une lime K n°8 a été utilisée en mouvements de va et vient de 5 mm d'amplitude dans le sens axial pour pousser la solution en direction apicale et une radiographie a été prise immédiatement après. Une seconde injection d'hypochlorite a de nouveau été réalisée pour évacuer l'hypaque, et une radiographie reprise pour vérifier son élimination. Pour chaque canal, 5 séries de radiographies ont été prises correspondant aux 5 étapes de la préparation. Une analyse des images obtenues a montré que le flux d'irrigant était augmenté au fur et à mesure de l'élargissement du canal. **L'agitation mécanique** de la solution au moyen d'une lime fine introduite jusqu'à la longueur de travail améliorait sa pénétration. Quant à l'irrigation passive, elle était incapable, seule, d'assurer le renouvellement de la solution dans le tiers apical.

Les conclusions des équipes françaises ont été confirmées dans une certaine mesure par les travaux de Vera et al. en 2011 et 2012. Ces derniers ont établi que maintenir la perméabilité apicale au moyen d'une lime K10 était une bonne méthode pour faire pénétrer l'irrigant au-delà de la limite de pénétration de l'aiguille. Toutefois, un diamètre apical **supérieur à 30/100 et une conicité de 6 %** étaient indispensables pour obtenir ces résultats. Nulle part dans leur étude, ils ne parlent d'agiter la solution au moyen de la lime de récapitulation. Celle-ci est utilisée uniquement pour assurer le maintien de l'ouverture du foramen.

Pour ces auteurs toutefois, et semble-t-il, la plupart des équipes qui se sont penchées sur ce problème, l'irrigation doit être un **processus dynamique** grâce auquel un flux rapide et puissant de liquide déloge les débris du canal, avant de les entraîner au dehors.

3.1.1.2 Etudes des flux d'irrigation

Cette vision dynamique de l'irrigation a conduit un ensemble de chercheurs à entreprendre quantité d'études sur les mouvements de fluides à l'intérieur du canal, en présupposant qu'un courant puissant et rapide de la solution d'irrigation était une condition indispensable à son efficacité.

Tous se sont heurtés à une difficulté évidente pour quiconque s'intéresse à la question : on ne peut produire un tel flux liquidien sur toute la longueur du canal que si l'aiguille atteint la limite apicale de préparation. Et dans ces conditions, la pression d'éjection est si importante que le produit déborde inévitablement du foramen.

3.1.1.3 Le problème du tiers apical

Au début de la préparation du canal, l'aiguille la plus fine, à moins que celui-ci ne soit déjà très large, ne peut pénétrer que de quelques millimètres. Les instruments de préparation les plus fins eux, vont beaucoup plus loin. La première lime à atteindre la longueur de travail peut être une K10 ou 15, bien plus fine qu'une aiguille de 30G.

Dès 1974, Luks dont Machtou cite les travaux (2012), avait remarqué que la solution d'irrigation délivrée à la seringue **ne va pas plus loin que le bout de l'aiguille**, en raison de la présence d'une **colonne d'air**.

Chow en 1983, a décrit les difficultés à exercer un effet de chasse au-delà de la pointe de l'aiguille et l'absence d'action de l'irrigant dans le tiers apical. Dans son étude, à l'aide de tubes de verre et d'un gel simulant les débris pulpaire et dentaire produits pendant la préparation canalaire, une corrélation claire a été observée entre la profondeur d'insertion de l'aiguille et l'action de rinçage de l'irrigant.

Des travaux récents ont été entrepris pour expliquer cette impossibilité physique à introduire le liquide plus loin que l'extrémité de l'aiguille. Pour certains auteurs, il s'agit d'un simple problème physique. Pour d'autres, cela résulte de l'action de l'hypochlorite sur les tissus organiques, qui produit du dioxyde de carbone et de l'ammoniac. Les petites bulles de gaz ainsi formées empêcheraient la pénétration et le renouvellement des irrigants dans la portion la plus apicale des canaux (Tay et al. 2010)

3.1.1.4 Elargissement apical et pénétration liquidienne

Senia et al. (1971) ont démontré l'efficacité limitée de l'hypochlorite de sodium sur la dissolution de matière organique au niveau du tiers apical et des isthmes des molaires mandibulaires. Mais ils ont constaté que la **conicité de la préparation** était déterminante dans la pénétration de l'irrigant, ce dernier atteignant plus facilement l'apex lorsque le canal était fortement élargi à ce niveau.

Pour Machtou (2012) également, la pénétration et les échanges de solution sont améliorés au fur et à mesure de la mise en forme. **L'irrigation n'est réellement efficace qu'à la fin de la préparation canalaire.**

Il cite une étude de Khademi et al. (2006) montrant que lorsque des canaux courbes sont préparés avec une conicité de 6 %, un diamètre apical de 30/100èmes suffit à permettre l'élimination des boues dentinaires dans la région apicale.

Mais fidèle aux préceptes de Schilder qui préconisait de conserver au foramen la plus petite taille possible, il affirme, en prenant pour référence les travaux de Bronnec et al. cités plus haut, que « **le même résultat peut être obtenu avec un diamètre foraminal plus petit et une conicité apicale avoisinant les 10 %** ».

Convenant que l'aiguille de 27 G est peut-être un peu large, il préconise, notamment pour éliminer le problème de la colonne d'air, des modèles de **30 G soit 0,30 mm de diamètre** comme les Navy Tips d'Ultradent, vissées grâce à leur attache Luer Lock sur des seringues de 3 ou 5 ml qui limitent la pression d'éjection.

Toujours est-il qu'il est impossible d'introduire suffisamment de liquide jusqu'à la limite de pénétration des instruments tant que le canal n'a pas atteint un diamètre suffisant. En conséquence, les risques de tassement de débris ne sont pas négligeables et impliquent une

irrigation fréquente et l'utilisation systématique des limes de récapitulation pour les dissocier avant qu'ils ne constituent un bouchon.

Avec les méthodes modernes de préparation en rotation, ce problème est minimisé car les mouvements de va et vient axiaux sont plus réduits. Mais si la lime peine à atteindre la longueur de travail, il faut la retirer, nettoyer ses spires et bien irriguer le canal avant de poursuivre la progression en direction apicale.

3.1.1.5 Aiguilles modifiées

Nombre de chercheurs ont tenté de trouver le moyen de propulser le liquide au plus près du foramen avec le moins de risques de débordement possibles.

Afin de prévenir les accidents d'extrusion d'hypochlorite au-delà du foramen, ont été proposées des aiguilles à bout fermé mais présentant un ou deux événements latéraux grâce auxquels le liquide est éjecté non pas à leur extrémité, mais sur le côté afin de repartir plus facilement en direction occlusale au lieu de fuir vers le péri-apex.

Des recherches au moyen de méthodes très sophistiquées de simulation par ordinateur ont été publiées par Boutsoukis en 2009 et 2010. Celles-ci visaient à étudier les flux liquidiens à l'intérieur de canaux rectilignes en faisant varier une quantité de paramètres comme la forme, la taille, les caractéristiques des aiguilles avec différentes ouvertures, ainsi que la dimension des canaux et leur conicité.

Selon d'anciens rapports, les aiguilles à bout fermé seraient plus efficaces que celles à bout ouvert (Kahn et al. 1995 ; Vinothkumar et al. 2007). Cependant, les études les plus récentes ont précisé les limites des aiguilles fermées, et ont clairement prouvé leur infériorité concernant le renouvellement de l'irrigant dans la région apicale (Boutsoukis et al. 2009, 2010a, 2010b, 2010c, 2010d ; Verhaagen et al. 2012). Dans les mêmes conditions, les aiguilles fermées sont toujours moins efficaces que celles ouvertes.

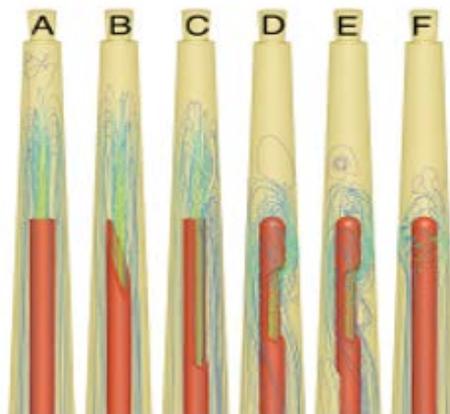


Figure 7 : « Computational Fluid Dynamics model » Visualisation de la trajectoire des particules de la solution avec différentes aiguilles (Boutsoukis 2010 a).

Une tendance générale se dégage : **le placement des aiguilles au plus près de la longueur de travail** se traduit par un échange d'irrigants plus efficace indépendamment des autres paramètres (Chow 1983 ; Sedgley et al. 2005 ; Hsieh et al. 2007 ; Bronnec et al. 2010b ; Boutsoukis et al. 2010b).

Même avec un débit optimal, il semble que la préparation du canal jusqu'à la taille de 25/100èmes et conicité 0.06 n'autorise pas un renouvellement apical efficace (Boutsoukis et al. 2010c ; Hsieh et al. 2007).

L'élargissement apical jusqu'au n°30 conduit à un échange jusqu'à 2 mm au-delà d'une aiguille à extrémité ouverte, à condition que la conicité soit d'au moins 6 % (Boutsoukis et al. 2010d). La taille 35 combinée à une conicité de 0.05-0.06 permet d'assurer un renouvellement significatif jusqu'à presque 3 mm au-delà du bout de l'aiguille (Boutsoukis et al. 2010c ; Hsieh et al. 2007).

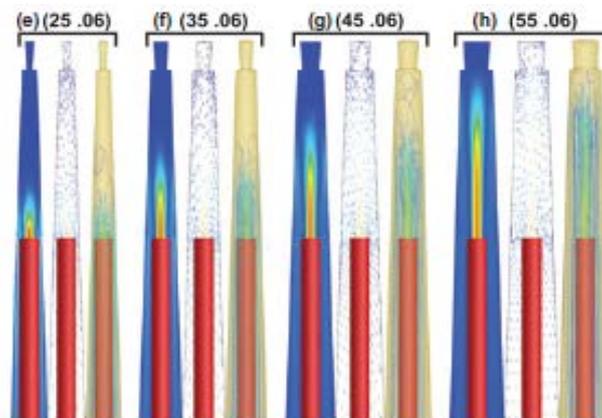


Figure 8 : Visualisation de la trajectoire des particules de la solution d'irrigation selon différent diamètre apical et conicité. (Boutsoukis et al. 2010c)

Si une aiguille à 2 événements devait être utilisée, elle pourrait être placée presque à la longueur de travail, car l'échange d'irrigant au-delà de son extrémité est très limité (Boutsoukis et al. 2010a).

Il ressort de tous ces travaux que les aiguilles à événements latéraux peuvent être utilisées sans risque jusqu'à 1 mm de la longueur de travail, tandis que celles à bout plat ne doivent pénétrer à moins de 3 mm du foramen.

La plupart de ces données sur le débit d'irrigation et le rafraîchissement de la solution ont été obtenues à partir d'expériences et de simulations informatiques de racines droites et simples. L'effet de des courbures canalaire sur l'échange d'irrigant a été étudié indirectement par Nguy et Sedgley (2006), qui ont évalué l'élimination des bactéries planctoniques bioluminescentes. D'après leurs résultats, une courbure de 24 à 28° ne semble pas créer d'obstacles supplémentaires à l'écoulement de l'irrigant même à faible débit, à condition qu'une aiguille à extrémité fermée soit placée à 1 mm de la longueur de travail. Les aiguilles d'irrigation flexibles de petite taille (30G ou 31G), peuvent pénétrer au plus près de la longueur de travail même dans des canaux très courbés.

Un débridement optimal ne semble pourtant être atteint qu'au niveau de la paroi du canal la plus proche de l'extrémité de l'aiguille, indépendamment des autres paramètres (Boutsioukis et al. 2010a, b, c, d ; Huang et al. 2008).

Il serait par conséquent avantageux de déplacer l'aiguille à l'intérieur du canal pendant l'irrigation à la seringue, afin que le flux liquidien soit efficace à tous les niveaux.

L'irrigation à la seringue est une technique simple, économique, facile à mettre en œuvre et dont la maintenance du matériel est inexistante, puisqu'à usage unique. Malgré ses avantages évidents, elle laisse un sentiment d'incomplétude.

On peut sans doute se rassurer en suivant les préceptes de Schilder et collaborateurs, qui nous incitent à préparer nos canaux avec une forte conicité mais un élargissement apical réduit. Même avec une aiguille pénétrant à la moitié de la longueur de travail, il semble possible de faire arriver l'irrigant jusqu'à l'extrémité apicale du canal et de renouveler complètement la solution en fin de préparation. Il suffit pour cela d'agiter une lime manuelle K8 ou 10 en mouvement de va et vient dans le canal après chaque passage d'instrument rotatif. La technique est simple et sans risque, notamment de dépassement incontrôlé d'hypochlorite dans le peri-apex.

A l'inverse, d'autres équipes comptent plutôt sur un flux puissant d'irrigant généré par la pression sur le piston de la seringue qui pourra, en complément de son action chimique, déloger mécaniquement les débris pulpaire, dentinaires et bactériens. Mais pour cela, il faut élargir beaucoup plus le canal, au risque de fragiliser la racine ou de déporter le foramen. L'aiguille doit dans ce cas, pénétrer jusqu'à 3 millimètres de la longueur de travail mais pas plus si elle est ouverte au bout, et la pression sur le piston exige un contrôle parfait pour éviter le danger majeur et parfois vital pour le patient de l'extrusion d'hypochlorite dans la région péri-apicale.

Avant cela et dès le début de la préparation, il est impossible, quel que soit le protocole, et parce que les aiguilles les plus fines mesurent de 25 à 40/100èmes de mm de diamètre, d'introduire la solution d'irrigation aussi loin que les instruments d'exploration et de mise en forme.

Une approche prudente doit être entreprise, notamment en irrigant souvent après le passage d'instruments manuels utilisés en mouvement de va et vient mais aussi des limes rotatives, jusqu'à ce que le canal ait été suffisamment élargi sur toute sa longueur. Le maintien de la perméabilité apicale, à l'aide d'une fine lime de récapitulation semble également indispensable pour l'efficacité du traitement.

3.1.2 Dispositifs

3.1.2.1 Manuel

3.1.2.1.1 Seringue d'irrigation

La seringue est constituée d'un cylindre et d'un piston. Une aiguille à bout plat est vissée à son extrémité grâce à une connexion Luer lock, système de verrouillage sûr, empêchant la fuite de liquide en cas de pression excessive sur le piston.

Différentes tailles de seringues existent, mais on utilise habituellement en Endodontie des modèles de 3 ou 5 ml permettant de mieux contrôler le débit d'injection et d'éviter une extrusion de solution au-delà de l'apex (Machtou 2012).

Les aiguilles d'irrigation endodontique sont également disponibles en différentes tailles, selon une nomenclature anglo-saxonne en gauge. Les plus fines qui existent ont un diamètre de 31G soit 25/100èmes de millimètres. Les plus courantes sur le marché sont un peu plus larges : 30 G (0,30 mm) et le plus souvent 27 G (0,40 mm) (Machtou 2012).

ISO 9626 :1991/Amd.1 :2001 (Aiguilles médicales)					
Gauge	Taille (mm)	Diamètre extérieur		Diamètre intérieur	n° de lime correspondante
		Minimum	Maximum	Minimum	
21	0,80	0,800	0,830	0,490	80
23	0,60	0,600	0,673	0,317	60
25	0,50	0,500	0,530	0,232	50
27	0,40	0,400	0,420	0,184	40
28	0,36	0,349	0,370	0,133	40
29	0,33	0,324	0,351	0,133	35
30	0,30	0,298	0,320	0,133	30
31	0,25	0,254	0,267	0,114	25

Figure 9 : Spécifications des aiguilles médicales selon ISO 9626:1991/Amd.1:2001 et tailles correspondantes des instruments endodontiques (Boutsioukis et al. 2007)

De plus, ils existent différents types d'aiguilles. Les aiguilles ouvertes à leur extrémité distribuent la solution en direction apicale. D'autres sont conçues pour délivrer la solution sur les côtés grâce à une ou deux fentes latérales et une extrémité apicale fermée. Ces modèles ont été proposés pour améliorer l'activation hydrodynamique de l'irrigant et réduire les risques d'extrusion apicale d'irrigant.

Monoject®	Max-i-Probe® (Maillefer)	NaviTip® Double sideport (Ultradent)
Ouverture apicale	1 événement latéral	2 événements latéraux opposés
Bout plat	Bout rond	Bout rond
31,7 mm	23, 25, 30 mm	21 et 27 mm
23 et 27 ga	23, 24, 25, 28 et 30 ga	31 ga
Acier inoxydable	Acier inoxydable	Acier inoxydable



Figure 10 : Aiguille Monoject®, Aiguille Max-i-Probe®, Aiguille NaviTip® Double sideport
Document Monoject, Maillefer, Ultradent

L'aiguille peut être courbée pour faciliter son insertion dans le canal. Elle doit être amenée le plus loin possible en direction apicale jusqu'au contact des parois, puis retirée légèrement de 1 à 2 mm, afin de ménager un espace de reflux pour la solution et les débris, et d'éviter la propulsion de liquide. Une faible et lente pression doit être appliquée sur le piston. Conjointement, il est conseillé d'activer manuellement la solution en déplaçant l'aiguille de haut en bas au sein du canal (Machtou 2012).

3.1.2.2 À assistance pneumatique ou électrique

3.1.2.2.1 RinsEndo® (Dürr Dental)

Le système RinsEndo® (Dürr Dental) est un dispositif d'irrigation utilisant une technologie hydrodynamique pour le nettoyage canalaire. Il est composé d'une pièce à main, d'une canule spécifique jetable à ouverture latérale sur 7 mm (0,45 x 28 correspondent à 26 gauges) et d'une seringue (5, 10 ou 20 ml) contenant la solution d'irrigation. La seringue peut être chargée avec n'importe quelle solution d'irrigation.

Connectée au raccord de la turbine, la pièce à main est actionnée avec la pédale du fauteuil. La solution présente dans la seringue est ainsi automatiquement délivrée au sein du canal via la canule en créant une aspiration du piston. Le cycle de pression-aspiration change approximativement 100 fois par minute, qui selon le fabricant, permettrait un échange et un nettoyage plus efficace qu'avec la technique de seringue conventionnelle. De plus, la pression déployée par le système RinsEndo® serait beaucoup plus faible (0.3 à 0.5 bar) que la pression d'une irrigation manuelle à la seringue (2 à 3 bar), limitant ainsi le risque d'extrusion apicale. La revue de la littérature actuelle est mitigée sur son efficacité en terme de nettoyage des débris et des boues dentinaires (Caron et al. 2010, Vivan et al. 2010).



Figure 11 : RinsEndo®
Document Dürr Dental

3.1.2.2 AutoSyringe® (Vista Dental)

Dans le même esprit, Vista Dental vient de développer un nouveau dispositif d'irrigation totalement automatique et sans fil, l'AutoSyringe®, toujours en instance de brevet.

Cette pièce à main est équipée d'un réservoir de 20ml connecté à l'arrière du dispositif pouvant être rempli de la solution de son choix. Le déclenchement du système s'effectue en appuyant sur un interrupteur placé sur le dessus de la pièce à main. Trois débits réglables sont possibles. Equipé d'un raccord Luer, il permet d'y fixer les aiguilles de son choix. A ce jour, L'AutoSyringe® n'a fait l'objet d'aucunes publications.



*Figure 12 : AutoSyringe®
Document Vista Dental*

3.1 La Pression Apicale Négative (ANP)

Partant de l'idée selon laquelle l'irrigation à la seringue présentait une efficacité limitée et des risques d'extrusion de l'irrigant au-delà du foramen, une autre manière de délivrer la solution dans le canal a été imaginée et désignée sous le nom de pression apicale négative, « ANP » en anglais (Apical Negative Pressure).

Son principe est extrêmement simple, mais sa mise en œuvre un peu complexe car elle fait appel à un dispositif spécifique dont il faut respecter le mode d'emploi à la lettre pour obtenir les meilleurs résultats.

3.1.1 Principe

Avec une seringue classique, on injecte le liquide sous une certaine pression en direction apicale. Pour que la solution atteigne l'apex, il faut introduire l'aiguille pratiquement jusqu'à l'extrémité du canal, au risque d'éjecter le produit au-delà du foramen avec des conséquences potentiellement dramatiques.

Avec le système ANP, l'injection s'effectue uniquement à l'entrée du canal, sans pression excessive. Une canule creuse reliée à l'aspiration chirurgicale est introduite le plus profondément possible dans la racine et aspire le liquide depuis la chambre pulpaire. Un flux liquidien s'établit donc à une certaine vitesse de l'entrée du canal jusqu'à son extrémité mais sans risquer de déborder du foramen.

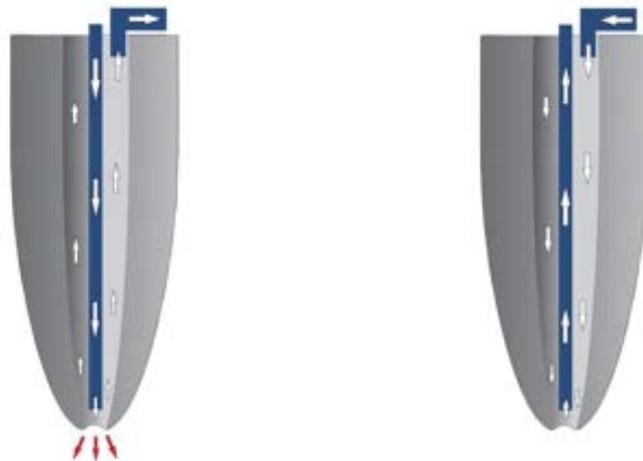


Figure 13 : Pression positive versus Pression négative
A gauche pression apicale positive exercée par une seringue - aiguille avec une aspiration coronaire, les risques d'extrusion sont importants ; A droite pression apicale négative sans risque d'extrusion

Etant donné que le canal n'est jamais très large au départ, que les débris sont assez nombreux en début de préparation et qu'il n'est pas possible d'y introduire très profondément une aiguille même fine, la méthode prévoit l'usage de 3 canules successives : une large, une moyenne et une très fine au cours de la mise en forme.

A la fin de la préparation, la canule la plus fine est en mesure d'atteindre la longueur de travail et d'aspirer le flux d'irrigant qui circulera rapidement et en abondance, sans risque et avec la meilleure efficacité possible.

3.1.2 Dispositifs

3.1.2.1 L'EndoVac® (SybronEndo, Orange, CA)

Introduit sur le marché en 2007, l'Endovac® a été le premier système commercial exploitant le principe de l'ANP. Il comprend quatre composants principaux :

- Un adaptateur multiports (MPA) qui se fixe directement sur le support d'aspiration chirurgicale et sert de support pour les différentes tubulures du dispositif.
- Un embout principal (MDT) qui se branche directement sur le port bleu du MPA. Conçu pour déposer la solution au niveau de la chambre pulpaire et évacuer automatiquement les excès, il assure un débit constant de l'irrigant sans risque de débordement.
- Une macro-canule en plastique à usage unique. Elle a un diamètre de 0,55 mm et sert à retirer les débris grossiers à l'intérieur du canal une fois la mise en forme achevée. Dans cette étape, la macro-canule et le MDT sont utilisés en même temps. Il est utile de se faire aider de l'assistante qui délivre l'irrigant avec le MDT, pendant que le praticien déplace la macro-canule de haut en bas dans chaque canal.
- Une micro-canule, aiguille métallique de 30 G (0,32 mm de diamètre) à usage unique également. Elle présente 12 orifices d'évacuation microscopiques percés au laser - de moins de 100 µm chacun - placés dans le dernier millimètre de son extrémité. Le fluide est attiré vers ces orifices, ce qui crée un vortex favorisant le nettoyage du tiers apical.



Figure 14 : Les différents composants de l'EndoVac®
Document SybronEndo, Orange, CA

Durant la mise en forme canalaire, le MDT est utilisé pour délivrer 1 ml de ClONa à 5-6% avant et après passage de chaque instrument. Une grosse seringue de 20 cc est branchée sur la tubulure à cet effet. Le liquide est délivré en poussant le piston à la main. Ce processus de réapprovisionnement évacue les débris aspirés dans la chambre pulpaire tout en fournissant simultanément de l'irrigant frais qui accompagnera l'action de l'instrument suivant. Dans une étude clinique randomisée, Cohenca et al. (2013) ont déterminé que les formes de préparation et le type d'instrument n'ont pas influence sur l'efficacité du système. Cependant, la taille minimale du canal requise pour introduire la micro-canule jusqu'à l'apex est de 35/100 mm à la longueur de travail avec une conicité de 2 %.

✓ Protocole

Macro-évacuation

La macro-canule sert à évacuer les débris grossiers du canal après l'instrumentation. Elle est utilisée pendant 30 secondes dans chaque canal en la déplaçant rapidement de son point d'insertion le plus profond, jusqu'au niveau du plancher pulpaire. Le ClONa délivré passivement via le MDT se déplace à une vitesse d'environ 6-8 ml/min. Le flux de liquide est constamment surveillé à travers la paroi transparente de la macro-canule pour s'assurer qu'aucun bouchon ne l'obstrue.

Micro-évacuation

La micro-irrigation commence immédiatement après la macro-évacuation. La micro-canule est introduite délicatement jusqu'à la longueur de travail, puis un flux continu d'irrigant est délivré avec le MDT dans la chambre pulpaire. Comme précédemment, le tuyau d'évacuation provenant de la micro-canule doit être surveillé pour vérifier le bon écoulement du liquide.

Micro-cycles

La micro-évacuation comprend 3 « micro-cycles » (ClONa, EDTA, and ClONa)

- Le premier cycle assure le nettoyage de la partie la plus apicale du canal, grâce au ClONa délivré dans la chambre pulpaire. Après 10 secondes, le flux d'irrigant est stoppé. Le canal est alors purgé de tout ce qu'il contient au moyen de la micro canule aspirante. Cette opération est répétée 3 fois. Puis la micro-canule est rapidement retirée du canal, avant la dernière purge, et le ClONa est laissé au repos 60 secondes tandis que les autres canaux sont traités de la même manière.
- Une seconde micro-irrigation à l'EDTA à 17% est ensuite initiée pour dissoudre le « smear layer ». La micro-canule est replacée à la longueur de travail et l'EDTA est introduit dans la dent au moyen d'une autre seringue branchée sur le MTD pendant 10 secondes. La micro-canule est ensuite retirée, le canal toujours rempli de liquide est laissé tel quel pendant 60 secondes.
- Une dernière phase d'irrigation est effectuée de la même manière que la première, de nouveau avec du ClONa à 5-6% qui, à la fin, est encore laissé en place durant 60 secondes avant d'être aspiré avec la canule. Des pointes de papier finissent d'assécher le canal avant son obturation.

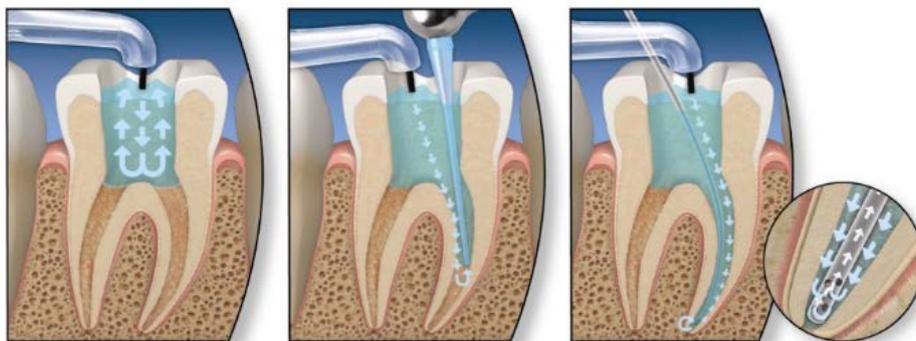


Figure 15 : Principe & Protocole du système EndoVac®
Document SybronEndo, Orange, CA

3.1.2.2 EndoSafe® (Vista Dental)

Selon la même approche, Vista Dental a développé un système simplifié.

L'EndoSafe® est un embout spécial qui s'installe sur une seringue d'irrigation classique à la place d'une aiguille conventionnelle. Le dispositif intègre une canule relativement fine, enveloppée d'une gaine en plastique souple et transparent qui permet d'introduire la solution d'irrigation dans la chambre pulpaire lorsque l'on pousse le piston de la seringue. Un tuyau étroit part de la partie inférieure de l'embase en direction de la centrale d'aspiration.

L'EndoSafe® n'a fait l'objet d'aucunes publications concernant son efficacité.



*Figure 16 : EndoSafe®
Document Vista Dental*

3.1.3 Efficacité

L'ANP a été comparée dans un certain nombre d'études, non seulement à l'irrigation classique à la seringue (PP), mais également à plusieurs méthodes d'activation. Le flux accéléré de liquide dans le canal pourrait augmenter son efficacité au même titre que l'agitation par des moyens complémentaires comme les soniques, les ultrasons ou le laser en fin de préparation. Les publications évaluant l'ANP concernent exclusivement l'utilisation de l'EndoVac®.

3.1.3.1 Elimination des débris canalaires

La revue de littérature évoque une capacité supérieure à la seringue du nettoyage des derniers millimètres apicaux (Siu et Baumgartner 2010 ; Nielsen et Craig Baumgartner 2007 ; Heilborn et al. 2010). C'est le volume d'irrigant employé et sa capacité de dissolution des tissus qui expliqueraient cette différence : dans le même laps de temps, d'EndoVac® permet d'utiliser 42 ml de solution au lieu de 15 ml dans le groupe PP (Nielsen et Craig Baumgartner 2007).

