

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

ANNEE : 2012

N° : 048

**MODALITES DE L'IRRIGATION EN ENDODONTIE,
LE POINT EN 2012**

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

Présentée

et soutenue publiquement par

Mr Hadrien BROUDIN

né le 7 octobre 1983 à Rennes

le devant le jury ci-dessous

Président : Monsieur le Professeur A. JEAN

Assesseur : Madame le Docteur V. ARMENGOL

Assesseur : Madame le Docteur C. DUPAS

Directeur de thèse : Monsieur le Docteur D. MARION

UNIVERSITÉ DE NANTES	
Président	Pr. Olivier LABOUX
FACULTÉ DE CHIRURGIE DENTAIRE	
Doyen	Pr. Yves AMOURIQ
Assesseurs	Dr. Stéphane RENAUDIN Pr. Assem SOUEIDAN Pr. Pierre WEISS
Professeurs des Universités Praticiens hospitaliers des C.S.E.R.D.	
Monsieur Yves AMOURIQ Madame ALLIOT-LICHT Brigitte Monsieur GIUMELLI Bernard Monsieur JEAN Alain	Monsieur Philippe LESCLOUS Monsieur SOUEIDAN Assem Monsieur WEISS Pierre
Professeurs des Universités	
Monsieur BOHNE Wolf (<i>Professeur Emérite</i>)	Monsieur BOULER Jean-Michel
Maîtres de Conférences Praticiens hospitaliers des C.S.E.R.D.	Assistants hospitaliers universitaires des C.S.E.R.D.
Monsieur AMADOR DEL VALLE Gilles Madame ARMENGOL Valérie Monsieur BODIC François Madame DAJEAN-TRUTAUD Sylvie Monsieur DENIAUD Joël Madame ENKEL Bénédicte Monsieur HOORNAERT Alain Madame HOUCHMAND-CUNY Madline Monsieur KIMAKHE Saïd Monsieur LAGARDE André Monsieur LE BARS Pierre Monsieur LE GUEHENNEC Laurent Madame LOPEZ-CAZAUX Séréna Monsieur MARION Dominique Monsieur NIVET Marc-Henri Monsieur RENAUDIN Stéphane Madame ROY Elisabeth Monsieur STRUILLLOU Xavier Monsieur UNGER François Monsieur VERNER Christian	Monsieur BADRAN Zahi Madame BERTHOU STRUBE Sophie Madame BORIES Céline Madame BOUVET Gaëlle Monsieur CAMPARD Guillaume Monsieur COIRIER François Monsieur DEUMIER Laurent Monsieur FREUCHET Erwan Monsieur FRUCHET Aurélien Madame GOAEMAERE GALIERE Hélène Monsieur LANOISELEE Edouard Madame Eve MALTHIERY Monsieur MARGOTTIN Christophe Madame ODIER Amélie Monsieur PAISANT Guillaume Madame POUCH Daphné Madame RICHARD Catherine Madame ROY-HYON Isabelle Monsieur TOURE Amadou (Assistant associé)

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

Table des matières

INTRODUCTION	7
1) RAPPELS SUR LA SMEAR LAYER OU ENDUIT ORGANOPARIETAL.....	7
2) RAPPELS SUR LE BIOFILM.....	8
3) CRITERES D'UNE SOLUTION D'IRRIGATION IDEALE	8
I. LES IRRIGANTS	9
A. LES SOLUTIONS	9
1) <i>Hypochlorite de sodium : NaOCl</i>	9
a. Mécanismes d'action.....	9

• Réaction de Saponification	9
• Réaction de neutralisation des acides aminés	9
• Réaction de Chloramination (anti bactérienne)	9
b. Action antibactérienne : Concentration molaire et temps d'exposition	10
c. Pouvoir dissolvant du NaOCl (sur le biofilm et la smear layer)	11
d. Paramètres physiques modulant l'action de NaOCl	12
• le pH	12
• la température	13
• les ultrasons	13
• Temps de travail	13
e. Pénétration de l'hypochlorite de sodium dans la dentine	13
f. Biocompatibilité	14
g. Effet de NaOCl sur les instruments NiTi	15
h. Conclusion	15
2) <i>Digluconate de chlorhexidine</i>	16
a. Structure et mécanisme d'action	16
b. Activité antibactérienne	17
c. Action sur le biofilm et la smear layer	17
d. Rémanence d'action	17
e. Formulations	17
f. Interactions avec NaOCl	18
g. Conclusion sur la Chlorhexidine	18
3) <i>Acide éthylène diamine tétra-acétique : EDTA</i>	18
a. Chélatant de choix pour retirer la smear-layer	18
b. Paramètres modulant l'action de l'EDTA	19
• <i>Ajout d'une molécule</i>	19
• <i>pH de la solution</i>	20
• <i>Concentration et quantité</i>	20
• <i>Temps d'application</i>	20
• <i>Température</i>	21
c. Effets de la faible tension de surface de l'EDTA sur la mouillabilité dentinaire	21
d. Impact sur la micro dureté dentinaire et l'état de surface	23
e. Formulations de l'EDTA	23
f. Volume d'EDTA à utiliser	24
g. Biocompatibilité	24
h. Interactions moléculaires	25
i. Conclusion sur l'EDTA	25
4) <i>L'acide maléique</i>	26
a. Propriétés	26
b. Capacité chélatante	26
c. Impact sur la micro dureté dentinaire	28
d. Impact sur le scellement apical	28
e. Biocompatibilité	28
f. Conclusion	29
5) <i>4-méthyl-1,2,4-triazoline-3,5-dione : MTAD</i>	29
a. Efficacité anti bactérienne	29
b. Chélatant et pouvoir de dissolution tissulaire	30
c. Rémanence d'action du MTAD	30
d. Conclusion	30
6) <i>Tetraclean</i> ®	31
7) <i>L'hydroxy éthylène bisphosphonate : HEBP</i>	31
8) <i>L'acide citrique</i>	31
9) <i>L'acide acétique</i>	32
10) <i>L'eau ozonée</i>	32

11) L'activation électrochimique (ECA).....	33
B. COMPARAISON	33
1) Les antibactériens.....	33
2) Les chélatants.....	33
C. CONCLUSION.....	35
II. LES DIFFERENTES TECHNIQUES D'IRRIGATION	36
A. L'IRRIGATION DISCONTINUE.....	36
1) Les seringues.....	36
2) Les aiguilles.....	36
• Aiguilles Miraject [®] et Neodent [®]	37
• Max-i-Probe [®] (Dentsply).....	37
• NaviTip Fx [®] , (Ultradent, South Jordan, Utah)	38
• Endobrush [®]	39
3) Les ultrasons	39
a. Les mécanismes	39
b. Les effets	40
c. Paramètres d'efficacité	40
d. Exemples de systèmes	42
• Sonicare CanalBrush [®]	42
• IrriSafe [®] (Satelec).....	42
4) L'activation sonique.....	42
5) L'apport du laser Nd : YAG.....	42
6) Les cônes de gutta	43
B. L'IRRIGATION CONTINUE.....	44
1) L'aiguille irrigante développée de Carver et Nusstein.....	44
2) The Self Adjusting File [®] (SReDent-Nova).....	44
C. L'EFFET "VAPOR-LOCK", PIEGE DE VAPEUR.....	48
1) Le système EndoVac [®] (Discus Dental, Culver city, USA)	48
2) Le système RinsEndo [®] (Dürr Dental, Bietigheim)	51
D. CONCLUSION SUR LES TECHNIQUES	51
II. PRESENTATION D'UN NOUVEAU MODELE D'EVALUATION DE LA DYNAMIQUE DES FLUIDES PILOTEE PAR INFORMATIQUE (COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS MODEL : CFD)	53
III. DISCUSSION ; LE POINT EN 2012	57
CONCLUSION	59
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	60
TABLES DES ILLUSTRATIONS	72
AUTORISATIONS DE PUBLICATION	74

Introduction

Les pathologies pulpairees sont provoquées par une atteinte bactérienne et leurs toxines. L'endodontie comporte de nombreuses sources d'échec, mais la plus fréquente est la persistance de bactéries dans le système canalaire, source de ré-infection (notamment avec l'espèce *E. faecalis* qui possède une forte capacité à pénétrer les tubuli, en plus de sa forte adhésion au collagène et ses nombreuses facultés de résistance aux irrigants).

Lorsqu'elle est indiquée, la pulpectomie est réalisée pour pérenniser la structure dentaire. Le praticien applique une préparation mécano-chimique rigoureuse puis obture l'endodonte afin de limiter les risques d'une infection potentielle. Malheureusement, les irrégularités et complexités de l'anatomie canalaire, les canaux accessoires et deltas apicaux compromettent l'efficacité d'un débridement mécanique seul. De plus, ces zones non préparées sont fréquemment remplies de débris liés à la préparation.

Plusieurs études rapportent une réduction immédiate de la charge bactérienne après une préparation mécanique ; or après quatre passages mécaniques, la moitié des préparations contiennent encore des bactéries. Ces bactéries restantes ont la capacité de recontaminer l'ensemble du système canalaire.

L'irrigation complète la préparation mécanique et palie à ce manque d'accès en atteignant des volumes non préparés et non accessibles pour y exercer une action antiseptique et éliminer autant que possible les bactéries, leurs toxines et les débris du canal.

1) Rappels sur la smear layer ou enduit organopariétal

La smear layer est produite lors de la mise en forme canalaire. Les instruments mécaniques détachent des copeaux de dentine, et les mélangent aux débris pulpairees, à la solution d'irrigation formant ainsi une couche amorphe, irrégulière et d'aspect granuleux. L'enduit organo pariétal ou smear layer aussi surnommée "boue dentinaire" couvre les parois canalairees et contient des débris organiques et minéraux issus de la dentine, des odontoblastes et leurs prolongements, du tissu pulpaire ainsi que des bactéries. Son organisation révèle une couche profonde attachée et ancrée dans les tubuli supportant la couche superficielle trouble. [57, 85, 88]

Il existe une ancienne controverse sur le besoin ou non de retirer cette fine couche pariétale. Actuellement, beaucoup pensent que la smear layer constitue un obstacle à la pénétration des solutions d'irrigation et ciments canalairees dans les tubuli dentinairees. De plus, ce réservoir bactérien risque d'initier une prolifération bactérienne. [85, 104, 106, 107]

Les récentes études se rejoignent sur les bénéfices liés à son élimination. L'éviction de la smear layer améliore la désinfection du système canalaire et favorise une meilleure adaptation du matériel d'obturation. [43, 80, 85, 88, 104]

L'absence d'enduit organo-pariétal retarde significativement la re-contamination bactérienne canalaire. [39]

2) Rappels sur le biofilm

Le Bio-film est l'ensemble de la masse bactérienne organisée en phase organique. Les restes de bio-film dans le canal, affaiblissent l'intégrité de l'obturation canalaire. Il est donc prioritaire de détruire ces micro organismes mais surtout d'en retirer le maximum du canal. [47]

3) Critères d'une solution d'irrigation idéale

En pratique, la solution idéale devrait pouvoir [39, 92, 109] :

- désinfecter le système canalaire radiculaire et tubulaire (molécule à large spectre antibactérien, notamment contre les espèces anaérobies)
- inactiver les endotoxines
- dissoudre les tissus nécrotiques résiduels et matières organiques
- permettre la pénétration des agents antibactériens dans les tubuli dentinaires
- rincer et purger les débris
- lubrifier les parois dentinaires pour faciliter l'accès et le travail des instruments
- prévenir la formation de smear-layer pendant l'instrumentation ou au moins la dissoudre une fois formée
- conférer une rémanence antibactérienne.

La solution idéale devrait en même temps :

- ne pas provoquer d'irritation tissulaire
- ne pas engendrer d'allergies
- être non toxique, et non inductrice carcinologique, c'est à dire biocompatible

Nous allons donc étudier l'efficacité des différentes solutions disponibles afin de déterminer quels irrigants employer et dans quelles conditions. Ensuite, nous aborderons les techniques et appareils permettant de délivrer efficacement l'irrigant dans le canal. De récentes études par informatique permettent la visualisation en direct des flux mis en jeu lors de l'irrigation, ces nouvelles mesures pourraient nous permettre de mieux comprendre l'impact des différentes techniques sur l'efficacité de l'irrigation endodontique.

I. Les irrigants

A. Les solutions

1) Hypochlorite de sodium : NaOCl

Molécule historique ; Elle est utilisée diluée à 0,5%, pH 9 (ajout de bicarbonate de sodium) par le chimiste Dakin au cours de la première guerre mondiale, afin de nettoyer les plaies infectées des soldats. [56, 109, 110]

Le Chlore est un élément très présent sur terre, il existe sous forme combinée avec du sodium (Na), du potassium (K), du calcium ou du magnésium. [109]

Les solutions composées de NaOCl sont d'un coût modéré, facilement accessibles, et ont une durée de conservation appropriée à leur emploi. En général, l'hypochlorite de sodium est conservé dans des solutions alcalines. [60]

L'hypochlorite de sodium est la solution la plus couramment utilisée lors de l'irrigation canalaire. [34, 45, 60, 94]

Le NaOCl réagit spontanément au contact de l'eau H₂O (hydrolyse) et libère de l'acide hypochloreux HOCl, de la soude caustique, NaOH, ainsi que des ions hypochlorure, OCl⁻. Cette réaction d'hydrolyse est la suivante [47, 56, 60, 84] (voir figure 1) :



Figure 1 : Equation d'hydrolyse de l'hypochlorite de sodium, d'après l'étude de Kandaswamy et coll. [2010, 56]

a. Mécanismes d'action

- **Réaction de Saponification**

Le NaOCl agit comme un solvant organique en dégradant les acides gras en savon et alcool. Cela réduit la tension de surface de la solution et conduit à une action lubrifiante.

- **Réaction de neutralisation des acides aminés**

Le NaOCl neutralise les acides aminés en eau et sels. La libération d'ions hydroxydes OH⁻ élève le pH du site. [47,97]

- **Réaction de Chloramination (anti bactérienne)**

Au contact des tissus, l'acide hypochloreux (HOCl) agit comme un solvant et libère du chlore. L'HOCl et les ions hypochlorite (OCl⁻) provoquent l'hydrolyse des acides aminés. Cependant l'acide hypochloreux est beaucoup plus antibactérien et oxydant que l'ion hypochlorite. [34, 45, 60,84]

Le chlore exerce son pouvoir antibactérien en oxydant irrémédiablement les groupements thiols (-SH) des enzymes bactériennes, ce qui les rend non fonctionnelles et détruit ainsi la cellule bactérienne.

Lors du contact de NaOCl avec des microorganismes et du tissu organique, la saponification, la neutralisation des acides aminés et la chloramination déclenchent le processus de dissolution tissulaire et l'effet antibactérien. [56]

b. Action antibactérienne : Concentration molaire et temps d'exposition

Le NaOCl possède une action antibactérienne d'action non spécifique et touchant un large spectre de microbes. De plus, il éradique les spores et virus. [84, 109]

Il a été montré que l'action antibactérienne du NaOCl est très efficace dès la concentration de 0,1%, sans interférences organiques. La présence de tissus nécrotiques, inflammatoires consomme des molécules de chlore, ce qui affaiblit le pouvoir antibactérien de la solution.

L'hypochlorite de sodium est essentiellement utilisé en endodontie à des concentrations comprises entre 0,5% et 6%. [47]

Cependant, il semble que la consommation de chlore due à la présence de tissu organique n'entrave pas significativement l'effet antibactérien d'une solution. Notamment si la solution est fréquemment renouvelée. [84]

D'autres composés libérant du chlore existent (chloramine-T et Dichloroisocyanurate de sodium) mais à concentration équivalente, ils semblent être moins efficaces que le NaOCl. Parmi les solutions à base de chlore, il n'existe pas d'alternative aussi efficace que l'hypochlorite de sodium. [84, 109]

La solution de Dakin à 0,5% était utilisée sur des plaies ouvertes, il a donc été supposé que dans l'espace radiculaire fermé, une concentration plus grande pouvait être employée.

De plus, une concentration supérieure à 0,5% est plus efficace, mais en contre partie plus toxique.

Les praticiens américains utilisent la concentration maximale admise, qui est de 5,25%. [109]

Parmi les solutions à base de chlore, le NaOCl possède la zone d'inhibition bactérienne la plus large. [84]

Des études *in vitro* ont montré qu'une solution à 1% d'hypochlorite de sodium devrait suffire à dissoudre intégralement le tissu pulpaire lors d'un traitement canalaire. [109]

Zehnder [2006, 109] s'appuie ensuite sur deux précédentes études. La première de Moorer et Wesselink [1982, 74] dans laquelle la concentration ne joue pas un rôle décisif par rapport à l'occupation de l'espace par la solution. La seconde étude de Senia et coll. [1971, 90] dans laquelle les auteurs émettent l'hypothèse que les zones non traitées par la solution serait davantage liée à une impossibilité physique de rejoindre cet espace, plutôt qu'un manque de concentration de NaOCl.