Dans le même ordre d'idée, Heilborn et al. (2010) ont publié la seule étude qui compare l'efficacité du nettoyage dans les derniers millimètres de canaux droits entre l'ANP et PP, avec différents temps d'application et de volumes de solution. L'analyse histologique n'a pas réussi à démontrer une différence significative de propreté canalaire à 3 mm de la LT. Mais à 1 mm, l'élimination des débris était meilleure avec l'ANP que la PP, bien que la durée de l'irrigation ait été plus courte.

3.1.3.2 Elimination de la boue dentinaire

Là encore, les auteurs évoquent une meilleure élimination de la « smear layer » par l'ANP qu'avec la PP, notamment dans la portion apicale des racines (Fukumoto et al. 2005 ; Saber Sel et Hashem 2011).

Mancini et al. (2018) ont constaté qu'aucun système ne retirait complètement la « smear layer » des canaux avec simplement de l'hypochlorite à 5,25 %. En revanche, ils ont remarqué que l'EndoVac® éliminait plus de boues dentinaires à 1 mm de l'apex que toutes les autres techniques, y compris les ultrasons, le laser et l'irrigation à la seringue.

3.1.3.3 Elimination bactérienne

Hockett et al. (2008) ont analysé l'efficacité de l'irrigation par ANP et PP sur l'élimination de biofilms matures (30 jours) d'*Enterococcus faecalis* dans des canaux instrumentés. Une lime n°30 a été utilisée pour racler les parois canalaire et récupérer le biofilm résiduel. Les cultures ont été négatives à 100 % dans les groupes irrigués par ANP contre 33 % dans les autres.

Cohenca et al. (2013) ont mené un essai clinique randomisé sur des premières et deuxièmes molaires mandibulaires dont les deux canaux mésiaux étaient séparés. Les résultats ont été pratiquement identiques à ceux de l'étude d'Hockett et al. *in vitro*.

Malgré quelques limitations comme le fait que les solutions d'irrigation ne sont pas forcées dans les irrégularités du canal avec l'ANP, cette technique est par nature moins dangereuse que la seringue à pression positive, essentiellement pour le rinçage de la portion apicale des canaux. A l'issue d'une revue systématique pourtant sur une sélection de 14 expérimentations *in vivo* et une étude clinique à partir de 489 publications, Konstantinidi et al. (2017) ont conclu que l'ANP pouvait être plus efficace que la PP lorsque l'irrigation à la seringue n'était pas optimale, mais qu'il n'y avait pas suffisamment d'évidences pour proclamer qu'une des deux méthodes était supérieure à l'autre. Le niveau de preuves actuelles est trop bas, et les conclusions des études doivent être interprétées avec prudence.

Même si l'ANP a pu donner des résultats très positifs, il ne semble pas que cette méthode dispense d'activer les solutions d'irrigation en fin de préparation si l'on souhaite optimiser la désinfection canalaire

3.2 Le système SAF® (Self Adjusting File)

3.2.1 Principe

Le dispositif dont il est question ici est un système tout à fait différent de ce qui a été proposé par ailleurs. Il a été mis au point par une équipe israélienne (Zvi Metzger et al.) et commercialisé au tout début des années 2010 (ReDent Nova).

Le SAF® sert à la fois à élargir et nettoyer le canal par action mécanique, avec une irrigation continue tout au long de la procédure.

Le « Self Adjusting File » a la forme de fuseau creux et ajouré, constitué d'un treillis de nickel-titane présentant en surface, de tous petits reliefs abrasifs. Sa conception dérive de celle des stents utilisés en cardiologie pour maintenir ouverts les vaisseaux et faciliter l'écoulement du sang.

D'un diamètre « au repos » de 1,5 mm ou 2 mm selon le modèle, elle se comprime dans le canal, au point d'atteindre la longueur de travail même lorsque celui-ci n'est élargi qu'à 20/100^{ème} de millimètre à l'apex.



*Figure 17 : SAF®
Document ReDent Nova*

La lime SAF® ne travaille pas en rotation. Elle est animée, via une tête de contre-angle spéciale, d'un mouvement de va et vient axial à la fréquence de 5 000 allers-retours par minute. Elle empêche toute rotation de l'instrument lorsqu'il est en contact avec les parois canalaires mais effectue une rotation lente pour chaque mouvement de sortie de la lime, autorisant le changement d'expositions des faces abrasives au contact des parois.

Le principe du système est d'effectuer un élargissement limité, homothétique à la section du canal, à l'opposé du travail des limes rotatives qui usinent les parois dentinaires, tantôt d'une manière excessive, tantôt insuffisamment, notamment dans les canaux ovales ou aplatis.

Combiné à cet élargissement mécanique contrôlé, un flux d'hypochlorite est délivré grâce à une pompe, via un petit tuyau abouché perpendiculairement au manche de la lime.

L'irrigation continue et les mouvements de va-et-vient axiaux, ainsi que ceux imprimés de bas en haut par la main de l'opérateur, conduisent le liquide depuis l'intérieur du treillis métallique le long des parois canalaires jusqu'à l'extrémité apicale du canal. La solution constamment renouvelée peut ainsi agir en même temps que se forment des débris, qui sont évacués par retour du flux en direction de la chambre pulpaire.

Comme son nom l'indique, la lime s'ajuste à la morphologie du canal. (Hof et al., 2010 ; Metzger et Kfir, 2015). Lorsqu'elle est insérée dans un canal ovale d'un diamètre mésio-distal de 0,2 mm, un SAF® de 1,5 mm se comprimera dans le sens MD tout en s'écrasant dans le sens vestibulo-lingual, atteignant un diamètre de 2,4 mm dans ce sens (Hof et al. 2010 ; Metzger et Kfir 2015).

Ceci se produira même si l'opérateur n'est pas conscient que le canal est ovale.

La lime SAF® ayant une pointe asymétrique, elle peut, grâce à sa faculté de tourner librement dans le canal, trouver par elle-même le meilleur chemin pour atteindre l'extrémité du canal et agir sur le maximum de parois

La pompe d'irrigation, dénommée EndoStation®/VATEA® est un dispositif autonome séparé du contre-angle, relié à lui par un tuyau externe. Elle est dotée d'un réservoir d'irrigation intégré de 500 ml et alimentée par une batterie rechargeable actionnant une pompe péristaltique qui pousse l'irrigant dans le tuyau puis la lime SAF® sur le contre-angle. Son débit est réglable de 1 à 10 ml/min.



Figure 18 : SAF® et système EndoStation®
Document ReDent Nova

La lime étant creuse et ajourée, aucune pression n'est générée à l'intérieur du treillis, et le liquide d'irrigation s'écoule librement autour et à l'intérieur. Le SAF® peut être défini comme un système d'irrigation sans pression qui est appliqué tout au long du processus de mise en forme du canal (Metzger et Kfir 2015).

Des expériences *in vitro* ont montré que grâce aux mouvements de la lime, le renouvellement complet de la solution s'effectue en 30 secondes. Lorsque le système SAF® est utilisé pendant 4 minutes, comme l'exigent les instructions du fabricant, l'hypochlorite de sodium est continuellement remplacé dans la partie apicale du canal par une solution fraîche et entièrement active au moins 8 fois.

✓ **Protocole** (Metzger et Kfir 2015)

- Le cathétérisme est effectué avec des limes K10 pour déterminer la longueur de travail.
- La préparation canalair est ensuite réalisée jusqu'à la lime K n°20 afin de sécuriser le passage de la lime SAF®. Le fournisseur recommande également d'évaser l'entrée canalair avec un foret de Gates de petite taille pour faciliter la pénétration de l'instrument.
- Le SAF® est monté sur la tête du contre angle et raccordé au système EndoStation® rempli d'hypochlorite à 5 %. Il est recommandé de régler le débit à 5 ml/min. Le stop en silicone est réglé à la longueur de travail.
- La lime est ensuite délicatement insérée dans le canal, jusqu'à atteindre la longueur de travail en effectuant des mouvements de va et vient. Deux cycles de 2 minutes doivent être effectués par canal.
- Le ClONa est ensuite remplacé par l'EDTA introduit dans le canal à l'aide d'une seringue et d'une aiguille. Il est agité pendant 30 s par le SAF® avec la pompe d'irrigation éteinte.
- Un rinçage final à l'hypochlorite est effectué en rallumant la pompe, pendant 1 minute.

3.2.2 Efficacité

3.2.2.1 Elimination des debris canalaires

Plusieurs études ont démontré l'efficacité du SAF® pour nettoyer la portion apicale des canaux (Metzger et al. 2010a, 2010b, 2013 ; Adigüzel et al. 2011 ; Jadhav 2016) ainsi que des zones latérales (De-Deus et al. 2011 ; Yugit-Özer et al. 2011 ; Lin et al. 2013).

Paqué et Peters (2011) ont également évalué la qualité du nettoyage des canaux radiculaires par micro-tomographie numérique. Quand les limes rotatives sont utilisées des canaux ovales ou courbes, une grande partie des parois du canal reste hors de portée des instruments. Le pourcentage de zone non instrumentées peut atteindre 70 % dans les canaux ovales (Paqué et al. 2010) et jusqu'à 45 à 50 % dans les canaux courbes des molaires maxillaires (Peters et al. 2003). Lorsque le SAF® a été utilisée dans des conditions similaires, le pourcentage de parois canalaires non affectées par la procédure est tombé à 23 %. Cela indique de manière indirecte, une élimination plus efficace de tout le matériel qui aurait pu rester accroché aux parois du canal.

3.2.2.2 Elimination de la boue dentinaire

Comme tout dispositif de mise en forme, le SAF® génère une couche de débris. Néanmoins, l'utilisation ultérieure d'EDTA et son activation par les vibrations de la lime élimineraient efficacement la « smear layer », même dans la zone de cul-de-sac apical (Paqué et al. 2012). Les équipes d'Adigüzel (2011) et de Metzger (2010a) ont constaté une élimination totale de la boue dentinaire dans le tiers apical dans 50 à 65 % des cas.

3.2.2.3 Elimination bactérienne

Siqueira et al. (2010) ont comparé l'efficacité de la désinfection de canaux ovales plats infectés. L'instrumentation rotative combinée à l'irrigation à la seringue et l'aiguille a laissé 55 % de canaux avec des cultures positives après nettoyage et mise en forme. Lorsque le système SAF® a été utilisé avec irrigation continue à l'hypochlorite, la proportion de cultures positives est tombée à 20%.

Toutefois, dans une étude plus récente du même groupe (2013), le SAF® n'était pas meilleur que les limes rotatives pour désinfecter les isthmes infectés de canaux mésiaux. Tous les systèmes testés entraînaient un pourcentage élevé de cultures positives à la fin de la procédure.

Le système SAF® est un moyen de préparation canalair, en même temps que d'irrigation. Il présente de nombreux avantages en termes d'efficacité de nettoyage, mais quelques limitations. Sa capacité à élargir le canal est réduite, en raison du faible pouvoir abrasif des limes compressibles, et sa mise en œuvre, qui doit faire intervenir conjointement un micro-moteur sur lequel on branche le contre-angle, et un système de pompe indépendant pour délivrer la solution d'irrigation, souffre d'une ergonomie perfectible.

3.3 Activation Manuelle Dynamique (AMD)

Partant des études entreprises en 1980 pour son mémoire de thèse, Pierre Machtou propose une méthode simple pour activer la solution d'irrigation dans le canal, tout au long de la procédure de mise en forme et en fin de préparation. Cette technique est désignée sous le nom de MDA (Manual Dynamic Activation) ou Activation Manuelle Dynamique en français.

3.3.1 Principe

L'irrigation dynamique manuelle peut être réalisée avec des limes manuelles ou un cône de gutta-percha bien ajusté (Machtou 2015).

L'activation commence dès le début de la préparation, lorsque les limes agissent dans le canal dans lequel a été introduite la solution d'irrigation. Les instruments poussent le liquide en direction apicale plus loin que l'aiguille de la seringue. Une fois la longueur de travail atteinte, un mouvement de va et vient axial permet à la solution de remplir tout l'espace canalaire. A ce stade, la quantité d'irrigant est limitée. L'utilisation répétée de la lime de perméabilité au cours de la mise en forme permet d'éliminer les bulles de gaz, et de déplacer puis renouveler l'irrigant jusqu'à l'apex (Vera et al. 2012 ; Bronnec et al. 2010b). L'optimum est atteint lorsque le canal est suffisamment large pour qu'une quantité conséquente de solution pénètre et agisse jusqu'au voisinage du foramen.

Pour Machtou, « l'AMD est un moyen simple mais rentable d'aider l'irrigant à entrer en contact avec les parois canalaires, à atteindre la partie apicale du canal [...] Elle génère des changements de pression intra-canalaires plus élevés pendant le mouvement d'entrée et de sortie du cône de gutta. La fréquence des va-et-vient crée des turbulences et améliore la diffusion par les contraintes de cisaillement. La présence d'un mince espace de reflux entre le cône et les parois du canal est critique pour permettre à l'irrigant de revenir le long du cône et induire un effet hydrodynamique efficace ».

✓ **Protocole** (Machtou 2015)

- Sélectionner un cône de gutta de la taille du canal, mais d'une conicité légèrement inférieure.
- Ajuster le cône à la longueur de travail, puis couper 1 mm de son extrémité apicale.
- Après aspiration de l'hypochlorite de sodium, le canal est rempli avec 1 ml d'EDTA
- Agiter manuellement le maître-cône en appliquant un mouvement ascendant et descendant de 2 mm d'amplitude, à la fréquence de 100 coups pendant environ 1 min.
- Délivrer ensuite 1 ml d'EDTA avec l'aiguille d'irrigation pour éliminer les débris. L'EDTA est ensuite aspiré pour éliminer toute action chélatante résiduelle.
- Rincer le canal avec 1 ml de ClONa.
- Répéter le même protocole (50 aller-retour) pendant 30 s.
- Effectuer un rinçage final avec 3 ml de ClONa.

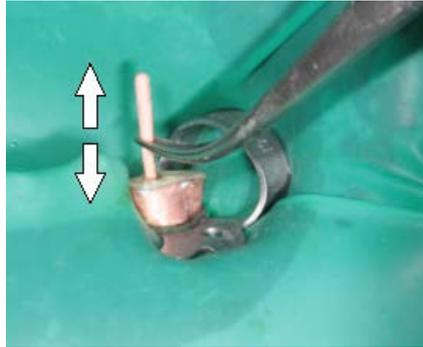


Figure 19 : Activation de la solution avec un maître-cône selon un mouvement vertical de faible amplitude

3.3.2 Efficacité

3.3.2.1 *Élimination des débris canalaires*

Dans une étude au MEB, Caron et al. (2010) ont obtenu un excellent nettoyage des parois canalaires et l'absence de « smear-layer » après utilisation de l'AMD dans des canaux sévèrement courbés de molaires mandibulaires suite à une mise en forme correcte et l'obtention d'une conicité apicale suffisante. Le degré de propreté était significativement supérieur à celui obtenu après l'utilisation d'une seringue conventionnelle (aiguille de 40/100).

De plus, dans un modèle simulant des débris placés à l'intérieur de racines dentaires, Deleu et al. (2015) ont montré que l'agitation manuelle dynamique était supérieure à l'irrigation à la seringue seule, mais inférieure à l'activation par laser de la solution d'irrigation.

3.3.2.2 *Élimination de la boue dentinaire*

De nombreuses études indiquent que l'AMD permet d'obtenir des surfaces canalaires extrêmement propres avec une persistance mineure de boue dentinaire (Saber Sel et Hashem 2011 ; Andrabi et al. 2013).

3.3.2.3 *Élimination bactérienne*

Huang et al. (2008) ont utilisé un modèle de biofilm de collagène coloré. Ils ont montré que l'agitation manuelle du maître-cône était significativement plus efficace pour éliminer le collagène des surfaces du canal que l'irrigation statique.

En se servant d'un modèle expérimental utilisant des racines artificielles en résine réalisées par impression 3D puis infectés par *E. faecalis* durant 10 jours, Mohammed et al. (2016) ont montré que l'agitation manuelle ou sonique d'hypochlorite éliminait moins bien les résidus bactériens que l'activation ultrasonore.

L'AMD est assurément une méthode simple, rapide à mettre en œuvre et particulièrement économique puisqu'elle ne coûte qu'un cône de gutta par canal. Son efficacité est supérieure à celle de la seringue d'irrigation conventionnelle mais pas autant que les techniques faisant intervenir un matériel plus sophistiqué, tout au moins *in vitro*.

3.4 Activation ultrasonore (PUI/UIA)

La première utilisation des ultrasons en Endodontie remonte à 1957 par Richman RJ (Van der Sluis 2007). Ils ont été remis au goût du jour vers les années 1980 par Martin et Cunningham (1982a, 1982b, 1982c, 1984, 1985 ; Cunningham et al. 1982a, 1982b ; Martin et al. 1980a, 1980b) qui les ont utilisés pour la préparation canalaire en même temps que l'irrigation. Cette technique a toutefois été rapidement abandonnée en raison de son efficacité limitée, et des risques de fausses routes et redressement des courbures liées à la conception des instruments. Le principe actif des ultrasons est aujourd'hui de nouveau exploité, mais dans un objectif et un champ d'action totalement différents : ils sont employés uniquement pour agiter la solution d'irrigation et non plus associés à des limes de mise en forme canalaire. Cette technique est désignée en anglais sous le nom de PUI (Passive Ultrasonic Irrigation). Les limes ultrasonores utilisées ne présentent plus de parties sécantes, elles peuvent être lisses ou torsadées sans lames de coupe.

Il a récemment été proposé de remplacer ce terme par UAI (Ultrasonic Activated Irrigation) ou « Irrigation Activée par Ultrasons », plus explicite et moins sujet à confusion.

3.4.1 Principe

Les ultrasons (US) sont des vibrations de très faible amplitude, mais de fréquence élevée (20-40000 Hz), qui dépassent les limites de l'audition humaine.

Lorsqu'une onde ultrasonore parcourt un liquide, des microbulles se forment en son sein, qui implosent en produisant un effet mécanique désigné sous le nom de cavitation. C'est cette propriété qui est mise à profit dans les bacs de nettoyage aux ultrasons. (Van der Sluis, 2007)

On a cru un temps que le nettoyage des canaux était dû à la cavitation ultrasonore. Cela n'est pas clairement démontré (Ahmad et al. 1988).

Ce serait plutôt le flux acoustique, une agitation des fluides au contact de l'instrument soumis à la vibration ultrasonore, qui produit l'effet recherché (Ahmad et al. 1987). Ces auteurs ont défini ce phénomène comme « la circulation unidirectionnelle et régulière d'un fluide à proximité d'un petit objet vibrant. Le fluide est généralement transféré de l'extrémité apicale de la lime à son extrémité coronaire. La vitesse du flux est plus grande à l'extrémité apicale et plus faible dans la partie haute de l'instrument ».

Ces micros courants produisent des contraintes de cisaillement hydrodynamique suffisantes pour éliminer les débris et la couche de boues dentinaires, permettant d'améliorer l'action nettoyante de l'irrigant (Van der Sluis, 2007).

Toutefois, pour obtenir une action efficace, il est nécessaire que la lime puisse vibrer librement dans le canal, c'est-à-dire sans contraintes qui pourraient diminuer la diffusion de l'irrigant. (Walmsley et Williams 1989 ; Ahmad et al 1992).

3.4.2 Modalité d'utilisation

Deux méthodes de rinçage peuvent être utilisées pendant la PUI : une irrigation intermittente à l'aide d'un système à pression positive annexe, ou une irrigation continue par un apport constant de solution.

Dans la technique de rinçage intermittent, l'irrigant est injecté dans le canal radiculaire au moyen d'une seringue et renouvelé après chaque cycle d'activation ultrasonore qui dure 1 minute. L'opération est généralement répétée 1 à 2 fois (2 à 3 cycles en tout).

Cette technique est un peu laborieuse et prend du temps (Haidet et al. 1989 ; Archer et al. 1992). La nécessité de réapprovisionner l'irrigant est due au fait que les débris pulpaire et dentinaires, les bactéries et le biofilm satureront la solution d'irrigation et augmentent sa viscosité au point qu'aucune activité ultrasonore ne peut plus se produire. Cet effet a été rapporté par Weller et al. (1980) et Moorer et Wesselink (1982). De plus, des recherches ont montré que le rafraîchissement du ClONa pendant la PUI augmente la réaction du ClONa (Macedo et al. 2014 ; van der Sluis et al. 2010) et améliore le nettoyage des canaux.

L'irrigation continue, quant à elle, nécessite un dispositif de distribution spécifique de la solution, et pose certains problèmes comme la vaporisation du produit autour du champ opératoire. Des aiguilles d'irrigation ont été mises au point pour approvisionner directement la solution en profondeur dans les canaux tout en étant simultanément activée par les ultrasons. Ces systèmes désignés sous le nom d'Irrigation Continue par Ultrasons (CUI), ne sont encore que très peu utilisés.

Si l'on se réfère à la littérature, très peu, sinon aucune étude ne compare la PUI/UAI intermittente ou continue avec le même équipement.

3.4.3 Dispositifs

3.4.3.1 Irrigation Discontinue

3.4.3.1.1 Les inserts IrriSafe® (Satelec)

L'IrriSafe® est un insert endodontique utilisé pour l'irrigation passive aux ultrasons (PUI). C'est un instrument non-coupant, muni d'une pointe "émoussée".

Il peut être utilisé avec tout type de détartreur à ultrasons piézoélectrique de la marque Satelec/Acteon ou compatible, disposant du mode "endo". Cependant, les appareils équipés de la nouvelle électronique Newtron, procureront les rendements les plus efficaces, selon le fabricant. Il est recommandé de l'utiliser à une puissance moyenne (30-35% du maximum).

Il existe en 2 longueurs (21 et 25 mm) et 2 diamètres (0,20 et 0,25mm) permettant de gérer toutes les situations cliniques.

En fin de préparation, le canal est d'abord rempli d'hypochlorite de sodium à l'aide d'une seringue ou d'un dispositif à pression positive. L'IrriSafe® est ensuite inséré dans le canal, à 2 mm en retrait de la longueur de travail puis activé pendant 1 minute en appliquant des mouvements de va et vient axiaux. L'opération doit être renouvelée au moins deux fois afin de garantir un bon nettoyage.



Figure 20 : Insert IrriSafe®
Document Marc Apap

Il faut désactiver l'arrivée d'eau du détartreur sur lequel il se branche lorsque l'on veut s'en servir de cette façon. Si l'on dispose d'un équipement doté d'un réservoir séparé, comme sur certains détarteurs de table, il est possible de remplir celui-ci d'hypochlorite, et de se servir de l'IrriSafe avec une irrigation continue qui remplacera avantageusement la seringue, y compris en cours de préparation. Il faut dans ce cas, imprimer à l'instrument un mouvement de va et vient axial pour favoriser la diffusion de l'irrigant au moins jusqu'à sa profondeur d'enfoncement maximal dans le canal.

3.4.3.1.2 Endochuck® (EMS)

Si l'on possède un détartreur d'une autre marque que Satelec/Actéon ou compatible, il existe des inserts spéciaux qui peuvent se visser sur la pièce à main ultrasonore et activer les solutions d'irrigation de la même manière que l'IrriSafe.

L'Endochuck de la société EMS est proposé avec plusieurs angles au choix (90 et 120°), entre le manche et la partie active. On fixe dessus grâce à un petit écrou, une sonde lisse ou une lime K qui peuvent être changées sans qu'il soit besoin de remplacer entièrement l'insert en cas de perte d'efficacité ou de détérioration.



*Figure 21 : Insert Endochuck® 120°
Document EMS*

3.4.3.1.3 EndoUltra® (Vista Dental Products)

Développé il y a quelques années par la société américaine Vista Dental Products, l'EndoUltra est actuellement distribué en France par la compagnie nationale Micro-Mega.

L'EndoUltra® est une pièce à main automatique et sans fils destiné à activer la solution d'irrigation. Equipé d'un insert en titane lisse et à pointe mousse, il est capable de générer des fréquences ultrasonores de l'ordre de 40 000Hz, imperceptibles à l'œil nu. L'activation de la solution en fin de préparation est déclenchée par un interrupteur sur le manche du dispositif. Il est recommandé de placer l'insert à 2-3mm en amont de la longueur de travail, en effectuant au moins 5 cycles de 30 secondes.



*Figure 22 : Système EndoUltra®
Document Vista Dental Products*

3.4.3.2 Irrigation Continue

3.4.3.2.1 UltraFlo® (Vista Dental)

L'UltraFlo® est un appareil piézo-électronique sans fil, compact et alimenté par batterie, qui active et irrigue simultanément. Avec ses réservoirs de 20 ml, il est possible d'obtenir une irrigation constante et continuellement renouvelée, autorisant une mise en suspension et un nettoyage plus performant qu'un système d'irrigation discontinue.



*Figure 23 : Système UltraFlo®
Document Vista Dental*

3.4.3.2.2 ProUltra® Piezoflow® (Dentsply Tulsa Dental)

Commercialisée par la société Dentsply Tulsa Dental, le ProUltra® Piezoflow® est une aiguille de 25 ga (50/100èmes de mm) à usage unique, montée sur une pièce à main ultrasonore.

A la base de l'aiguille, un raccord avec un système de tuyauterie externe approvisionne la solution dans l'aiguille. Le système ProUltra® Piezo Booster est chargé d'une seringue de 20 ml remplie d'hypochlorite de sodium.

La pédale de commande de l'appareil permet de déclencher l'agitation ultrasonore de l'aiguille, tandis que l'assistante délivre la solution en poussant manuellement le piston de la seringue. Une activation d'une 1 minute est recommandée, associée à un mouvement de pompage vertical dans le canal. L'avantage de ce système est la possibilité de mettre un stop sur l'aiguille contrairement aux autres systèmes ultrasonores.



*Figure 24 : Système ProUltra® Piezoflow®
Document Dentsply Tulsa Dental Specialties*

3.4.1 Efficacité

De nombreux auteurs ont tenté d'évaluer l'efficacité du PUI pour éliminer les débris, boues dentinaires, et bactéries. Tous l'ont comparée à l'irrigation à la seringue, étalon standard pour vérifier sa supériorité éventuelle.

3.4.1.1 Elimination des débris canalaires

Lee et al. (2004a, b) et van der Sluis et al. (2005) ont démontré que la PUI améliorait significativement l'élimination des débris en fin de préparation canalair par rapport à la seringue. La conicité jouerait un rôle majeur dans cette échange de solution, les meilleurs résultats étant obtenus avec des conicités de 6 à 8 % voir 10 %. En 2006, ces mêmes auteurs ont étudié un facteur crucial mais jusqu'alors peu documenté : le volume de solution final. Il apparaît qu'une petite quantité de solution (6 ml) délivrée à la seringue puis activée par PUI est tout aussi efficace qu'un flux continu (50 ml) de solution associée aux ultrasons.

En 2009, de Gregorio et al. ont rapporté qu'avec la PUI/UAI, l'irrigant pénétrait beaucoup mieux que l'irrigation à la seringue dans des canaux latéraux créés artificiellement. Des résultats similaires ont été obtenus par Spoorthy et al. (2013) et Al-Jadaa et al. (2009a et b).

3.4.1.2 Elimination de la boue dentinaire

En ce qui concerne l'élimination de la « smear layer », les résultats sont moins tranchés, sans doute en raison des différents types et concentrations de solutions d'irrigation testées.

Lorsque le ClONa était utilisé seul, des études ont montré l'élimination presque complète de la smear layer à différents niveaux du canal. (Alaçam et al. 1987 ; Cameron, 1983, 1987, 1988). Lorsque le ClONa était combiné avec l'EDTA, la recherche a montré une nette amélioration dans l'élimination de cette couche (Andrabi et al. 2014 ; Blank-Goncalves et al. 2011). Cependant, certaines études n'ont pas trouvé que le PUI/UAI était très efficace pour enlever la couche de boues pariétales même lorsque le ClONa et l'EDTA étaient utilisés (Saber et Hashem 2011 ; Tinaz et al. 2006 ; De Castro et al. 2016).

De Castro et al. (2016) n'ont pas constaté que l'agitation ultrasonore d'une solution d'EDTA améliorait l'élimination du smear layer comparée à son introduction à la seringue. Les ultrasons auraient donc un effet limité sur l'EDTA contrairement à leur action sur l'hypochlorite.

3.4.1.3 Elimination antibactérienne

Un grand nombre d'études ont rapporté une réduction significative du nombre de bactéries (CFU) suite à l'utilisation de PUI/UAI en comparaison de l'irrigation à la seringue (Spoleti et al. 2003 ; Van der Sluis et al. 2007 ; Townsend et Maki, 2009). Toutefois, toutes ces études se sont concentrées sur la réduction des bactéries libres (planctoniques). L'impact du PUI sur l'élimination des biofilms est plus contrasté. Les faibles pressions et contraintes de cisaillement engendrées par la vibration ultrasonore ont peu d'effet sur les biofilms bactériens dont la stabilité est élevée. Une action prolongée des ultrasons peut entraîner une fatigue de ce biofilm qui finirait pas se déstructurer et se rompre. Mais on ignore là encore les conditions précises pour y parvenir. Bhuva et al. (2010) n'ont signalé aucune amélioration de l'élimination de biofilms d'*E. faecalis* produits artificiellement.

A l'issue d'une analyse de 15 articles récemment publiés portant sur l'efficacité *in vitro* de différentes méthodes d'irrigation, Nagendrababu et al. (2018) ont constaté, malgré l'hétérogénéité des résultats mais grâce à un faible risque de biais, que l'activation ultrasonore (PUI) réduisait plus efficacement l'infection canalaire que les autres méthodes telles que la PP, l'activation sonore, le RinsEndo®, les lasers diode et Er:YAG et la thérapie photo dynamique (PDT).

Ils insistent toutefois pour dire que les résultats dépendent de la durée de l'irrigation, de la solution employée, de son volume et de sa concentration, de la fréquence des ultrasons, du réglage de la puissance du générateur, et des cycles de renouvellement. Ces auteurs précisent que d'autres études *in vivo* et *in vitro* sont nécessaires pour définir des protocoles standardisés. Ces remarques concordent avec celles de Plotino et al. en 2016, qui s'étaient eux aussi livrés à une meta-analyse de toutes les études comparant ultrasons et autres techniques d'irrigation.

L'activation passive ultrasonore est une technique relativement simple, aisément accessible et semble-t-il, plus efficace que les autres modes d'agitation de la solution d'irrigation dans le canal. Cette supériorité est toutefois remise en cause avec l'apparition récente de systèmes soniques à fréquence relativement élevée, ou mécaniques qui mériteraient plus d'investigations pour mieux apprécier leur efficacité et leurs limites.

3.5 Activation sonore

3.5.1 Principe

Peu de temps après la mise sur le marché des systèmes de préparation canalaire aux ultrasons, ont été proposés des dispositifs équivalents, mais fonctionnant à des fréquences beaucoup plus basses. Ces appareils, dits « soniques », font vibrer les instruments canaux entre 1000 et 6 500 Hz environ. Par définition, la fréquence sonore représente tout ce qui se trouve dans le domaine de l'audible pour l'oreille humaine.

De la même manière que les dispositifs de préparation canalaire par ultrasons, les pièces à main soniques ont pratiquement disparu du marché. La mise en forme à l'aide de limes Ni-Ti en rotation s'est révélée beaucoup plus efficace et de bien meilleure qualité.

A l'instar des ultrasons, les fréquences sonores ont en revanche été proposées dans le même but, celui d'activer les solutions d'irrigation directement dans le canal, afin d'améliorer leur diffusion dans les régions hors d'atteinte des limes en rotation.

3.5.2 Dispositifs

Contrairement aux limes ultrasonores qui sont utilisables sur la plupart des détarteurs dentaires, l'irrigation par activation sonore se pratique à l'aide de dispositifs bien précis.

3.5.2.1 MM1500 Sonic® (MicroMega)

Les premières recherches publiées sur cette méthode ont fait appel au MM1500® de la société française Micro Méga, commercialisée aux Etats Unis par Medidenta.

Cet appareil est une pièce à main qui fonctionne à l'air comprimé, et se branche sur le raccord air-eau de la turbine. Une irrigation continue, à l'eau de l'unit, est possible grâce à un petit tuyau dont l'extrémité est dirigée sur l'instrument que l'on fixe sur la tête de l'appareil.

A l'origine, les limes employées étaient des sortes de broches barbelées coniques fortement abrasives mais dotées d'une pointe mousse (Rispi Sonic®, Shaper Sonic®), utilisées en mouvements de va-et-vient dans le canal. Endommageant les parois canales au cours de l'activation, ils ont été remplacés par de nouveaux systèmes totalement passifs.



Figure 25 : MM1500® et lime Rispi Sonic®
Document MicroMega

3.5.2.2 *EndoActivator® (Dentsply Tulsa Dental Specialties)*

Il y a seulement quelques années est apparu un système radicalement différent et beaucoup plus simple : l'EndoActivator® de la société Dentsply. Ce dispositif a la forme d'un contre-angle en plastique. Il fonctionne sans fil de manière autonome grâce à une batterie intégrée. Sur sa tête, on fixe par emboîtement, une tige fine, longue et conique en plastique blanc. Ces embouts existent en 3 tailles reconnaissables au code ISO (15/02, 25/04 et 35/04). Ils sont entièrement lisses et souples, sans action abrasive sur les parois du canal. Un interrupteur situé sur le dessus de l'appareil permet de déclencher la vibration de l'embout à la demande, de manière intermittente ou continue. 3 fréquences de vibrations sont possibles (jusqu'à 100 000 cycles par minute). L'amplitude de l'embout au niveau de sa pointe est relativement importante en dehors du canal. Elle est très atténuée dans le canal où son débattement est naturellement confiné. L'activation est réalisée en plaçant l'embout dans le canal rempli de solution d'irrigation qui est ensuite animé par des vibrations soniques créés par la pièce à main. En association, des mouvements de pompages verticaux de 2 à 3 mm permettraient la production d'un puissant phénomène hydrodynamique, particulièrement efficace pour le nettoyage canalaire.



Figure 26 : L'Endoactivator®
Document Dentsply Tulsa Dental Specialties

3.5.2.3 *Flosser® (Waterpik)*

Ce dispositif est un accessoire d'hygiène buccale destiné au grand public. A ce titre, il est vendu à un prix dérisoire, environ 30 ou 40 fois moins cher que l'EndoActivator® dont il imite le mouvement. Le Flosser® fonctionne sur pile ou accu rechargeable. Il est conçu pour agiter une toute petite tige de plastique souple dans les espaces interdentaires, en remplacement du fil de soie. Curieusement, les embouts de l'EndoActivator®, s'adaptent parfaitement sur l'appareil et peuvent donc être utilisés de la même façon pour activer la solution d'irrigation dans le canal. Toutefois sa forme inadaptée et la fréquence inconnue des vibrations limitent les possibilités de ce système.



Figure 27 : Flosser® avec les embouts de l'EndoActivator®
Document Waterpick et Dentsply Tulsa Dental Specialties

3.5.2.4 Eddy® (VDW)

Ce système d'apparition récente a été présenté en 2017 à l'IDS (International Dental Show) de Cologne. Il s'agit d'une sorte d'insert que l'on visse sur une pièce à main sonore, branchée sur le cordon de la turbine. Les embouts sont en polymère plus rigide que ceux de l'EndoActivator®. Ils vibrent à une fréquence maximale de 6 000 Hz, avec un mouvement oscillant de grande amplitude. Utilisé pour l'activation de l'irrigation, l'Eddy® peut aussi aider à mettre en place de l'hydroxyde de calcium ou un ciment d'obturation dans le canal. Il n'est à ce jour pas commercialisé en France.



Figure 28 : Le système Eddy®
Document VDW

3.5.2.5 Vibringe® (Cavex)

Le Vibringe®, commercialisé depuis 2012 par la société néerlandaise Cavex, se présente comme une grosse seringue à injection manuelle. La poignée du piston a la forme d'un anneau dans lequel s'insère le pouce. La pression sur le piston est manuelle, mais le système permet d'activer simultanément la solution en actionnant l'interrupteur au niveau du pouce. Des vibrations sonores sont transmises à l'aiguille, à une fréquence de 9 000 cycles par minute, correspondant à 150 Hz. L'ensemble fonctionne sur batterie rechargeable par induction. La seringue, d'un volume de 10 ml, peut être remplie de n'importe quelle solution. Le raccord Luer standard permet d'y visser les aiguilles de son choix.



Figure 29 : Le système Vibringe®
Document Cavex

3.5.2.6 Irrigatys® (Itena)

L'Irrigatys® permet d'introduire dans le canal une solution d'irrigation via une aiguille qui peut être animée d'un mouvement vibratoire assurant l'activation. Ce dispositif sans fil est alimenté par une batterie rechargeable sur un socle branché sur secteur. Il est équipé d'un réservoir interchangeable de 30 ml. L'appareil délivre le liquide par intermittence ou en continu lorsque l'on appuie l'index sur l'interrupteur placé sur son manche. Le débit est de 6 à 8 ml par minute. Les aiguilles spécifiques de 27 G (40/100^{ème}) sont disponibles en 19 et 21 mm de long. L'interrupteur présente une partie double permettant d'actionner en même temps si on le souhaite, le mouvement alternatif de l'aiguille. Il s'agit d'une amorce de rotation droite-gauche de très faible amplitude et de fréquence assez basse, différente d'une vibration sonore. A ce jour, aucune étude n'a été publiée sur l'efficacité de l'Irrigatys®.



Figure 30 : L'Irrigatys®
Document Itena

3.5.3 Efficacité

L'activation sonore, un peu plus récente que celle aux ultrasons, a fait l'objet d'un nombre d'études plus limité. De nouveaux dispositifs sont apparus récemment sur le marché qui ont relancé l'intérêt pour cette technique, lui permettant de concurrencer avec une certaine pertinence la PUI.

3.5.3.1 Elimination des débris canalaires

Si la majorité des auteurs rapportent une nette supériorité des systèmes d'activation sonore (EndoActivator®, Vibringe®, Eddy®) face la seringue d'irrigation conventionnelle dans le nettoyage et la pénétration de la solution ; certains notent une meilleure élimination des débris avec la PUI (De Gregorio et al. 2010 ; Merino et al. 2013 ; Rödig et al. 2010a).

Dans une étude plus récent, Urban et al. (2017) ont évalué au MEB, l'aptitude de la PUI, l'EndoActivator® et l'Eddy® à éliminer les débris intra canalaires et la « smear layer » sur des

prémolaires extraites. Toutes ces techniques sont supérieures à l'irrigation à la seringue seule, mais la PUI et l'Eddy® se sont révélés plus performants que l'EndoActivator®, à égalité. Conde et al. (2017) ont évalué la capacité de l'activation sonore ou ultrasonore à dissoudre des résidus organiques placés dans des canaux radiculaires par pesée des échantillons avant et après l'intervention. Ces auteurs n'ont pu déterminer de différence entre les techniques sonore ou ultrasonore, mais l'activation de l'irrigant (ClONa à 2% puis EDTA) a éliminé plus de résidus que l'irrigation à la seringue seule.

3.5.3.2 Elimination de la boue dentinaire

Là encore, les résultats sont mitigés quant à l'élimination de la « smear layer ».

Blank-Goncalves et al. (2011) et Rödiger et al. (2010b) ont constaté une meilleure élimination de la boue dentinaire après activation de l'EDTA avec l'EndoActivator® dans des canaux courbes, ceci jusque dans les derniers millimètres.

Cependant d'autres études ne rapportent aucune différence entre l'irrigation à la seringue et l'utilisation de l'EndoActivator® sur la boue dentinaire (Uroz-Torres et al. 2010).

Plus récemment, Mancini et al. (2018) ont remarqué qu'aucun système ne retirait complètement la « smear layer » des canaux avec simplement de l'hypochlorite à 5,25 %. Toutefois, ils ont observé que l'EndoActivator® éliminait, mieux que les ultrasons (PUI) ou le laser (LAI), la couche d'enduits de surface à 3, 5 et 8 mm de l'apex.

3.5.3.3 Elimination bactérienne

L'hétérogénéité des résultats est encore ici très présente.

Pour certains, l'utilisation de l'EndoActivator® est similaire à l'irrigation à la seringue dans la réduction de la charge bactérienne intra canalaire (Brito et al. 2009 ; Huffaker et al. 2010 ; Ordinola-Zapata et al. 2014).

Pour d'autres, l'EndoActivator® semble plus efficace dans l'élimination de bactéries planctoniques ou sous forme de biofilm que la seringue d'irrigation, mais là encore inférieure au PUI (Townsend et Maki 2009, Mohammed et al. 2016).

Toutefois pour l'équipe de Tardivo et al. (2010), aucune différence dans le retrait d'*E. faecalis* n'a été trouvé entre l'EndoActivator® et le PUI (système Irrisafe/Acteon). Aucune des deux techniques n'a pu éliminer toutes les bactéries.

Zeng et al. (2018) ont comparé l'efficacité du système Eddy® à l'irrigation conventionnelle à la seringue avec du ClONa à 3 % pour traiter *in vitro* des racines de dents extraites infectées avec une souche d'*E. faecalis* pendant 3 semaines. Ils ont constaté une meilleure destruction des bactéries à l'intérieur des tubuli avec l'Eddy® dans les portions coronaires et médianes des canaux. Toutefois, aucune technique n'a pu tuer la totalité des bactéries situées dans le tiers apical.

Etant donné la variété des systèmes soniques, il est difficile d'établir une appréciation globale de leur efficacité. Le Vibringe® est intéressant dans la mesure où ce dispositif peut être utilisé dès le début de la préparation et pas uniquement comme méthode d'activation finale. Toutefois, le petit nombre d'études et les résultats obtenus avec ce système, même s'ils sont meilleurs que l'irrigation à la seringue seule, ne permettent pas de le recommander comme seule méthode d'activation.

L'EndoActivator® est un sérieux concurrent des ultrasons. Mais il existe peu d'études qui, lorsqu'il est mis en concurrence avec la PUI, démontrent sa supériorité. Il est au mieux équivalent, au pire, moins performant que l'activation ultrasonore de l'hypochlorite dans le canal. Enfin, l'Eddy®, récemment apparu sur le marché, semble prometteur. Grâce à sa fréquence de vibrations élevée (6000 Hz), il rivalise avec les ultrasons dans l'élimination du biofilm après irrigation à l'hypochlorite. Toutefois, d'autres études doivent être entreprises pour préciser les limites de ce système encore peu répandu.

3.6 Activation mécanique

3.6.1 Principe

D'autres systèmes de nettoyage canalaire ont été proposés, faisant intervenir une activation mécanisée, différente des procédés décrits plus haut.

3.6.2 Dispositifs

3.6.2.1 CanalBrush® (Coltène)

La CanalBrush® est une brosse endodontique très flexible en polypropylène. Elle est utilisée pendant les traitements de canaux radiculaires pour éliminer les débris dentinaires générés lors de la mise en forme et les tissus organiques et pulpaire restants. Trois tailles sont disponibles (Fine, Medium, Large), permettant de répondre à toutes les situations cliniques.

En association avec une solution d'irrigation, son utilisation augmenterait l'effet de nettoyage sur les surfaces du canal radiculaire. Elle peut être utilisée manuellement avec une action rotative, mais reste plus efficace lorsqu'elle est montée sur un contre-angle tournant à 600 tr/min maximum. Selon le fabricant, elle peut également être employée pour la mise en place de ciment ou d'adhésif, mais ne doit pas être utilisée pour agiter un agent chélatant.



Figure 31 : CanalBrush®
Document Coltène

3.6.2.2 XP-endo Finisher® (FKG)

Ce nouveau dispositif d'activation est une lime endodontique à usage unique sans action sécante.

Fabriqué par la société suisse FKG et commercialisé par la société française Acteon, le XP-endo Finisher® est un instrument en Ni-Ti bleu à mémoire de forme qui sert à activer la solution d'irrigation dans le canal en fin de préparation. Grâce à son design particulier, il génère une action de fouettage de la solution, qui décollerait les résidus accrochés aux parois du canal.

Il est vendu par 3 unités sous blister stérile et disponible en deux versions : l'une de 0,25 mm de diamètre, l'autre de 0,30, et deux longueurs (21 et 25 mm). Il se branche sur un contre-angle endodontique tournant entre 800 et 1000 tr/min dans le canal rempli d'hypochlorite en fin de préparation. La finesse extrême des XP Endo Finisher® et leur conicité nulle leur permet de pénétrer dans les canaux jusqu'à la longueur de travail sans la moindre difficulté.



Figure 32 : XP-endo Finisher®
Document FKG

3.6.3 Efficacité

Les études évaluant l'efficacité des dispositifs d'activation mécanique de la solution d'irrigation ne sont pas très nombreuses. Elles sont toutes très récentes, car les dispositifs qui entrent dans cette catégorie ont été mis sur le marché depuis seulement quelques années.

3.6.3.1 *Élimination des débris canalaires*

L'élimination d'hydroxyde de calcium placé dans un sillon à l'intérieur de racines dentaires a été évaluée au stéréomicroscope après irrigation selon différents protocoles. L'irrigation à la seringue se révèle la moins performante. Les systèmes mécaniques comme le CanalBrush® ou l'XP endo Finisher® éliminent plus de matériau mais de manière non significative. Les meilleurs résultats ont été obtenus avec les ultrasons ou l'activation par laser (PIPS). Toutefois, aucune technique n'a permis de nettoyer le canal à 100 % (Gokturk et al. 2017).

Pour éliminer des particules d'hydroxyde de calcium installées dans des sillons radiculaires, le CanalBrush® s'est montré supérieur à l'irrigation conventionnelle, mais moins efficace que des systèmes soniques (EndoActivator®) ou ultrasonores (PUI) (Pabel et Hülsmann 2017).

3.6.3.2 *Élimination de la boue dentinaire*

Dans une étude comparant plusieurs procédés d'irrigation, Yilmaz et al. (2017) ont constaté que le CanalBrush® était moins efficace que l'activation sonique (MM 1500®) pour éliminer la smear layer.

3.6.3.3 *Élimination bactérienne*

Dans une étude comparant l'élimination d'*E.faecalis* cultivés durant 3 semaines dans des racines de dents humaines, Azim et al. (2016) ont constaté que l'XP endo Finisher® retirait plus de bactéries du canal principal et jusqu'à 50 µm de profondeur que l'irrigation à la seringue ou l'EndoActivator®. En revanche, le laser en technique PIPS détruisait les bactéries à tous les niveaux du canal jusqu'à une profondeur de 150 µm

Dans une étude sur l'élimination du biofilm dans de tiers apical de racines infectées artificiellement, l'XP endo Finisher® s'est révélé plus efficace, associé à une irrigation intermittente, que l'activation ultrasonore avec irrigation intermittente ou même continue (Bao et al. 2017).

Si les dispositifs mécaniques d'activation/agitation de la solution d'irrigation sont plus efficaces que la seringue seule, ils sont majoritairement moins performants que les systèmes soniques et surtout ultrasonores pour éliminer des résidus d'obturation temporaire ou définitive. Toutefois, pour la désinfection canalaire en fin de préparation, l'XP endo Finisher® semble, dans certaines circonstances, pouvoir rivaliser avec les ultrasons. Le trop petit nombre d'études évaluant ce dispositif ne permet cependant pas de tirer de conclusions définitives.

3.7 Activation par Laser (LAI)

Une autre technique permettant de créer à l'intérieur du canal un flux liquidien capable de décrocher les débris pulpaire, le biofilm bactérien, et pénétrer dans les régions inaccessibles à l'instrumentation mécanisée consiste à utiliser un laser.

Ce procédé se nomme LAI (Laser Activated Irrigation). Il exploite l'énergie du laser pour agiter la solution d'irrigation. Les modèles employés pour cette application sont de type Er:YAG ou ErCrYSGG, dont la longueur d'onde dans l'infrarouge (2796 - 2940 nm) est bien absorbée dans l'eau. Notre corps étant constitué majoritairement d'eau, l'irradiation est donc en grande partie absorbée et rapidement atténuée (Baudot 2016). Elle ne produit que des effets de surface.



Figure 33 : Laser Er:YAG
Document IMOP, <https://laser-eryag.com/>

3.7.1 Principe

La dynamique de la LAI a été étudiée par imagerie à grande vitesse (De Groot et al. 2009). Une grosse bulle de vapeur se forme puis implose à l'extrémité de la fibre laser, générée par l'absorption de l'énergie du système et l'échauffement rapide du liquide d'irrigation. L'effondrement de cette bulle induit une onde de choc qui se propage dans tout le réseau canalaire. La vitesse du fluide peut atteindre plusieurs mètres par seconde. Cet écoulement est associé à une forte contrainte de cisaillement sur les parois (de l'ordre d'1 kPa) favorable au nettoyage du canal (De Groot et al. 2009).

Comme pour l'irrigation activée par ultrasons, on utilise avec les lasers une technique d'irrigation intermittente. Le liquide est introduit dans la chambre pulpaire, puis la fibre laser est insérée à 1-2 mm de la longueur de travail et déplacée axialement dans le tiers apical du canal (De Groot et al. 2009).

Elle peut aussi être placée uniquement dans la chambre pulpaire, juste au-dessus de l'entrée du canal. Cette méthode se pratique à l'aide de fibres conventionnelles (Peeters et Suardita 2011) ou d'autres, spécifiquement conçues pour une technique légèrement différente appelée PIPS (Peters et al. 2011).

✓ PIPS (Photon Induced Photoacoustic Streaming)

Le laser utilisé pour cette technique produit une forte onde de choc photo-acoustique qui fait circuler l'irrigant dans les trois dimensions du système canalaire.

Sa spécificité est qu'il n'est pas nécessaire d'introduire la fibre dans le canal. Celle-ci, de forme conique, est placée uniquement dans la chambre pulpaire.

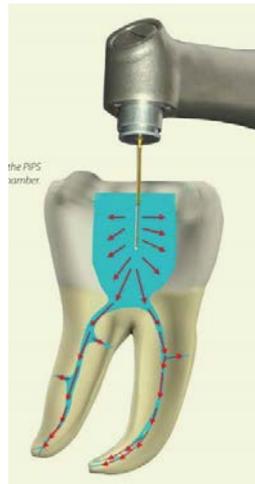


Figure 34 : Méthode PIPS

✓ Protocole

L'embout PIPS est placé dans la chambre pulpaire (et non dans le canal radicaire) et maintenu immobile tout au long du processus d'activation.

Pendant le temps d'activation du laser, l'assistante introduit la solution d'irrigation dans la chambre pulpaire au moyen d'une seringue, en veillant à maintenir un flux constant de liquide. Il est extrêmement important que la chambre pulpaire soit toujours remplie d'une quantité suffisante de solution d'irrigation pour maintenir immergée la fibre du laser, car il y a de sérieuses pertes d'irrigant durant l'activation.

Le protocole actuel prévoit l'utilisation de ClONa activé par laser, durant 3 cycles de 30 s, suivis chacun d'une phase de repos de 30 secondes. Immédiatement après, les canaux sont irrigués à l'eau, et le PIPS est de nouveau appliqué pendant 30 s. La chambre pulpaire est ensuite vidée, et de l'EDTA à 17% est utilisé en flux continu, activé par PIPS durant encore 30 secondes. La dernière étape du protocole avant l'obturation consiste à activer de nouveau le laser, mais avec seulement de l'eau pendant 30 secondes.

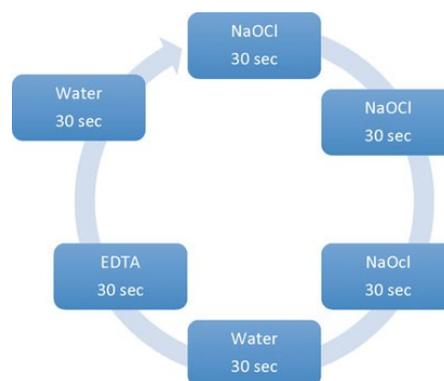


Figure 35 : Protocole d'application du PIPS

3.7.2 Efficacité

3.7.2.1 Elimination des débris canalaires

Lloyd et al. (2014) ont comparé la PIPS et l'irrigation à la seringue en étudiant par microtomographie numérique à haute résolution l'élimination des débris de canaux mésiaux de molaires inférieures, y compris au niveau des isthmes, des canaux latéraux, ainsi que l'espace investi par la solution d'irrigation. Le PIPS a éliminé environ 2,6 fois plus de débris que ce qui a été observé dans le groupe témoin.

Gokturk et al. (2017) ont évalué l'aptitude de différentes méthodes d'irrigation pour éliminer des particules d'hydroxyde de calcium placées dans des sillons à l'intérieur de racines. L'activation par laser (LAI) ou ultrasons (PUI) étaient les procédés plus performants, significativement supérieurs à l'irrigation à la seringue ou au moyen du Vibringe®, du CanalBrush® ou de l'XP Endo Finisher®. Aucune technique n'a toutefois permis d'éliminer la totalité des résidus.

3.7.2.2 Elimination de la boue dentinaire

Akyuz Ekim et al. (2015) ont évalué la capacité de plusieurs méthodes d'activation à éliminer le smear layer. Le PIPS a obtenu les meilleurs scores, devant la PUI et l'ANP, mais de manière non significative.

3.7.2.3 Elimination bactérienne

La PIPS permet une réduction de la charge bactérienne supérieure à celle obtenue à l'aide d'une seringue conventionnelle, qu'elle concerne des bactéries planctoniques (Azim et al. 2016 ; Ozses Ozkaya et al. 2017) ou sous forme de biofilms (Ordinola et al. 2014).

D'après certains auteurs, la PIPS serait même supérieure à la PUI dans la désinfection canalaire (Ordinola et al. 2014 ; Akcay et al. 2017 ; Peters 2011).

La plupart des études comparant les effets du laser Er:Yag avec les autres méthodes d'activation de la solution d'irrigation révèlent la supériorité de ce dispositif. La technique du PIPS semble particulièrement performante pour faire pénétrer l'irrigant dans les tubuli dentinaires et cela, même lorsque la fibre qui transmet la lumière est placée uniquement dans la chambre pulpaire. Comme avec les autres méthodes, en revanche, l'élimination des résidus de matériaux exogènes placés à l'intérieur du canal n'est jamais complète.

4. Critères d'évaluation ergonomique

4.1 Introduction

Evaluer scientifiquement l'ergonomie d'un équipement n'est pas facile. Dans notre domaine, il existe très peu d'études qui mesurent ce paramètre. On pourrait se baser sur le degré de satisfaction des utilisateurs à propos de leur équipement, mais cela reste très subjectif.

Du fait de l'absence de formation en ergonomie, nous sommes nombreux à accepter des systèmes imparfaits dont on ne perçoit pas les défauts.

D'autre part, les dispositifs efficaces, mais aussi très confortables et agréables à utiliser, se révèlent fréquemment beaucoup plus chers et sophistiqués. Ce qui est un avantage pour le travail au fauteuil, peut devenir un inconvénient si le matériel réclame une maintenance fastidieuse, avec des risques de pannes ou de détérioration. C'est par exemple le cas de certains systèmes d'irrigation continue qui intègrent un réservoir d'hypochlorite, une pompe et des tuyaux qu'il faut longuement purger après usage pour éviter leur obstruction et l'oxydation des pièces métalliques à plus ou moins court terme.

Devant ces difficultés, pour mener à bien cette évaluation ergonomique les critères suivants ont été étudiés.

4.1.1 Critères ergonomiques pour choisir un équipement

Tout ce qui simplifie sa mise en œuvre, rend son utilisation confortable, évite les erreurs liées à l'opérateur, limite le nombre de manipulations non seulement au moment où l'on s'en sert, mais également avant et après sa mise en service, joue en faveur de l'équipement considéré.

La possibilité de contrôler au mieux son fonctionnement ou son efficacité sont également des qualités à rechercher.

4.1.2 Critères économiques

Le coût à l'achat et à l'usage est à prendre en compte, en particulier pour les omnipraticiens conventionnés dont les honoraires sont fixés par la Sécurité Sociale.

4.2 Systèmes d'irrigation à pression positive

4.2.1 Seringue conventionnelle

Même si la seringue conventionnelle à embout Luer est le dispositif le plus simple, accompagné de son aiguille, pour délivrer la solution dans le canal, elle n'est pas forcément la plus confortable. Elle ne permet pas d'avoir des points d'appui et de contrôler la pression appliquée sur le piston. Sa prise comme un stylo, à la manière de certaines seringues pour anesthésie intra-ligamentaires serait sans doute plus pratique. Le guidage de l'aiguille dans l'entrée du canal serait sûrement plus précis et plus confortable. Malheureusement, aucun fabricant ne nous offre encore cette opportunité tout au moins sous la forme d'un dispositif aussi simple et peu sophistiqué.

En contrepartie, le coût des seringues est très faible et, leur usage unique ne réclame aucun entretien ni opération de recyclage.

Nous avons vu à quel point il était important de contrôler la profondeur d'enfoncement de l'aiguille dans le canal. Ceci est crucial pour éviter l'extrusion d'irrigant au-delà du foramen, mais également pour maîtriser le mieux possible la procédure. En l'absence de repère d'enfoncement, on peut se croire efficace, alors que l'aiguille peut n'avoir pénétré que sur la moitié de la longueur de travail. En conséquence, il est souhaitable d'équiper l'aiguille d'un stop en caoutchouc ajusté à la longueur de travail.

Toutes les études montrent qu'il est impossible de nettoyer correctement un canal s'il n'a pas été élargi au moins à 25/100^{ème} de mm à la longueur de travail avec une conicité supérieure ou égale à 6%. Des résultats encore meilleurs, lorsque cela est possible sans risque pour la racine, sont obtenus avec des diamètres de 30 ou 40. La zone déterminante dans le succès du traitement endodontique reste le tiers apical. Afin que les solutions d'irrigation arrivent en quantité suffisante dans cette région, il est souhaitable de disposer d'aiguilles les plus fines possible, de diamètre 30 voire 31 G soit 30/100^{ème} de mm ou 25/100^{èmes}.

Il est nécessaire d'utiliser une quantité de solution représentant le contenu de plusieurs seringues au cours de la préparation. Comme on ne peut pas remplir la seringue en gardant l'aiguille fixée dessus, il faut la dévisser, puis la revisser après chaque rechargement. Cette opération n'est pas difficile si l'on prend soin de recapuchonner l'aiguille avec sa protection, qui offre une prise plus confortable que la seule embase vissée dans l'embout Luer, mais elle peut être un peu désagréable avec certaines aiguilles.

Il existe sur le marché, un seul type d'aiguille qui rassemble trois avantages répondant aux problèmes qui viennent d'être évoqués. Il s'agit des NaviTips® de la société américaine Ultradent.