L'auteur conclut qu'il n'est donc pas rationnel d'utiliser une concentration supérieure à 1% pour l'irrigation endodontique, compte tenu de la toxicité de NaOCl. [109]

Divers facteurs comme la température, la concentration, le volume et le temps de contact améliorent les propriétés antibactériennes. [116]

c. Pouvoir dissolvant du NaOCl (sur le biofilm et la smear layer)

L'effet de dissolution tissulaire du NaOCl est de loin plus important sur des tissus nécrosés que sur un tissu vivant. [84, 109, 110]

Le pouvoir dissolvant du NaOCl est lié à sa concentration, au temps d'exposition mais aussi à la surface de tissu exposé. [24, 45, 97]

Rossi Fedele et coll. [2011, 84] regroupent les études menées sur la dissolution tissulaire par le NaOCl. Les paramètres pris en compte sont la concentration et le pH.

L'étude de Zehnder en 2002 [110] indique que pour une solution à 0,5%, le pH n'apporte pas de modifications significatives.

Sur une étude plus récente d'Aubut et coll. en 2010 [5], la dissolution tissulaire produite par une solution à pH élevé (NaOCl non modifié à 2,5% pH 12,5) est 5 fois supérieure à un NaOCl neutralisé (2,5%, pH 7,5). L'important est l'apport régulier de chlore dans le système canalaire.

Concernant la smear-layer, Garcia et coll. [2010, 38] évaluent au microscope électronique à balayage l'éviction des débris et montrent l'inaptitude du NaOCl à déminéraliser la smear-layer. Seul un chélatant est efficace.

Marais [2000, 64] a évalué une solution à base de chlore et d'acide (OPW), utilisée après un chélatant (EDTA 17%), son analyse microscopique montre une surface propre, sans smear-layer, et présentant quelques tubuli ouverts.

Rossi-Fedele et coll. [2011, 84] ont étudié les critères suivants : effet antibactérien, pouvoir de dissolution tissulaire et effet nettoyant. Ils concluent que l'hypochlorite de sodium reste de nos jours le principal choix à travers le monde pour effectuer un traitement sur pulpe vitale. Ils recommandent lors d'un traitement sur une dent infectée ou non vitale et nécessitant une forte intervention antibactérienne, d'employer un NaOCl acidifié, afin d'atteindre les tubules dentinaires.

Finalement, Rossi Fedele et coll. [2011, 84] concluent que la concentration de chlore prime sur le pH.

Dans tous les cas, ils préconisent l'association du NaOCl à un chélatant ou à un détergent pour améliorer le pouvoir nettoyant de l'irrigation. Sans chélatant, quelque soit la solution irriguante, une importante quantité de smear layer reste dans le canal. [84]

Concernant le tiers apical, Serper et coll. [2001, 91] conduisent une étude montrant qu'il persiste toujours des débris aux entrées tubulaires quelque soit la combinaison mise en œuvre.

Dans tous les cas, un renouvellement régulier en nouvelles molécules de chlore est préconisé pour entretenir le pouvoir dissolvant du NaOCl, car le contact avec les matières organiques consomme le chlore disponible et altère l'effet de dissolution tissulaire. [60]

Le potentiel caustique du NaOCl provient plus du chlore que du pH ou de l'osmolarité de la solution. [109]

L'étude de Carson et coll. [2005, 24] indique une corrélation entre la baisse du pouvoir de dissolution tissulaire du NaOCl et une baisse de concentration. Pour obtenir l'effet maximal de dissolution tissulaire, une solution puissante d'hypochlorite de sodium 6% est recommandée.

d. Paramètres physiques modulant l'action de NaOCl

- **le pH**

Lors de l'hydrolyse du NaOCl, les composés libérés sont toujours, à concentration équivalente et quelque soit le pH, en quantité égale. [84]

Un pH acide oriente l'équilibre de la réaction vers la forme HOCl (acide hypochloreux) ce qui améliore l'action antibactérienne. [45, 60, 84]



Figure 2 : Equation de dissociation partielle de l'acide hypochloreux en milieu aqueux, d'après l'étude de Kuga et coll. [2011,60]

Le chlore disponible est la somme des concentrations dissoutes en HOCl et OCl⁻. Il peut être considéré comme la quantification du pouvoir oxydant de la solution employée. HOCl est plus oxydant que OCl⁻ (voir figure 2). [60]

Lorsque le pH descend en deçà de 5, la quantité disponible de HOCl diminue, et favorise en échange la quantité de gaz chlore Cl₂ dissous. Ce gaz à l'odeur particulière est toxique et irritant pour les muqueuses respiratoires et oculaires. [84]

Une valeur autour de pH 6 est idéale pour optimiser la concentration en acide hypochloreux HOCl. Une baisse modérée du pH augmente la concentration d'HOCl dissocié et donc l'activité antibactérienne. [45, 67].

A pH 7, 78% du chlore est disponible sous forme de HOCl. A un pH de 8, cette disponibilité s'effondre à 26%. [84]

Guerreiro et coll. [2011, 45] testent des solutions contre *E. Faecalis*. Cette bactérie est retrouvée dans la majorité des échecs de traitement endodontique car elle envahit les tubules dentinaires. Les solutions NaOCl avec un pH neutre sont plus efficaces contre *E. Faecalis* que les solutions alcalines (pH 12, non modifiées) ou acides (pH 5, rectifiées par l'ajout d'acide citrique ou de vinaigre de pomme). En pratique quotidienne, et lors de l'utilisation d'un acide ils préconisent de mélanger les réactifs dans le canal plutôt qu'au préalable dans une seringue, pour minimiser la perte de chlore.

Mercade et coll. [2009, 67] aboutissent à la même conclusion en testant des solutions à 4,2%. A pH 6,5, la solution NaOCl 4,2% exerce une meilleure activité antibactérienne. Le problème d'une telle solution est son instabilité à ce pH. Les auteurs évoquent la possibilité d'ajouter une solution tampon pour maintenir un compromis sur le pH, autour de 7.

Une valeur de pH comprise entre 6 et 7,5 est idéale pour optimiser la concentration en chlore disponible et donc l'effet antibactérien. Cependant, un pH inférieur à 7,5 semble altérer le pouvoir de dissolution.

- **la température**

La température influe sur la vitesse de transformation de HOCl (acide hypochloreux) en hypochlorite OCl⁻ et hydrogène H⁺.

La température joue un rôle important en faveur de la dissolution tissulaire et de l'efficacité antibactérienne.

1% NaOCl à 45°C <==> 5,25% NaOCl à 20°C

Fig. 3 : Dissolution tissulaire par NaOCl selon la température, d'après l'étude de Zou et coll. [2010, 116]

La température permet de conserver l'efficacité avec une réduction de la toxicité. Une alternative intéressante est de chauffer une solution de NaOCl de faible concentration (voir figure 3). De plus l'élévation de température améliore le retrait des débris organiques. [109, 116]

Une solution de NaOCl à 1 % et chauffée à 45°C est aussi efficace qu'une solution de NaOCl à 5,25% à 20°C pour retirer les débris organique. [109]

- **les ultrasons**

L'agitation ultrasonique de NaOCl améliore son pouvoir de dissolution tissulaire. [109]

- **Temps de travail**

Les solutions désinfectantes nécessitent un temps de travail optimum pour exercer leur potentiel. [116]

Un temps de contact accru permet une meilleure pénétration dentinaire. En revanche, la vitesse de progression décline au cours du temps d'action. Pour le NaOCl il est probable qu'après 2 minutes d'action le chlore soit consommé. [116]

e. Pénétration de l'hypochlorite de sodium dans la dentine

Le succès du traitement endodontique nécessite l'éradication des bactéries contenues dans les canaux principaux, mais également dans les tubuli dentinaires. [60]

La profondeur de colonisation bactérienne tubulaire varie de 150µm à la moitié de la distance entre le canal et la jonction cémento-dentinaire. *E. faecalis* envahit rapidement les tubules, et le front de l'infection atteint 1000 µm (soit 1mm) après 3 semaines d'incubation. [60, 116]

L'étude de Zou et coll. [2010, 116] rapporte que la profondeur de pénétration de NaOCl varie de 77 µm à 300 µm. Ils ont tenté de constituer une méthode pour mesurer la profondeur de pénétration précise de NaOCl à l'aide de colorants, et ce au micromètre près, réutilisable pour

des études futures. Il semble donc difficile d'atteindre systématiquement toutes les bactéries avec le NaOCl.

Les facteurs température, temps d'exposition, pH et concentration influent sur l'accès aux tubuli par le NaOCl, mais ils n'ont pas un impact fondamental sur la profondeur de pénétration. Le plus surprenant est que l'augmentation en concentration de 1% à 6% en NaOCl n'améliore au mieux la pénétration que de 30 à 50% sur les échantillons testés. Les plus hautes valeurs de 291 et 300 μm sont mesurées avec du NaOCl 6% à 37°C et 45°C pendant 20 minutes. Ces facteurs ont peu d'impact direct sur l'accès tubulaire mais leurs effets semblent se cumuler. [60, 116]

Cependant nous savons que l'ajout d'acide doit se faire dans le canal et non avant car pour certaines concentrations de NaOCl et d'acide, le mélange réagit instantanément et provoque la consommation du chlore actif.

L'étude de Kuga et coll. [2011, 60] sur la pénétration de 4 groupes de solutions dans la dentine, montre que l'association d'EDTA 17% avec du NaOCl 2,5% tend à être inférieure au groupe NaOCl 2,5% seul. Il s'explique par l'effet de l'EDTA au contact de NaOCl : la réaction rapide, provoque la perte d'OCl⁻ et de HOCl disponible.

Pour l'association NaOCl 1% et acide citrique 10%, le chlore disponible est réduit à néant en moins d'une minute. Ce qui pourrait expliquer la faible pénétration du groupe NaOCl 2,5% et acide citrique 1% dans la dentine, comparé au NaOCl 2,5% seul. [60]

Kuga et coll. [60, 2011] démontrent que l'association de l'hypochlorite de sodium avec des solutions acides n'améliore pas la profondeur de pénétration dans la dentine du NaOCl. [60]

L'étude de Zhang et coll. [2010, 114] indique que l'action de NaOCl 5,25% pendant 20 minutes provoque une érosion dentinaire sur une profondeur de 10 à 15 micromètres. Ces résultats sont confortés par Kaya et coll. [2011, 57]

La dentine est composée de 30 % de matrice organique encapsulée dans la phase minérale, composée de cristaux d'hydroxyapatite. Le faible poids moléculaire du NaOCl lui permet de pénétrer ces anfractuosités. Les effets sévères de l'hypochlorite de sodium à 5,25% doivent être prudemment considérés. [114]

f. Biocompatibilité

A faible concentration, le NaOCl induit une réaction inflammatoire lors du contact avec les tissus vivants. Aux plus hautes concentrations, il provoque une irritation voire des lésions tissulaires périapicaux sévères. [34]

Des cas de réactions sévères ont été rapportés, notamment à 5,25%, lorsque la solution est expulsée au delà de la constriction apicale, dans l'espace péri-apical. A cette concentration, l'action caustique et protéolytique du chlore est extrêmement toxique pour les tissus vivants. Les effets apparaissent instantanément après le traitement. Les effets sont une hémolyse, des ulcérations, des nécroses, l'inhibition de la migration des neutrophiles. L'effet toxique est dû à l'oxydation des protéines et des lipides membranaires. Une rapport de cas sur une canine maxillaire rapporte une atteinte de toute l'hémiface avec des altérations fonctionnelles et sensibles transitoires : douleur sévère, limitation de l'ouverture buccale, difficultés à ouvrir la paupière homolatérale, et une altération de la sensibilité de la lèvre supérieure. Au bout de 10

jours l'emphysème perdure. La résolution de l'emphysème, des ecchymoses et des hématomes a lieu environ un mois après l'accident. [31]

Les causes principales de ces accidents sont une détermination incorrecte des longueurs de travail, une ouverture iatrogène du foramen apical, une perforation latérale, ou l'extrusion de l'aiguille d'irrigation. [31]

Pour minimiser les extrusions de NaOCl dans le péri apex, l'aiguille doit être placée un peu en avant de la longueur de travail, dans le canal, et la solution doit être injectée doucement, avec un flux constant. Des mouvements de haut en bas évitent de bloquer l'aiguille dans le canal et améliorent l'irrigation. L'emploi d'une aiguille à écoulement latéral limite le risque de forcer le flux au-delà de l'apex.

Le traitement d'un accident au NaOCl est principalement palliatif. Après un rinçage abondant au sérum physiologique, il consiste en une surveillance attentive des tissus et la prescription d'antibiotiques couplés à des antalgiques.

g. Effet de NaOCl sur les instruments NiTi

D'après Zehnder [2006, 109], les canaux devraient toujours être remplis de NaOCl, cela accroît le temps de contact de l'irriguant. De plus le pouvoir de coupe des instruments manuel est amplifié, et les contraintes en torsion exercées sur les instruments Nickel-Titane sont réduites par rapport à un canal sec.

La corrosion des instruments en contact prolongé avec l'hypochlorite de sodium est une réalité. Mais, peu d'effets négatifs sont à craindre pendant les courtes périodes de contact durant lesquelles les instruments sont manipulés.

h. Conclusion

Les faiblesses du NaOCl résident dans sa toxicité collatérale potentielle, dans son incapacité à retirer la smear-layer, et dans son goût déplaisant. Il faut aussi se souvenir que cette molécule réagit rapidement au contact des tissus organiques (pulpe, collagène dentinaire, charge bactérienne) et exsudats d'origine périapicale, ce qui consomme le chlore disponible (HOCl et sa forme dissociée OCl^- , moins oxydante). Il peut être spéculé que la plupart de l'activité de l'Hypochlorite de Sodium est perdue après 2 minutes.

Ainsi un renouvellement continu de solution fraîche est à recommander. [47, 116]

Il s'agit néanmoins de la seule solution capable de dissoudre le biofilm et les tissus organiques de la smear-layer. Il peut être employé lors de la phase d'instrumentation canalaire pour son action lubrifiante (réaction de saponification) qui facilite le travail des instruments rotatifs et limite leur risque de fracture.

Concentré à 5,25%, NaOCl éradique complètement *C. albicans*, *E. faecalis* et les *Bacillus*. [34, 109]

L'effet protéolytique du NaOCl dépend du chlore disponible. Un renouvellement fréquent permet d'utiliser une concentration plus faible, et moins toxique. Il semble, d'après les études, qu'au-delà d'une concentration de 1%, les gains thérapeutiques soient modérés compte tenu de la toxicité. [34, 78]

Son association avec des chélatants (acide citrique ou EDTA) est possible mais il faut rester prudent concernant l'érosion excessive de la paroi dentinaire. Une trop grande concentration peut être préjudiciable aux propriétés mécaniques dentaires (limite de rupture et module élastique affaiblis). Cependant aucune étude ne démontre un préjudice avéré, ni même à l'opposé, un éventuel gain lors des collages dentinaires. Des cas de nécroses tissulaires ont été rapportés par extrusion de NaOCl au-delà du système canalaire, dans le péri apex. L'équilibre bénéfique pour le traitement, risques encourus doit guider nos traitements.

Deux écoles existent pour le rinçage final : selon Haapasalo et coll., il serait prudent de ne pas utiliser NaOCl après un chélatant, lors du rinçage final. [47]

Au contraire, Zehnder, propose un rinçage final avec NaOCl. [109]

Rappelons que l'EDTA consomme le chlore disponible de NaOCl. Il n'y a à ce jour aucun consensus à propos de l'ordre d'irrigation.

2) Digluconate de chlorhexidine

La molécule a été développée à la fin des années 40 lors de recherches anti-virales. Mais son activité antivirale est faible. [109]

Elle est considérée comme un standard lors de traitements antiseptiques généralistes avec son fort pouvoir antibactérien, l'inhibition des activités glycosidiques et protéolytiques ainsi que la réduction de l'activité des métallo-protéinases matricielles des bactéries buccales. [34, 47, 89]

La solution utilisée en endodontie est généralement concentrée à 2%. Il est admis que la Chlorhexidine 2% est moins corrosive que l'hypochlorite de sodium, même si elle reste irritante pour la peau. A 2% la Chlorhexidine est bactéricide, de plus elle s'adsorbe dans les tissus durs et mous, ce qui allonge son temps d'action. [109]

a. Structure et mécanisme d'action

C'est une base forte cationique synthétique plus stable sous la forme de sels. Actuellement, la molécule utilisée est la Chlorhexidine digluconate composée de deux groupes symétriques de 4-chlorophenyl et deux groupes biguanides.

La structure biguanide se retrouve dans certains autres médicaments comme les amidines avec en particulier l'hexétidine retrouvée dans l'Hextril. [47, 56, 72, 89, 109]

L'action antibactérienne de la Chlorhexidine est liée à ses propriétés hydrophobes et lipophiles, qui lui permettent d'interagir avec les phospholipides membranaires. La molécule pénètre la membrane par un transport passif ou actif ce qui conduit à un dérèglement de l'équilibre osmotique cellulaire, par fuite de potassium et phosphore. [56, 72, 89]

La Chlorhexidine précipite dans le cytoplasme cellulaire, ce qui bloque irréversiblement la reconstruction cellulaire bactérienne. [89]

L'efficacité de la Chlorhexidine est augmentée par le chauffage de la solution irriguante, ce qui permet d'utiliser une concentration plus faible, moins toxique, tout en conservant une efficacité similaire. [109]

b. Activité antibactérienne

Le digluconate de chlorhexidine est une molécule antibactérienne à large spectre efficace contre les gram négatifs et positifs.