Celles-ci possèdent un stop déjà installé dessus. Elles existent en plusieurs diamètres dont 30 et 31G. Ces dernières présentent deux événements latéraux à leur extrémité. Celle-ci est un peu plus souple donc plus malléable que le reste de l'aiguille pour mieux s'insinuer dans les canaux étroits et courbes. Enfin, tous les NaviTips® présentent une embase munie de deux ailettes latérales plus larges qui facilitent le dévissage des aiguilles entre le pouce et l'index (Système Lok-Tite®).

Les NaviTips® sont disponibles en plusieurs longueurs, ce qui peut être déstabilisant au moment du choix, mais répond à toutes les situations. Mieux vaut sélectionner les plus longues (25 ou 27 mm), puisqu'elles peuvent être facilement courbées pour améliorer l'accès aux dents postérieures. Ces aiguilles sont déjà coudées à la base, avec un angle d'environ 120° pour faciliter le travail en bouche. Cette configuration n'est toutefois pas optimale pour les canaux mésiaux des molaires inférieures ou mésio-vestibulaires des molaires supérieures.

Le seul inconvénient notable des NaviTips®, c'est qu'elles ne sont pas emballées de manière stérile à l'unité, mais livrées en vrac dans des récipients en plastique où elles s'enchevêtrent et peuvent les déformer lors du stockage.

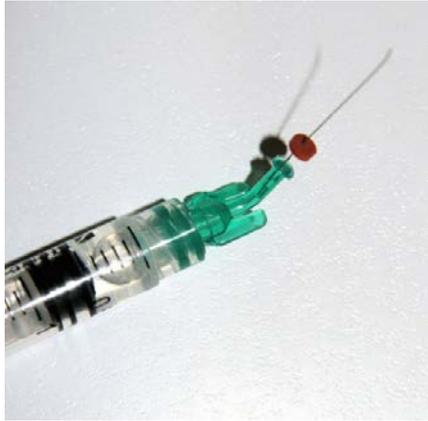


Figure 36 (gauche) : Aiguille NaviTip® équipée d'un stop et du système Lok-Tite® facilitant les vissages-dévisages
 Figure 37 (droite) : NaviTips® enchevêtrées dans leur boîte

4.2.2 RinsEndo® (Dürr Dental)

Le RinsEndo® a l'avantage d'être très facile à installer sur le raccord de la turbine. Il est livré avec le type de raccord rapide compatible avec les plus grandes marques internationales.

C'est une seringue normale qui se branche dessus, une fois remplie de la solution de son choix. La purge du système est particulièrement aisée, puisqu'il suffit de la remplir d'eau en fin de préparation, et d'actionner le piston pour rincer complètement l'appareil et le débarrasser de toute trace d'hypochlorite.

La mise en action s'effectue grâce à la pédale de l'unit, ce qui permet une prise « stylo » plus confortable, même si l'ensemble se révèle relativement volumineux. Cette configuration est plus pratique, notamment si l'on souhaite imprimer à l'aiguille un mouvement de bas en haut dans le canal pour mieux répartir l'irrigant comme le préconisent certains auteurs. L'inconvénient du dispositif, en revanche, c'est que l'on ne ressent aucune pression dans la main, ce qui peut rendre le contrôle de l'injection plus difficile. Les performances du système, malgré sa bonne ergonomie, restent modestes par rapport à son coût à l'achat, relativement élevé.

4.2.3 AutoSyringe® (Vista Dental)

Ce dispositif, comme on l'a vu, est l'équivalent d'une seringue automatique qui délivre le liquide lorsque l'on appuie sur un bouton passé au-dessus de la pièce à main.

La fabrication semble soignée, avec un réservoir qui s'installe à l'arrière et des aiguilles de son choix que l'on visse à l'avant de l'appareil. Sorti très récemment sur le marché, ce dispositif ne semble avoir fait l'objet d'aucune publication. On ignore en particulier quelle pression s'applique sur le piston.

Le confort de préhension offert par cette forme plus pratique que la seringue traditionnelle, et la présence d'un réservoir de 20 ml très suffisant pour une procédure complète, ne sont peut-être pas des avantages décisifs, car l'AutoSyringe® n'est qu'un dispositif à pression positive dont on connaît maintenant les limites d'efficacité.

4.3 Systèmes d'irrigation à pression négative

4.3.1 EndoVac® (Kerr)

L'EndoVac® est constitué d'un module qui se fixe sur le support d'aspiration chirurgicale et reçoit différents tuyaux. Si l'on veut respecter à la lettre toutes les étapes de la procédure, il faut être impérativement assisté d'une aide opératoire qui délivrera le liquide dans la chambre pulpaire via l'embout MDT pendant que le praticien maintient les canules de petite taille dans le canal. Les tuyaux efférents et afférents ne doivent pas gêner les mouvements de l'équipe soignante, ce qui n'est pas forcément très simple.

Mis à part son efficacité scientifiquement démontrée, l'avantage de l'EndoVac® réside dans la possibilité de délivrer et d'aspirer les liquides d'irrigation dans la chambre pulpaire. Contrairement à ce qui se passe avec les autres méthodes, les risques de voir s'écouler ou vaporisé l'hypochlorite au-delà du champ opératoire sont donc limités.

Si le principe de l'EndoVac® est séduisant, on conviendra aisément que sa mise en œuvre semble laborieuse puisqu'il faut 3 embouts différents pour accomplir la totalité de la procédure.

Une nouvelle version, au design plus actuel, a été présentée par la société KaVo-Kerr au printemps 2017 au salon international de Cologne (IDS). L'EndoVac Pure® se présente sous la forme d'un module compact mais relativement volumineux qui reçoit deux réservoirs séparés d'hypochlorite et d'EDTA en connexion avec une tuyauterie aboutissant à une pièce à main de forme ergonomique. Celle-ci reçoit un embout jetable de taille unique, censé remplacer les différentes canules du système précédent. Il ne semble pas que ce dispositif soit, à l'heure actuelle, encore commercialisé.



*Figure 38 : EndoVac Pure®
Document Marc Apap*

4.3.2 EndoSafe® (Vista Dental)

Comme vu précédemment, L'EndoSafe® est un embout spécial qui s'installe sur une seringue d'irrigation classique. C'est une version économique du système à pression négative.

Même si l'ensemble est très simple, il semble loin d'être parfait. Aucune information n'est fournie sur le diamètre ni la longueur de la canule d'aspiration intracanalair. Malgré la présence d'un petit soufflet en accordéon, il paraît difficile d'ajuster correctement la distance entre l'entrée de la chambre et l'extrémité du canal. De plus, l'élimination des plus gros débris

semble compromise au vu du diamètre de l'aiguille, limitant son utilisation en fin de préparation. Enfin, le tuyau qui rejoint l'aspiration est très étroit et aucun système de raccord n'est fourni pour sa connexion avec l'embout d'aspiration chirurgicale ou celui de la pompe à salive.



Figure 39 : Embout EndoSafe®
Document Vista Dental

Récemment, le même système a été proposé pour s'installer sur l'AutoSyringe® (EndoSafe® Plus). L'ergonomie est améliorée puisque la prise en main de la seringue et la délivrance du liquide sont plus confortables, mais les problèmes précédemment évoqués restent sans réponse.



Figure 40 : EndoSafe® monté sur l'AutoSyringe® (EndoSafe Plus®)
Document Marc Apap

4.4 SAF® (ReDent Nova)

Comme nous l'avons vu, la capacité de coupe du SAF® est assez limitée. La mise en forme, même si elle respecte la morphologie initiale du canal se révèle longue et laborieuse.

Le contre-angle peut être installé sur n'importe quel moteur d'unit ou bien un dispositif de table séparé du fauteuil. La pompe électrique comporte un petit réservoir et un panneau de contrôle à LED qui affiche le débit. L'ensemble doit être purgé en fin d'intervention pour ne pas laisser d'hypochlorite dans les tuyaux qui pourraient s'obstruer. La commande de la pompe étant séparée de celle du contre-angle, il n'est pas très aisé de faire marcher, puis d'arrêter les deux équipements en même temps.

Au final, même si le SAF® donne de bons résultats en termes de nettoyage canalair, sa mise en œuvre est compliquée et inconfortable. Il est peu convainquant comme instrument de mise en forme, mais peut, si l'on accepte son ergonomie imparfaite, servir comme méthode d'irrigation/activation en continu presque dès le début de la préparation.

4.5 Activation manuelle dynamique (AMD)

Avec la seringue d'irrigation classique, l'activation manuelle est la méthode la plus simple et la plus économique qui soit. Elle ne réclame aucun équipement particulier, seulement un peu de patience pour agiter un cône de gutta tenu entre les mors de précelles selon un mouvement de va et vient axial rapide et régulier durant au moins 1 minute par canal.

4.6 Systèmes d'activation par ultrason (PUI)

4.6.1 IrriSafe® (Actéon/Satelec)

L'irrigation ultrasonore passive, on l'a vu, s'effectue à l'aide d'une sonde introduite jusqu'à LT-2 ou 3 mm dans le canal déjà rempli de solution d'hypochlorite. Cette sonde prolonge un insert spécifique vissé sur la pièce à main d'un détartreur piézo-électrique.

Tous les units dentaires étant équipés d'un détartreur, cette méthode devrait être la plus simple et la plus facile à mettre en œuvre qui soit. Pour les possesseurs d'un système Satelec/Actéon ou compatible, l'embout IrriSafe®, spécialement conçu pour la PUI, présente un grand nombre d'avantages : sa partie active est fine (20 ou 25/100èmes de mm), souple, présentant des torsades mais aucune arête sécante. Elle mesure 21 ou 25 mm. Si l'on veut être sûr de couvrir tous les besoins, il est préférable de choisir le 25 mm. Comme pour les autres systèmes vibrants, il est impossible d'y installer un stop en caoutchouc mais on peut aisément y inscrire une marque correspondant à la LT avec un feutre indélébile (l'encre, soluble dans l'alcool, pourra être effacée en fin d'intervention).

Les réglages d'intensité vibratoire doivent tenir compte de la fragilité du dispositif qui pourrait se rompre à pleine puissance. Il faut que l'instrument puisse vibrer d'une manière visible, voire audible lorsqu'il rentre en contact avec une surface dure. Dans ces conditions, on observe une légère vaporisation du liquide au contact de l'instrument, mais qui reste très contenue étant donnée l'amplitude très faible du mouvement vibratoire.

Comme avec tous les détarteurs à ultrasons, il est difficile de connaître exactement la puissance du générateur, surtout s'il est installé sur l'unit. Les détarteurs de table offrent toutes possibilités de réglages et semblent plus précis. Mais étant donné la multiplicité des modèles, dont beaucoup de copies asiatiques bon marché, on ne peut se fier a priori aux indications fournies par le panneau de contrôle de l'appareil.

Les détarteurs qui possèdent un réservoir séparé peuvent être utilisés pour l'irrigation à l'hypochlorite en continu, ce qui présente un atout indéniable en termes de nettoyage canalaire. L'IrriSafe® se prête très bien à cet usage et peut alors être utilisé dès le début de la préparation, avec un mouvement de va et vient de la lime dans le canal. Cette méthode peut même remplacer l'irrigation traditionnelle à la seringue. L'utilisation d'un tel système n'est cependant pas sans inconvénients : en fin d'intervention, la ligne d'irrigation doit être vidée de tout l'hypochlorite qu'elle contient et purgée avec de l'eau pure pour éviter les risques de corrosion toujours possibles à moyen terme.

L'IrriSafe® peut servir un très grand nombre de fois sans détérioration notable, après nettoyage et stérilisation. Son prix est très modique : environ le double de celui d'une lime de préparation canalaire à usage unique en Nickel-Titane.

4.6.2 Endochuck® (EMS)

A la différence de l'IrriSafe®, l'Endochuck® est un insert « nu » sur lequel on visse l'instrument de son choix pour l'activation dans le canal.

Il n'est pas facile de trouver des limes lisses dans le commerce, surtout d'un diamètre compatible avec la griffe de fixation sur le support. De nombreuses copies asiatiques circulent sur le marché, mais là encore, il est difficile a priori, de connaître leurs spécificités et leur efficacité, même sur le détartreur EMS.

Les mêmes remarques que pour le dispositif précédent s'appliquent à celui-ci, notamment le marquage d'un repère d'enfoncement au feutre.

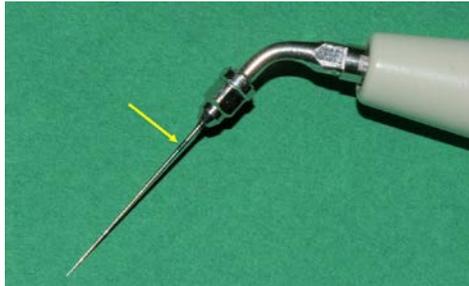


Figure 41 : Marquage de la LT à l'aide d'un feutre indélébile sur Endochuck®
Document Marc Apap

Avec un détartreur correctement réglé et des limes de forme optimale, la PUI avec irrigation intermittente est la procédure d'activation la plus simple, la plus confortable, la plus efficace si l'on se réfère à la littérature, et l'une des plus économiques : le prix des inserts endodontiques est voisin de celui des inserts à détartre de grande marque. Ils s'usent très peu, et sont largement réutilisables après nettoyage et stérilisation en autoclave.

Toutefois, avant de les recommander sans réserve, il serait souhaitable qu'une procédure simple et fiable de test au fauteuil soit définie pour déterminer rapidement si le détartreur et les inserts dont on dispose sont aptes à accomplir le travail dans les meilleures conditions d'efficacité.

4.6.3 EndoUltra® (Vista Dental Products)

Comme nous l'avons vu, l'EndoUltra® se présente sous la forme d'une petite pièce à main autonome fonctionnant sur batterie. A son extrémité, l'insert qui s'y fixe est une longue tige très fine en alliage de titane, sans arêtes quoique de section non circulaire. Les inserts peuvent être pré-courbés mais on ignore s'ils conservent cette forme ou s'ils peuvent être redressés facilement. Il n'y a sur ce dispositif, aucun réservoir pour une irrigation en continu. Il est exclusivement conçu pour activer les solutions désinfectantes déjà présentes dans le canal. Comme avec les autres systèmes vibrants, il est impossible de fixer un stop sur les inserts.

L'avantage de l'EndoUltra® sur les autres dispositifs ultrasonores réside, outre sa maniabilité, dans le fait que les réglages d'usine sont optimisés et ne peuvent faire l'objet d'approximations. On devrait donc se trouver avec un système a priori plus fiable et moins opérateur/matériel-dépendant.

La principale réserve que l'on puisse émettre sur ce dispositif concerne sa forme, assez différente de celle des pièces à main ultrasonores habituelles. L'angle très ouvert entre le manche et l'insert vibrant semble étrange pour un accès confortable quelle que soit la position du canal. Son prix, tout au moins aux Etats-Unis, a l'air plutôt contenu.

4.6.4 UltraFlo® (Vista Dental)

Ce dispositif est l'aboutissement ultime des systèmes d'irrigation-activation : il combine dans un appareil compact et sans fil, irrigation continue et activation ultrasonore. Annoncé début 2016, il ne semble pas commercialisé pour le moment, ou alors de manière très confidentielle car aucune information n'est disponible à son sujet sur le site Internet du fabricant. Sa forme et la position de la lime d'activation, ainsi que du réservoir à l'extrémité opposée de la pièce à main répondent mieux aux critères ergonomiques pour l'accès aux dents postérieures.

4.6.5 ProUltra PiezoFlow® (Dentsply)

Cet insert combine une aiguille d'irrigation canalaire et une arrivée externe de solution d'irrigation reliée à un long tuyau de plastique transparent. Il se fixe sur une pièce à main ultrasonore comme n'importe quel insert de détartreur piezo-électrique. Dans les publicités et les études effectuées avec cet appareil, le modèle utilisé était de marque Satelec/Acteon.

L'aiguille a un diamètre de 50/100ème de mm, ce qui limite beaucoup sa pénétration dans le canal et suscite quelques réserves sur son efficacité sur les molaires.

C'est le seul dispositif ultrasonore équipé d'un stop en caoutchouc. Il semblerait ne pas bouger durant l'opération, mais pourrait atténuer les vibrations et donc diminuer les performances de nettoyage.

L'irrigation continue est possible à condition de brancher l'autre extrémité du tuyau à une seringue remplie d'hypochlorite. Le fabricant expose sur son site Internet une vidéo montrant la seringue installée sur une pompe de perfusion électrique. Une alternative consiste à confier la délivrance du produit à l'assistante, qui poussera à la main le piston de la seringue pendant que le praticien actionnera le dispositif ultrasonore dans le canal. Cette manière de procéder entache le système de nombreuses imperfections qui ne permettent pas de le recommander sans réserve d'un point de vue ergonomique.



Figure 42 : Aiguille ProUltra® Piezoflow®
Document Dentsply Tulsa Dental Specialties

4.7 Systèmes d'activation sonore

4.7.1 EndoActivator® (Dentsply)

L'EndoActivator® fonctionne sur accus, ce qui le rend autonome et particulièrement maniable. Malgré sa forme de contre-angle, la taille de ses différents segments ainsi que la position de l'interrupteur assez éloignée de la tête semble discutable en termes d'ergonomie. Le mouvement vibratoire est parfaitement régulier et puissant. La possibilité de le faire agir en continu sans laisser le doigt appuyé sur l'interrupteur est un avantage indéniable. Les embouts à usage unique se fixent et se retirent facilement, ils ont une forme bien adaptée aux canaux,

une très bonne souplesse et une grande résistance à la cassure. On peut reprocher l'absence de stop qui ne permet pas de contrôler précisément leur enfoncement, et l'impossibilité d'en installer un sans risque de le voir se déplacer le long de l'embout du fait des vibrations. Une marque au stylo feutre indélébile est toujours possible, même si ce repérage peut ne pas être très lisible en cours de travail. L'avantage de l'EndoActivator® réside dans la régularité de son mouvement qui n'est pas affecté par des réglages spécifiques et a été optimisé pour cet instrument. En l'absence de circuit d'irrigation, et du fait de son carénage plastique, l'ensemble paraît très résistant à la corrosion.

4.7.2 Flosser® (Waterpick) + embout d'EndoActivator®

A la différence de l'EndoActivator®, ce dispositif ne dispose pas d'un déclencheur de marche en continu, ce qui le rend assez fatigant à utiliser puisqu'il faut laisser en permanence le doigt sur l'interrupteur pour agiter l'embout dans le canal. La puissance et la fréquence des vibrations sont inconnues. Elles s'atténuent considérablement lorsque la batterie est déchargée. Le plus gros inconvénient du dispositif vient de sa forme inadaptée à l'usage recherché ici. Il faut souvent couder l'embout à la base pour l'introduire dans le canal, ce qui n'est pas toujours aisé. Le plus gros atout de ce système est en revanche sont rapport qualité/prix imbattable.



Figure 43 : Embout d'EndoActivator® monté sur Flosser®

Document Marc Apap

4.7.3 Eddy® (VDW)

Les inserts Eddy® sont de longues tiges coniques à usage unique, coudées selon un angle optimal par rapport au manche de la pièce à main. Pour l'instant, seulement trois marques de pièce à main (KaVo, W&H ou NSK) sont compatibles avec ce dispositif.

Dès l'instant où l'Eddy® est mis en fonction dans le canal, la vibration de la pièce à main provoque une quasi vaporisation du liquide qui se trouve dans la chambre pulpaire. Si l'on souhaite bénéficier de toute la puissance du dispositif, il convient donc de l'associer en parallèle, à une irrigation régulière à la seringue, pour renouveler la solution qui s'échappe du canal. Les vidéos cliniques disponibles sur Internet, illustrant l'utilisation de ce système, le montrent clairement. La présence d'une assistante qui doit d'une main, introduire le liquide dans la dent et de l'autre aspirer les éclaboussures tout autour, se révèle indispensable.

Malgré d'excellentes performances et une installation très simple sur l'équipement, l'Eddy® présente donc quelques inconvénients qui limitent son confort d'utilisation.



Figure 44 : Insert Eddy®
Document Marc Apap

4.7.4 Vibringe® (Cavex)

Rappelons-le, le Vibringe® a l'aspect d'une grosse seringue avec, à la base du piston, un anneau dans lequel on insère le pouce. Le corps du réservoir a une capacité de 10 ml, d'où un ensemble beaucoup plus volumineux qu'une seringue traditionnelle. Il peut recevoir les aiguilles à embase Luer de son choix, ce qui est un très gros avantage.

Si le corps de la seringue, spécifique, est vendu sous sachet stérile, la poignée n'est pas stérilisable et doit être désinfectée à la lingette après usage, puis remise à recharger sur le socle. La forme du Vibringe®, très classique, est discutable surtout à cause de l'anneau où l'on place le pouce, qui verrouille sa position au lieu de le laisser libre pour s'adapter à chaque situation clinique. La prise « stylo » qui assure une introduction plus aisée de l'aiguille dans le canal et permet de prendre des points d'appui pour un meilleur contrôle de l'injection n'est bien sûr, pas possible.

4.7.5 Irrigatys® (Itena)

De conception très soignée, ce dispositif récent a l'avantage d'abriter un réservoir interchangeable entièrement en plastique de bonne capacité (30 ml). La ligne d'irrigation qui amène le liquide depuis le manche dans lequel se trouve le réservoir jusqu'à la tête peut être changé assez simplement si nécessaire après quelques utilisations. Les risques de détérioration par corrosion sont limités, ce qui simplifie la maintenance.

Les aiguilles disponibles pour cet appareil sont spécifiques, courtes (19 et 21 mm), et de diamètre important (27 G soit 40/100 èmes), ce qui limite les risques d'extrusion au-delà du foramen, mais également les capacités du système. Le manche est relativement volumineux et la forme de l'ensemble, qui rappelle celle d'une brosse à dents électrique, n'est pas optimale pour l'introduction de l'aiguille dans les canaux des dents les plus postérieures.

4.8 Systèmes d'activation mécanique

4.8.1 CanalBrush® (Coltène)

Ces sortes de limes rotatives en plastique souple existent en trois tailles pour pénétrer jusqu'au bout des canaux les plus fins. Toutefois, elles se déforment facilement et voient même leurs petites aspérités latérales s'écraser ou disparaître. Il n'est pas possible de savoir si elles restent piégées dans le canal : le matériau utilisé pour la confection des CanalBrush® n'est pas radio-opaque. Le produit est extrêmement simple à utiliser, mais son efficacité reste très limitée.

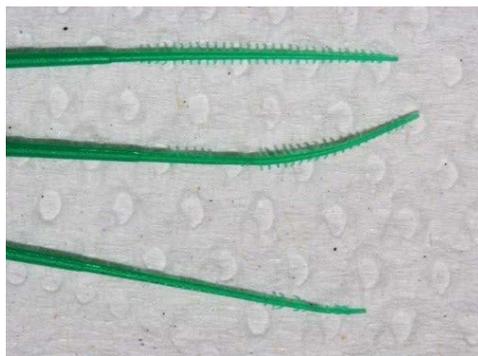


Figure 45 : CanalBrush® avant (en haut) et après utilisation (en bas)
Document Marc Apap

4.8.2 XP Endo Finisher® (FKG/Actéon)

La finesse extrême des XP Endo Finisher®, et leur conicité nulle leur permet de pénétrer dans les canaux jusqu'à la longueur de travail sans la moindre difficulté. Le métal utilisé, malgré sa souplesse et son aspect fragile, se révèle très résistant. Dotés d'un stop en caoutchouc, ces limes sont donc très faciles à introduire jusqu'au repère d'enfoncement choisi. On pourra toutefois émettre une réserve à ce sujet, en raison de la forme de l'instrument, qui, en se redressant une fois dans le canal, pourrait faire que la position du stop ne corresponde plus exactement à celle de la LT.

Le mouvement rotatif ne projette aucun liquide en dehors de la chambre pulpaire et s'effectue de manière très douce. Ce système est encore trop récent pour savoir s'il peut sérieusement concurrencer la PUI. Pour l'heure, son unique inconvénient est lié à son prix de vente très élevé, qui en fait un produit élitiste dans notre pays. A titre indicatif, le prix d'un seul XP Endo Finisher® à usage unique est à peine inférieur à celui d'un IrriSafe largement réutilisable.

4.9 Laser

Les lasers utilisés pour l'irrigation canalaire et la technique PIPS sont de type Erbium:YAG. Ce sont des appareils très volumineux, installés sur roulettes et d'un prix sans commune mesure avec tous les équipements présentés précédemment. Un bras articulé relie l'unité centrale à la pièce à main utilisable en bouche. Sa forme semble bien adaptée pour un accès facile à toutes les dents, d'autant que la fibre est courte puisqu'elle n'a pas besoin de pénétrer dans les canaux ; ce qui représente un atout important.

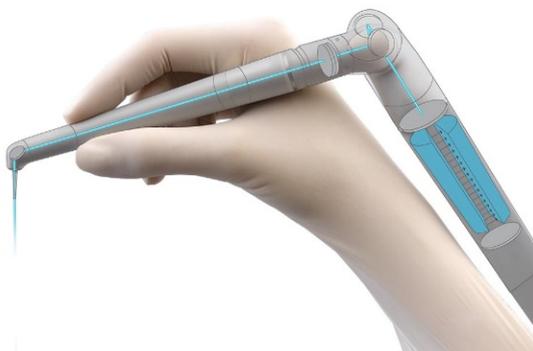


Figure 46 : Laser Er:YAG
Document IMOP, <https://laser-eryag.com/>

La mise en œuvre est en revanche longue et laborieuse. Comme pour l'utilisation de l'EndoVac, la présence d'une assistante qui place la solution d'irrigation dans la chambre pulpaire est indispensable. L'activation par l'appareil provoque une vaporisation du liquide qui doit être renouvelé durant toute cette phase du travail.

Même si les performances de cette technique semblent la placer dans le peloton de tête des méthodes d'activation, ses inconvénients ne compensent pas ses qualités.

5. Discussion

Les données actuelles de la littérature suggèrent que, comparativement à la seringue conventionnelle, les dispositifs d'activation améliorent la propreté du canal, l'élimination des boues dentinaires et les bactéries avec une meilleure pénétration de la solution d'irrigation dans le système endodontique.

Toutefois il est particulièrement difficile d'établir une hiérarchie entre les différentes techniques d'activation du fait de l'hétérogénéité des études.

Si certains auteurs se sont concentrés sur la pénétration de la solution dans l'espace endodontique (canal principal, canaux accessoires, isthmes) ou celui d'un ciment d'obturation dans les canalicules dentinaires après activation de l'irrigant, d'autres se sont intéressés au nettoyage des débris canaux et/ou de la boue dentinaire, à l'élimination d'hydroxyde de calcium ou de pâtes antibiotiques introduites dans la racine, à la quantité de solution extrudée ou encore à son action antibactérienne.

Il est rare de trouver des études qui comparent tous les dispositifs entre eux. Et quand on y parvient, les volumes et concentrations de solution(s) sont souvent différents entre chaque technique, de même que les temps d'activation ou la profondeur de pénétration des dispositifs, quand ils sont mentionnés.

Enfin, les variations méthodologiques concernant la sélection des échantillons (type de dent, diamètre et conicité du canal, droit ou courbe, ouvert ou fermé), les dispositifs d'irrigation et leur protocole d'utilisation (type, volume et concentration des solutions, profondeur d'insertion, diamètre et design des aiguilles, temps d'activation et puissance), ainsi que les méthodes de collecte des résultats (microscope optique, MEB, microCT...) rendent quasiment impossible la comparaison objective de toutes ces études entre elles.

Très récemment, l'équipe de Virdee et al. (2018) est en partie parvenue à trouver une réponse grâce à sa revue systématique et la méta-analyse de l'efficacité des techniques d'activation dans le nettoyage intracanal.

L'objectif principal de cette étude était d'établir si l'utilisation de dispositifs d'activation de la solution d'irrigation entraîne une meilleure élimination de la « smear-layer » et des débris que la seringue conventionnelle. En second lieu, l'étude visait à identifier l'efficacité de chaque dispositif à chaque niveau du canal.

Six bases de données électroniques (Pubmed, EMBASE, Cochrane Library, Science Direct, Web Science et Google scholar) ont été consultées pour identifier des études évaluant l'élimination des boues dentinaires et/ou des débris sur dents humaines matures selon différentes méthodes : Pression Apicale Négative (ANP), Activation Dynamique Manuelle (MDA), Activation Ultrasonore Passive (PUI), et Activation Sonique (SI). Des méta-analyses

ont été effectuées pour chaque portion des canaux (coronaire, médian, apical et à 1 mm du foramen).

Seules, les études évaluant la présence de débris/smear layer au microscope électronique à balayage ont été choisies pour apprécier la propreté canalaire. Chaque expérimentation devait respecter un protocole d'irrigation normalisé (CIONa – EDTA). Les études exploitant des modèles autres que des dents humaines matures (animaux, blocs de plastique/résine) ont été exclus, de même que les systèmes de canaux ouverts, afin de créer un échantillon plus représentatif de la situation *in vivo*. Enfin, celles qui ont évalué la propreté des canaux latéraux, isthmes ou sillons artificiels ont également été exclues, car elles ne concernaient pas la partie centrale du canal. La recherche a été limitée aux articles en anglais publiés entre janvier 2000 et Novembre 2016.

Sur 252 études, 16 ont été sélectionnées correspondant aux critères d'inclusion retenus. Les méta-analyses se sont limitées à celles dont les résultats étaient présentés quantitativement sous forme de moyennes et d'écart-types (12 études).

En raison des différents systèmes de cotations pour mesurer la propreté canalaire, des différences de moyennes normalisées ont été calculées, permettant une comparaison directe entre les études. Une série de tests a été mise en place pour éviter un maximum de biais.

Les résultats de ces méta-analyses montrent, par rapport à l'irrigation conventionnelle à la seringue, une réduction significative de la smear-layer et des débris au niveau coronaire, médian et dans le tiers apical. Cependant, à 1 mm de la longueur de travail, et malgré de meilleurs scores concernant les boues dentinaires, la différence n'était pas significative.

D'après les auteurs, une interprétation précise des méta-analyses se révèle impossible en raison de l'hétérogénéité des résultats. Les variations méthodologiques et le manque de standardisation dans les groupes de contrôle et d'essais ne permettent pas d'obtenir des chiffres précis.

De plus, aucun des systèmes d'activation ne s'est révélé supérieur aux autres. L'absence de normalisation empêche les comparaisons objectives. L'ANP a été recommandé 10 fois, le SI 10 fois, le PUI 5 fois, et le MDA 3 fois. Cette hétérogénéité interdit de donner des conseils sur les techniques à utiliser et souligne la nécessité pour les chercheurs de développer un modèle expérimental mieux standardisé.

S'il n'est pas encore possible de trancher en faveur d'un dispositif selon son efficacité, la praticité et l'ergonomie des uns et des autres sont loin d'être équivalentes. Il serait donc logique de préférer les méthodes les plus simples et les moins difficiles à mettre en œuvre, les systèmes les moins encombrants, les plus faciles d'entretien, les moins opérateurs dépendants et d'un coût relativement acceptable.

Dans cette optique, nous excluons les lasers, qui malgré une efficacité prouvée (PIPS), sont bien trop chers et d'une utilisation plus compliquée qu'on pourrait le croire.

L'activation manuelle dynamique est de loin la méthode la plus simple et la plus économique. Très confortable pour le traitement des monoradiculées, elle se révèle cependant assez fastidieuse au niveau des prémolaires et molaires.

On pourra lui préférer les dispositifs vibratoires avec irrigation passive à la seringue, qu'ils soient soniques (Endoactivator®, Eddy®) ou ultrasonores, spécifiques (Irrisafe®) ou pas. L'agitation rotative à l'XP Endofinisher® se révèle prometteuse, mais doit encore démontrer son efficacité en toute circonstance.

Les autres dispositifs comme l'Endovac® et succédanées restent confidentiels dans notre pays, et leur mise en œuvre particulière ne les prédisposent pas à un usage de masse.

6. Questionnaire : L'irrigation canalaire en Endodontie en France

A l'issue de notre étude, nous avons appris que l'irrigation à la seringue était insuffisante pour atteindre les objectifs recherchés. Des substituts plus efficaces ou des moyens d'activation complémentaires semblent indispensables, notamment lors du traitement des dents à pulpe infectée.

6.1 Matériels et Méthodes

Nous avons initié un questionnaire diffusé sur Internet pour connaître les pratiques de chirurgiens-dentistes français à ce sujet. Ce dernier a été élaboré sur Google Forms® et diffusé sur FaceBook de manière à faciliter le recueil des réponses et leur exploitation statistique.

Il a été distribué dans plusieurs groupes de discussions privés : « Dentiste de France » (19200 membres), « French kiss » (11700), « Odontologie clinique » (3900), « Endo ladies » (490). Nombreux sont les praticiens qui consultent ces pages, garantissant une récolte facile et rapide des réponses.

Seuls les chirurgiens-dentistes diplômés et exerçants sur le sol français étaient invités à répondre aux questions. Nous avons obtenu au total les réponses de 320 praticiens.

Le recueil des données s'est fait sur 2 mois : de Mars à Avril 2018.

Le questionnaire comprenait 3 parties (**cf annexe**) :

- Le profil du chirurgien-dentiste : le type d'exercice, ses formations, le nombre de traitements endodontiques réalisés par semaine, le sexe, la date d'obtention de son diplôme et son lieu d'exercice,
- Des informations relatives aux dispositifs d'irrigation utilisés en peropératoire,
- Des informations relatives aux dispositifs d'activation de la solution d'irrigation finale.

Ainsi, à l'issue de cette consultation nous cherchions à savoir :

- Si les praticiens étaient au courant qu'il existe d'autre(s) système(s) d'irrigation que la seringue et dans quelle proportion. Etaient-ils demandeurs d'autres dispositifs, selon quels critères ?
- Si les chirurgiens-dentistes ayant un exercice limité à l'Endodontie avaient des critères différents des autres praticiens.
- Si ceux qui ont récemment suivi une formation en Endodontie ont une pratique différente des autres.
- Si les chirurgiens-dentistes les plus récemment diplômés sont au fait des dernières connaissances dans ce domaine et pratiquent selon les données les plus actuelles de la science.

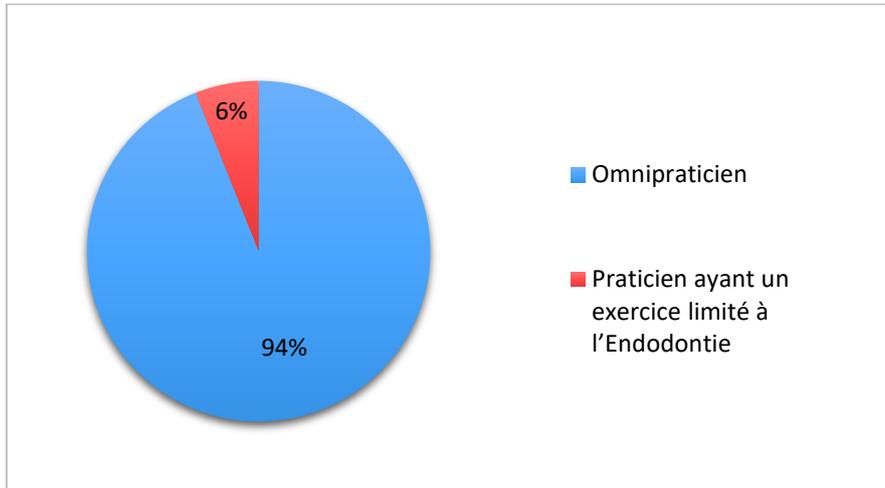
6.2 Statistiques

La saisie des résultats et le traitement des données ont été réalisés sous Microsoft Excel 2016. Les données détaillées sont présentées dans l'annexe.

6.3 Résultats

6.3.1 Profil du praticien

6.3.1.1 Type d'exercice

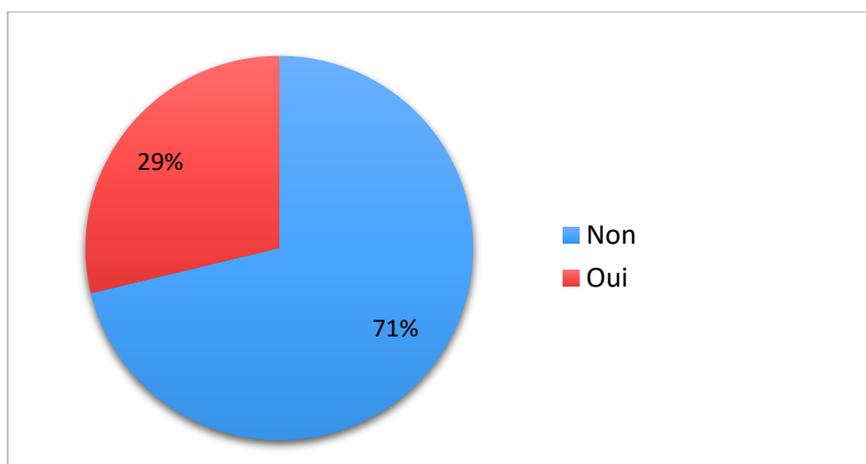


Graphique 1 : Type d'exercice

Au total, 320 praticiens ont répondu à notre questionnaire. Parmi eux, on dénombre 302 omnipraticiens (94 %) et 18 praticiens ayant un exercice limité à l'Endodontie (6 %).

Dans un souci de fluidité, le terme « Endodontistes » sera utilisé dans les suites des résultats en vue de faciliter la lecture des graphiques.

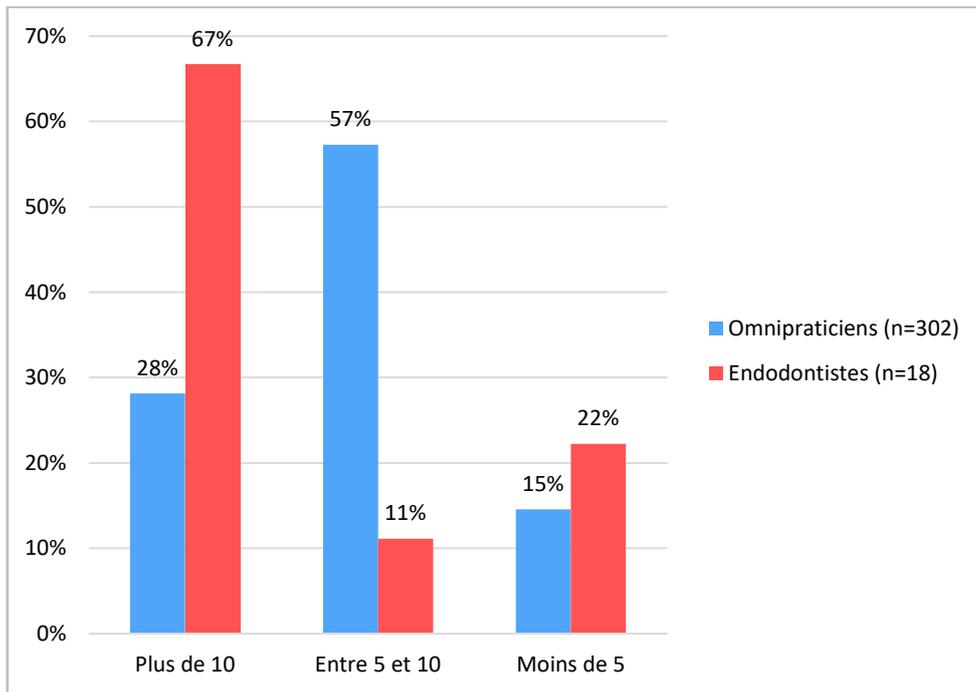
6.3.1.2 Formation



Graphique 2 : Formation

29 % (N=92) des praticiens ont participé à une formation en Endodontie au cours des 3 dernières années (*SFE, ADF, SOP, CES...*), les 18 Endodontistes étant compris dans cette population (20 %).

6.3.1.3 Nombre de traitements endodontiques réalisés par semaine

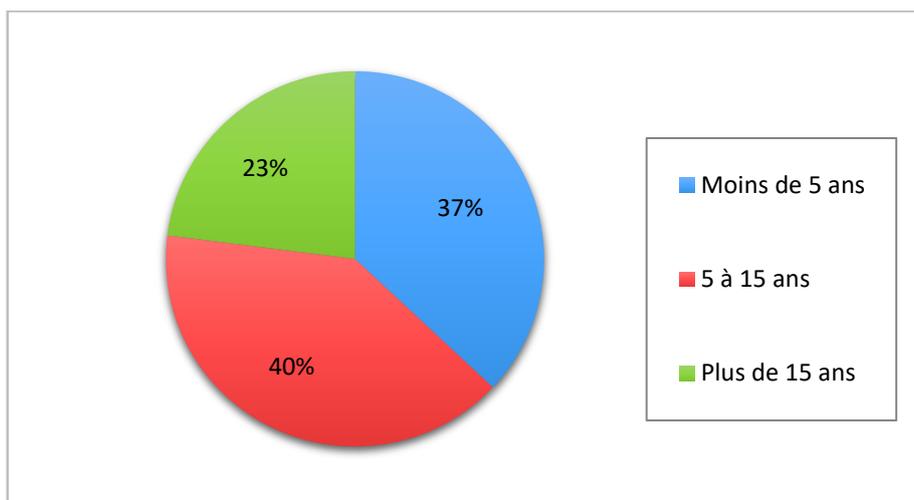


Graphique 3 : Nombre de traitements endodontiques par semaine

Concernant les omnipraticiens, 28 % réalisent plus de 10 traitements hebdomadaires (N=44), 57 % en réalisent entre 5 et 10 (N=173) et 15 % moins de 5 (N=85).

Parmi les Endodontistes, 67 % réalisent plus de 10 traitements par semaine (N=12), 11 % entre 5 et 10 traitements (N=2) et 22 % moins de 5 traitements hebdomadaires (N=4).

6.3.1.4 Année d'obtention du diplôme de chirurgien-dentiste

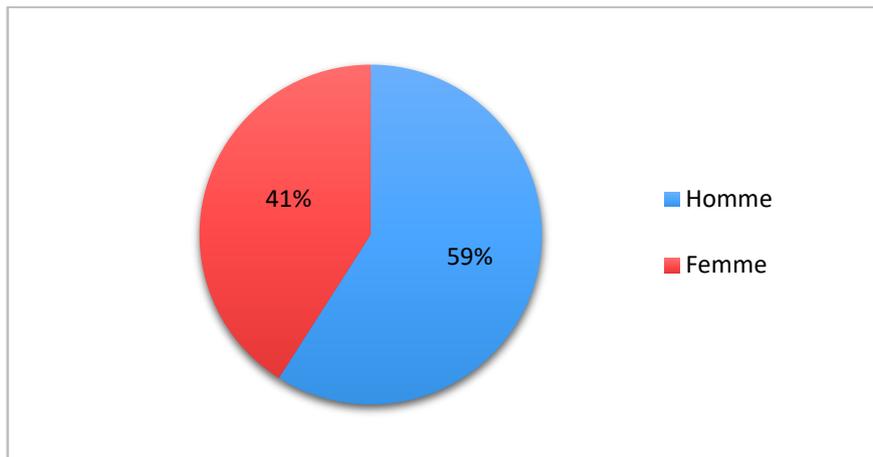


Graphique 4 : Année d'obtention du diplôme de chirurgien-dentiste

La part des praticiens ayant moins de 5 ans d'exercice représente 37 % (N=118), ceux entre 5 et 15 ans 40 % (N=129) et ceux ayant plus de 15 ans de pratique 23 % (N=73).

Chez les Endodontistes, 1 seul est diplômé depuis moins de 5 ans (6 %), 9 entre 5 et 15 ans (50 %), et 8 pour les plus de 15 ans (44 %).

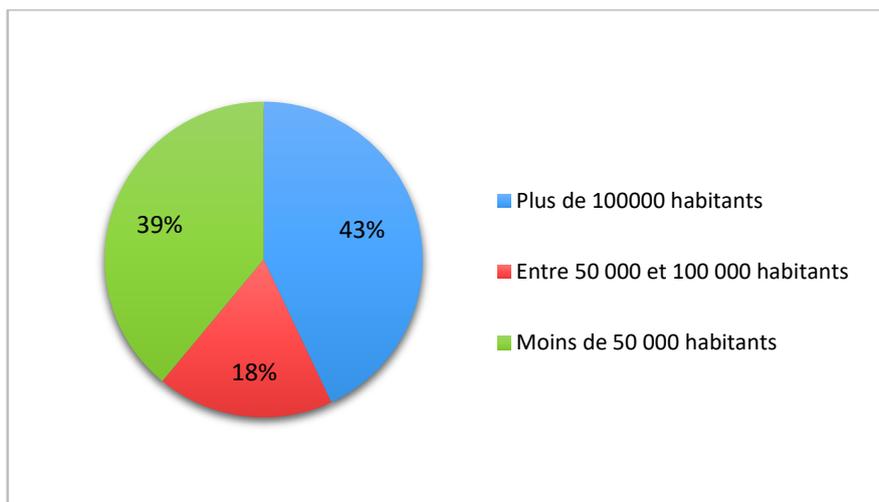
6.3.1.5 Sexe



Graphique 5 : Sexe

Les femmes comptent 41 % (N=132) des réponses face à 59 % (N=188) pour les hommes. Parmi les Endodontistes, on compte 5 femmes (28 %) pour 13 hommes (72 %).

6.3.1.6 Lieu d'exercice

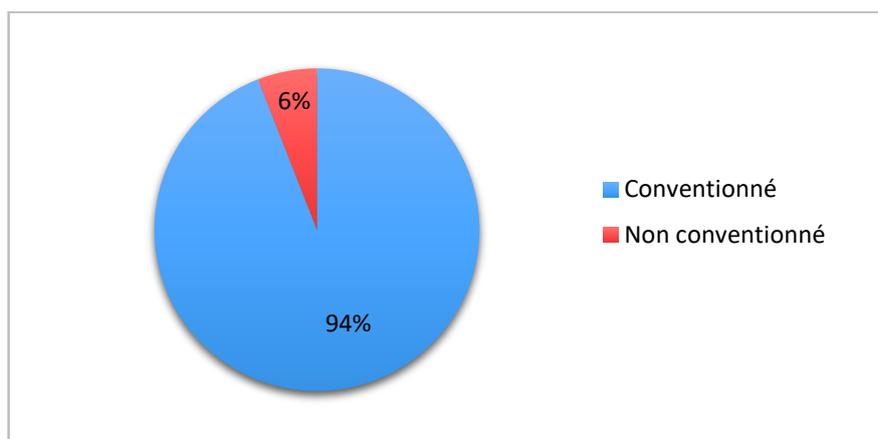


Graphique 6 : Lieu d'exercice

Les lieux d'exercice des praticiens sont essentiellement les grandes villes (43 %, N=138) et les agglomérations de moins de 50 000 habitants (39 %, N=125).

Quatorze Endodontistes exercent dans les grandes villes (78 %), 1 seul en agglomération entre 50 000 et 100 000 habitants (6 %) et 3 en agglomération de moins de 50 000 habitants (17 %).

6.3.1.7 Exercice conventionné/déconventionné



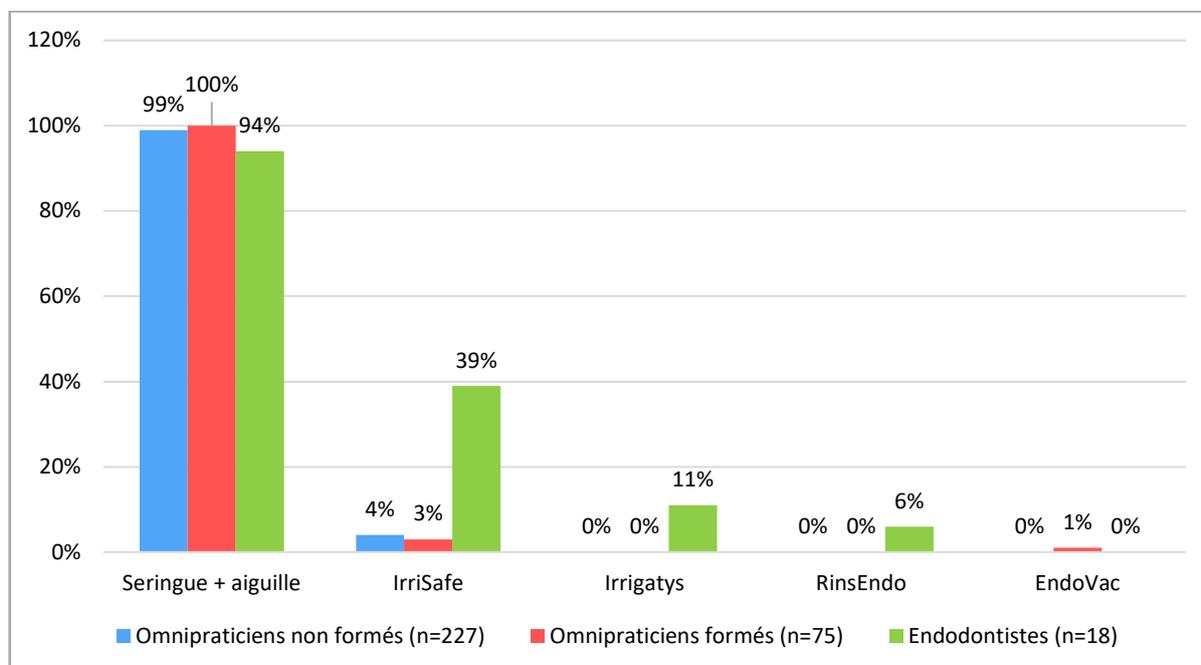
Graphique 7 : Conventionnement

Seulement 6 % des praticiens sont déconventionnés (N=19) sur notre échantillon. 4 praticiens ayant un exercice limité à l'Endodontie sont déconventionnés (22 %) contrairement aux 14 autres conventionnés (78 %).

6.3.2 Dispositifs d'irrigation

Les résultats ont été répartis selon 3 groupes : omnipraticiens non formés au cours des trois dernières années, omnipraticiens formés et Endodontistes, et analysés selon ce classement. Lorsque des différences significatives étaient trouvées, les résultats ont également été décrits selon l'année d'obtention du diplôme de chirurgien dentiste.

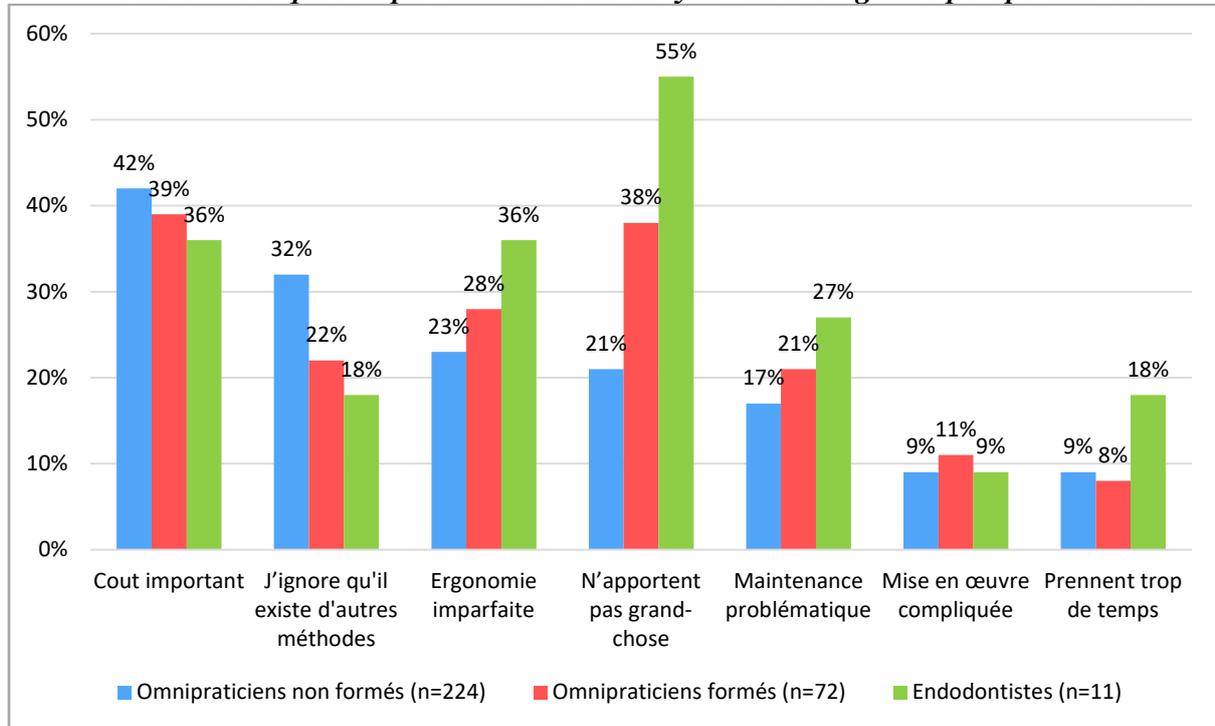
6.3.2.1 Dispositif(s) d'irrigation peropératoire utilisé(s)



Graphique 8 : Quel(s) dispositif(s) d'irrigation peropératoire utilisez-vous ?

La seringue est utilisée par la quasi-totalité des chirurgiens-dentistes (N=317). Deux omnipraticiens non récemment formés utilisent l'IrriSafe® comme seul dispositif d'irrigation en remplacement de la seringue, et un Endodontiste utilise exclusivement le RinsEndo®. L'IrriSafe® est utilisé par 39 % des Endodontistes, en complément de la seringue contre seulement 3 et 4 % des omnipraticiens. Seul un praticien formé utilise l'EndoVac®. L'Irrigatsy® n'a trouvé que 2 utilisateurs, exclusivement chez des Endodontistes (11 %).

6.3.2.2 Pourquoi ne pas utiliser d'autres systèmes d'irrigation peropératoire ?

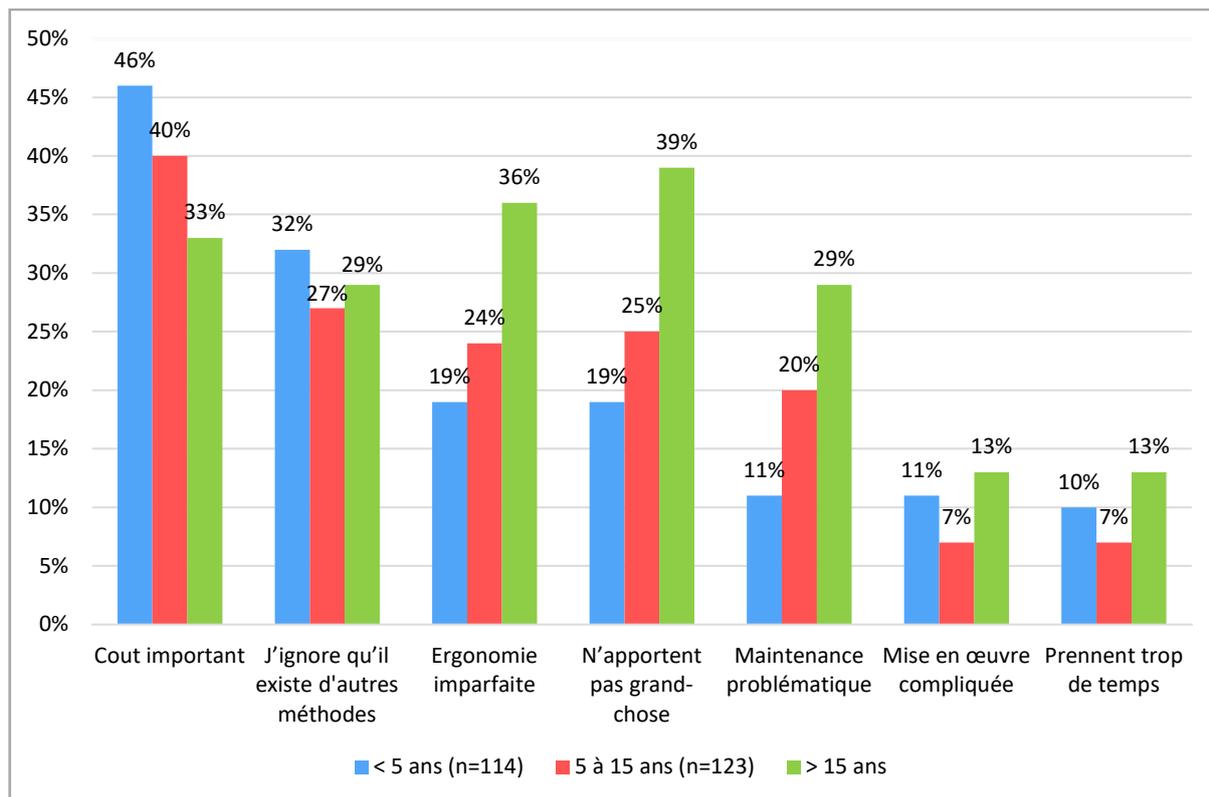


Graphique 9 : Si vous n'utilisez aucun autre dispositif d'irrigation que la seringue, quelles en sont les raisons ? Selon le type d'exercice

Pour les Endodontistes, 55 % (N=6) estiment que les dispositifs d'irrigation, autres que la seringue, n'apportent pas grande chose. Ensuite, le coût trop élevé (36 % N=4) et l'ergonomie imparfaite (36% N=4) représente le second frein à l'achat d'un nouveau dispositif. La maintenance problématique a récolté 3 réponses (27 %), 2 ignorent qu'ils existent d'autres méthodes (18 %), 2 trouvent qu'ils prennent trop de temps (18 %) et enfin 1 trouve leurs mises en œuvre compliquées (9 %).

Concernant les omnipraticiens, on peut noter de légères différences entre praticiens.

Pour tous les omnipraticiens, le coût représente la première barrière à l'achat d'un nouveau dispositif (42 % non formés, N=93 ; 39 % formés, N=28). Au deuxième rang par contre, les praticiens formés estiment que les dispositifs n'apportent pas grand-chose (38 % N=27) alors que les praticiens non formés ignorent simplement qu'il existe d'autres méthodes (32% N=71). L'ergonomie imparfaite se hisse au troisième rang pour les formés et non formés (28 % N=20 ; 23 % N= 52 respectivement). La maintenance (18 % N=53), la mise en œuvre (10 % N=29) et le temps passé durant l'intervention (9 % N=27) semble être les facteurs les moins contraignants pour les omnipraticiens.



Graphique 10 : Si vous n'utilisez aucun autre dispositif d'irrigation que la seringue, quelles en sont les raisons ? Selon année du diplôme

Globalement deux tendances se dégagent, entre les praticiens ayant moins de 15 ans d'expérience et ceux diplômés depuis plus de 15 ans.