De nombreuses études ont comparé l'efficacité de la chlorhexidine avec l'hypochlorite de sodium. Il en ressort quelques contradictions, mais dans la majorité des articles, l'efficacité à concentration identique semble similaire sur la dentine infectée et le système canalaire. [34, 72]

A faible concentration (0,2%), la chlorhexidine n'atteint pas les molécules cellulaires de bas poids moléculaire, ce qui provoque un effet bactériostatique. A une concentration supérieure (2%), la chlorhexidine possède un pouvoir bactéricide dû à la précipitation et à la coagulation du cytoplasme cellulaire par fixation sur les protéines. [28, 72, 94]

L'activité antimicrobienne de la chlorhexidine est dépendante de son pH, dont la plage optimale se situe entre 5,5 et 8. [56, 89]

La chlorhexidine est une molécule antibactérienne efficace, qui ne crée pas de résistance aux micro organismes, et avec une faible toxicité. [89]

c. Action sur le biofilm et la smear layer

La chlorhexidine 2% n'est pas capable de déstructurer le biofilm et les composants inorganiques. [34, 47, 56, 89]

d. Rémanence d'action

La rémanence d'action se définit comme la capacité d'un médicament à être absorbé par un tissu mou ou dur, et relargué lorsque la concentration environnante est faible. L'effet de rémanence augmente avec la concentration en chlorhexidine initiale. [28, 72]

La chlorhexidine 2% utilisée en solution de travail et finale, avec ou sans activation ultrasonore offre une rémanence antibactérienne dépassant sept jours, ce qui maintient un faible nombre de colonies bactériennes résiduelles et limite ainsi les risques de recontamination. L'étude de Dametto et coll. [2005, 28] se limite à sept jours après traitement, ce qui ne tient pas compte d'une progression dentinaire possible de *E. faecalis*. [28, 33, 89]

La chlorhexidine 2% liquide ou en gel est plus efficace que le NaOCl 5,25% pour garder une faible numération des colonies résiduelles (CFU) à 7 jours de l'espèce *E. faecalis*. Cependant dans l'étude, la culture finale à 7 jours présente une augmentation des CFU, mais aucune médication n'est laissée dans la dent après l'utilisation des irrigants chlorhexidine ou NaOCl. Sans être significativement plus efficace, la chlorhexidine maintient le plus faible nombre de colonies résiduelles. [28]

La rémanence a été mesurée jusqu'à 21 jours, ce qui est le temps nécessaire pour détruire les bactéries jusqu'à une profondeur de 382 µm dans la dentine. [24]

e. Formulations

La chlorhexidine est souvent utilisée sous forme liquide. Il existe une formulation en gel, le Natrosol[®] concentré à 2% (Aqualon) destiné aux médications intracanales. Les études à ce

sujet rapportent une efficacité légèrement supérieure mais sans différence significative entre le gel et la solution sur la suppression de la croissance bactérienne, en particulier contre *E. faecalis*.

L'avantage du gel est l'obtention d'une surface dentinaire plus propre. [28, 34, 47]

f. Interactions avec NaOCl

Le mélange de la chlorhexidine avec le NaOCl produit un précipité brun : du chlorure de chlorhexidine, qui est potentiellement carcinologique (effet mutagène lié à la présence de parachloroaniline) et tend à obturer les entrées tubulaires. Ce précipité pourra altérer l'étanchéité de l'obturation.

La chlorhexidine et le NaOCl ne devraient pas être mélangés. Entre deux irrigations, il est souhaitable de rincer avec de l'eau distillée ou de l'alcool ou sécher le canal avec un cône papier. [20, 34, 47, 72, 89, 109]

g. Conclusion sur la Chlorhexidine

La chlorhexidine est intéressante avec son effet bactéricide et sa rémanence d'action.

En revanche, cette molécule ne peut pas prétendre à être l'irrigant principal, compte-tenu du fait qu'elle ne peut dissoudre les tissus nécrosés restants, ni une quelconque phase organique.

La chlorhexidine est efficace contre les bactéries gram négatifs, mais insuffisante contre les bactéries gram positifs. A noter qu'en cas de primo infection canalaire, les grams négatifs prédominent.

Sa substantivité en fait une solution recommandable pour un rinçage final, concentrée à 2%, avec une prédilection pour les dents infectées. [24, 28, 109]

3) Acide éthylène diamine tétra-acétique : EDTA

L'acide éthylène diamine tétra-acétique ou EDTA est le chélatant le plus utilisé en traitement endodontique. Il intervient principalement lors du rinçage final, sur l'éviction de la smear-layer. Le résultat est une large ouverture des orifices dentinaires. Son utilisation peut créer une érosion du mur dentinaire. [80, 88]

En pratique quotidienne, les praticiens utilisent du NaOCl mais omettent souvent d'utiliser un chélatant. [80]

Tout comme le NaOCl, l'EDTA est également irritant pour les tissus péri apicaux à forte concentration. [88]

L'EDTA ne possède pas d'activité antibactérienne propre. [92, 106]

a. Chélatant de choix pour retirer la smear-layer

Les chélatants altèrent la composition de la dentine en retirant le Calcium Ca^{2+} et le phosphore PO_4^{3-} des tissus dentaires durs, abaissant ainsi le rapport Calcium/Phosphore dentinaire. L'EDTA se couple au calcium et forme un soluté de calcium chélaté. [11, 86, 104]

L'étude au spectrophotomètre de Ballal et coll. [2011, 11] mesure les quantités d'éléments minéraux restant à des intervalles temporels définis (t0, 1minute, 5 minutes, 10 puis 15

minutes) et indique que l'efficacité optimale de l'EDTA concentré à 17% (concentration communément employée) est obtenue pour un temps de travail de 15 minutes. Au-delà, l'action décalcifiante est limitée. Ils relèvent une baisse de la quantité de magnésium Mg^{2+} un élément influent sur la croissance et la minéralisation des cristaux. La quantité de soufre est aussi réduite, ils supposent qu'une baisse de ce marqueur des protéoglycannes peut traduire des dommages causés à la matrice organique.

L'EDTA est un agent de chélation. Son action ne dépend pas d'une importante quantité de protons disponibles, ce qui explique son efficacité à pH neutre. Seulement, l'échange du calcium dentinaire avec l'hydrogène provoque une importante chute du pH. L'efficacité de l'EDTA est en partie limitée dans le temps à cause de cette baisse du pH (l'équilibre de l'équation de dissociation du calcium est modifié), en plus de la consommation des molécules de chélation. [6, 7]

Sen et Coll. [2009, 88] effectuent une synthèse des précédents travaux et comparent l'efficacité de différentes concentrations d'EDTA. Ils rapportent que l'EDTA à une concentration de 3% est aussi efficace dans le retrait de la smear-layer qu'à 17%. D'après leur étude menée sur 40 dents, ils indiquent que l'EDTA commence à être efficace dès 1% et qu'il n'y a pas de différences significatives d'érosion entre les groupes à 15%, 10% et 5% de concentration. Ils proposent donc d'utiliser l'EDTA à une concentration faible, à partir de 1% dans le but de limiter l'érosion dentinaire.

L'EDTA semble moins efficace dans le tiers apical (les auteurs rappellent que la quantité de smear-layer est plus importante au niveau coronaire). Ils avancent l'hypothèse que le volume coronaire permet une meilleure circulation des fluides par rapport à l'extrémité apicale. De plus les aiguilles pénètrent dans les deux tiers supérieurs du canal, ce qui peut modifier les résultats. Par ailleurs, une irrigation proche de la longueur de travail n'est pas souhaitable compte tenu du risque d'extrusion de solution irriguante dans le péri apex. La dentine apicale présente des tubuli plus petits, moins nombreux et souvent sclérosés. [1, 104]

A ce niveau de la racine, la sclérose de la dentine diminue l'efficacité de l'EDTA. [8]

L'EDTA représente le chélatant le plus utilisé, néanmoins, deux limites sont à noter :

- L'EDTA retire en plus du calcium, le calcium lié aux protéines non collagénique de la dentine. Ces composants sont moins présents dans le tiers apical, ce qui limite l'action de l'EDTA dans cette région. [6]
- Il existe un effet auto limitant de chélation, obtenu à 15 min d'action, par consommation de l'EDTA. [11]

b. Paramètres modulant l'action de l'EDTA

- **Ajout d'une molécule**

Des éléments sont ajoutés à l'EDTA pour renforcer son action :

L'ajout d'un **détergent** améliore ses capacités antibactériennes mais surtout autorise un accès plus profond à la dentine.

L'ajout d'un **surfactant** à l'EDTA favorise sa diffusion par capillarité. Le *Lauryl éther sulfaté de sodium* dans l'**EDTA-T** ou le *Cetrimide* pour le **REDTA**.

La présence d'un surfactant abaisse la tension superficielle de la solution, ce qui favorise la mouillabilité lors du contact dentinaire. [106]

- **pH de la solution**

En général, les EDTA sont préparés à pH 7,3. Il semble que l'EDTA soit plus efficace pour un pH compris entre 5 et 6. [57, 80, 106]

Un pH de 5,5 crée une altération significative de la tension superficielle des solutions d'EDTA (brut ou avec surfactant). [106]

Lorsque le pH est élevé, l'abondance de groupes hydroxyles (OH⁻) freine la dissociation de l'hydroxyapatite, ce qui limite le calcium disponible et donc la chélation. A un pH neutre voire légèrement acide, la liaison du Ca²⁺ accroît la dissociation de l'hydroxyapatite, et favorise la chélation. [106]

- **Concentration et quantité**

Sen et coll. [2009, 88] montrent que différentes concentrations d'EDTA n'ont pas d'effets significativement différents sur le retrait de la smear-layer. La différence est surtout sur le tiers coronaire par rapport au tiers apical, moins bien nettoyé.

Concernant l'érosion, les concentrations 15%, 10% et 5% aboutissent à une érosion équivalente des murs dentinaires. Seul l'EDTA 1% crée une érosion modérée.

La concentration la plus efficace rapportée est de 10ml à 17% d'EDTA suivi de 10ml de NaOCL 5,25%. [88]

Il a été suggéré de réduire l'érosion dentinaire par l'emploi d'un petit volume de solution d'EDTA à pH neutre et sur une durée plus courte. Par exemple en diminuant la concentration. [80, 88]

L'EDTA à un effet auto stoppant, une fois que tous les ions chélatants ont réagi avec les ions calcium de la dentine, un équilibre s'établit et la déminéralisation s'arrête. [80]

- **Temps d'application**

Le temps de contact étudié pour retirer la smear layer varie de 1 à 10 minutes avec l'EDTA 17%. Cependant, l'action de l'EDTA 17% au-delà d'une minute de contact provoque des effets collatéraux, avec une érosion de la dentine péri-tubulaire et inter-tubulaire, ainsi qu'une réduction de la micro dureté dentinaire. [6]

D'après Ballal et coll. [2011, 11] l'action de l'EDTA est significative au bout de 10 à 15 minutes d'action, à ce moment la chélation Ca²⁺ / PO₄³⁻ est maximale. Leurs résultats rejoignent d'autres études précédentes.

Actuellement, il n'y a pas de consensus concernant le temps de chélation optimal pour retirer au mieux la smear-layer.

Ballal et coll. [2010, 10] proposent 1 minute de temps d'application, ce qui permet une préparation rapide et améliore l'accès aux canaux fins et étroits. Ils citent une étude de Calt et Serper [2000, 21] où les auteurs rapportent que 2 minutes d'irrigation avec de l'EDTA concentré à 17% retire complètement la smear layer.

Ballal et coll. [2009, 6 ; 2010, 10] gardent à l'esprit qu'un excès de chélatant provoque l'érosion dentinaire, ce qui affecte les capacités de scellement et d'adhésion des ciments.

L'efficacité de l'EDTA demeure dépendante du temps d'application [80], même si dès une minute d'action, l'EDTA 17% retire suffisamment de smear layer. [6]

- Température

La température détruit l'attraction moléculaire par effet de dilatation, cela réduit la tension superficielle et favorise la diffusion de l'EDTA. [106]

La température crée une altération significative de la tension superficielle des solutions d'EDTA (brut ou avec surfactant). [106]

L'étude de Yilmaz et coll. [2011, 106] indique que l'augmentation de température de l'EDTA à pH 5,5 et 7,5 abaisse la tension superficielle. Pas à pH 10,5. Pour l'EDTA-T (surfactant), la seule amélioration est obtenue à un pH de 5,5. Concernant le REDTA, l'augmentation de température améliore sa mouillabilité à pH 10,5.

c. Effets de la faible tension de surface de l'EDTA sur la mouillabilité dentinaire

L'énergie de surface est définie comme une force d'attraction intermoléculaire d'un liquide au contact d'une surface solide, cherchant à rassembler les molécules vers le centre du liquide, ce qui tend la surface extérieure du liquide. [107]

La tension superficielle peut être abaissée en détruisant ces forces d'attractions par la chaleur ou un surfactant. [106]

Une tension de surface réduite améliore la mouillabilité de l'irrigant, c'est à dire l'intimité du contact irrigant-dentine ; cela augmente le débit et l'accès aux canaux principaux, latéraux, étroits, ainsi qu'aux tubuli. [8, 40]

La mouillabilité optimale est obtenue pour une haute énergie de surface du substrat (la dentine), et en même temps, la tension superficielle du liquide en contact doit être aussi minimale que possible. [106]

Un surfactant le *Lauryl éther sulfate de sodium* dans l'**EDTA-T** ou le *Cetrimide* pour le **REDTA** est adjoint à l'EDTA pour réduire sa tension de surface d'environ 50%, ce qui améliore la mouillabilité de la paroi canalaire, et améliore la pénétration du chélatant dans la dentine. Ces agents surfactants n'affectent pas l'efficacité de l'EDTA lors du retrait de la smear-layer et de la libération des ions Calcium Ca^{2+} . [106, 107]

Les études statistiques de Yilmaz et coll. [2011, 106 ; 2011, 107] démontrent que les traitements alliant un EDTA-T (avec surfactant Lauryl éther sulfate de sodium) et NaOCl en rinçage final améliorent significativement la mouillabilité de la dentine par l'irrigant (voir figures 4 et 5).

Les EDTA avec surfactant ont une tension de surface plus faible comparés à un EDTA brut, quelque soit le pH et la température. Cependant, des études menées indiquent que l'ajout d'un surfactant n'améliore pas les performances pour retirer la smear layer et libérer les ions Ca^{2+} .

En revanche, ces agents surfactants améliorent l'action antibactérienne et pourraient soutenir un meilleur effet clinique. [106]

Le tableau ci-dessous présente ces tensions de surface exprimées en mN/m : L'EDTA-T (avec surfactant) est la molécule offrant le meilleur pouvoir mouillant.

<i>Irrigant</i>	<i>Surface tension</i>
Deionized water	72.03 ± 0.07
EDTA	69.64 ± 0.20
EDTA-T	25.33 ± 0.02
REDTA	35.86 ± 0.10
NaOCl	72.62 ± 0.20

Figure 4 : Valeurs des tensions de surface des irrigants de l'expérimentation, d'après Yilmaz et coll. [2011, 107]

La dentine est composée de deux substrats différents :

- Le collagène avec une faible tension superficielle,
- L'hydroxyapatite présentant une forte tension superficielle.

Le graphique suivant compare l'action de diverses combinaisons irriguante et quantifie la différence de tension superficielle dentinaire (avant-après traitement) liée à l'irrigation par les solutions tests. Trois techniques différentes sont utilisées pour mesurer l'angle formé par la tangente à la goutte. Les résultats sont pondérés et indiquent le gain d'énergie de surface (le gain en mouillabilité).

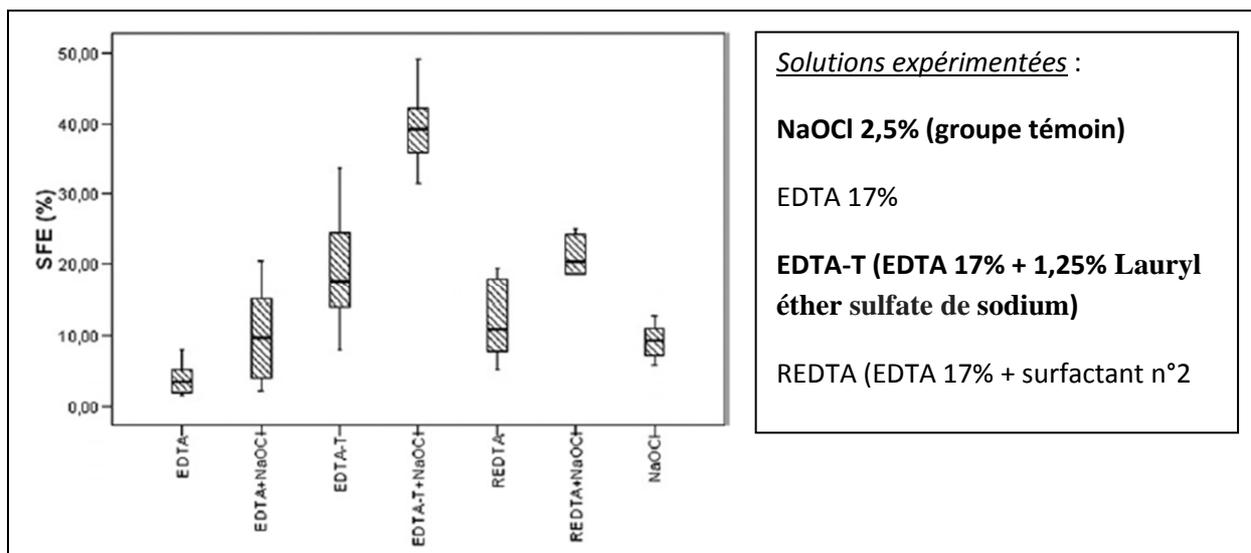


Figure 5 : Pourcentages d'altération des énergies libres de surface dentinaires suite à l'irrigation par les solutions expérimentées, d'après Yilmaz et coll. [2011, 107]

Sayin et coll. [2007, 86] rapportent que l'utilisation d'un chélatant combiné avec le NaOCl accroît significativement le retrait de calcium du canal.