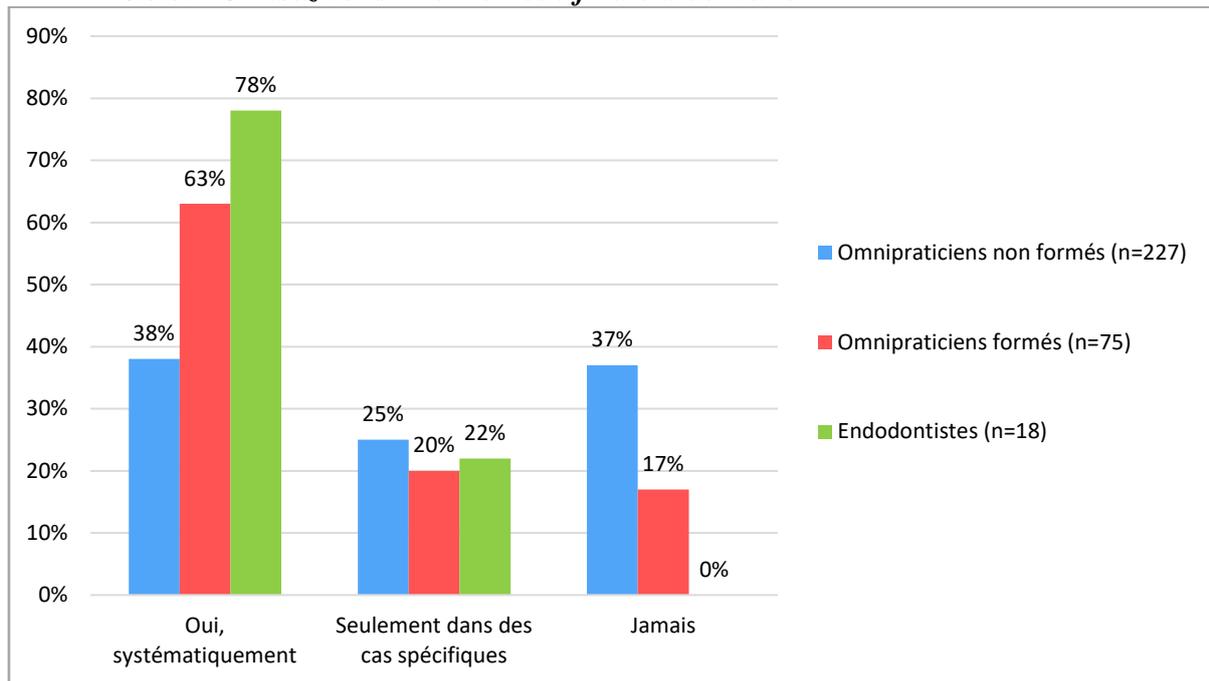
Ces derniers (N=72) sont 39 % (N=25) à penser que les autres systèmes n'apportent pas grand-chose. De plus, l'ergonomie et le coût semblent être les plus gros défauts (36 % N=25 ; 33 % N=23 respectivement). La mise en œuvre compliquée et l'ignorance d'autres dispositifs se place en 4^{ème} position, récoltant chacune 29 % des réponses (N=20).

Pour ce qui est des praticiens diplômés avant 2003, c'est le coût qui représente le plus gros frein (46 % N=53 ; 40 % N=49). En deuxième position, 32 % (N=36, < 5 ans) et 27 % (N=33, 5 à 15 ans) ignorent qu'il existe d'autres méthodes que la seringue conventionnelle. L'apport minimal d'un dispositif supplémentaire et l'ergonomie imparfaite se hisse en 3^{ème} position (25 % N=31 ; 19 % N=22 ; 24 % N=20 ; 19 % N=22 respectivement)

Là encore, tous praticiens confondus (N=307), la maintenance (18% N=56), la mise en œuvre compliquée (10 % N=30) et le temps (9 % N=29) ne semblent pas être les facteurs les plus contraignants dans l'achat d'un nouveau dispositif.

6.3.3 Dispositifs d'activation en fin de préparation

6.3.3.1 Utilisez-vous une méthode finale d'activation ?

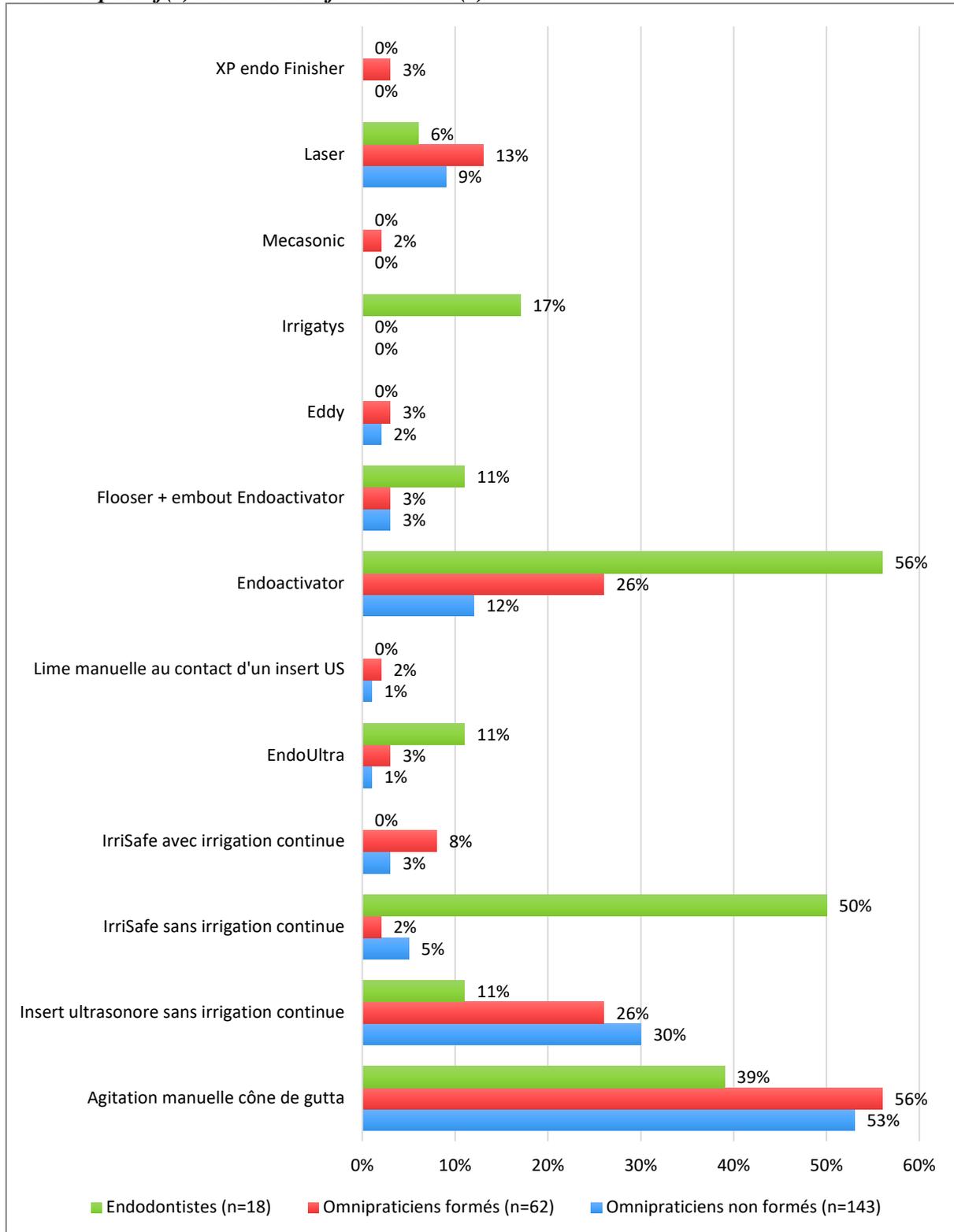


Graphique 11 : Utilisez-vous une méthode d'activation de la solution d'irrigation en fin de préparation ? Selon le type de pratique

Le taux de praticiens réalisant une activation systématique de la solution en fin de préparation augmente avec leur niveau de formation (38 %, 63 %, 78 %).

Plus d'un tiers des omnipraticiens non formés (37 %, N=84) ne réalisent jamais d'activation finale. Pour les praticiens ayant suivi une formation en Endodontie, le chiffre diminue avec 17 % (N=13), jusqu'à atteindre 0 % pour les Endodontistes. Près de 20 % de l'ensemble des praticiens effectuent une activation uniquement dans des cas spécifiques.

6.3.3.2 Dispositif(s) d'activation finale utilisé(s)



Graphique 12 : Quelle technique d'activation finale utilisez-vous ?

Deux cent vingt-trois praticiens ont répondu à cette question, (97 ayant répondu qu'ils ne réalisaient jamais d'activation de la solution) ce qui représente 70 % de notre échantillon.

Les réponses entre omnipraticiens non formés et formés sont plutôt semblables sur cette question, mais diffèrent de celles des Endodontistes.

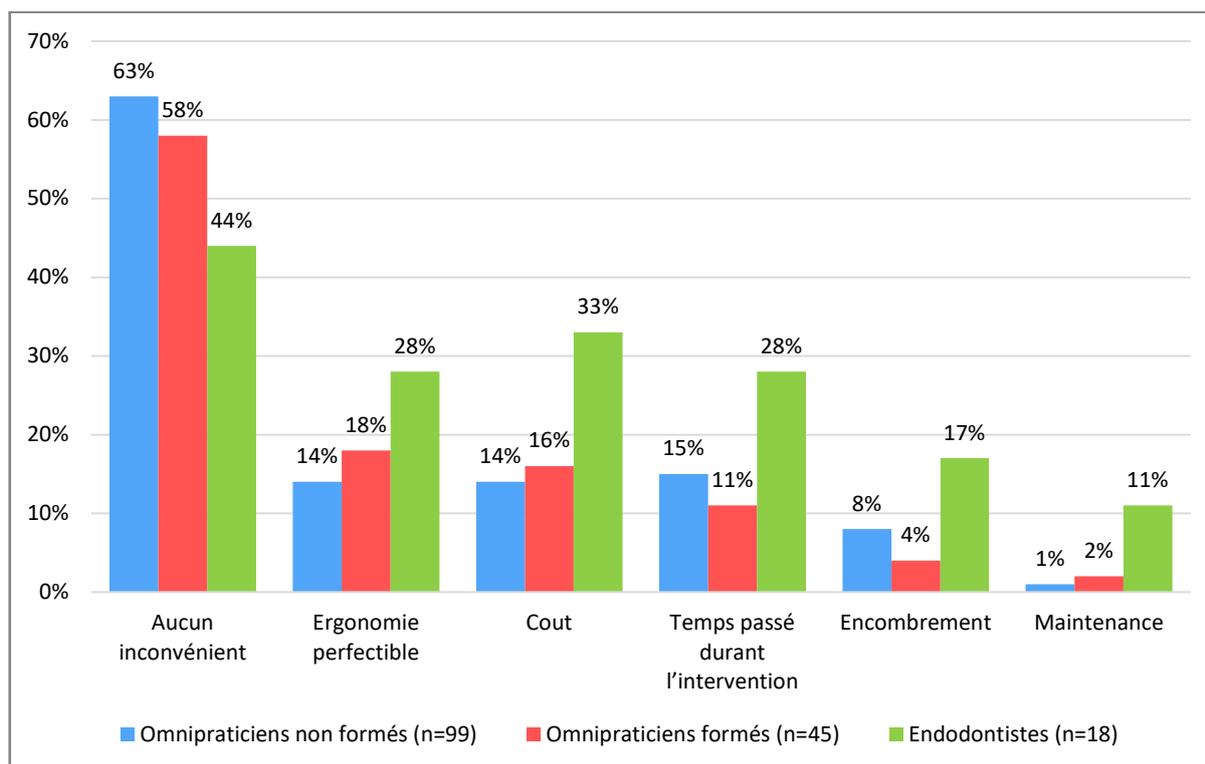
L'agitation manuelle d'un cône de gutta percha dans le canal est la méthode la plus utilisée chez les omnipraticiens formés ou non (N=205), regroupant plus de la moitié de leurs réponses (55 %, N=111). En deuxième position, 28 % (N=59) des omnipraticiens utilisent un insert ultrasonore avec irrigation intermittente. L'EndoActivator® arrive en 3ème position : c'est la méthode adoptée par 12 % chirurgiens-dentistes « non formés » (N=17), et en proportion deux fois plus importante (26 %, N=16) chez les praticiens formés.

Concernant les Endodontistes (N=18), la grande majorité utilisent l'EndoActivator® (56 %, N=10). L'IrriSafe® sans irrigation continue compte 50 % des réponses (N=9). En troisième position arrive l'agitation manuelle d'un cône de gutta avec 39 % (N=7).

La catégorie « autres systèmes » a recueilli 10 réponses supplémentaires, uniquement de la part d'omnipraticiens : 2 pour l'XP-Endo Finisher® (FKG), 5 pour l'Eddy® (VDW), 2 les ultrasons au contact d'une lime manuelle, et 1 le Mecasonic® (Micro-Mega).

Omnipraticiens	Endodontistes
1-Agitation manuelle d'un cône de gutta	1-EndoActivator®
2-Insert ultrasonore	2-IrriSafe® sans irrigation continue
3-EndoActivator®	3-Agitation manuelle d'un cône de gutta

6.3.3.3 Quels(s) inconvénient(s) reprochez-vous à votre système d'activation ?



Graphique 13 : Si vous utilisez un dispositif d'activation spécifique, quels inconvénients reprochez-vous à ce système ?

Parmi les 223 praticiens ayant répondu à la question précédente, seul 161 chirurgiens-dentistes ont répondu à celle-ci (50 % de notre échantillon).

La majorité sont satisfaits de leur dispositif d'activation (63 % de praticiens non formés N=62 ; 58 % de praticiens formés N=26 ; 44 % d'Endodontistes N=8).

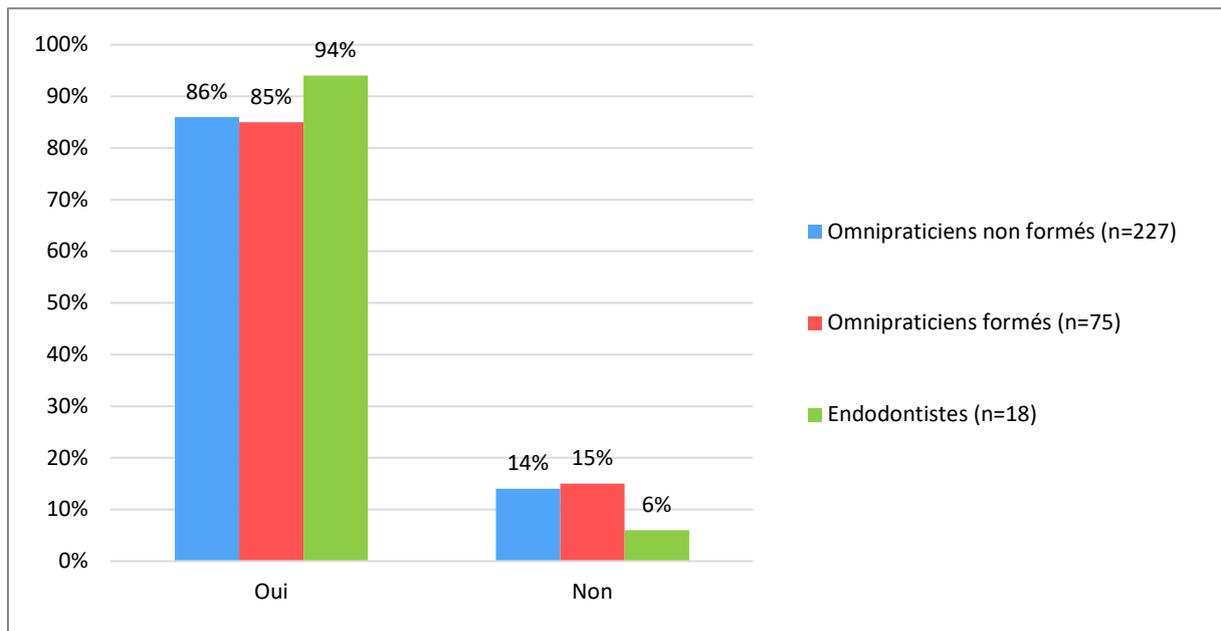
Il semblerait majoritairement que l'ergonomie, le coût et le temps passé seraient les 3 facteurs qui méritent le plus d'être corrigés sur les dispositifs d'activation actuels. (14 % N=14, 18% N=8, 28 % N= 5 ; 14 % N=14, 16 % N= 7, 33 % N=6 ; 15% N=15, 11% N=5, 28 % N=5 respectivement). Ces critères semblent beaucoup plus cruciaux pour les Endodontistes que les autres praticiens qui leur accordent une importance plus faible.

L'encombrement et la maintenance ne représenteraient pas un inconvénient pour les omnipraticiens (7 % N=10 et 1% N=2 respectivement), contrairement aux Endodontistes qui leur accordent plus d'intérêt (17 % N=3 et 11 % respectivement N=2).

Non formés	Formés	Endodontistes
1-Aucun inconvénient 2-Temps 3-Ergonomie - Coût	1-Aucun inconvénient 2-Ergonomie 3-Coût	1-Aucun inconvénient 2-Coût 2-Ergonomie - Temps

6.3.4 Seriez-vous intéressé(e) par un nouveau système d'irrigation - d'activation ?

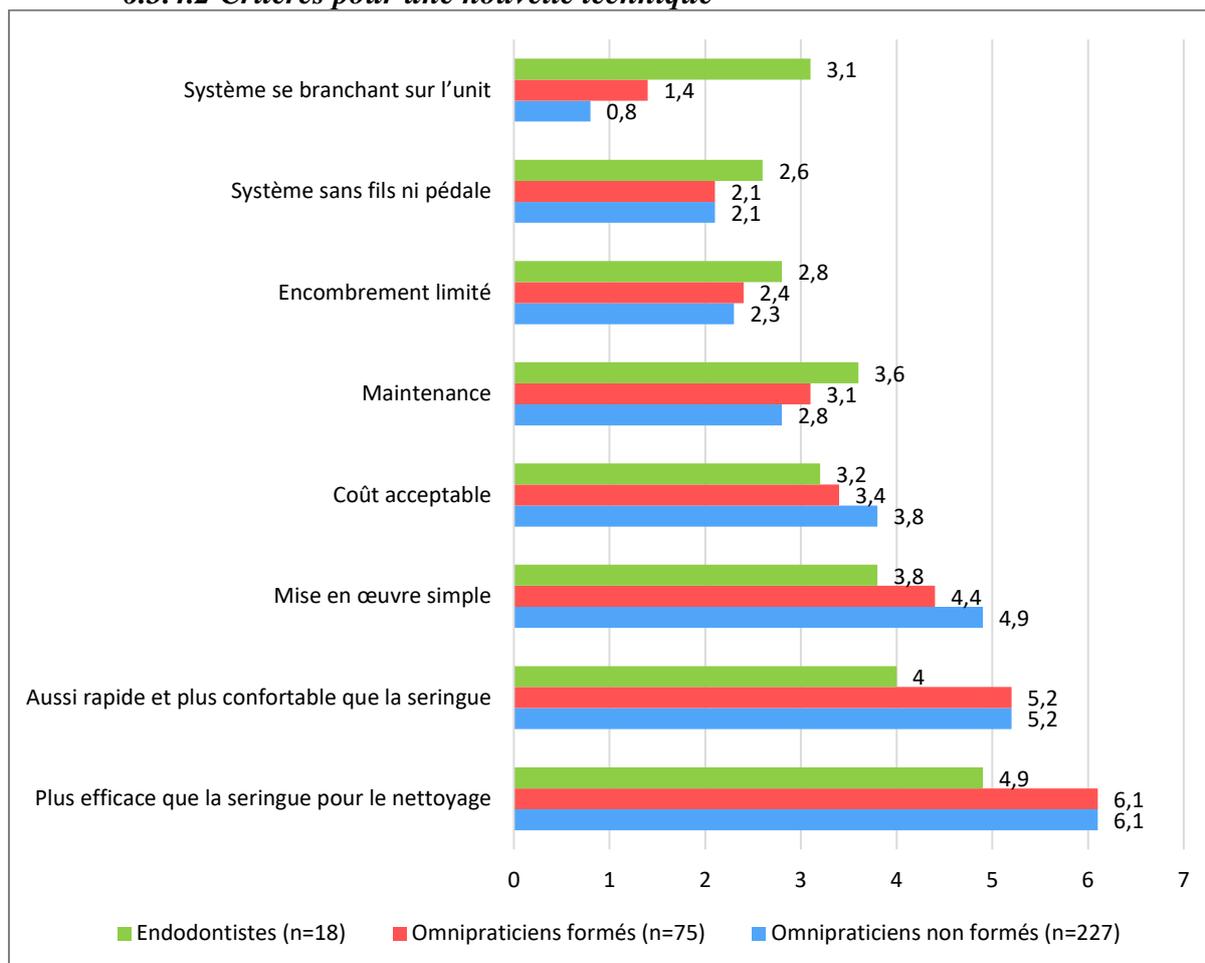
6.3.4.1 Découverte



Graphique 14 : Seriez-vous intéressé(e) par la découverte et par l'utilisation d'autres systèmes d'irrigation et d'activation ?

Parmi les 320 participants, 277 (88 %) seraient intéressés par la découverte et l'utilisation d'autres systèmes d'irrigation et d'activation. Cette proportion est particulièrement élevée chez les Endodontistes (94 %, N=17).

6.3.4.2 Critères pour une nouvelle technique



Graphique 15 : Selon vous, quels avantages devraient-ils présenter ?

Pour l'ensemble des praticiens, le premier critère retenu serait que ce nouveau dispositif soit « Plus efficace pour nettoyer le canal que la seringue » (6,1/8 ; 76 %). Pour les Endodontistes, ce critère est à peine moins important. (4,9/8 ; 61 %)

Pour les omnipraticiens (N=302), les autres avantages seraient, en ordre décroissant d'importance : « aussi rapide et plus confortable que la seringue » (65 %), « facile à mettre en œuvre » (60 %), « coût acceptable » (46 %), « maintenance aisée » (36 %), « encombrement limité » (29 %), « système sans fils ni pédale » (26 %) et enfin « système se branchant sur l'unité. » (12 %)

Chez les Endodontistes (N=18), la maintenance facile (45 %) semble plus importante que le coût (40 %). De plus, ils considèrent qu'un système qui se branche sur l'unité (39 %) est plus intéressant qu'un dispositif peu encombrant ou sans fil (35 % et 33 % respectivement).

Non formés	Formés	Endodontistes
1-Plus efficace 2-Rapide & confortable 3-Mise en oeuvre	1-Plus efficace 2-Rapide & confortable 3-Mise en oeuvre	1-Plus efficace 2-Rapide & confortable 3-Mise en oeuvre

6.4 Discussion

6.4.1 Population étudiée

Au total, 320 praticiens ont répondu à notre questionnaire, échantillon relativement élevé pour tenter de tirer certaines conclusions. Toutefois sa représentativité avec la population de chirurgiens dentistes français reste relative.

Le nombre de praticiens exclusifs à l'Endodontie n'est pas recensé par le Conseil de l'Ordre National (ONCD) ou l'Assurance maladie, puisqu'elle n'est pas considérée comme une spécialité à part entière. Il est donc difficile de comparer nos chiffres à la situation française.

De plus, 30 % des participants ont participé à une formation en Endodontie au cours des 3 dernières années, chiffre qui peut sembler relativement élevé. Cela n'est pas étonnant : ceux qui fréquentent les réseaux sociaux sont souvent les plus jeunes, et seuls les plus concernés par les problématiques endodontiques ont accepté de répondre.

Presque 80 % des participants sont des chirurgiens-dentistes exerçant depuis moins de 15 ans. La proportion des praticiens de 65 ans et plus, représentent 2 % de nos répondants ; Elle est de 7,4 % en France d'après l'ONCD. Cela confirme les remarques précédentes, liées au canal de diffusion de notre questionnaire.

La répartition hommes/femmes (59 %, 41 %) quant à elle, concorde avec celle annoncée par l'ONCD du 2 septembre 2018, les femmes représentant 45,3 % de la profession. Chez les Endodontistes par contre, la part des hommes est nettement plus importante (78 %).

Les praticiens déconventionnés représentent 5 % de notre échantillon. Il n'a pas été possible d'obtenir les chiffres officiels de praticiens non conventionnés en France. Nous estimons que le pourcentage relevé ici est très légèrement supérieur à la moyenne nationale.

6.4.2 Dispositifs d'irrigation

6.4.2.1 Dispositif(s) d'irrigation per opératoire

Sans surprise, la seringue est le dispositif utilisé par la quasi totalité des chirurgiens dentistes.

L'IrriSafe® est utilisé par plus d'un tiers des Endodontistes, en complément de la seringue contre seulement 3 et 4 % des omnipraticiens. Ce dispositif est en principe considéré comme moyen d'activation seul. Il peut aussi être employé comme technique d'irrigation en remplacement de la seringue sur un détartreur à ultrasons équipé d'un réservoir.

Etant donnée la formulation de la question (plusieurs réponses étaient possibles), il est difficile de déterminer si les répondants utilisent l'IrriSafe® pour agiter une solution déjà introduite dans le canal durant toutes les phases de la préparation, si certains s'en servent avec une irrigation continue, ou bien s'ils ont confondu irrigation peropératoire et activation finale. Toujours est-il que cette proportion très élevée d'utilisateurs d'un système ultrasonore chez les Endodontistes exclusifs prouve leur niveau de connaissances supérieur à celui des omnipraticiens à cet égard.

Un seul praticien - qui a suivi une formation récente à la Société Française d'Endodontie - utilise l'EndoVac®. Ce dispositif développé aux USA est à peine connu en France où sa commercialisation semble très récente et à un prix qui peut sembler élevé. Nous avons vu que son excellente efficacité théorique n'était pas nécessairement confirmée en clinique et que sa mise en œuvre se révélait un peu contraignante.

L'Irrigatys® n'a trouvé que 2 utilisateurs, exclusivement chez des Endodontistes. Ce dispositif nouveau n'a pas encore conquis de grosses parts de marché, en raison de performances insuffisamment encourageantes et d'un prix relativement élevé.

D'autres réponses ont été données concernant les dispositifs complémentaires à la seringue pour l'irrigation per opératoire : 4 praticiens utilisent un laser, 4 autres l'EndoActivator® (Dentsply), un les ultrasons au contact d'une lime manuelle et un dernier, l'Eddy® (VDW).

Comme précisé plus haut, ces techniques relèvent de l'activation finale de la solution et il n'est pas sûr que les praticiens aient parfaitement compris la question, pensant peut-être que toutes les phases de la préparation, depuis l'exploration canalaire, jusqu'au séchage des canaux avant obturation étaient considérées comme peropératoires.

6.4.2.2 Pourquoi ne pas utiliser d'autres systèmes d'irrigation per opératoire ?

Plus de la moitié des Endodontistes jugent inutile d'investir dans un système d'irrigation peropératoire autre que la seringue car ils sont convaincus qu'il n'apporterait pas grand-chose. Plus du tiers estiment que son coût élevé et son ergonomie imparfaite ne compenseraient pas ses avantages.

Les omnipraticiens sont plus indécis concernant de tels systèmes puisque 80 % d'entre eux pensent qu'ils pourraient au contraire être intéressants. Ceux formés à l'Endodontie ne sont qu'un peu moins de 60 % à le croire.

Le réalisme des praticiens formés ou exclusifs les rend de ce fait plus sceptiques que les autres qui rêvent encore de meilleures solutions. Ceci vient en parallèle avec leur méconnaissance des systèmes, puisque près d'un tiers des omnipraticiens ignorent qu'il existe d'autres méthodes, alors que ceux formés à l'Endodontie ne sont que 22 %. Il est à l'inverse assez surprenant que 18 % des Endodontistes ne soient pas au courant de l'existence d'autres dispositifs que l'irrigation à la seringue conventionnelle.

Enfin on constate, mais ce n'est pas une surprise, que les praticiens récemment diplômés sont peu sensibles à l'ergonomie et plus au coût des appareils alors que c'est l'inverse chez les plus âgés.

6.4.3 Dispositifs d'activation en fin de préparation

6.4.3.1 Utilisez-vous une méthode finale d'activation ?

Le taux de praticiens réalisant une activation systématique de la solution en fin de préparation augmente avec leur niveau de formation, témoin que l'efficacité démontrée de l'activation a été enseigné.

De plus, le taux de praticiens ne réalisant pas d'activation finale diminue avec leur niveau de formation ; ceci prouve la nécessité d'une meilleure diffusion du savoir auprès des omnipraticiens, et le rôle bénéfique des organismes de formation continue.

6.4.3.2 Dispositif(s) d'activation finale utilisés

On remarque que 2 des techniques majoritairement adoptées par les omnipraticiens sont celles qui sont les plus diffusées dans notre pays. L'agitation manuelle du cône de gutta a été proposée par Pierre Machtou ; l'Endoactivator® est commercialisé par la plus importante société dentaire dont la branche Endodontie jouit d'une excellente réputation et d'un réseau de distribution particulièrement développée en France. Il est heureux que l'agitation ultrasonore arrive en tête des techniques d'activation mécanisées, puisque les études scientifiques tendent à la considérer comme la plus efficace de toutes celles existant actuellement.

6.4.3.3 Quels inconvénient(s) reprochez-vous à votre système d'activation ?

Les réponses récoltées prouvent que pour à peu près un quart des chirurgiens-dentistes, des systèmes plus performants mais également plus confortables et moins coûteux seraient accueillis favorablement. Le gain de temps est souhaité par la plupart des professionnels, mais s'agissant d'irrigation, il est à craindre que cela reste un vœu pieu : les solutions désinfectantes demandent une durée de contact minimum avec les tissus mous et le biofilm pour les désorganiser et les dissoudre. De plus comme on le voit, les praticiens exclusifs à l'Endodontie, qui sont sans doute les plus exigeants, sont moins satisfaits de leur méthode que les autres.