Le NaOCl agit sur la destruction du collagène, ouvre et élargit les orifices tubulaires dentinaires, ce qui donne une surface hydrophile. Ensuite l'EDTA a un meilleur accès aux tubuli et zones non instrumentées, ce qui réduit encore la contamination bactérienne. [107]

La rugosité d'une surface ainsi que ses irrégularités contribuent largement à améliorer la mouillabilité de cette surface. De plus la surface de collage est accrue, ce qui est essentiel pour un processus adhésif fiable et de qualité (lors de l'obturation par exemple).

Au contraire, ils renforcent même les performances cliniques anti bactériennes et les propriétés adhésives dentinaires. [107]

Par ailleurs nous savons que L'EDTA abaisse la quantité de calcium dentinaire. Nous pouvons donc relever ici une contradiction avec l'étude de Ballal et coll. [2011, 11] qui précise que l'adhésion dentinaire requiert la présence d'ions Calcium sur la surface d'adhésion. Ils indiquent que des études ont prouvé qu'un manque de calcium peut significativement affaiblir la force de collage de certains matériaux adhésifs à base de résine.

d. Impact sur la micro dureté dentinaire et l'état de surface

La détermination de la micro dureté fournit une indication sur les pertes ou gains de la portion minérale des tissus durs. Ces changements de la morphologie de la surface dentinaire affectent ses propriétés mécaniques et physiques. Les conséquences semblent principalement affecter le pouvoir d'adhésion des ciments et adhésifs canalaires. [10]

La microdureté dentinaire est liée à la profondeur radiculaire. Elle est plus dure vers la chambre pulpaire, et décline des régions superficielles vers les plus profondes.

L'action chélatante de l'EDTA induit en contre-partie un amollissement de la dentine, il faut donc s'attendre à une réduction de la micro-dureté dentinaire. Cet effet relatif d'amollissement facilite le passage des instruments notamment dans les canaux étroits. [10]

Cependant, Zehnder [2006, 109] émet des réserves sur un amollissement excessif suite à une exposition prolongée avec l'EDTA. Pour stopper l'effet chélatant de l'EDTA, les auteurs Clarkson et coll. [2011, 26] évoquent la possibilité de saturer les restes d'EDTA avec une solution de Chlorure de calcium CaCl_2

La chélation modifie le rapport des phases minérales ce qui altère les proportions d'origine des parties organiques et inorganiques. Les conséquences sont :

- une réduction de la dureté dentinaire
- une augmentation de la perméabilité et de la solubilité dentinaire, ce qui favorise l'infiltration bactérienne

L'action prolongée de l'EDTA sur la dentine provoque l'érosion de la dentine inter tubulaire et péri tubulaire. [57]

e. Formulations de l'EDTA

- **EDTA en gel**

D'après Zehnder, ces gels chélatants ne devraient pas être utilisés. [109]

La haute viscosité du gel complique la pénétration des autres irrigants, comme le NaOCl, et provoque même une stratification du contenu canalaire. La haute viscosité du gel le rend plus difficile à retirer du canal et risque de provoquer un mélange avec NaOCl, aboutissant à une consommation du chlore disponible. [26]

- **EDTA liquide**

L'EDTA est généralement utilisé sous forme de sel de disodium. Mais il existe une sérieuse alternative : l'autre formulation, un sel de dihémiopotassium d'EDTA qui permet une chélation plus rapide. [80]

Le Salvizol[®] (Pierre Roland, France) est constitué de sels de dihémiopotassium d'EDTA concentrés à 8%. Les sels d'EDTA du Salvizol[®] accroissent la solubilité des cristaux d'hydroxyapatite dans un temps réduit. Ceci permet d'abaisser sa concentration pour obtenir le même effet. [80]

Perez et Rouqueyrol [2005, 80] précisent que le Salvizol[®] EDTA concentré à 8% utilisé pendant une minute reste suffisant pour produire un mur dentinaire propre et relativement dépourvu de smear layer. Une application pendant 3 minutes permet d'ouvrir davantage de tubuli. Les conclusions montrent que l'EDTA reste moins efficace dans le tiers apical du canal, ce qui rejoint les résultats des autres études à ce sujet. L'EDTA moins concentré pourrait réduire l'érosion dentinaire.

f. Volume d'EDTA à utiliser

Le volume recommandé varie de 3 à 20 ml par canal. Ejecter un volume important d'EDTA est une tâche plus délicate à cause de la finesse des aiguilles, ce qui prend du temps à l'opérateur. [6]

De plus l'EDTA est onéreux. En pratique quotidienne et compte tenu des impératifs économiques, il est important d'utiliser le strict nécessaire :

- 109€ le flacon de 250 ml de Salvizol[®].
- 76€ le flacon de 14 ml d'EDTA-T[®].

Le compromis semble venir de l'étude de Mello et coll. [2008, 66] dans laquelle ils recommandent d'utiliser 5ml d'EDTA par canal puisque d'après leurs résultats, cette quantité est aussi efficace que 10 ou 15ml, pour retirer la smear layer.

g. Biocompatibilité

L'exposition d'un tissu vivant à des substances non compatibles avec la vie cellulaire provoque des blessures d'origine chimique. La réponse inflammatoire de l'organisme constitue un marqueur d'une limite de tolérance dépassée.

Divers facteurs influencent la réaction inflammatoire : [9]

- le type et la concentration de l'irrigant (certainement le paramètre le plus influent)
- le protocole d'utilisation
- la taille du foramen apical
- le statut histologique du parodonte
- le volume ou la longueur de tissu exposé

- la susceptibilité individuelle à l'irrigant.

L'EDTA se lie avec les ions nécessaires aux fonctions enzymatiques. Le Calcium est nécessaire pour la coagulation sanguine, la contraction neuromusculaire et la perméabilité vasculaire.

Dans le corps humain, les macrophages, la lymphe, et le sang contribuent à la clairance de la substance toxique utilisée.

Plusieurs études s'accordent sur la toxicité in vitro des sels d'EDTA concentrés à 17%, et sur le fait qu'une concentration réduite engendre une cytotoxicité réduite. [9]

Le test clonogénique évalue la croissance cellulaire d'une colonie. C'est la référence actuelle pour évaluer la cytotoxicité. Le test de Ballal et coll. [2009, 9] précise que la réduction de la population résiduelle cellulaire est significative pour une concentration d'EDTA ou d'acide maléique beaucoup plus importante. Ils rapportent la nature toxique des concentrations cliniques d'EDTA (lors du test clonogénique) comparé à l'acide maléique pour des concentrations égales et allant de 0,025 à 0,25%.

h. Interactions moléculaires

Le potentiel toxique du mélange de NaOCl avec de l'EDTA, de l'acide citrique ou du peroxyde d'hydrogène est connu. Le chlore et l'EDTA s'associent instantanément en un précipité qui consomme le pouvoir d'action des deux solutés. [20]

L'étude de Clarkson et coll. [2011, 26] concluent que l'EDTA mélangé directement à NaOCl affaiblit jusqu'à 80% le chlore actif disponible. Le chlore réagit au contact des groupes amides de l'EDTA pour produire des chloramines. Cette réaction au caractère spontané, rapide, fortement exothermique avec production instantanée de gaz consomme d'emblée et rapidement le chlore disponible.

Ainsi, ils ne recommandent pas leur présence au même moment dans la racine. Si l'opérateur prévoit de les utiliser en alternance, et avec la volonté de tirer le meilleur parti des solutions employées, il serait préférable de rincer ou sécher le canal entre les irrigations. Leurs deux arguments sont cette réaction et le phénomène de dilution occasionné par le reste de liquide dans le canal.

A l'heure actuelle, l'ordre dans lequel les associer demeure toujours un sujet de débat.

i. Conclusion sur l'EDTA

L'EDTA n'agit que sur la phase minérale et n'a intrinsèquement aucun effet antibactérien. L'efficacité de l'EDTA 15% n'est plus à démontrer, cependant les effets de l'érosion dentinaire occasionnée restent encore débattus. L'érosion dentinaire survient au-delà d'une minute d'exposition. [39, 40]

L'EDTA est efficace pour retirer la smear-layer uniquement dans les parties coronaires et moyennes du canal. L'efficacité de l'EDTA dans le tiers apical reste modérée. [6, 80]

Plusieurs études ont montré, et recommandent l'association alternative de l'hypochlorite de sodium et de l'EDTA pour l'éviction de la smear layer. Le NaOCl magnifie l'action chélatante

de l'EDTA et cette association complémentaire améliore la dissolution des composants organiques et inorganiques. [11, 57, 88, 104]

L'ajout d'un surfactant à l'EDTA améliore la mouillabilité de la solution, ce qui la rend plus efficace. Mais d'après Yilmaz et coll. [2011, 106] un EDTA brut à pH neutre ou légèrement acide, et à température corporelle 37°C suffit.

Il n'y a à ce jour aucun consensus établi au sujet du temps de contact nécessaire, cependant plusieurs auteurs pensent qu'une minute d'EDTA à 17% ou de Salvizol EDTA® à 8% semble suffisante pour retirer efficacement la phase minérale canalaire et ouvrir les tubuli dentinaires. [10]

Concernant l'ordre d'irrigation, deux écoles existent. Zehnder [2006, 109] recommande d'utiliser le NaOCl lors de la phase d'instrumentation et de terminer brièvement par l'EDTA, voire en plus de la Chlorhexidine dans certains cas, alors que d'autres préfèrent le pouvoir lubrifiant supérieur de l'EDTA pour limiter les fractures instrumentales. [26]

4) L'acide maléique

a. Propriétés

L'acide maléique est un acide organique fort utilisé en dentisterie adhésive. Parfois utilisé en mordantage, l'acide maléique peut aussi retirer la smear layer. Son pH très acide de 1,05 provoque une importante déminéralisation, ce qui conduit à une réduction de la micro dureté dentinaire. Généralement, il est utilisé concentré à 7%. [8, 9, 10, 11]

Utilisé à une concentration supérieure à 7%, l'acide maléique crée des dégâts (de type érosion) sur la dentine inter tubulaire. [6, 8].

L'étude de Ballal et coll. [2010, 8] mesure une viscosité plus importante de l'EDTA : 10,31 milli-Poises contre 8,83 milli-Poises pour l'acide maléique. La tension de surface de l'EDTA 0,0783 Newton/m est supérieure à celle de l'acide maléique 0,06345 Newton/m, ce qui pourrait expliquer la moindre efficacité de l'EDTA à retirer complètement la smear layer.

b. Capacité chélatante

Plusieurs études s'accordent sur le fait qu'une préparation plus large permet une meilleure réduction des bactéries et débris dentinaires restants, comparé à une préparation de conicité inférieure. [8]

Ballal et coll. [2011, 11] rapportent de leurs études que l'acide maléique réduit significativement le rapport $\text{Ca}^{2+} / \text{PO}_4^{3-}$ par rapport à la référence, l'EDTA, au bout de 5min d'action. Ils pensent que le pH très acide (1,04) de l'acide maléique est responsable de ces résultats.

Dans la partie coronaire et moyenne, l'acide maléique et l'EDTA ont tous les deux une action chélatante efficace. [8]

L'acide maléique, quelque soit sa concentration (3%, 5% ou 7%) est plus efficace que la référence EDTA 17% pour retirer la smear layer dans le tiers apical (études menées avec une préparation canalaire manuelle de diamètre n°40 ISO).

Les deux séries de clichés des figures 6 et 7 montrent l'efficacité de l'acide maléique en rinçage final pour retirer la smear layer, notamment dans le tiers apical, qui est une zone cruciale lors de la désinfection du système canalaire. [6, 7, 8, 10, 11]

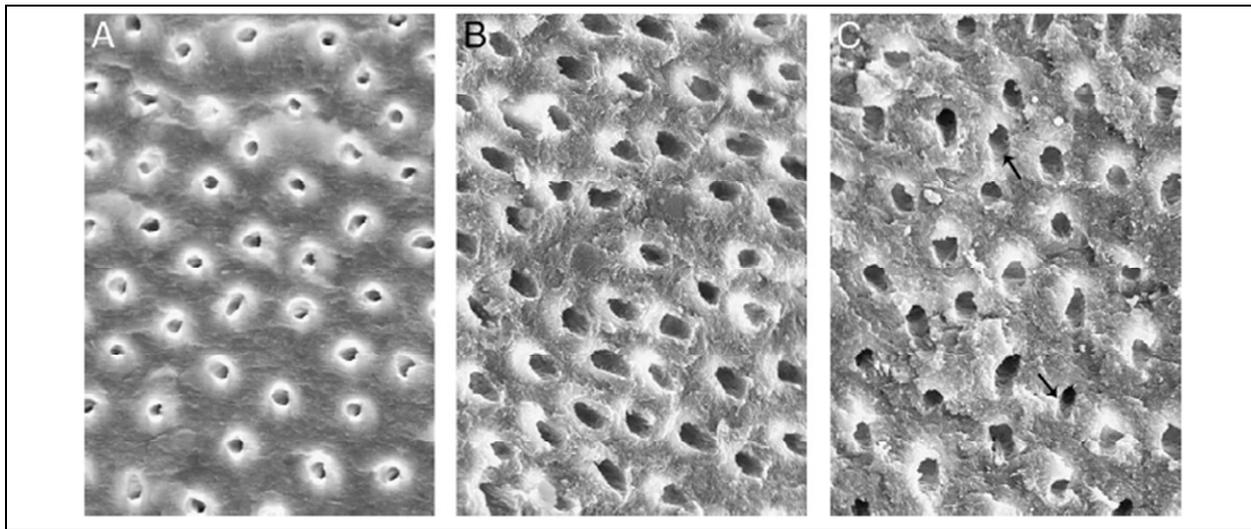


Figure 6 : Photomicrographie (x2000) de murs canalaire instrumentés et irrigués avec de l'EDTA 17% (A) Partie coronaire, (B) Tiers médian, (C) Tiers apical, montrant des débris modérés et une érosion de la dentine péri tubulaire (indiqué par les flèches, schéma C), d'après l'étude de Ballal et coll. [2009, 6]

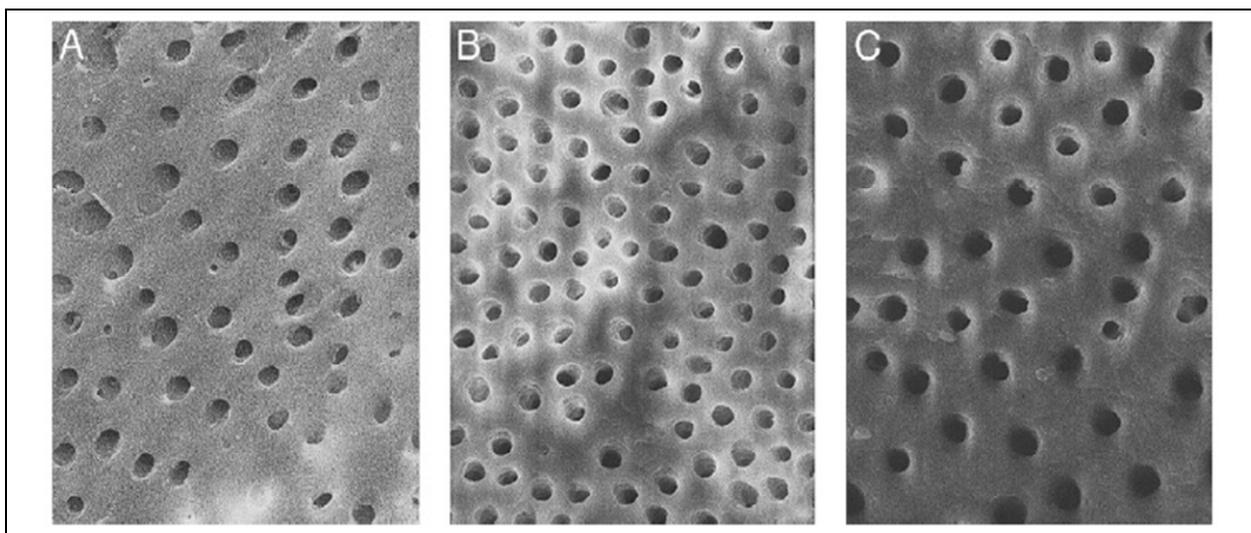


Figure 7 : Photomicrographie (x2000) de murs canalaire instrumentés et irrigués avec de l'acide maléique 7% (A) Partie coronaire, (B) Tiers médian, (C) Tiers apical, où les tubuli dentinaires sont largement ouverts, sans aucun débris, d'après l'étude de Ballal et coll. [2009,

6]

c. Impact sur la micro dureté dentinaire

L'étude de Ballal et coll. [2010, 10] précise qu'il n'y a pas de différence significative dans la réduction de la micro-dureté dentinaire entre l'EDTA 17% et l'acide maléique 7%. La forte acidité de ce dernier déminéralise la paroi canalaire, et abaisse également la micro dureté dentinaire. Ces résultats rejoignent les conclusions de précédentes études.

L'étude de l'état de surface indique une rugosité maximale avec l'acide maléique comparé à l'EDTA. Cela peut être dû aux meilleures propriétés déminéralisantes, au pouvoir de retrait supérieur de la smear-layer par l'acide maléique. Cette rugosité accrue, riche en irrégularités de surface, est bénéfique pour l'adhésion micromécanique des ciments et adhésifs à base de résine.

d. Impact sur le scellement apical

Le terme "microleakage" employé dans les études rédigées en anglais caractérise la présence de liquides, microorganismes et débris le long de l'interface entre la restauration et les murs canalaire préparés. En français, nous pourrions lui substituer le terme infiltration. Les auteurs supposent que le manque d'adaptation vient de la smear layer.

L'étude de Ballal et coll. De 2010 [7] conclut qu'il y a largement moins d'infiltration dans le groupe acide maléique par rapport au groupe EDTA. (57,83µm contre 103,33 µm d'épaisseur d'infiltration pour le groupe EDTA, mesure en aveugle, au microscope)

Ils supposent que ces résultats sont liés à l'efficacité accrue de l'acide maléique 7% à retirer la smear-layer dans le tiers apical.

Notons cependant qu'en plus de la smear-layer, d'autres facteurs sont à prendre en compte pour réduire cet espace :

- les propriétés chimiques du ciment
- la technique d'obturation

e. Biocompatibilité

En Odontologie conservatrice, l'acide maléique utilisé en mordantage, est considéré comme non toxique pour la santé pulpaire.

Lors d'un traitement canalaire, Ballal et coll. [2009, 9] concluent dans leur étude que l'acide maléique est nettement moins toxique (Test sur les cellules V79, lors de l'expérimentation MTT, qui évalue le potentiel cytotoxique d'une substance d'un point de vue toxicologique et carcinologique). Ils ont aussi observé que pour une concentration moindre, 0,1% dans l'étude, toutes les cellules ont survécu.

L'image ci-après, prise à l'issue d'une étude MTT, présente pour une concentration équivalente les colonies résiduelles. Lors du traitement à l'EDTA (boîte C), les colonies très éparées et fines indiquent une cytotoxicité plus forte.

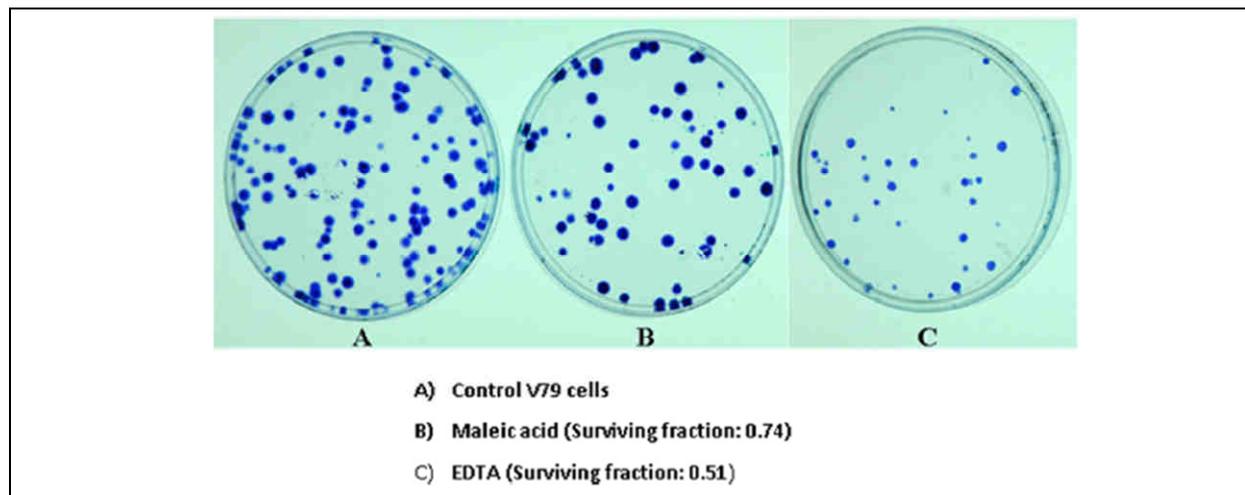


Figure 8 : Boîtes de Pétri et leurs colonies formées après traitement avec EDTA ou Acide maléique à 0,025% comparé au groupe contrôle, d'après l'étude de Ballal et coll. [2009, 9]

Ces résultats démontrent la nature non toxique de l'acide maléique comparé à l'EDTA, pour une dose équivalente.

Les trois expérimentations menées dans cette étude indiquent clairement que l'acide maléique est moins toxique comparé à l'EDTA, et que la toxicité dépend de la concentration utilisée. [9]

Cependant les tests sont réalisés sur des fibroblastes de hamster (V79), cette toxicité est donc à prendre en compte dans le cas d'extrusion d'irrigant au-delà de l'apex.

f. Conclusion

L'acide maléique est un chélatant organique efficace pour retirer la smear-layer, et sa non toxicité en fait une solution alternative à l'EDTA. [9]

5) 4-methyl-1,2,4-triazoline-3,5-dione : MTAD

Le MTAD a été développé pour réunir les propriétés idéales d'un irrigant. Il s'agit d'un mélange développé par Torabinejad et Johnson [2003, 100]. Le MTAD est composé de doxycycline concentrée à 3% (antibiotique à large spectre), d'acide citrique à 4,25% (agent chélatant) et d'un détergent, le polysorbate 80 concentré à 0,5% nommé Tween 80[®].

Le Biopure MTAD[®] est commercialisé par Dentsply. [34, 74, 81, 92]

Le détergent permet une pénétration tubulaire plus profonde du mélange. [40]

a. Efficacité anti bactérienne

Une étude des créateurs du MTAD, Torabinejad et coll., réalisée en 2003, indique qu'une solution de MTAD diluée 200 fois est suffisamment efficace pour tuer *E. faecalis*, la bactérie retrouvée lors des échecs de traitement endodontiques. [100]

La référence : NaOCl, cesse sont efficacité à une dilution de 32 fois. Ils précisent aussi qu'un traitement effectué au NaOCl, suivi d'un rinçage final avec le MTAD était la meilleure combinaison contre *E. faecalis*. [34, 42, 81, 92]

Kho et Baumgartner [2006, 58] n'ont trouvé aucune différence d'activité antibactérienne entre les couples d'irrigation NaOCl 5,25% / EDTA 15% et NaOCl 1,3% / MTAD dans leur étude impliquant les 5 mm apicaux de dents infectées avec *E. faecalis*.

En revanche, Johal et coll. ont reconduit l'étude l'année suivante [2007, 55], avec les même couples d'irrigants, mais en cherchant la croissance de *E. faecalis*. Et dans 50% des canaux irrigués avec le couple NaOCl 1,3% / MTAD ils ont relevé la croissance de *E. faecalis*. Alors que le couple NaOCl 5,25% / EDTA 15% ne présentait aucune recontamination.

Une étude de Davis et coll. [2007, 29] conclut que le MTAD crée significativement plus de zones d'inhibition d'*E. faecalis* comparé à NaOCl, la chlorhexidine et la Dermacyn[®] (une eau oxygénée).

b. Chélatant et pouvoir de dissolution tissulaire

Le MTAD est une solution efficace pour retirer la smear layer lorsqu'il est utilisé en rinçage final. L'association avec NaOCl améliore son efficacité chélatante. [75, 92, 100]

c. Rémanence d'action du MTAD

La tétracycline du MTAD persiste dans la dentine intra radiculaire lorsque le rinçage final est effectué avec le Biopure MTAD[®].

A l'origine, un protocole implique 20 minutes cumulées d'irrigation avec NaOCl concentré à 1,3% et un rinçage final avec MTAD pendant 5 minutes cumulées. Des réactions de type oxydoréduction ont été rapportées entre le NaOCl et le MTAD. L'état des connaissances indique qu'il existe une photo oxydation de la tétracycline, ce qui aboutit à la formation d'un produit de dégradation rouge-violet ayant une importante affinité pour l'hydroxyapatite. Cela se traduit par des colorations amélaire, dentinaire et osseuses. L'hypothèse est que ce phénomène d'oxydation est initié par les dérivés réactifs de l'oxygène (radicaux libres, ions oxygénés et peroxydes) apportés par l'hypochlorite de sodium. Il est rapporté que la peroxydation de la tétracycline par le NaOCl provoque une perte partielle du pouvoir antibactérien.

Lors de l'endodontie, ce processus oxydatif peut être prévenu par l'utilisation d'un antioxydant comme l'acide ascorbique (vitamine C). [99]

d. Conclusion

Le MTAD est un irrigant efficace et biocompatible pour retirer la smear layer et désinfecter les canaux, mais les contradictions sur les résultats des différentes études nécessitent d'autres recherches avant de pouvoir le recommander en pratique quotidienne. Son association en alternance avec le NaOCl améliorerait le nettoyage canalair. [34, 40, 92]

6) Tetraclean®

Le Tetraclean® (Ogna Laboratori Farmaceutici, Milan) est un nouvel irrigant, développé pour l'éviction de la smear-layer et la désinfection canalaire. Il s'agit d'un mélange proche du MTAD. La différence avec le MTAD est l'antibiotique hyclate de doxycycline moins concentré (50mg/5ml contre 150mg/ml), un acide, et un détergent différent, le glycol de polypropylène (contre le Tween 80® du MTAD). [40, 42, 77]

Le Tetraclean® est remarquable pour sa tension de surface record (la plus basse) parmi les solutions agissant avec une chélation du Ca^{2+} .

Il n'y a aucune preuve que la baisse de tension superficielle d'un irrigant, améliore la réduction clinique bactérienne du système canalaire. Mais la pénétration accrue des antibiotiques dans les tubuli, ouverts par l'acide citrique améliore l'effet du Tetraclean® ou du MTAD.

Il est efficace pour retirer l'enduit organo pariétal, et offre une action antibactérienne. La surface dentinaire traitée avec Tetraclean® apparaît propre, les tubuli sont ouverts sans bouchon ni débris.

Tetraclean® est capable d'éliminer 90% des bactéries d'un biofilm en 5 minutes, et plus de 99% en 30 minutes. Le Tetraclean® offre une haute capacité de retrait de la smear-layer et une action antibactérienne efficace. Au même titre que le MTAD, ce nouvel irrigant à la tension de surface réduite, apporte une meilleure pénétration dentinaire, ce qui est bénéfique pour l'effet antibactérien. [40]

L'étude de Giardino et coll. [2007, 41] sur l'éviction du biofilm, rapporte que le NaOCl 5,25% désintègre et retire à chaque fois le biofilm, il est le plus performant. Les relevés aux différents intervalles de temps placent l'efficacité de Tetraclean® au dessus de MTAD pour le retrait du biofilm.

7) L'hydroxy ethylène bisphosphonate : HEBP

L'hydroxy ethylène bisphosphonate ou acide Etidronique ou encore Etidronate, couramment nommé HEBP est un agent chélatant. Il présente de modestes interactions avec le NaOCl et constitue une alternative possible à l'EDTA ou l'acide citrique.

L'HEBP prévient la résorption osseuse et est utilisé en systémique pour traiter les patients atteints d'ostéoporose ou de la maladie de Paget. Il reste peu étudié. [109]

Cependant, son association avec le NaOCl ne provoque pas, à court terme, de perte des propriétés pour les deux molécules. De cette manière, une combinaison NaOCl-Etidronate pourrait être avantageusement employée en solution unique pendant et après l'instrumentation, ainsi la smear layer n'aurait pas le temps de se constituer. Malheureusement, son activité chélatante est relativement faible. [27]

8) L'acide citrique

L'acide citrique est un acide faible. Il présente un effet déminéralisant sur l'enduit organo pariétal. Il est moins toxique envers les tissus. L'efficacité augmente pour une utilisation

séquentielle de l'acide citrique en l'alternant avec le NaOCl. Chaque molécule disloque la matière facilitant l'action de la molécule suivante. [35]

Des changements structurels de la dentine sont à envisager, avec baisse de la micro dureté dentinaire associée à l'augmentation de la rugosité de surface.

L'étude de Zaccaro Scelza et coll. [2010, 108] révèle que l'acide citrique à 10% est la solution la moins agressive sur la réponse inflammatoire parmi l'EDTA-T 17% et l'EDTA 17%. La différence serait due au fait que l'acide citrique est une molécule naturelle du métabolisme cellulaire humain et de l'homéostasie. Pour toutes les solutions testées, le pic de réponse inflammatoire est au 14ème jour.

9) L'acide acétique

L'acide acétique est libéré à partir d'une solution d'acide per acétique. Il n'existe pas sous forme pure. La dissociation de l'acide per acétique s'équilibre en acide acétique, peroxyde d'hydrogène et acétylhydroperoxyde. [63]

Il s'agit d'un désinfectant universel dans les milieux hospitaliers et alimentaires. Ses excellentes propriétés bactéricides en présence d'une phase organique et son utilisation pour la désinfection des unités dentaires justifient son évaluation en tant qu'irrigant endodontique.

Il s'agit d'un candidat à l'irrigation finale. Ses propriétés bactéricides et virucides débutent avant une concentration de 0,5 %. En revanche, son activité chélatante est faible. [27]

L'analyse microscopique des échantillons relève une érosion dentinaire graduelle de la dentine inter tubulaire suite à l'emploi d'acide per acétique, moindre comparé à celle provoquée par l'EDTA (érosion complète sur 1 à 5 microns de dentine intertubulaire). [63]

10) L'eau ozonée

L'Ozone est un gaz réactif avec d'intéressantes propriétés antibactériennes. Il se trouve naturellement dans l'atmosphère, mais peut aussi être synthétisé à l'aide de générateurs. Le gaz oxyde la paroi cellulaire bactérienne et les membranes cytoplasmiques des champignons, protozoaires et virus. La rupture de l'équilibre osmotique provoque la lyse cellulaire. [34]

L'Ozone est efficace sur plusieurs espèces bactériennes de la cavité buccale notamment *C. albicans* et *E. faecalis* avec une réduction significative après 5 minutes d'exposition pour 0,6 mg/ml. La concentration de l'Ozone, le temps d'exposition et les différentes perméabilités membranaires cellulaires modifient son efficacité. [22]

Il n'y a pas de rémanence d'action, ce qui peut expliquer la faible pénétration dans les régions profondes dentinaires.

L'Ozone ne neutralise pas les endotoxines canalaires et donc ne supprime pas leurs capacités à induire des effets biologiques, principalement responsables des résorptions osseuses, cémentaires et dentinaires. [22]

11) L'activation électrochimique (ECA)

La solution est produite à partir d'eau du robinet et d'une solution salée faiblement concentrée (NaCl). Deux types de solutions sont synthétisées, une anolyte acide avec un fort potentiel d'oxydation assurant l'effet antibactérien (de nombreuses preuves sont rapportées). La solution catholyte alcaline est réputée pour avoir un puissant effet nettoyant et détergent. [34]

Après production, ces deux solutions restent actives pendant 48 heures avant le retour à l'état stable, inactif.

Plusieurs études rapportent une action sur le retrait de la smear layer et un effet antibactérien proche de l'hypochlorite de sodium. [34]

Compte tenu de la sécurité biologique apportée par cette solution et de son potentiel à devenir un irrigant, d'autres études sont requises pour mieux connaître l'ECA.

B. Comparaison

Nous savons qu'aucun irrigant ne peut à lui seul suffire à une irrigation efficace. Il est donc nécessaire d'associer un antibactérien à un chélatant.

1) Les antibactériens

Plusieurs études ont comparé l'efficacité de NaOCl 2,5% et de la Chlorhexidine 2% contre une infection intracanalair et ne trouvent pas de différences significatives d'efficacité entre ces deux molécules.