6.4.4 Seriez-vous intéressé(e) par un nouveau système d'irrigation - activation ?

6.4.4.1 Découverte d'un nouveau système (oui-non)

Nos résultats montrent l'enthousiasme des répondants - plus motivés que l'ensemble de la population des chirurgiens-dentistes français comme nous l'avons mentionné en début de ce chapitre - qui souhaitent toujours plus et mieux, et aussi le goût qu'ils manifestent pour l'innovation. Ils confirment que les spécialistes connaissent les limites de leurs méthodes de travail et savent qu'elles devraient être plus efficaces pour augmenter le succès de leurs interventions.

6.4.4.2 Critères pour une nouvelle technique

Pour l'ensemble des praticiens, le premier critère retenu serait que ce nouveau dispositif soit « Plus efficace pour nettoyer le canal que la seringue », puis « aussi rapide et plus confortable que la seringue », « facile à mettre en œuvre », « coût acceptable », « maintenance aisée », « encombrement limité », « système sans fils ni pédale » et enfin « système se branchant sur l'unit. ».

Chez les Endodontistes, une maintenance facile semble plus importante que le coût. De plus, ils considèrent qu'un système qui se branche sur l'unit est plus intéressant qu'un dispositif peu encombrant ou sans fil.

On comprend aisément la première doléance : celui qui utilise un équipement professionnel plusieurs fois par jour est moins sensible à son prix d'achat qui peut être rapidement amorti qu'à un manque de fiabilité ou un entretien problématique.

On peut être un peu plus surpris en revanche, par les critères ergonomiques avancés par les spécialistes. Cela pourrait s'expliquer par le fait de préférer un dispositif immédiatement disponible sur l'unité d'où il pourra être rapidement déconnecté après usage, plutôt qu'un énième équipement annexe qui encombrera l'espace de travail, quel que soit son volume.

6.5 Synthèse

A l'issue de cette étude, on constate que les omnipraticiens manquent encore d'informations ou de motivation pour compléter l'irrigation à la seringue par une technique d'activation en fin de préparation. En revanche, les spécialistes et ceux qui ont suivi une formation récente en Endodontie ont su mettre en pratique ces recommandations.

La méthode d'activation manuelle est pratiquée par environ la moitié (53 %) des chirurgiens-dentistes, l'activation ultrasonore par 40 % des omnipraticiens (formés et non formés) et 72 % des Endodontistes. Enfin, 26 % des répondants qui utilisent une méthode d'activation ont choisi un système sonore (EndoActivator®) pour le faire.

Les trois quarts des répondants à notre questionnaire sont satisfaits de leur méthode d'activation, mais presque 90 % des praticiens toutes catégories confondues seraient intéressées par la découverte d'un nouveau système plus efficace que la seringue pour nettoyer le canal, à condition qu'il soit au moins aussi rapide, plus confortable, facile à mettre en œuvre, et d'un coût raisonnable.

7. Conclusion

Notre étude bibliographique nous a permis de préciser un certain nombre de points relatifs à l'irrigation endodontique.

Complémentaire de la préparation mécanique, cette opération est indispensable pour évacuer les débris générés par les instruments de mise en forme, et désinfecter les canaux. Les agents pathogènes en cause dans les parodontites apicales d'origine endodontique sont organisés sous forme de biofilms particulièrement résistants aux agents chimiques et physiques et donc très difficiles à éliminer, notamment lorsqu'ils se trouvent dans les régions hors d'atteinte des instruments mécaniques.

De ce fait, le produit d'irrigation le plus efficace en première intention est une solution d'hypochlorite à 2,5 ou 3 %. Celle-ci étant rapidement inactivée au contact des protéines présentes dans le canal, elle doit être fréquemment renouvelée tout au long de la mise en forme et en fin de préparation.

En présence de dents infectées, l'élimination de la couche de boues dentinaires semble nécessaire pour ouvrir les tubulis dentinaires et permettre l'accès de l'hypochlorite aux bactéries ayant envahi les parois du canal ou/et les canaux secondaires. Une solution d'EDTA à 17 % est utilisée pour cela, durant une 1 minute pour ne pas trop éroder la dentine.

Quelle que soit la méthode employée, il n'est pas possible de nettoyer et désinfecter correctement les canaux jusqu'à la limite apicale de préparation, s'ils n'ont pas été élargis à un diamètre de 25/100^{ème} et une conicité supérieure à 6 %, ou à 30/100^{ème} de mm et 6 % ou même 40/100^{ème} et 4 %. Le maintien de la perméabilité du foramen à l'aide d'une lime manuelle n°10 est recommandé durant la mise en forme et juste avant l'obturation, pour augmenter les chances de succès de l'intervention en favorisant la diffusion de l'irrigant jusqu'à l'extrémité du canal.

Si l'irrigation à la seringue est une technique simple, économique, facile à mettre en œuvre et dont la maintenance du matériel est inexistante puisqu'à usage unique, elle présente certaines limites. Elle ne permet pas de délivrer la solution au delà de 2 mm de l'extrémité de l'aiguille. De plus, en raison de l'anatomie complexe des canaux, les solutions d'irrigation introduites à la seringue ne peuvent atteindre spontanément toutes les ramifications, isthmes, et zones excentrées de l'espace endodontique, notamment dans le tiers apical.

Il est donc indispensable, soit de remplacer l'usage de la seringue par d'autres méthodes de distribution (pression négative, irrigation continue ultrasonore ou sonore), soit de compléter l'irrigation à la seringue par une opération dénommée activation de l'irrigant, en fin de préparation canalaire.

Actuellement, les données de littérature s'accordent sur le fait que ces procédés améliorent le débridement et la désinfection canalaire par rapport à l'irrigation à la seringue seule. Leur utilisation durant le traitement endodontique est donc recommandée.

Toutefois, les résultats rapportés sont trop hétérogènes pour désigner une technique qui soit supérieure aux autres. Il serait nécessaire de normaliser les protocoles expérimentaux et d'élaborer un modèle de recherche plus représentatif qui étudie éventuellement l'impact *in vivo* des dispositifs d'activation sur des résultats cliniques et la guérison périapicale après traitement canalaire.

Ces procédures semblent malheureusement ignorées d'une grande partie des omnipraticiens, à l'inverse des spécialistes, bien mieux informés de leur intérêt clinique. La multiplicité des dispositifs, leur coût souvent élevé, leur manipulation et leur ergonomie souvent imparfaite sont tels qu'ils sont souvent boudés des chirurgiens-dentistes.

Au vu de nos résultats, on remarque que les pratiques sont très liées à l'enseignement reçu, et à l'influence des compagnies les plus en vue dans notre pays. Les systèmes ayant en France une faible représentation commerciale comme l'EndoVac® ou l'EndoUltra® sont ignorés de la quasi-totalité des praticiens ayant répondu à notre questionnaire. Les méthodes d'activation les plus populaires sont l'agitation manuelle d'un cône de gutta, l'activation sonore au moyen de l'Endoactivator®, l'activation passive ultrasonore à l'Irrisafe® ou au moyen d'une lime lisse monté sur un insert spécifique.

Quand on demande aux chirurgiens-dentistes s'ils seraient intéressés par de nouvelles techniques d'irrigation canalaire, presque tous (90 %) répondent oui à cette question. Ils seraient séduits par une méthode plus efficace que la seringue, mais plus rapide et plus confortable.

Au final, on peut estimer que ces dispositifs sont déjà suffisamment performants, à condition de les utiliser dans le respect des dernières recommandations. Mais on peut toujours envisager de les améliorer pour les rendre plus pratiques, encore plus efficaces et moins opérateur-dépendants. L'Endodontie reste toutefois une discipline qui exige beaucoup de rigueur, et se révèle parfois ingrate en raison de l'anatomie complexe des canaux et de la fragilité des dents.

Malgré les échecs que nous pouvons tous rencontrer en dépit de nos efforts, le pourcentage de succès de 92 % sur dents à pulpe vivante et 80 % en cas de pulpe infectée reste relativement élevé et plutôt encourageant pour nos inciter à conserver les dents de nos patients le plus longtemps possible sur l'arcade.

8. Bibliographie

- Adigüzel O, Yiğit-Özer S, Kaya S, Uysal İ, Ganıdağlı-Ayaz S, Akkuş Z. Effectiveness of ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) and MTAD on debris and smear layer removal using a self-adjusting file. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2011;112(6):803-8.
- Ahmad M, Pitt Ford TJ, Crum LA. Ultrasonic debridement of root canals: acoustic streaming and its possible role. *J Endod.* 1987;13(10):490-9.
- Ahmad M, Pitt Ford TR, Crum LA, Walton AJ. Ultrasonic debridement of root canals: acoustic cavitation and its relevance. *J Endod.* 1988;14(10):486-93.
- Ahmad M, Roy RA, Kamarudin AG. Observations of acoustic streaming fields around an oscillating ultrasonic file. *Endod Dent Traumatol.* 1992;8(5):189-94.
- Akcay M, Arslan H, Mese M, Durmus N, Capar ID. Effect of photon-initiated photoacoustic streaming, passive ultrasonic, and sonic irrigation techniques on dentinal tubule penetration of irrigation solution: a confocal microscopic study. *Clin Oral Investig.* 2017;21(7):2205-12.
- Akyuz Ekim SN, Erdemir A. Effect of different irrigant activation protocols on push-out bond strength. *Lasers Med Sci.* 2015;30(8):2143-9.
- Alaçam T, Demirtola N, Misirligil A, Ayhan N, Gökay O. In vivo comparison of antimicrobial effectiveness of conventional and ultrasound activated irrigation techniques in root canal therapy. *Bull Tokyo Dent Coll.* 1987;28(1):19-22.
- Al-Jadaa A, Paqué F, Attin T, Zehnder M. Acoustic hypochlorite activation in simulated curved canals. *J Endod.* 2009b;35(10):1408-11.
- Al-Jadaa A, Paqué F, Attin T, Zehnder M. Necrotic pulp tissue dissolution by passive ultrasonic irrigation in simulated accessory canals: impact of canal location and angulation. *Int Endod J.* 2009a;42(1):59-65.
- Andrabi SM-U-N, Kumar A, Mishra SK, Tewari RK, Alam S, Siddiqui S. Effect of manual dynamic activation on smear layer removal efficacy of ethylenediaminetetraacetic acid and SmearClear: an in vitro scanning electron microscopic study. *Aust Endod J.* 2013;39(3):131-6.
- Andrabi SM-U-N, Kumar A, Zia A, Iftekhar H, Alam S, Siddiqui S. Effect of passive ultrasonic irrigation and manual dynamic irrigation on smear layer removal from root canals in a closed apex in vitro model. *J Investig Clin Dent.* 2014;5(3):188-93.
- Archer R, Reader A, Nist R, Beck M, Meyers WJ. An in vivo evaluation of the efficacy of ultrasound after step-back preparation in mandibular molars. *J Endod.* 1992;18(11):549-52.
- Azim AA, Akseel H, Zhuang T, Mashtare T, Babu JP, Huang GT-J. Efficacy of 4 Irrigation Protocols in Killing Bacteria Colonized in Dentinal Tubules Examined by a Novel Confocal Laser Scanning Microscope Analysis. *J Endod.* 2016;42(6):928-34.
- Bao P, Shen Y, Lin J, Haapasalo M. In Vitro Efficacy of XP-endo Finisher with 2 Different Protocols on Biofilm Removal from Apical Root Canals. *J Endod.* 2017;43(2):321-5.
- Basrani B, Haapasalo M. Topical disinfectants for root canal irrigation. In: Cohenca N, éditeur. *Disinfection of Root Canal Systems: The Treatment of Apical Periodontitis.* Ames: Wiley-Blackwell; 2014. p. 109-40.
- Basrani B, Malkhassian G. Update of Endodontic Irrigating Solutions. In: *Endodontic irrigation: chemical disinfection of the root canal system.* New York: Springer International; 2015. p. 99-115.
- Baudot F. Le laser Er:YAG et ses effets photoacoustiques : le contrôle de l'infection maximal. *DT Study Club.* 2016;(1):16-9.
- Bhuvu B, Patel S, Wilson R, Niazi S, Beighton D, Mannocci F. The effectiveness of passive ultrasonic irrigation on intraradicular *Enterococcus faecalis* biofilms in extracted single-rooted human teeth. *Int Endod J.* 2010;43(3):241-50.
- Blank-Gonçalves LM, Nabeshima CK, Martins GHR, Machado ME de L. Qualitative analysis of the removal of the smear layer in the apical third of curved roots: conventional irrigation versus activation systems. *J Endod.* 2011;37(9):1268-71.
- Boessler C, Peters OA, Zehnder M. Impact of lubricant parameters on rotary instrument torque and force. *J Endod.* 2007;33(3):280-3.
- Boutsoukis C, Gogos C, Verhaagen B, Versluis M, Kastrinakis E, Van der Sluis LWM. The effect of apical preparation size on irrigant flow in root canals evaluated using an unsteady Computational Fluid Dynamics model. *Int Endod J.* 2010c;43(10):874-81.
- Boutsoukis C, Gogos C, Verhaagen B, Versluis M, Kastrinakis E, Van der Sluis LWM. The effect of root canal taper on the irrigant flow: evaluation using an unsteady Computational Fluid Dynamics model. *Int Endod J.* 2010d;43(10):909-16.
- Boutsoukis C, Lambrianidis T, Kastrinakis E. Irrigant flow within a prepared root canal using various flow rates: a Computational Fluid Dynamics study. *Int Endod J.* 2009;42(2):144-55.

- Boutsoukis C, Lambrianidis T, Verhaagen B, Versluis M, Kastrinakis E, Wesselink PR, et al. The effect of needle-insertion depth on the irrigant flow in the root canal: evaluation using an unsteady computational fluid dynamics model. *J Endod.* 2010b;36(10):1664-8.
- Boutsoukis C, Verhaagen B, Versluis M, Kastrinakis E, Wesselink PR, van der Sluis LWM. Evaluation of irrigant flow in the root canal using different needle types by an unsteady computational fluid dynamics model. *J Endod.* 2010a;36(5):875-9.
- Brito PRR, Souza LC, Machado de Oliveira JC, Alves FRF, De-Deus G, Lopes HP, et al. Comparison of the effectiveness of three irrigation techniques in reducing intracanal *Enterococcus faecalis* populations: an in vitro study. *J Endod.* 2009;35(10):1422-7.
- Bronnec F, Bouillaguet S, Machtou P. Ex vivo assessment of irrigant penetration and renewal during the cleaning and shaping of root canals: a digital subtraction radiographic study. *Int Endod J.* 2010a;43(4):275-82.
- Bronnec F, Bouillaguet S, Machtou P. Ex vivo assessment of irrigant penetration and renewal during the final irrigation regimen. *Int Endod J.* 2010b;43(8):663-72.
- Brunson M, Heilborn C, Johnson DJ, Cohenca N. Effect of apical preparation size and preparation taper on irrigant volume delivered by using negative pressure irrigation system. *J Endod.* 2010;36(4):721-4.
- Byström A, Sundqvist G. Bacteriologic evaluation of the efficacy of mechanical root canal instrumentation in endodontic therapy. *Scand J Dent Res.* 1981;89(4):321-8.
- Cameron JA. The use of ultrasonics in the removal of the smear layer: a scanning electron microscope study. *J Endod.* 1983;9(7):289-92.
- Cameron JA. The synergistic relationship between ultrasound and sodium hypochlorite: a scanning electron microscope evaluation. *J Endod.* 1987;13(11):541-5.
- Cameron JA. The effect of ultrasonic endodontics on the temperature of the root canal wall. *J Endod.* 1988;14(11):554-9.
- Caron G, Nham K, Bronnec F, Machtou P. Effectiveness of different final irrigant activation protocols on smear layer removal in curved canals. *J Endod.* 2010;36(8):1361-6.
- Chow TW. Mechanical effectiveness of root canal irrigation. *Journal of Endodontics.* 1983;9(11):475-9.
- Clarkson RM, Moule AJ. Sodium hypochlorite and its use as an endodontic irrigant. *Aust Dent J.* 1998;43(4):250-6.
- Clegg MS, Vertucci FJ, Walker C, Belanger M, Britto LR. The effect of exposure to irrigant solutions on apical dentin biofilms in vitro. *J Endod.* 2006;32(5):434-7.
- Cohenca N, Paranjpe A, Heilborn C, Johnson JD. Antimicrobial efficacy of two irrigation techniques in tapered and non-tapered canal preparations. A randomized controlled clinical trial. *Quintessence Int.* 2013;44(3):217-28.
- Conde AJ, Estevez R, Loroño G, Valencia de Pablo Ó, Rossi-Fedele G, Cisneros R. Effect of sonic and ultrasonic activation on organic tissue dissolution from simulated grooves in root canals using sodium hypochlorite and EDTA. *Int Endod J.* 2017;50(10):976-82.
- Cunningham WT, Joseph SW. Effect of temperature on the bactericidal action of sodium hypochlorite endodontic irrigant. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1980;50(6):569-71.
- Cunningham WT, Martin H. A scanning electron microscope evaluation of root canal débridement with the endosonic ultrasonic synergistic system. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1982c;53(5):527-31.
- Cunningham WT, Martin H, Forrest WR. Evaluation of root canal débridement by the endosonic ultrasonic synergistic system. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1982a;53(4):401-4.
- Cunningham WT, Martin H, Pelleu GB, Stoops DE. A comparison of antimicrobial effectiveness of endosonic and hand root canal therapy. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1982b;54(2):238-41.
- Cvek M, Nord CE, Hollender L. Antimicrobial effect of root canal débridement in teeth with immature root. A clinical and microbiologic study. *Odontol Revy.* 1976;27(1):1-10.
- De Castro FPL, Pinheiro SL, Duarte MAH, Duque JA, Fernandes SL, Anchieta RB, et al. Effect of time and ultrasonic activation on ethylenediaminetetraacetic acid on smear layer removal of the root canal. *Microsc Res Tech.* 2016;79(11):1062-8.
- De Gregorio C, Estevez R, Cisneros R, Heilborn C, Cohenca N. Effect of EDTA, sonic, and ultrasonic activation on the penetration of sodium hypochlorite into simulated lateral canals: an in vitro study. *J Endod.* 2009;35(6):891-5.
- De Gregorio C, Estevez R, Cisneros R, Paranjpe A, Cohenca N. Efficacy of different irrigation and activation systems on the penetration of sodium hypochlorite into simulated lateral canals and up to working length: an in vitro study. *J Endod.* 2010;36(7):1216-21.
- De-Deus G, Souza EM, Barino B, Maia J, Zamolyi RQ, Reis C, et al. The self-adjusting file optimizes débridement quality in oval-shaped root canals. *J Endod.* 2011;37(5):701-5.
- Deleu E, Meire MA, De Moor RJG. Efficacy of laser-based irrigant activation methods in removing debris from simulated root canal irregularities. *Lasers Med Sci.* 2015;30(2):831-5.

- Estrela C, Estrela CRA, Barbin EL, Spanó JCE, Marchesan MA, Pécora JD. Mechanism of action of sodium hypochlorite. *Braz Dent J.* 2002;13(2):113-7.
- Friedman S, Abitbol S, Lawrence HP. Treatment outcome in endodontics: the Toronto Study. Phase 1: initial treatment. *J Endod.* 2003;29(12):787-93.
- Fukumoto Y. [Intracanal aspiration technique for root canal irrigation: evaluation of smear layer removal]. *Kokubyo Gakkai Zasshi.* 2005;72(1):13-8.
- Gokturk H, Ozkocak I, Buyukgebiz F, Demir O. Effectiveness of various irrigation protocols for the removal of calcium hydroxide from artificial standardized grooves. *Journal of Applied Oral Science.* 2017;25(3):290-8.
- Grawehr M, Sener B, Waltimo T, Zehnder M. Interactions of ethylenediamine tetraacetic acid with sodium hypochlorite in aqueous solutions. *Int Endod J.* 2003;36(6):411-7.
- de Groot SD, Verhaagen B, Versluis M, Wu M-K, Wesselink PR, van der Sluis LWM. Laser-activated irrigation within root canals: cleaning efficacy and flow visualization. *Int Endod J.* 2009;42(12):1077-83.
- Gulabivala K, Patel B, Evans G, Ng Y-L. Effects of mechanical and chemical procedures on root canal surfaces. *Endodontic Topics.* 2005;10(1):103-22.
- Haapasalo M, Shen Y, Wang Z, Gao Y. Irrigation in endodontics. *Br Dent J.* 2014;216(6):299-303.
- Haidet J, Reader A, Beck M, Meyers W. An in vivo comparison of the step-back technique versus a step-back/ultrasonic technique in human mandibular molars. *Journal of Endodontics.* 1989;15(5):195-9.
- Heilborn C, Reynolds K, Johnson JD, Cohenca N. Cleaning efficacy of an apical negative-pressure irrigation system at different exposure times. *Quintessence Int.* 2010;41(9):759-67.
- Hockett JL, Dommisch JK, Johnson JD, Cohenca N. Antimicrobial efficacy of two irrigation techniques in tapered and nontapered canal preparations: an in vitro study. *J Endod.* 2008;34(11):1374-7.
- Hof R, Perevalov V, Eltanani M, Zary R, Metzger Z. The self-adjusting file (SAF). Part 2: mechanical analysis. *J Endod.* 2010;36(4):691-6.
- Hsieh YD, Gau CH, Kung Wu SF, Shen EC, Hsu PW, Fu E. Dynamic recording of irrigating fluid distribution in root canals using thermal image analysis. *Int Endod J.* 2007;40(1):11-7.
- Huang T-Y, Gulabivala K, Ng Y-L. A bio-molecular film ex-vivo model to evaluate the influence of canal dimensions and irrigation variables on the efficacy of irrigation. *Int Endod J.* 2008;41(1):60-71.
- Hübscher W, Barbakow F, Peters OA. Root-canal preparation with FlexMaster: canal shapes analysed by micro-computed tomography. *Int Endod J.* 2003;36(11):740-7.
- Huffaker SK, Safavi K, Spangberg LSW, Kaufman B. Influence of a passive sonic irrigation system on the elimination of bacteria from root canal systems: a clinical study. *J Endod.* 2010;36(8):1315-8.
- Hülsmann M, Hahn W. Complications during root canal irrigation--literature review and case reports. *Int Endod J.* 2000;33(3):186-93.
- Hülsmann M, Heckendorff M, Lennon A. Chelating agents in root canal treatment: mode of action and indications for their use. *Int Endod J.* 2003;36(12):810-30.
- Jadhav GR, Mittal P, Kulkarni A, Syed S, Bagul R, Elahi S, et al. Comparative evaluation of canal cleaning ability of various rotary endodontic files in apical third: A scanning electron microscopic study. *Dent Res J (Tsfahan).* 2016;13(6):508-14.
- Kahn FH, Rosenberg PA, Gliksberg J. An in vitro evaluation of the irrigating characteristics of ultrasonic and subsonic handpieces and irrigating needles and probes. *J Endod.* 1995;21(5):277-80.
- Khademi A, Yazdizadeh M, Feizianfard M. Determination of the minimum instrumentation size for penetration of irrigants to the apical third of root canal systems. *J Endod.* 2006;32(5):417-20.
- Konstantinidi E, Psimma Z, Chávez de Paz LE, Boutsioukis C. Apical negative pressure irrigation versus syringe irrigation: a systematic review of cleaning and disinfection of the root canal system. *Int Endod J.* 2017;50(11):1034-54.
- Lee S-J, Wu M-K, Wesselink PR. The effectiveness of syringe irrigation and ultrasonics to remove debris from simulated irregularities within prepared root canal walls. *Int Endod J.* 2004b;37(10):672-8.
- Lee S-J, Wu M-K, Wesselink PR. The efficacy of ultrasonic irrigation to remove artificially placed dentine debris from different-sized simulated plastic root canals. *Int Endod J.* 2004a;37(9):607-12.
- Lin J, Shen Y, Haapasalo M. A comparative study of biofilm removal with hand, rotary nickel-titanium, and self-adjusting file instrumentation using a novel in vitro biofilm model. *J Endod.* 2013;39(5):658-63.
- Lloyd A, Uhles JP, Clement DJ, Garcia-Godoy F. Elimination of intracanal tissue and debris through a novel laser-activated system assessed using high-resolution micro-computed tomography: a pilot study. *J Endod.* 2014;40(4):584-7.
- Macedo RG, Verhaagen B, Wesselink PR, Versluis M, van der Sluis LWM. Influence of refreshment/activation cycles and temperature rise on the reaction rate of sodium hypochlorite with bovine dentine during ultrasonic activated irrigation. *Int Endod J.* 2014;47(2):147-54.
- Machtou P. Irrigation et désinfection en endodontie. In: *Endodontie.* Rueil-Malmaison: Editions CdP; 2012. p. 219-41.

- Machtou P. Manual Dynamic Activation (MDA) Technique. In: In Endodontic Irrigation: Chemical Disinfection of the Root Canal System. New-York: Springer International; 2015. p. 149-55.
- Mancini M, Cerroni L, Iorio L, Dall'Asta L, Cianconi L. FESEM evaluation of smear layer removal using different irrigant activation methods (EndoActivator, EndoVac, PUI and LAI). An in vitro study. *Clin Oral Investig.* 2018;22(2):993-9.
- Martin H, Cunningham W. Endosonic endodontics: the ultrasonic synergistic system. *Int Dent J.* 1984;34(3):198-203.
- Martin H, Cunningham W. Endosonics--the ultrasonic synergistic system of endodontics. *Endod Dent Traumatol.* 1985;1(6):201-6.
- Martin H, Cunningham WT. An evaluation of postoperative pain incidence following endosonic and conventional root canal therapy. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1982a;54(1):74-6.
- Martin H, Cunningham WT. The effect of endosonic and hand manipulation on the amount of root canal material extruded. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1982b;53(6):611-3.
- Martin H, Cunningham WT, Norris JP. A quantitative comparison of the ability of diamond and K-type files to remove dentin. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1980a;50(6):566-8.
- Martin H, Cunningham WT, Norris JP, Cotton WR. Ultrasonic versus hand filing of dentin: a quantitative study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1980b;49(1):79-81.
- Merino A, Estevez R, de Gregorio C, Cohenca N. The effect of different taper preparations on the ability of sonic and passive ultrasonic irrigation to reach the working length in curved canals. *Int Endod J.* 2013;46(5):427-33.
- Metzger Z, Kfir A. Continuous Instrumentation and Irrigation: The Self-Adjusting File (SAF) System. In: In Endodontic Irrigation: Chemical Disinfection of the Root Canal System. New-York: Springer International; 2015. p. 199-220.
- Metzger Z, Solomonov M, Kfir A. The role of mechanical instrumentation in the cleaning of root canals: The role of mechanical instrumentation in the cleaning of root canals. *Endodontic Topics.* 2013;29(1):87-109.
- Metzger Z, Teperovich E, Cohen R, Zary R, Paqué F, Hülsmann M. The self-adjusting file (SAF). Part 3: removal of debris and smear layer-A scanning electron microscope study. *J Endod.* 2010a;36(4):697-702.
- Metzger Z, Zary R, Cohen R, Teperovich E, Paqué F. The quality of root canal preparation and root canal obturation in canals treated with rotary versus self-adjusting files: a three-dimensional micro-computed tomographic study. *J Endod.* 2010b;36(9):1569-73.
- Mohammed SA, Vianna ME, Penny MR, Hilton ST, Mordan N, Knowles JC. A novel experimental approach to investigate the effect of different agitation methods using sodium hypochlorite as an irrigant on the rate of bacterial biofilm removal from the wall of a simulated root canal model. *Dent Mater.* 2016;32(10):1289-300.
- Moorer WR, Wesselink PR. Factors promoting the tissue dissolving capability of sodium hypochlorite. *Int Endod J.* 1982a;15(4):187-96.
- Moorer WR, Wesselink PR. Factors promoting the tissue dissolving capability of sodium hypochlorite. *Int Endod J.* 1982b;15(4):187-96.
- Nagendrababu V, Jayaraman J, Suresh A, Kalyanasundaram S, Neelakantan P. Effectiveness of ultrasonically activated irrigation on root canal disinfection: a systematic review of in vitro studies. *Clin Oral Investig.* 2018;22(2):655-70.
- Nair PN. Light and electron microscopic studies of root canal flora and periapical lesions. *J Endod.* janv 1987;13(1):29-39.
- Nguy D, Sedgley C. The Influence of Canal Curvature on the Mechanical Efficacy of Root Canal Irrigation In Vitro Using Real-Time Imaging of Bioluminescent Bacteria. *Journal of Endodontics.* 2006;32(11):1077-80.
- Nielsen BA, Craig Baumgartner J. Comparison of the EndoVac system to needle irrigation of root canals. *J Endod.* 2007;33(5):611-5.
- Noiri Y, Ehara A, Kawahara T, Takemura N, Ebisu S. Participation of bacterial biofilms in refractory and chronic periapical periodontitis. *J Endod.* 2002;28(10):679-83.
- Ordinola-Zapata R, Bramante CM, Aprecio RM, Handysides R, Jaramillo DE. Biofilm removal by 6% sodium hypochlorite activated by different irrigation techniques. *Int Endod J.* 2014;47(7):659-66.
- Ozses Ozkaya B, Gulsahi K, Ungor M, Gocmen JS. A Comparison of Er:YAG Laser with Photon-Initiated Photoacoustic Streaming, Nd:YAG Laser, and Conventional Irrigation on the Eradication of Root Dentinal Tubule Infection by *Enterococcus faecalis* Biofilms: A Scanning Electron Microscopy Study. *Scanning.* 2017;2017:6215482.
- Pabel A-K, Hülsmann M. Comparison of different techniques for removal of calcium hydroxide from straight root canals: an in vitro study. *Odontology.* 2017;105(4):453-9.
- Paqué F, Al-Jadaa A, Kfir A. Hard-tissue debris accumulation created by conventional rotary versus self-adjusting file instrumentation in mesial root canal systems of mandibular molars. *Int Endod J.* 2012;45(5):413-8.