L'atout majeur de NaOCl réside dans ses propriétés de dissolution tissulaire qui en font une solution de choix pour l'irrigation canalair principale. [47, 94]

Lors de l'irrigation finale, la chlorhexidine est supérieure au NaOCl grâce à sa rémanence d'action antibactérienne. [47, 94]

De plus, la chlorhexidine ne crée pas d'érosion dentinaire contrairement au NaOCl. [94]

L'hypochlorite de sodium aide au retrait de la matrice organique et accroît le pouvoir déminéralisant des chélatants utilisés alternativement. [11]

Certains praticiens mélangent le NaOCl avec du peroxyde d'hydrogène, en dépit de la réaction vive et effervescente, l'efficacité de cette combinaison par rapport à NaOCl seul n'a pas été prouvée. En revanche le mélange de la Chlorhexidine avec le peroxyde d'hydrogène favorise significativement l'efficacité antibactérienne de la mixture par rapport aux composants seuls dans un bloc de dentine infecté. [47]

Ces deux solutions sont les plus efficaces pour la désinfection canalair. Il demeure cependant toujours des études indiquant que plus de la moitié des dents préparées et irriguées présentent des niveaux bactériens détectables, quelque soit l'irrigant choisi. [94]

2) Les chélatants

Comparé à l'acide maléique, l'action chélatante de l'EDTA prend plus de temps, le retrait maximum possible de Ca^{2+} et PO_4^{3-} intervient lors d'un temps de travail optimal de 15 minutes. [11]

Plusieurs études démontrent l'efficacité supérieure de l'acide maléique sur l'EDTA pour retirer la smear-layer, notamment dans les parties intermédiaires et apicales du canal endodontique. L'acide maléique représente donc une solide alternative à l'EDTA.

L'étude de Ghoddusi et coll. [2007, 39] évalue l'infiltration bactérienne par voie coronaire de dents obturées à la gutta percha et deux ciments conventionnels différents. Toutes les dents expérimentées subissent une charge bactérienne par voie coronaire, les fuites bactériennes par le foramen apical sont mesurées du 14^{ème} au 69^{ème} jour. Les dents préparées avec l'EDTA ou le MTAD, avec un rinçage final au NaOCl 5,25% présentent un délai de fuite bactérienne plus tardif que le groupe NaOCl seul. Les deux groupes EDTA et MTAD ne présentent pas de différences.

Des études récentes concluent que la combinaison NaOCl / EDTA est au moins, aussi efficace, voire plus efficace, que le couple NaOCl / MTAD concernant l'effet antibactérien. [47]

L'étude de Ballal et coll. [2011, 12] démontre une efficacité de l'activité antimicrobienne similaire et faible entre l'acide maléique et l'EDTA. Leur efficacité augmente avec le temps d'action mais l'érosion aussi. Le point intéressant est l'efficacité de l'EDTA contre *C. albicans*, car le calcium joue un rôle important dans l'adhérence et la croissance de cette espèce. L'acide maléique agit par l'apport de proton, cela perturbe l'équilibre osmotique cellulaire et l'activité enzymatique causant une barricade métabolique.

L'étude de Lottanti et coll. [2009, 63] conclut que l'EDTA 17%, L'acide per acétique 2,25%, ou encore HEBP 9% chacun associé au NaOCl 1% laissent une quantité similaire de smear layer sur les parois canales instrumentées. Les protocoles employant HEBP (Acide étidronique) ou l'acide per-acétique démontrent leur potentiel pour remplacer les traitements conventionnels à l'EDTA.

Zehnder et coll. [2005, 112] démontrent que l'acide citrique 10 % retire significativement plus de calcium qu'une solution d'EDTA à 15,5% ou qu'une solution d'étidronate (HEBP) à 18%. De plus ils évaluent les interactions de l'irrigant indispensable en endodontie, le NaOCl avec divers chélatant. L'EDTA ainsi que l'acide citrique altèrent la quantité de chlore disponible alors que HEBP peut être mélangé au NaOCl sans en affaiblir la quantité disponible.

L'utilisation alternative de NaOCl et EDTA a été recommandée car il s'agit du protocole le plus efficace pour nettoyer le canal. [109,47]

L'étude de Sobhani et coll. [2010, 96] approfondit les connaissances sur la tension de surface canalaire (TSS). L'EDTA seul a un effet négligeable sur le TSS. Ils mesurent une augmentation de 17,4% du TSS lors de l'emploi alternatif de NaOCl 5% et d'EDTA 17% contre une augmentation de 53,7% pour le NaOCl seul. Ils pensent qu'alterner fréquemment les agents retarde le temps nécessaire pour atteindre l'effet optimal comparé au NaOCl seul. Le facteur anatomique longueur de racine prédomine pour l'augmentation du TSS. Plus la surface radulaire est importante, plus la racine a la capacité de tamponner la solution, ce qui réduit les dommages structurels généraux. Le troisième paramètre est la neutralisation réciproque entre les irrigants. Augmenter la fréquence d'alternance des solutions peut protéger la structure dentinaire en découvrant le moins possible de phase minérale à l'EDTA par déplétion de la phase organique.

Il y a donc un compromis à trouver entre efficacité antibactérienne et érosion dentinaire.

Des études in vitro ont établi que la mise en forme canalaire provoque parfois l'extrusion d'irrigant au delà du foramen apical. Les irrigants employés doivent donc être biocompatibles. Ces extrusions pourraient expliquer une partie des douleurs post opératoires décrites par nos patients. [108]

Les chélatants participent à l'érosion directe de la dentine, et favorisent le passage de NaOCl qui a aussi un effet sur l'érosion. Le degré de déminéralisation pourrait influencer sur les propriétés physiques de cette structure hétérogène. Ces modifications pourraient en plus affecter la qualité du scellement canalaire lors de l'obturation. [35]

C. Conclusion

Le NaOCl constitue la molécule la plus utilisée, mais son inefficacité contre la smear layer nécessite l'emploi d'un chélatant, actif pour le retrait de la phase minérale. [40]

Il est donc recommandé de combiner le NaOCl avec un chélatant. [27]

Ainsi, l'utilisation combinée de l'hypochlorite de sodium de 2% à 5,25% avec de l'EDTA à 17% est une combinaison efficace et recommandée pour le retrait de la smear layer lors de l'instrumentation du système canalaire. [109]

Rappelons que cette combinaison crée une érosion diffuse de la paroi dentinaire intra-tubulaire et inter-tubulaire qui affaiblit le module élastique de la dentine. Mais aucune étude ne démontre que cet effet est délétère pour l'avenir de la dent. [1, 7, 47, 57, 115]

Les volumes proposés par Zehnder [2006, 109] sont 9ml de NaOCl à 2,5% suivi de 9ml d'EDTA 17% par canal. De nombreuses études recommandent d'utiliser 5 à 10 ml d'irrigant final par canal. [1, 4, 87, 109]

Le rinçage final avec le NaOCl 2,5% représente, dans les études, un volume de 2ml par canal, suivi d'un séchage avec des cônes de papier conformés à la taille ISO du dernier instrument. [43]

Pour éviter un accident d'exposition à l'hypochlorite de sodium il est primordial de connaître la longueur du canal et son intégrité avant d'entreprendre une irrigation avec une solution concentrée, pour ne pas éjecter l'irrigant au delà du foramen apical. [31]

A propos de l'EDTA, Carvalho Batista et coll. [2005, 25] proposent les conclusions suivantes ; pour le retrait de la smear-layer et de l'éviction des débris, ce n'est ni le temps d'application, ni la concentration de l'irrigant qui prédominent, mais plutôt la méthode d'application et d'activation de l'EDTA.

Les solutions doivent être efficacement délivrées dans le système canalaire : nous allons étudier les différences techniques et les appareils disponibles pour améliorer l'efficacité des solutions d'irrigation.

II. Les différentes techniques d'irrigation

A. L'irrigation discontinue

1) Les seringues

Les seringues sont les instruments les plus couramment utilisés lors de l'irrigation canalaire. Il existe différentes contenances : un volume de 5 à 10 ml permet un large rinçage final, et évite une recharge trop fréquente. Le volume connu est injecté avec contrôle, en pression positive. La profondeur de l'aiguille est aussi connue, cependant il est impératif de renouveler fréquemment l'apport en NaOCl pour améliorer l'efficacité du nettoyage. [1, 43, 101]

L'effet de douche exercé en pression positive par la seringue est relativement faible comparé à l'irrigation passive ultrasonique. [43]

Malgré leur inefficacité dans le tiers apical, les seringues demeurent la procédure standard en pratique quotidienne. [30]

Le paramètre le plus influant pour une seringue reste le débit d'éjection, estimé en moyenne à $6,6\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$ selon Boutsoukis et coll. en 2007 [14]

2) Les aiguilles

Les études indiquent que l'irrigation par aiguille conventionnelle est moins efficace dans le tiers apical comparé à la partie coronaire, d'autant plus si le canal est courbe. [82, 95]

Lors de l'utilisation des aiguilles, l'apport d'irrigant dans le tiers apical dépend directement de la profondeur de pénétration de l'aiguille. [19]

L'étude de Sedgley et coll. [2005, 87] rapporte que 9% des bactéries perdurent après l'injection de 6ml d'une solution inerte (sans pouvoir antibactérien) à 1 mm de la longueur de travail contre 26% quand la solution inerte est éjectée à 5 mm de la longueur de travail.

Ajouté à l'effet de rinçage, l'emploi de NaOCl permet d'espérer réduire le nombre des bactéries résiduelles viables dans le canal. [95]

Indépendamment de la profondeur de l'aiguille, l'augmentation du volume éjecté ainsi que le temps d'exposition de l'irrigant avec le contenu canalaire réduit la charge bactérienne. [87, 115].

L'étude de Bronnec et coll. [2010, 19] précise que l'augmentation conjointe du diamètre de préparation apicale et du volume éjecté améliore l'accès de l'irrigant au canal.

Boutsoukis et coll. [2009, 13] montrent que l'échange d'irrigant n'intervient qu'entre 1 et 1,5 mm de l'évent latéral d'une aiguille, et par conséquent, la solution située au-delà de cette zone n'est pas renouvelée.

De plus, son étude sur les dimensions ISO 9626:1991 relève des différences significatives entre les dimensions ISO annoncées et celles mesurées. Les variations proviennent d'irrégularités de l'état de surface interne des aiguilles, certainement liées au processus d'usinage. Cela réduit la lumière de l'aiguille et pourrait altérer le flux d'irrigant. [15]

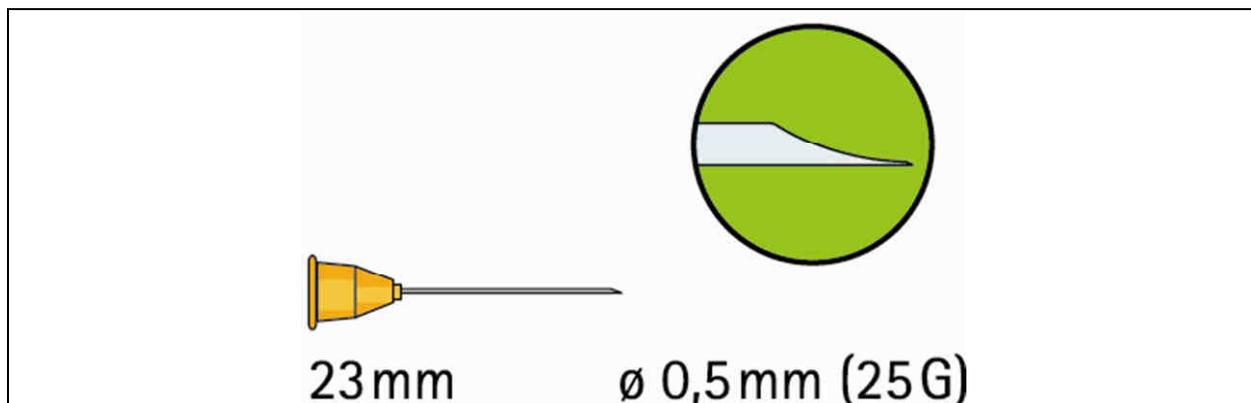
Huang et coll. [2008, 49] démontrent que la paroi canalaire faisant face à l'ouverture de l'aiguille est significativement plus propre que le mur opposé.

Le risque d'extrusion est plus grand avec les aiguilles conventionnelles. Les recommandations admises pour éviter les accidents sont de ne pas figer l'aiguille dans le canal, éviter une trop grande proximité avec la longueur de travail et appliquer un débit modéré d'éjection. [76]

L'étude d'Altundasar et coll. [2011, 3] pondère les résultats précédant en rappelant qu'une aiguille à écoulement latéral produit moins d'extrusion d'irrigant, mais la différence n'est pas significative. Une aiguille insérée plus loin améliore le nettoyage à l'apex mais accroît le risque d'extrusion. Il rappelle que l'important est de vérifier radiographiquement l'état des apex ou la présence d'éventuelles résorptions, perforations.

- **Aiguilles Miraject® et Neodent®**

Ces aiguilles stériles de 21, 23, 35 ou 42mm, et de conception simple s'adaptent sur un corps de seringue Luer. Elles existent dans plusieurs diamètres (0,3, 0,4 ou 0,5mm) et permettent de délivrer l'irrigant à proximité de la longueur de travail. Ce sont parmi les plus économiques.



*Figure 9 : Aiguilles d'irrigation canalaire simple Miraject®
<http://www.online-dental.net>*

- **Max-i-Probe® (Dentsply)**

L'aiguille stérile Max-i-Probe existe en longueur 23, 25 ou 30 mm et diamètres 0.3, 0.5 ou 0.6 mm. Elle s'adapte sur un corps de seringue et offre un écoulement latéral avec un bout arrondi. Simple, efficace et relativement économique (49,74€ la boîte de 40), elle permet de délivrer l'irrigant à la longueur de travail.

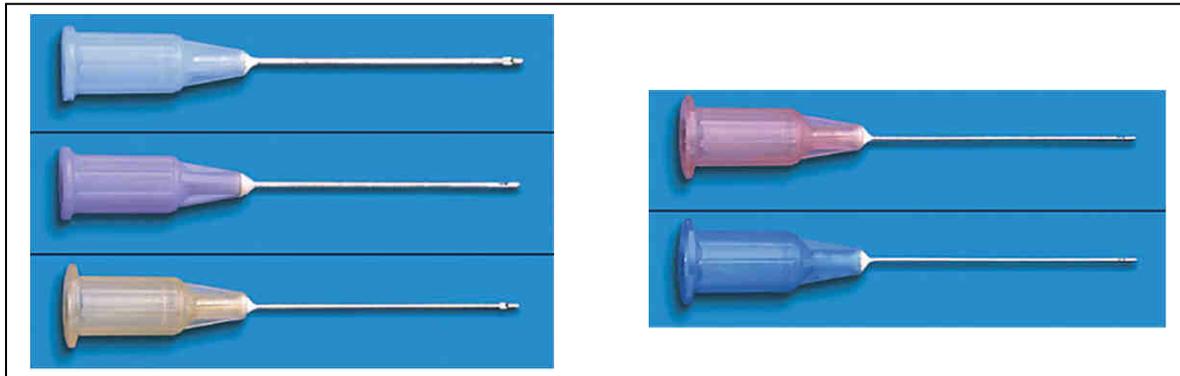


Figure 10 : Aiguilles d'irrigation (modèle Max-i-Probe[®]) à écoulement latéral adaptables sur une seringue de type Luer
<http://www.smartpractice.com/Apps/WebObjects/SmartPractice.woa/wa/style?id=S26402>

- **NaviTip Fx[®], (Ultradent, South Jordan, Utah)**

De conception récente, l'aiguille NaviTip Fx[®] est un embout adaptable sur un corps de seringue type Luer, manuel et passif permettant d'éjecter gel ou liquides à l'apex, et avec un revêtement de type brosse permettant de brosser les murs canaux. Cette action mécanique active l'irrigant et favorise le retrait des débris et de la smear layer. [43]



Figure 11 : Embouts NaviTip Fx
<http://www.ultradent.com/fr/Dental-Products/Embouts-seringues/Embouts-Endodontiques/NaviTip-FX/Pages/default.aspx>

Des études rapportent une amélioration du nettoyage uniquement dans le tiers coronaire. [43, 44]

Une autre étude sur l'embout NaviTip[®] et utilisant le couple NaOCl 5,25% et EDTA 17% rapporte une efficacité sur tout le canal, surtout pour les canaux modérément courbés. [115]

Ces contradictions proviendraient d'une évaluation différente du score des débris dentinaires restant.

Lors de la préparation des canaux droits, des mouvements de brossage à partir d'1 ou 2 mm de la longueur de travail améliorent significativement l'efficacité de NaviTip® sur toutes les portions canalaires. Les résultats sont meilleurs si d'autres brossages sont effectués à 5 mm puis 10 mm en partant de la longueur de travail. [115]

Bien évidemment d'autres études doivent être menées avant de pouvoir le recommander, mais, l'embout NaviTip®, efficace et simple d'utilisation pourrait constituer une alternative à l'irrigation ultrasonique passive (PUI). [43]

- **Endobrush®**

Datant des années 1990, l'Endobrush® est une aiguille en nylon torsadé et dont les mouvements circulaires semblent atteindre les zones non préparées. La structure garde un diamètre relativement constant jusqu'au bout de l'aiguille, ce qui limite l'accès apical. Les études d'alors rapportaient une efficacité significativement accrue par rapport à un débridement seul. [44]

On peut considérer que cet instrument constitue un ancêtre du Self Adjusting File : SAF.

3) Les ultrasons

La voie la plus efficace pour nettoyer le canal après la préparation est de créer un flux mobile dans la solution irriguante éjectée. [85]

a. Les mécanismes

L'irrigation ultrasonique passive (PUI), introduite par Weller et coll. dès 1980 [105] procure une énergie acoustique ondulatoire qui active l'irriguant contenu dans le canal. Le terme "passif" est peu approprié, mais il qualifie l'effet non coupant de cette technique.