- Paqué F, Balmer M, Attin T, Peters OA. Preparation of oval-shaped root canals in mandibular molars using nickel-titanium rotary instruments: a micro-computed tomography study. *J Endod.* 2010;36(4):703-7.
- Paqué F, Boessler C, Zehnder M. Accumulated hard tissue debris levels in mesial roots of mandibular molars after sequential irrigation steps. *Int Endod J.* 2011;44(2):148-53.
- Paqué F, Laib A, Gautschi H, Zehnder M. Hard-tissue debris accumulation analysis by high-resolution computed tomography scans. *J Endod.* 2009;35(7):1044-7.
- Paqué F, Peters OA. Micro-computed tomography evaluation of the preparation of long oval root canals in mandibular molars with the self-adjusting file. *J Endod.* 2011;37(4):517-21.
- Peeters HH, Suardita K. Efficacy of smear layer removal at the root tip by using ethylenediaminetetraacetic acid and erbium, chromium: yttrium, scandium, gallium garnet laser. *J Endod.* 2011;37(11):1585-9.
- Peters OA. Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. *J Endod.* 2004;30(8):559-67.
- Peters OA, Bardsley S, Fong J, Pandher G, Divito E. Disinfection of root canals with photon-initiated photoacoustic streaming. *J Endod.* 2011;37(7):1008-12.
- Peters OA, Peters CI, Schönenberger K, Barbakow F. ProTaper rotary root canal preparation: effects of canal anatomy on final shape analysed by micro CT. *Int Endod J.* 2003;36(2):86-92.
- Plotino G, Cortese T, Grande NM, Leonardi DP, Di Giorgio G, Testarelli L, et al. New Technologies to Improve Root Canal Disinfection. *Brazilian Dental Journal.* 2016;27(1):3-8.
- Portenier I, Waltimo T, Ørstavik D, Haapasalo M. The susceptibility of starved, stationary phase, and growing cells of *Enterococcus faecalis* to endodontic medicaments. *J Endod.* 2005;31(5):380-6.
- Qian W, Shen Y, Haapasalo M. Quantitative analysis of the effect of irrigant solution sequences on dentin erosion. *J Endod.* 2011;37(10):1437-41.
- Radcliffe CE, Potouridou L, Qureshi R, Habahbeh N, Qualtrough A, Worthington H, et al. Antimicrobial activity of varying concentrations of sodium hypochlorite on the endodontic microorganisms *Actinomyces israelii*, *A. naeslundii*, *Candida albicans* and *Enterococcus faecalis*. *Int Endod J.* 2004;37(7):438-46.
- Ricucci D, Russo J, Rutberg M, Burleson JA, Spångberg LSW. A prospective cohort study of endodontic treatments of 1,369 root canals: results after 5 years. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2011;112(6):825-42.
- Ricucci D, Siqueira JF. Biofilms and apical periodontitis: study of prevalence and association with clinical and histopathologic findings. *J Endod.* 2010;36(8):1277-88.
- Rödig T, Bozkurt M, Konietschke F, Hülsmann M. Comparison of the Vibringe system with syringe and passive ultrasonic irrigation in removing debris from simulated root canal irregularities. *J Endod.* 2010a;36(8):1410-3.
- Rödig T, Döllmann S, Konietschke F, Drebenstedt S, Hülsmann M. Effectiveness of different irrigant agitation techniques on debris and smear layer removal in curved root canals: a scanning electron microscopy study. *J Endod.* 2010b;36(12):1983-7.
- Saber SE-D, Hashem AAR. Efficacy of different final irrigation activation techniques on smear layer removal. *J Endod.* 2011;37(9):1272-5.
- Sedgley C. Root canal irrigation--a historical perspective. *J Hist Dent.* 2004;52(2):61-5.
- Sedgley CM, Nagel AC, Hall D, Applegate B. Influence of irrigant needle depth in removing bioluminescent bacteria inoculated into instrumented root canals using real-time imaging in vitro. *Int Endod J.* 2005;38(2):97-104.
- Senia ES, Marshall FJ, Rosen S. The solvent action of sodium hypochlorite on pulp tissue of extracted teeth. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology.* 1971;31(1):96-103.
- Siqueira JF, Alves FRF, Almeida BM, de Oliveira JCM, Rôças IN. Ability of chemomechanical preparation with either rotary instruments or self-adjusting file to disinfect oval-shaped root canals. *J Endod.* 2010;36(11):1860-5.
- Siqueira JF, Alves FRF, Versiani MA, Rôças IN, Almeida BM, Neves MAS, et al. Correlative bacteriologic and micro-computed tomographic analysis of mandibular molar mesial canals prepared by self-adjusting file, reciproc, and twisted file systems. *J Endod.* 2013;39(8):1044-50.
- Siqueira JF, Rôças IN. Clinical implications and microbiology of bacterial persistence after treatment procedures. *J Endod.* 2008;34(11):1291-1301.e3.
- Siqueira JF, Rôças IN, Favieri A, Lima KC. Chemomechanical reduction of the bacterial population in the root canal after instrumentation and irrigation with 1%, 2.5%, and 5.25% sodium hypochlorite. *J Endod.* 2000;26(6):331-4.
- Siu C, Baumgartner JC. Comparison of the debridement efficacy of the EndoVac irrigation system and conventional needle root canal irrigation in vivo. *J Endod.* 2010;36(11):1782-5.
- Spoleti P, Siragusa M, Spoleti MJ. Bacteriological evaluation of passive ultrasonic activation. *J Endod.* 2003;29(1):12-4.

- Spoorthy E, Velmurugan N, Ballal S, Nandini S. Comparison of irrigant penetration up to working length and into simulated lateral canals using various irrigating techniques. *International Endodontic Journal*. 2013;46(9):815-22.
- Stojicic S, Zivkovic S, Qian W, Zhang H, Haapasalo M. Tissue dissolution by sodium hypochlorite: effect of concentration, temperature, agitation, and surfactant. *J Endod*. 2010;36(9):1558-62.
- Su Y, Wang C, Ye L. Healing rate and post-obturation pain of single- versus multiple-visit endodontic treatment for infected root canals: a systematic review. *J Endod*. 2011;37(2):125-32.
- Tay FR, Gu L-S, Schoeffel GJ, Wimmer C, Susin L, Zhang K, et al. Effect of vapor lock on root canal debridement by using a side-vented needle for positive-pressure irrigant delivery. *J Endod*. 2010;36(4):745-50.
- Tinaz AC, Karadag LS, Alaçam T, Mihçioğlu T. Evaluation of the smear layer removal effectiveness of EDTA using two techniques: an SEM study. *J Contemp Dent Pract*. 2006;7(1):9-16.
- Townsend C, Maki J. An in vitro comparison of new irrigation and agitation techniques to ultrasonic agitation in removing bacteria from a simulated root canal. *J Endod*. 2009;35(7):1040-3.
- Urban K, Donnermeyer D, Schäfer E, Bürklein S. Canal cleanliness using different irrigation activation systems: a SEM evaluation. *Clin Oral Investig*. 2017;21(9):2681-7.
- Uroz-Torres D, González-Rodríguez MP, Ferrer-Luque CM. Effectiveness of the EndoActivator System in removing the smear layer after root canal instrumentation. *J Endod*. 2010;36(2):308-11.
- Van der Sluis LWM, Versluis M, Wu MK, Wesselink PR. Passive ultrasonic irrigation of the root canal: a review of the literature. *Int Endod J*. 2007;40(6):415-26.
- Van der Sluis LWM, Vogels MPJM, Verhaagen B, Macedo R, Wesselink PR. Study on the influence of refreshment/activation cycles and irrigants on mechanical cleaning efficiency during ultrasonic activation of the irrigant. *J Endod*. 2010;36(4):737-40.
- Van der Sluis LWM, Wu M-K, Wesselink PR. The efficacy of ultrasonic irrigation to remove artificially placed dentine debris from human root canals prepared using instruments of varying taper. *Int Endod J*. 2005;38(10):764-8.
- Vera J, Arias A, Romero M. Effect of maintaining apical patency on irrigant penetration into the apical third of root canals when using passive ultrasonic irrigation: an in vivo study. *J Endod*. 2011;37(9):1276-8.
- Vera J, Hernández EM, Romero M, Arias A, van der Sluis LWM. Effect of maintaining apical patency on irrigant penetration into the apical two millimeters of large root canals: an in vivo study. *J Endod*. 2012;38(10):1340-3.
- Verhaagen B, Boutsoukis C, Heijnen GL, van der Sluis LWM, Versluis M. Role of the confinement of a root canal on jet impingement during endodontic irrigation. *Exp Fluids*. 2012;53(6):1841-53.
- Vianna ME, Gomes BPF, Berber VB, Zaia AA, Ferraz CCR, de Souza-Filho FJ. In vitro evaluation of the antimicrobial activity of chlorhexidine and sodium hypochlorite. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2004;97(1):79-84.
- Vinothkumar TS, Kavitha S, Lakshminarayanan L, Gomathi NS, Kumar V. Influence of irrigating needle-tip designs in removing bacteria inoculated into instrumented root canals measured using single-tube luminometer. *J Endod*. 2007;33(6):746-8.
- Virdee SS, Seymour DW, Farnell D, Bhamra G, Bhakta S. Efficacy of irrigant activation techniques in removing intracanal smear layer and debris from mature permanent teeth: a systematic review and meta-analysis. *International Endodontic Journal*. 2018;51(6):605-21.
- Vivan RR, Bortolo MV, Duarte MAH, Moraes IG de, Tanomaru-Filho M, Bramante CM. Scanning electron microscopy analysis of RinsEndo system and conventional irrigation for debris removal. *Braz Dent J*. 2010;21(4):305-9.
- Walmsley AD, Williams AR. Effects of constraint on the oscillatory pattern of endosonic files. *J Endod*. 1989;15(5):189-94.
- Waltimo TM, Orstavik D, Sirén EK, Haapasalo MP. In vitro susceptibility of *Candida albicans* to four disinfectants and their combinations. *Int Endod J*. 1999;32(6):421-9.
- Weller RN, Brady JM, Bernier WE. Efficacy of ultrasonic cleaning. *J Endod*. 1980;6(9):740-3.
- Yigit - Ozer S, Adigüzel Ö, Kaya S. Removal of Debris and Smear Layer in Curved Root Canals Using Self-Adjusting File with Different Operation Times—A Scanning Electron Microscope Study. *Int Dent Res*. 2011;1.
- Yilmaz M, Yilmaz S, Dumanı A, Kuden C, Yoldas O. Effects of seven different irrigation techniques on debris and the smear layer: a scanning electron microscopy study. *Niger J Clin Pract*. 2017;20(3):328-34.
- Zehnder M. Root canal irrigants. *J Endod*. 2006;32(5):389-98.
- Zeng C, Willison J, Meghil MM, Bergeron BE, Cutler CW, Tay FR, et al. Antibacterial efficacy of an endodontic sonic-powered irrigation system: an in vitro study. *J Dent*. 2018;
- Zou L, Shen Y, Li W, Haapasalo M. Penetration of sodium hypochlorite into dentin. *J Endod*. 2010;36(5):793-6.

9. Annexe

Questionnaire sur l'irrigation canalaire en Endodontie

1. Vous êtes*
 - Omnipraticien
 - Praticien ayant un exercice limité à l'Endodontie
2. Avez-vous fait partie d'une association de formation en Endodontie au cours des 3 dernières années ?*
 - Oui (précisez)
 - Non
3. Combien de traitements endodontiques réalisez-vous par semaine ?*
 - Moins de 10
 - De 10 à 20
 - Plus de 20
4. Année d'obtention de votre diplôme de chirurgien-dentiste*
5. Etes-vous*
 - Une femme
 - Un homme
6. Exercez-vous dans une agglomération de*
 - Moins de 50 000 habitants
 - Entre 50 000 et 1000 000 habitants
 - Plus de 100 000 habitants
7. Avez-vous un exercice*
 - Conventionné
 - Non conventionné
8. Quel dispositif d'irrigation canalaire peropérateur utilisez-vous ?* (Plusieurs réponses possibles)
 - Seringue + aiguille
 - Rinsendo® (Dürr dental)
 - Irrigatys® (Itena)
 - Irrisafe® (Acteon)
 - Aucun
 - Autre (précisez)
9. Si vous n'utilisez aucun autre dispositif d'irrigation que la seringue, quelles en sont les raisons ? (Plusieurs réponses possibles)
 - J'ignore qu'il existe d'autres méthodes que l'irrigation à la seringue
 - Les autres systèmes n'apportent pas grand-chose
 - Les appareils coûtent trop cher
 - Les autres méthodes sont compliquées à mettre en œuvre
 - Elles prennent trop de temps
 - L'ergonomie de ces systèmes est imparfaite (encombrement, câbles, pédale...)
 - La maintenance est problématique (remplissage des réservoirs, purge)

10. Utilisez-vous une méthode d'activation de la solution d'irrigation dans le canal en fin de préparation ?*

- Jamais = **Ne pas répondre à la question 7 et 8**
- Oui systématiquement
- Seulement dans des cas spécifiques (infection canalaire...)

11. Quelle technique d'activation finale utilisez-vous ? (Plusieurs réponses possibles)

- Agitation manuelle du cône de gutta dans le canal
- EndoActivator® (Dentsply)
- Flosser® (Waterpick) + embout d'Endoactivator
- Irrigatys® (Itena)
- Irrisafe® (Acteon) avec irrigation continue
- Irrisafe® (Acteon) sans irrigation continue
- Insert ultrasonore sans irrigation continue
- EndoUltra® (Vista dental /Micro-Méga)
- Laser
- Autre (précisez)

12. Si vous utilisez un dispositif d'activation spécifique, quels inconvénients reprochez-vous à ce système ? (Plusieurs réponses possibles)

- Aucun inconvénient, je suis très satisfait(e) de ma méthode
- Encombrement
- Ergonomie perfectible (inconfort dans l'utilisation, mise en œuvre compliquée)
- Coût
- Temps passé durant l'intervention
- Maintenance (remplissage, purge...)

13. Seriez-vous intéressé(e) par la découverte et par l'utilisation d'autres systèmes d'irrigation et d'activation ?*

- Oui
- Non

14. Selon vous, quels avantages devraient-ils présenter ?*

(Classer les qualités ci-dessous en leur attribuant une note de 1 pour la plus importante à 8 pour la moins importante)

- Plus efficace pour nettoyer le canal que la seringue
- Aussi rapide et plus confortable que la seringue
- Mise en œuvre simple
- Maintenance (chargement, purge) aisée
- Coût acceptable
- Encombrement limité
- Système sans fil ni pédale
- Système se branchant sur l'unit

* : réponse obligatoire

Vous êtes	N = 320	%
Omnipraticien	302	94
Praticien ayant un exercice limité à l'Endodontie	18	6

Tableau 1 : Type d'exercice

Avez-vous suivi une formation en Endodontie au cours des 3 dernières années ?	N = 320	%
Non	228	71
Oui	92	29

Tableau 2 : Formation

Combien de traitements endodontiques réalisez-vous par semaine ?	Omni	N = 302	Endo	N = 18
Plus de 10	85	15%	12	67%
Entre 5 et 10	173	57%	2	11%
Moins de 5	44	28%	4	22%

Tableau 3 : Nombre de traitements endodontiques par semaine

Année d'obtention de votre diplôme de chirurgien-dentiste	N = 320	%
< 5 ans	118	37
5 à 15 ans	129	40
>15 ans	73	23

Tableau 4 : Année d'obtention du diplôme de chirurgien-dentiste

Êtes-vous	N = 320	%
Un homme	188	59
Une femme	132	41

Tableau 5 : Sexe

Vous exercez dans une agglomération de	N = 320	%
Plus de 100000 habitants	138	43
Entre 50 000 et 100 000 habitants	57	18
Moins de 50 000 habitants	125	39

Tableau 6 : Lieu d'exercice

Vous êtes	N = 320	%
Conventionné	301	94
Déconventionné	19	6

Tableau 7 : Conventionnement

	Non formés	N = 227	Formés	N = 75	Endodontistes	N = 18
Seringue + aiguille	225	99%	75	100%	17	94%
Irrisafe	8	4%	2	3%	7	39%
Irrigatys	0	0%	0	0%	2	11%
RinsEndo	0	0%	0	0%	1	6%
EndoVac	0	0%	1	1%	0	0%

Tableau 8 : Quel(s) dispositif(s) d'irrigation peropérateur utilisez-vous ?

	Non formés	N = 224	Formés	N = 72	Endodontistes	N = 11
Coût important	93	42%	28	39%	4	36%
J'ignore les autres méthodes	71	32%	16	22%	2	18%
Ergonomie imparfaite	52	23%	20	28%	4	36%
N'apportent pas grand-chose	47	21%	27	38%	6	55%
Maintenance problématique	38	17%	15	21%	3	27%
Mise en œuvre compliquée	21	9%	8	11%	1	9%
Preennent trop de temps	21	9%	6	8%	2	18%

Tableau 9 : Si vous n'utilisez aucun autre dispositif d'irrigation que la seringue, quelles en sont les raisons ? Selon le type d'exercice

	< 5 ans	N =114	5 à 10 ans	N =123	> 15 ans	N =70
Coût important	53	46%	49	40%	23	33%
J'ignore les autres méthodes	36	32%	33	27%	20	29%
Ergonomie imparfaite	22	19%	29	24%	25	36%
N'apportent pas grand-chose	22	19%	31	25%	27	39%
Maintenance problématique	12	11%	24	20%	20	29%
Mise en œuvre compliquée	13	11%	8	7%	9	13%
Preennent trop de temps	11	10%	9	7%	9	13%

Tableau 10 : Si vous n'utilisez aucun autre dispositif d'irrigation que la seringue, quelles en sont les raisons ? Selon l'année du diplôme

	Non Formés	N =227	Formés	N =75	Endodontistes	N =18
Oui, systématiquement	86	38%	47	63%	14	78%
Seulement pour cas spécifiques	57	25%	15	20%	4	22%
Jamais	84	37%	13	17%	0	0%

Tableau 11 : Utilisez-vous une méthode d'activation de la solution d'irrigation en fin de préparation ? Selon le type de pratique

	Non formés	N=143	Formés	N = 62	Endo	N =18
Agitation manuelle au cône de gutta	76	53%	35	56%	7	39%
Insert ultrasonore sans irrigation continue	43	30%	16	26%	2	11%
IrriSafe (Actéon) sans irrigation continue	7	5%	1	2%	9	50%
IrriSafe (Actéon) avec irrigation continue	5	3%	5	8%	0	0%
EndoUltra (Vista dental/Micro méga)	2	1%	2	3%	2	11%
Lime manuelle au contact d'un insert US	1	1%	1	2%	0	0%
EndoActivator (Dentsply)	17	12%	16	26%	10	56%
Flooser (Waterpick + embout d'Endoactivator)	5	3%	2	3%	2	11%
Eddy (WDV)	3	2%	2	3%	0	0%
Irrigatys (Itena)	0	0%	0	0%	3	17%
Mecasonic	0	0%	1	2%	0	0%
Laser	13	9%	8	13%	1	6%
XP-endo Finisher (FKG)	0	0%	2	3%	0	0%

Tableau 12 : Quelle technique d'activation finale utilisez-vous ?

	Non Formés	N =99	Formés	N =45	Endodontistes	N =18
Aucun inconvénient	62	63%	26	58%	8	44%
Ergonomie perfectible	14	14%	8	18%	5	28%
Coût	14	14%	7	16%	6	33%
Temps passé durant intervention	15	15%	5	11%	5	28%
Encombrement	8	8%	2	4%	3	17%
Maintenance	1	1%	1	2%	2	11%

Tableau 13 : Si vous utilisez un dispositif d'activation spécifique, quels inconvénients reprochez-vous à ce système

	Non Formés	N =227	Formés	N =75	Endodontistes	N =18
Oui	196	86%	64	85%	17	94%
Non	31	14%	11	15%	1	6%

Tableau 14 : Seriez-vous intéressé(e) par la découverte et par l'utilisation d'autres systèmes d'irrigation et d'activation ?

	Non Formés N=227	Formés N=75	Endodontistes N=18
Plus efficace que la seringue pour nettoyage	6,1	76%	61%
Aussi rapide et plus confortable que la seringue	5,2	65%	50%
Mise en œuvre simple	4,9	62%	48%
Coût acceptable	3,8	47%	40%
Maintenance aisée	2,8	35%	45%
Encombrement limitée	2,3	29%	35%
Système sans fils ni pédale	2,1	26%	33%
Système se branchant à l'unité	0,8	10%	39%

Note de 1 à 8, 8 étant la meilleure note.

Tableau 15 : Selon vous, quels avantages devraient-ils présenter ?

10. Table des illustrations

Figure 1 : Accumulation des débris dentinaires dans isthme de prémolaire au cours de la mise en forme (Paqué et al. 2009).....	6
Figure 2 : Parois canalaires observées au MEB après mise en forme mécanique et irrigation à l’hypochlorite des zones instrumentées alternent avec des régions que les limes ont laissées intactes. (Document Marc Apap).....	7
Figure 3 : Anatomie du canal radiculaire et effets de la mise en forme du canal, illustrés par tomographie micro-informatique. En vert, les zones non instrumentées. (Hubscher et al. 2003).....	7
Figure 4 : Accident d’extrusion apicale d’hypochlorite à 3 % sur une dent maxillaire au cours d’un traitement endodontique.....	10
Figure 5 : Etats de surface de la dentine dans le tiers moyen d’un canal radiculaire observés au même grossissement (MEB). La barre blanche représente 10 µm. (Document Marc Apap)	12
Figure 6 : Les dispositifs d’irrigation et d’activation canalaires.....	17
Figure 7 : « Computational Fluid Dynamics model » Visualisation de la trajectoire des particules de la solution avec différentes aiguilles (Boutsioukis 2010a).....	21
Figure 8 : Visualisation de la trajectoire des particules de la solution d’irrigation selon différent diamètre apical et conicité. (Boutsioukis et al. 2010c).....	22
Figure 9 : Spécifications des aiguilles médicales selon ISO 9626:1991/Amd.1:2001 et tailles correspondantes des instruments endodontiques (Boutsioukis et al. 2007)	24
Figure 10 : Aiguille Monoject®, Aiguille Max-i-Probe®, Aiguille NaviTip® Double sideport.....	25
Figure 11 : RinsEndo®.....	25
Figure 12 : AutoSyringe®.....	26
Figure 13 : Pression positive versus Pression négative.....	27
Figure 14 : Les différents composants de l’EndoVac®.....	28
Figure 15 : Principe & Protocole du système EndoVac®	29
Figure 16 : EndoSafe®.....	30
Figure 17 : SAF®.....	32
Figure 18 : SAF® et système EndoStation®.....	33
Figure 19 : Activation de la solution avec un maître-cône selon un mouvement vertical de faible amplitude.....	36
Figure 20 : Insert IrriSafe®.....	38
Figure 21 : Insert Endochuck® 120°.....	39
Figure 22 : Système EndoUltra®.....	39
Figure 23 : Système UltraFlo®.....	40
Figure 24 : Système ProUltra® Piezoflow®.....	40
Figure 25 : MM1500® et lime Rispi Sonic.....	43
Figure 26 : L’Endoactivator®.....	44
Figure 27 : Flosser® avec les embouts de l’EndoActivator®.....	44
Figure 28 : Le système Eddy®.....	45
Figure 29 : Le système Vibringe®.....	45
Figure 30 : L’Irrigatys®.....	46
Figure 31 : CanalBrush®.....	49
Figure 32 : XP-endo Finisher®.....	49
Figure 33 : Laser Er:YAG.....	51
Figure 34 : Méthode PIPS.....	52
Figure 35 : Protocole d’application du PIPS.....	52
Figure 36 (gauche) : Aiguille NaviTip® équipée d’un stop et du système Lok-Tite® facilitant les vissages-dévisages.....	56
Figure 37 (droite) : NaviTips® enchevêtrées dans leur boîte.....	56
Figure 38 : EndoVac Pure®.....	57
Figure 39 : Embout EndoSafe®.....	58
Figure 40 : EndoSafe® monté sur l’AutoSyringe® (EndoSafe Plus®).....	58
Figure 41 : Marquage de la LT à l’aide d’un feutre indélébile sur Endochuck®.....	60

Figure 42 : Aiguille ProUltra® Piezoflow®	61
Figure 43 : Embout d'EndoActivator® monté sur Flosser®.....	62
Figure 44 : Insert Eddy®.....	63
Figure 45 : CanalBrush® avant (en haut) et après utilisation (en bas).....	64
Figure 46 : Laser Er:YAG.....	64

Graphique 1 : Type d'exercice	70
Graphique 2 : Formation	70
Graphique 3 : Nombre de traitements endodontiques par semaine	71
Graphique 4 : Année d'obtention du diplôme de chirurgien-dentiste	71
Graphique 5 : Sexe	72
Graphique 6 : Lieu d'exercice.....	72
Graphique 7 : Conventonnement.....	73
Graphique 8 : Quel(s) dispositif(s) d'irrigation peropérateur utilisez-vous ?	73
Graphique 9 : Si vous n'utilisez aucun autre dispositif d'irrigation que la seringue, quelles en sont les raisons ? Selon le type d'exercice	74
Graphique 10 : Si vous n'utilisez aucun autre dispositif d'irrigation que la seringue, quelles en sont les raisons ? Selon année du diplôme	75
Graphique 11 : Utilisez-vous une méthode d'activation de la solution d'irrigation en fin de préparation ? Selon le type de pratique	76
Graphique 12 : Quelle technique d'activation finale utilisez-vous ?.....	77
Graphique 13 : Si vous utilisez un dispositif d'activation spécifique, quels inconvénients reprochez-vous à ce système ?.....	79
Graphique 14 : Seriez-vous intéressé(e) par la découverte et par l'utilisation d'autres systèmes d'irrigation et d'activation ?	80
Graphique 15 : Selon vous, quels avantages devraient-ils présenter ?.....	81

Les opinions émises dans les dissertations présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, sans aucune approbation ni improbation de la Faculté de Chirurgie Dentaire.

APAP Florian. Dispositifs et procédures d'irrigation, analyse critique de la littérature et évaluation des pratiques courantes dans les cabinets dentaires en France. 2018. 99 p. : ill., graph., tabl. Réf. Biblio. : 88-93.

Sous la direction du Docteur SEMENNIKOVA Katherine et du Professeur SIMON Stéphane.

Th : Chir Dent. : Paris 7 : année 2019

RESUME : Complément indispensable de la mise en forme canalaire, l'irrigation joue un rôle primordial dans la réussite du traitement endodontique.

Si les instruments et les techniques de mise en forme ont constamment évolué, les méthodes d'irrigation sont longtemps restées rudimentaires. Les produits utilisés se révèlent performants (ClONa et EDTA) mais la manière de les introduire, puis de potentialiser leur action dans le canal mérite encore des améliorations.

L'irrigation à la seringue conventionnelle présente plusieurs limites, notamment un flux de solution limité à 2 mm au-delà de l'extrémité de l'aiguille.

De nombreux dispositifs d'irrigation ont été mis sur le marché depuis une trentaine d'années pour palier ses inconvénients. Si certains sont destinés à remplacer la seringue (pression négative, SAF®), d'autres viennent en complément pour activer la solution en fin de mise en forme (activation manuelle, ultrasonore, sonore, mécanique, laser).

Selon la littérature, leur efficacité de nettoyage se révèle nettement supérieure. Toutefois il est encore impossible, au vu de l'hétérogénéité des études, de recommander un dispositif en particulier.

Il nous a donc paru judicieux de nous intéresser à l'aspect ergonomique et économique de chacun d'eux, afin de déterminer les méthodes les plus performantes et les plus simples, applicables par la majorité des praticiens.

Enfin, un questionnaire mené sur Internet auprès de chirurgiens-dentistes français nous a fourni quelques réponses sur leurs habitudes et attentes concernant ces dispositifs. Si 99 % des praticiens utilisent la seringue comme seul dispositif d'irrigation canalaire, seulement 53 % réalisent une activation de la solution en fin de traitement, en raison d'un manque d'informations et/ou d'intérêts. Presque 90 % seraient intéressés par la découverte d'un nouveau système plus efficace que la seringue pour nettoyer le canal, à condition qu'il soit au moins aussi rapide, plus confortable, facile à mettre en œuvre et d'un coût raisonnable.

TITRE en anglais : Irrigation systems and procedures, critical analysis of literature and evaluation of current practices in dental practices in France.

DISCIPLINE : Endodontie

MOTS-CLES Français : endodontie (FMeSH), irrigation thérapeutique (FMeSH), boue dentinaire (FMeSH), antibactériens (FMeSH), débris, activation, agitation, dent mature.

MOTS-CLES Anglais : endodontics (MeSH), therapeutic irrigation (MeSH), smear layer (MeSH), anti-bacterial agents (MeSH), debris, activation, agitation, mature teeth.