Cette passivité évite la création de faux canaux ou perforations. L'insert fin et non coupant, pour une taille ISO inférieure à 20 oscille librement dans l'espace préparé par la rotation continue et facilite les mouvements de l'irriguant vers l'apex.

La fréquence et l'intensité de la vibration influent sur l'efficacité : l'intensité du flux ultrasonique dépend de sa vitesse. L'amplitude de mouvement maximale est située à l'extrémité de l'aiguille. Dans un canal courbe, précourber l'aiguille améliore la puissance du flux vibrant.

Des forces de cisaillement apparaissent le long de la paroi canalairale, ces forces peuvent retirer les débris et bactéries présentes. [101, 102]

Des phénomènes de cavitation provoquent des bulles. La cavitation stable consiste en une succession d'expansions et de contractions rapides qui génèrent des hautes pressions gazeuses et élèvent la température. Ces impacts énergétiques ponctuels, intenses, activent aussi le contenu canalairale. Il existe aussi une cavitation transitoire survenant lors de contacts légers de l'aiguille avec la paroi canalairale. La cavitation améliore l'éviction du biofilm. [85, 101]

Il est important d'appliquer les ultrasons après que la préparation canalairale ait été complétée, ainsi l'oscillation libre de l'instrument favorise l'effet des ultrasons et la circulation de l'irrigant.

Le facteur temps ne doit pas être sous-estimé, il convient de respecter un temps d'action suffisant pour optimiser l'efficacité des irrigants et techniques, d'autant que la phase de

préparation est maintenant réduite grâce à la rotation continue. Lors des protocoles, les temps fréquemment appliqués sont d'une minute d'activation ultrasonique par canal. [104, 109]

b. Les effets

- L'irrigation ultrasonique passive (PUI) comparée aux seringues manuelles est plus efficace (méta-analyse de la littérature, données significatives avec niveau de preuve élevé : grade 1a). Seule une étude ne trouve pas de différence mais les auteurs emploient l'EDTA, sans préciser s'ils le retirent avant l'irrigation finale. [85, 101, 102]

- Amélioration significative des effets du NaOCl (pouvoir de dissolution tissulaire) [101]

- Amélioration significative du retrait de bactéries comparé aux seringues manuelles, liée à l'effet de douche.

- Retrait de la smear layer accru. En revanche les études à ce sujet présentent un biais important, car l'emploi systématique du microscope électronique à balayage n'explore qu'une petite portion du canal, et la quantification n'est pas standardisée. [101]

- Efficacité accrue dans les canaux courbes.

- Efficacité accrue pour nettoyer l'isthme entre deux canaux comparée à une seringue manuelle. Une étude indique que la PUI a le potentiel d'atteindre des zones non préparées par l'instrumentation mécanique.

- Efficacité supérieure comparée à l'irrigation sonique (qui oscille jusqu'à 6kHz, donc offre une moins grande vitesse vibratoire de l'irrigant).

- élévation de la température de la solution. Une étude mesure une élévation de 37°C à 45°C en 30 secondes, autour de l'aiguille. Un renouvellement de solution (25°C) continue abaisse de 37°C à 29°C. Une autre étude indique une élévation de 0,6°C lors d'un renouvellement continu de solution à 20°C. Les études se rejoignent sur une baisse transitoire initiale de température lors de l'irrigation puis une augmentation lors de l'oscillation. Cette augmentation améliore la réactivité chimique du milieu. Au delà de 47°C les préjudices tissulaires sont irrémédiables. [102, 113]

c. Paramètres d'efficacité

Les paramètres qui améliorent l'efficacité de l'activation ultrasonique sont :

- Diamètre et conicité de la préparation canalaire [101]

- Dans une étude récente, pour 3 minutes d'activation, l'irrigation continue et l'irrigation discontinue offrent une efficacité équivalente. [2]

- L'impact du temps d'irrigation sur l'efficacité de la PUI reste inconnu. [101]

- Apport d'un insert doux ou non coupant, pour éviter les risques de faux canaux.

- Influence de la direction vibratoire de l'aiguille. Une vibration en direction d'une anfractuosité est plus efficace comparée à un flux perpendiculaire $p = 0,002$ (voir figure 12). [53]

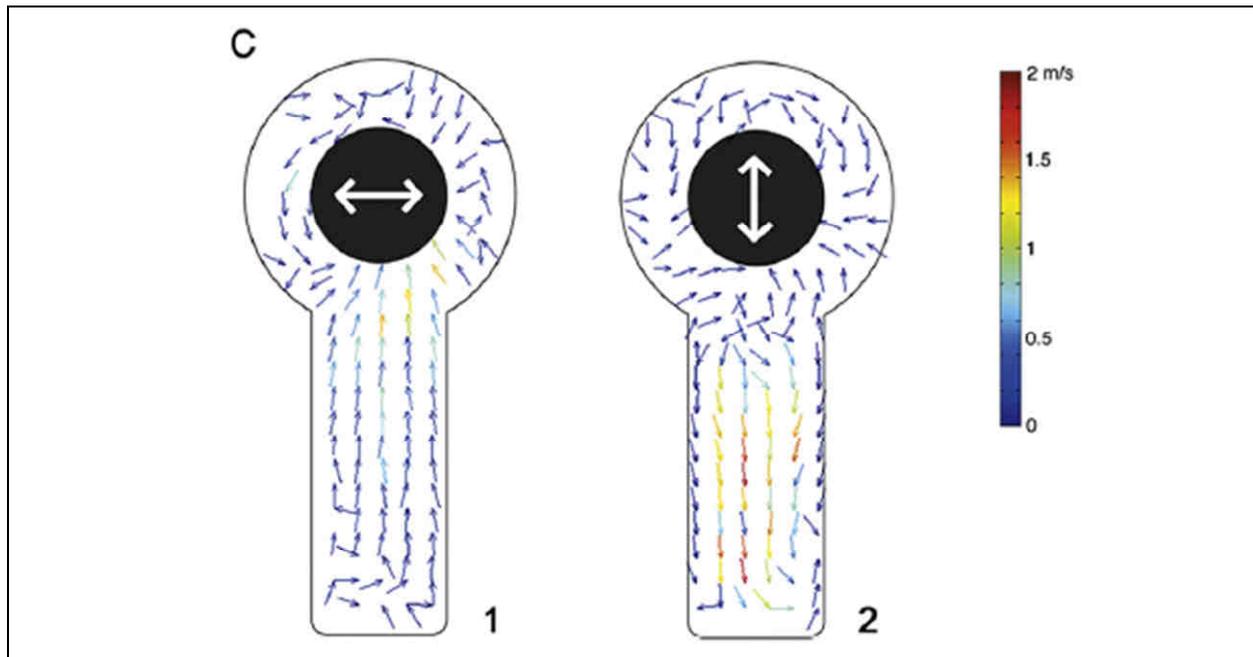


Figure 12 : Coupe d'une section radiculaire indiquant la direction de l'oscillation et représentant le flux développé autour. C1 : oscillation perpendiculaire à l'anfractuosité. C2 : Oscillation en direction de l'anfractuosité, d'après l'étude de Jiang et coll. [2010, 53]

- La PUI est appliquée par phases de 400ms, c'est-à-dire fonctionnant à 50%, est plus efficace pour retirer les débris de dentine par rapport à une activation continue. Des cycles d'activation à 13% et 88% ne montrent pas de différences par rapport à la PUI continue. Les auteurs pensent que cela vient de l'alternance entre phases de démarrage et phases de repos. Les deux influent sur le résultat, mais ils ne savent pas encore pourquoi. [52, 54]

La méta analyse rapporte de nombreuses déviations dans l'efficacité de la PUI car il est difficile de standardiser le centrage d'une aiguille vibratile, et son amplitude de vibration. Le problème augmente avec la fréquence. Les phénomènes complexes de cavitation sont difficilement quantifiables. Par exemple l'eau salée forme beaucoup plus de bulles que l'eau courante, et une étude avec le groupe NaCl retire significativement plus de bactéries en PUI comparé au groupe seringue.

Pour le retrait de la smear-layer, l'activation ultrasonique passive nécessite de l'EDTA à 15% pour être efficace. [104]

Une étude récente précise que la PUI avec un flux constant de NaOCl pendant 3 minutes à $15 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$ est efficace pour retirer les débris des irrégularités dans le tiers apical. Une explication possible de l'efficacité supérieure de la PUI sur les autres techniques est la vitesse supérieure du flux acoustique et de l'irrigant qui aboutissent à une livraison plus efficace de l'irrigant dans les extensions canalaires. [83]

Malgré cette efficacité, Rödiger et coll. précisent que la PUI n'est pas capable de retirer complètement tous les débris artificiels des extensions canalaires. [2010, 83]

d. Exemples de systèmes

- **Sonicare CanalBrush®**

La Sonicare CanalBrush® est une brosse en polypropylène adaptée sur la brosse à dent électrique Philips Sonicare Elite®. Elle offre une importante vitesse de brossage avec 31000 coups par secondes, et présente une anatomie adaptée au canal.

L'étude de Salman et coll. [2010, 85], indique un meilleur nettoyage canalaire grâce au rinçage final pendant 30 secondes avec de l'EDTA 17% activé par Sonicare CanalBrush (retrait des débris accru et réduction de la smear layer) comparé aux autres groupes ($p < 0,05$).

Aucune fracture d'instrument n'a été relevée lors de l'étude.

- **IrriSafe® (Satelec)**

Cet insert d'irrigation ultrasonique est installé sur le générateur d'ultrasons et permet d'activer l'irrigant dans le canal : l'irrigation passive ultrasonique génère un micro flux acoustique qui active et réchauffe la solution.

Plusieurs études indiquent que la PUI est significativement plus efficace qu'une irrigation manuelle avec une seringue, La cavitation et les flux acoustiques de cette technique maximisent le potentiel des irrigants.

Cependant il reste des incompréhensions sur les mécanismes physiques à l'origine de cette efficacité. [47, 59, 85, 113]

4) L'activation sonique

La fréquence d'opération sonique varie de 1kHz à 6kHz et produit moins de contraintes de cisaillement. Il semble que l'efficacité soit inférieure aux ultrasons, car la vitesse et l'intensité du flux acoustique sont liées à la fréquence de vibration. Il n'y a pas d'efficacité significativement supérieure aux seringues. [44, 50]

L'étude de Pasqualini [2010, 79] conclut que l'activation sonique à 10 000 pulses par minute (vitesse maximale) pendant 30 secondes améliore légèrement la désinfection canalaire par rapport aux groupes aiguilles conventionnelles.

Un exemple d'appareil sonique est l'*EndoActivator*® (Dentsply Tulsa Dental specialties), ou la *F-File*® (Plastic Endo, Buffalo Grove, Illinois). [44, 50, 59]

5) L'apport du laser Nd : YAG

L'activation au Laser apporte une quantité importante d'énergie. Une fibre optique mince et flexible est utilisée pour diriger le faisceau et créer de l'oscillation. L'intensité est réglable.

La fibre est positionnée 1mm en retrait de la longueur de travail, des mouvements verticaux de va et vient jusqu'à 5mm de l'apex sont recommandés. Cela produit une cavitation transitoire dans l'irrigant qui permet le retrait de smear layer.

Au delà de 120 mJ par pulse, des cas d'extrusion d'irrigant au travers de l'apex ont été relevés. Sur une période de 20 secondes, le retrait des débris est supérieur comparé à l'emploi d'une seringue ou à la PUI, notamment dans le tiers apical. [30]

Les facteurs influant l'efficacité du laser sont :

- Puissance du rayonnement appliquée
- Temps d'exposition
- Coefficient d'absorption de la lumière par les tissus
- Anatomie canalaire
- Distance entre l'embout et la cible

En contre partie l'excès de chaleur provoque d'importants dommages tissulaires sur la paroi canalaire, ainsi que sur les tissus péri apicaux. Il est donc préférable de coupler le laser à une irrigation conventionnelle.

Dans une étude menée par De Groot et coll. [2009, 30], les groupes avec du NaOCl puis de l'EDTA présentent de meilleurs résultats concernant l'éviction des débris et la préparation des surfaces.

Il a été rapporté que l'irradiation laser ferme les tubuli, adoucit la paroi dentinaire et accélère les réactions chimiques. [30]

L'étude d'Ikarugi et coll. [2008, 51] sur 78 incisives mandibulaires humaines démontre une efficacité supérieure du Laser sur l'irrigation passive ultrasonique. La concentration et le type d'irrigant ne semble pas avoir d'influence. En revanche les groupes 3W ont les meilleurs résultats, devant les ultrasons et les groupes 1W.

Cela s'expliquerait par la linéarité du faisceau alors que les ultrasons nécessitent une aiguille au contact des parois. Dans cette étude, les temps d'exposition sont courts comparés aux autres études, ne laissant peut être pas le temps aux irrigants de s'exprimer pleinement.

L'élimination de dentine nécessite en premier lieu l'application d'encre noire. Puis avec 2 W d'irradiation à 30pps pendant 60 secondes, 40 µm de dentine sont retirés, sans carbonisation. [51]

Efficace pour retirer la smear-layer, une destruction de la dentine péri tubulaire est à craindre par l'utilisation du laser. [104]

6) Les cônes de gutta

Une récente étude rapporte qu'une activation manuelle de la solution avec un cône de gutta (de la taille adéquate), permet une pénétration complète de l'irrigant dans le canal principal par la pression volumique solide exercée. [1]

Une activation dynamique manuelle avec 200 mouvements aller-retour est comparable à l'activation ultrasonique et hydrodynamique. [4]

B. L'irrigation continue

L'irrigation est reliée à l'appareil oscillant, le flux est continu. [44]

Deux études indiquent que lors d'un flux continu d'irrigation, pour une irrigation ultrasonique passive (PUI) le temps d'action importe plus que le volume utilisé. Pour deux groupes avec un volume égal, plus de débris sont retirés dans le groupe 5 minutes que dans le groupe 1 minute. [101]

1) L'aiguille irriguante développée de Carver et Nusstein

Dans leur étude, Gutarts et coll. [2005, 46] utilisent une irrigation continue lors de l'activation ultrasonique délivrée à 15ml/min par une aiguille classique raccordée par une tubulure au corps de seringue de type Luer (voir figure 13).

L'aiguille est réglée à la profondeur maximale avec un stop, puis des mouvements de haut en bas sont effectués lors de l'activation.

Ils concluent que l'activation ultrasonique pendant 1 minute sous irrigation continue réduit significativement ($P < 0,0006$) les bactéries résiduelles (CFU), soit une efficacité 7 fois supérieure à la rotation continue seule, et 80% des canaux sans traces de bactéries contre 27% pour le groupe rotation continue.

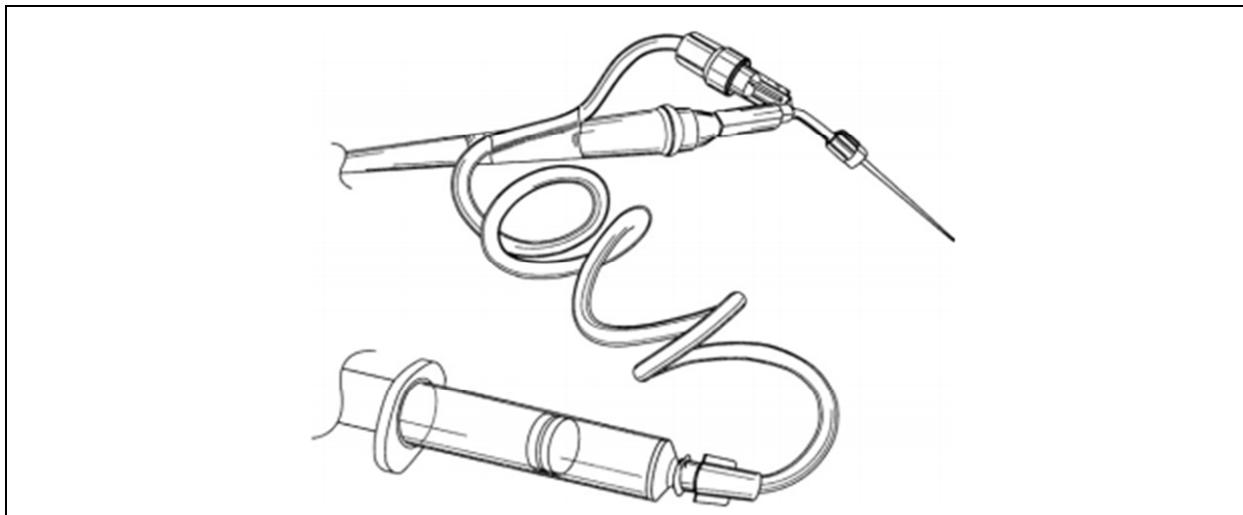


Figure 13 : Système d'irrigation continu couplé à l'activation ultrasonique, d'après l'étude de Gutarts, Nusstein et coll. [2005, 46]

2) The Self Adjusting File® (SReDent-Nova)

La Self-Adjusting File® (SAF ; ReDent-Nova, Ra'Anana, Israël) est un nouveau concept. La pointe flexible et creuse est annoncée comme spontanément et tri dimensionnellement auto-adaptable à la géométrie canalaire (voir figure 14).

Composée de Nickel-Titane, cette pointe mince de 1,5 mm et compressible s'adapte sur toute sa longueur à l'anatomie canalaire. La surface de l'embout est légèrement abrasive.

Un mouvement vibratoire coronoapical permet de retirer la dentine, en procurant 5000 vibrations par minute sur une amplitude de 0,4 mm [48].

Le point important est l'irrigation continue pendant la préparation canalaire, apportée par un tube en silicone à la base du fût de la pointe. Un appareil spécial (Vatea[®], ReDent-Nova) assure un débit constant de la solution réglable de 1 à 10 ml / minute, et avec possibilité de pré activation de cette solution. [69]

Lors de l'utilisation, la compression initiale s'amenuise au cours de la mise en forme canalaire, et l'instrument se décomprime dans tous les plans de l'espace pour toujours rester au contact des parois. L'absence de noyau rigide central permet le respect de l'anatomie du canal, le risque de perforation est moindre.



Figure 14 : Radiographie avec instrument en place montrant la déformation du SAF lors d'un traitement canalaire.

<http://www.eugenol.com/eugenol-advisor-tests-produits/126-systeme-endodontique-saf>

Les tests d'endurance sont très satisfaisants.

Les premières fractures apparaissent dans le test à 27 minutes d'utilisation intensive (voir figure 15).

Cela représente plus de 6 fois une procédure de 4 minutes par canal.

Le SAF peut être tordu 7 fois sur 360° avant de casser, ce qui est largement au dessus de la norme ISO 3630 qui préconise 1 fois sur 360° avant la casse.

Et même si une déformation structurelle survient, ce n'est pas comme avec un forêt NiTi, puisqu'en général il s'agit d'une arche qui se décroche. L'instrument est alors facilement retirable du canal comparé à un instrument NiTi. Les instruments sont stérilisables. [69]

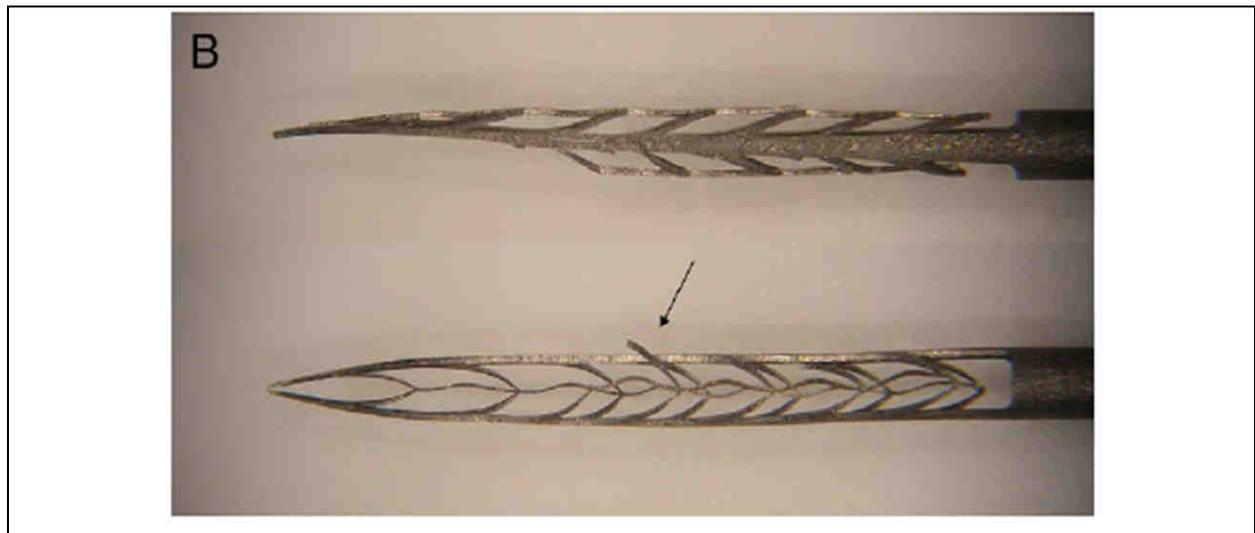


Figure 15 : Photographies d'un SAF après utilisation intensive (en haut) et d'un SAF présentant une fracture d'arche. (en bas), d'après l'étude de Metzger et coll. [2010, 69]

L'anatomie du SAF en creux permet l'apport continu d'irrigant pendant la procédure. Les mouvements du SAF activent la solution constamment renouvelée, ce qui aurait selon Gu et coll. [2009, 44] un effet bénéfique pour le nettoyage canalaire, en particulier dans la région apicale. [68, 69]

Pendant la préparation radiculaire, le canal se comporte comme un tunnel fermé, ce qui piège les gaz, produit l'effet vapor lock et freine le débridement apical. Les mouvements du SAF pourraient disperser les bulles de gaz et favoriser l'action de l'irrigant.

Une comparaison effectuée par Metzger et coll. [2010, 70] entre des préparations canalaires effectuées avec le SAF ou une rotation continue classique rapporte une meilleure préparation et obturation avec le SAF.

Les auteurs ne prononcent pas de corrélation entre ces deux paramètres, car l'étude ne comporte pas assez de dents selon eux, avec seulement 10 couples de dents appariées (voir figure 16).

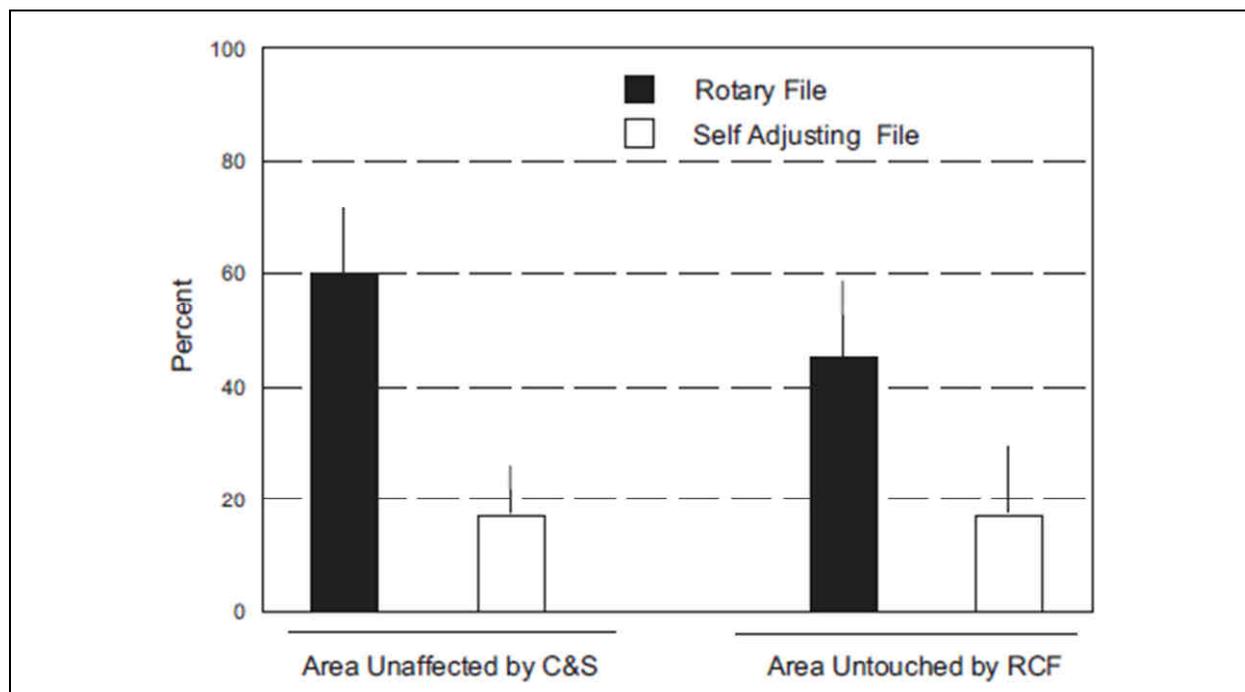


Figure 16 : Comparaison au cône beam entre le SAF et la rotation continue ProTaper de la qualité des préparations (C&S : cleaning and shaping) qui est un pourcentage des zones non préparées par la technique ; et de l'adaptation des obturations canalaires (RCF : root canal filling) exprimées en pourcentage de zones non touchées par l'obturation, d'après l'étude de Metzger et coll [2010, 70]

Siqueira et coll. [2010, 93] confortent cette position. La comparaison entre les groupes NiTi BioRace[®] et SAF[®] rapportent que les deux groupes sont significativement efficaces pour réduire la charge bactérienne ($p < 0,001$).

Cependant le SAF va plus loin dans le retrait de *E. faecalis*, 4 échantillons sur 20 (20%) ont développé une culture positive contre 11 sur 20 (55%) dans le groupe NiTi et irrigation discontinuée par seringue NaviTip[®], mais les différences ne sont pas significatives ($p = 0,98$).

Les auteurs émettent des réserves car les prélèvements ont eu lieu avec des pointes papier, susceptibles de ne pas atteindre toutes les zones du canal. Néanmoins, la préparation d'un canal ovale semble meilleure avec le SAF comparé au NiTi.

Concernant l'érosion dentinaire, Kaya et coll. [2011, 57] ne rapportent aucune différence significative entre le NaOCl 1,3% et 2,6% ($p = 0,148$). En revanche, le groupe avec une concentration à 5,25% induit plus d'érosion comparé au groupe à 1,3% ($P = 0,007$).

En conclusion, le SAF[®] utilisé avec un flux continu alternatif de NaOCl et d'EDTA est un système efficace, permettant d'obtenir des canaux relativement dépourvus de smear layer, y compris dans la partie apicale. Résistant, efficace, peu risqué et offrant une irrigation continue, le SAF[®] est un sérieux concurrent aux systèmes de rotation continue NiTi. L'érosion dentinaire peut être restreinte en diminuant la concentration de NaOCl.

Il existe peu d'études évaluant le SAF[®], mais la technique semble prometteuse car elle permet une irrigation continue associée au débridement mécanique, ce qui constitue un atout.

En attendant d'autres études à ce sujet, le SAF[®] représente un complément de choix pour renforcer une préparation canalaire et son irrigation avant obturation. L'utilisation d'un tel système représente un investissement non négligeable : le système propriétaire ITENA (ReDent-Nova) regroupe le moteur et la pompe (kit complet vendu 2080 € sur internet).

Puis s'ajoute le coût des embouts. D'autres systèmes hydrauliques sont compatibles. Il faut un contre angle Kavo spécifique (Biberach Riss, Germany) pour assurer les mouvements verticaux.

C. L'effet "Vapor-Lock", piège de vapeur

C'est l'emprisonnement d'air dans un front de liquide avançant. La capacité du liquide à pénétrer des tunnels étroits dépend de sa mouillabilité, ainsi que de la taille et profondeur de l'anfractuosité. Dans ces circonstances, les zones étroites peuvent mettre des heures voire des jours pour être atteintes. Or l'irrigation canalaire dure au mieux quelques minutes.

Le NaOCl atteint très difficilement les 3 mm apicaux, même après une préparation avec une lime K 100. Les auteurs pensent que le NaOCl réagit rapidement avant, ce qui produit des bulles de gaz à l'apex. Ces bulles de gaz non atteignables mécaniquement bloquent l'accès aux irrigations postérieures. De plus nous savons que l'irrigation ultrasonique fonctionne mieux en milieu aqueux, donc après irrigation. La formation de ces bulles bloque en plus l'effet ultrasonique. Il est important de considérer le modèle choisi, les modèles clos tendent à démontrer un meilleur retrait des débris à tous les niveaux du canal. [1, 44, 98]

L'activation hydrodynamique (EndoVac, RinsEndo) utilise des variations de pression pour faire circuler l'irrigant ce qui crée un reflux susceptible de détacher et de remonter les débris. Il semble que cela soit une méthode efficace pour la dynamique des fluides dans les réseaux canaux à l'accès difficile. [1]

Une méthode simple et efficace consiste à insérer un cône de gutta calibré au diamètre de la préparation pour éliminer l'effet "piège de vapeur". Le cône remplace l'air par un solide et crée une brèche pour l'irrigant. [44]

1) Le système EndoVac[®] (Discus Dental, Culver city, USA)

L'EndoVac[®] a été développé en 2007 dans le but de sécuriser l'apport d'irrigant à l'apex canalaire. [1]

L'irrigation débute dès l'ouverture camérale avec l'aiguille métallique. Le surplus est aspiré. L'embout macroscopique permet d'irriguer lors de l'élargissement coronaire et de lubrifier le canal. Il sert à retirer le maximum de débris pour éviter d'obstruer la canule microscopique utilisée ensuite.

L'embout microscopique est placé à la longueur de travail, à condition que le canal soit préparé à ISO 35. Alors, il aspire l'irrigant et les débris en évitant l'extrusion de solution dans le péri apex, en même temps, la seringue apporte et renouvelle la solution.

Par cavitation, des bulles se forment, un mouvement de va et vient manuel permet d'améliorer l'éviction des débris. Entre chaque instrument, 30 secondes d'action sont préconisés.

Le rinçage final est réalisé pendant une minute, puis la micro canule est ré insérée, et retirée de 2mm toutes les 6 secondes en partant de la longueur de travail.

Les différents éléments sont visibles sur la figure 17. [47, 76, 95]

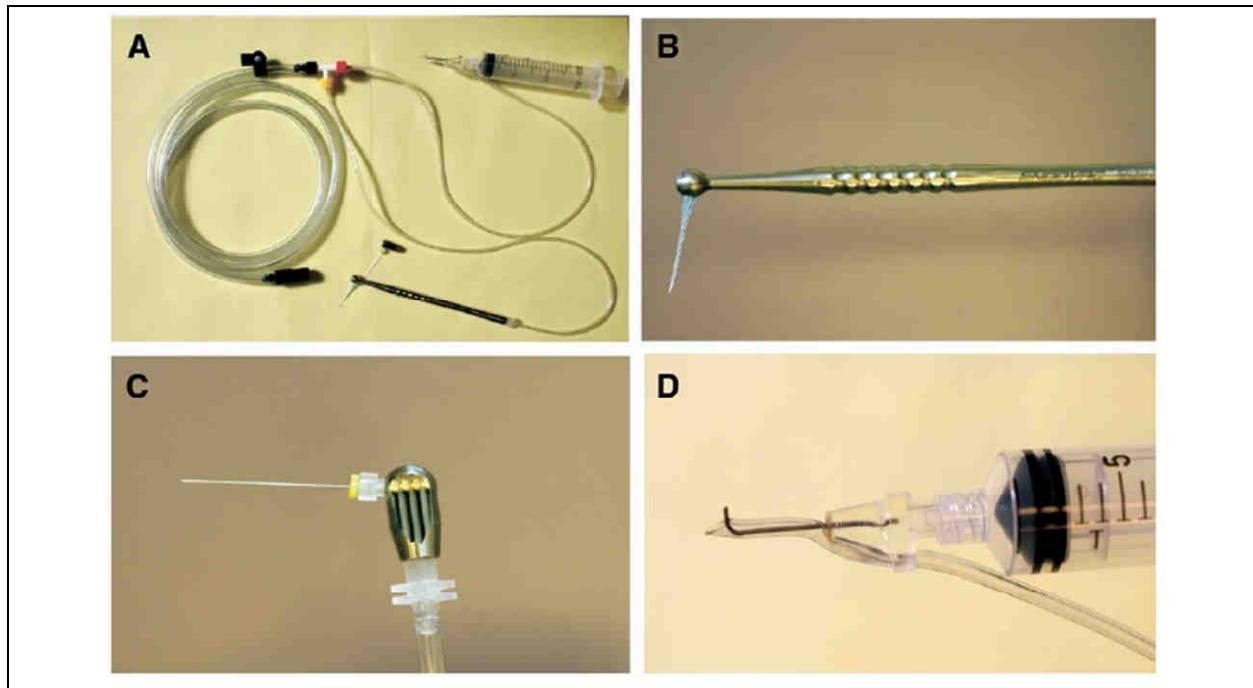


Figure 17 : Le système EndoVac au complet (A) ; Détail de la macro canule pour l'irrigation initiale coronaire (B) ; Détail de la micro canule, permettant l'irrigation à la longueur de travail (C) ; Détail de la seringue d'apport, le surplus d'irrigant est aspiré par la tubulure en plastique (D), d'après Nielsen [2007, 76]

Le volume apporté d'irrigant est supérieur à une seringue conventionnelle. L'étude de Nielsen et Baumgartner [2007, 76] compare le système EndoVac aux seringues et révèle une différence significative pour le retrait des débris à 1mm de l'apex.

A 3mm, il n'y a pas de différence significative relevée. Ces résultats sont confortés par l'étude d'Abarajithan et coll. [2011, 1], excepté à 3 mm où ils trouvent une différence significative, et une différence non significative à 1mm.

Plusieurs études rapportent l'efficacité d'EndoVac® pour retirer la smear layer dans le tiers apical comparé aux seringues conventionnelles (voir figure 18). [1]

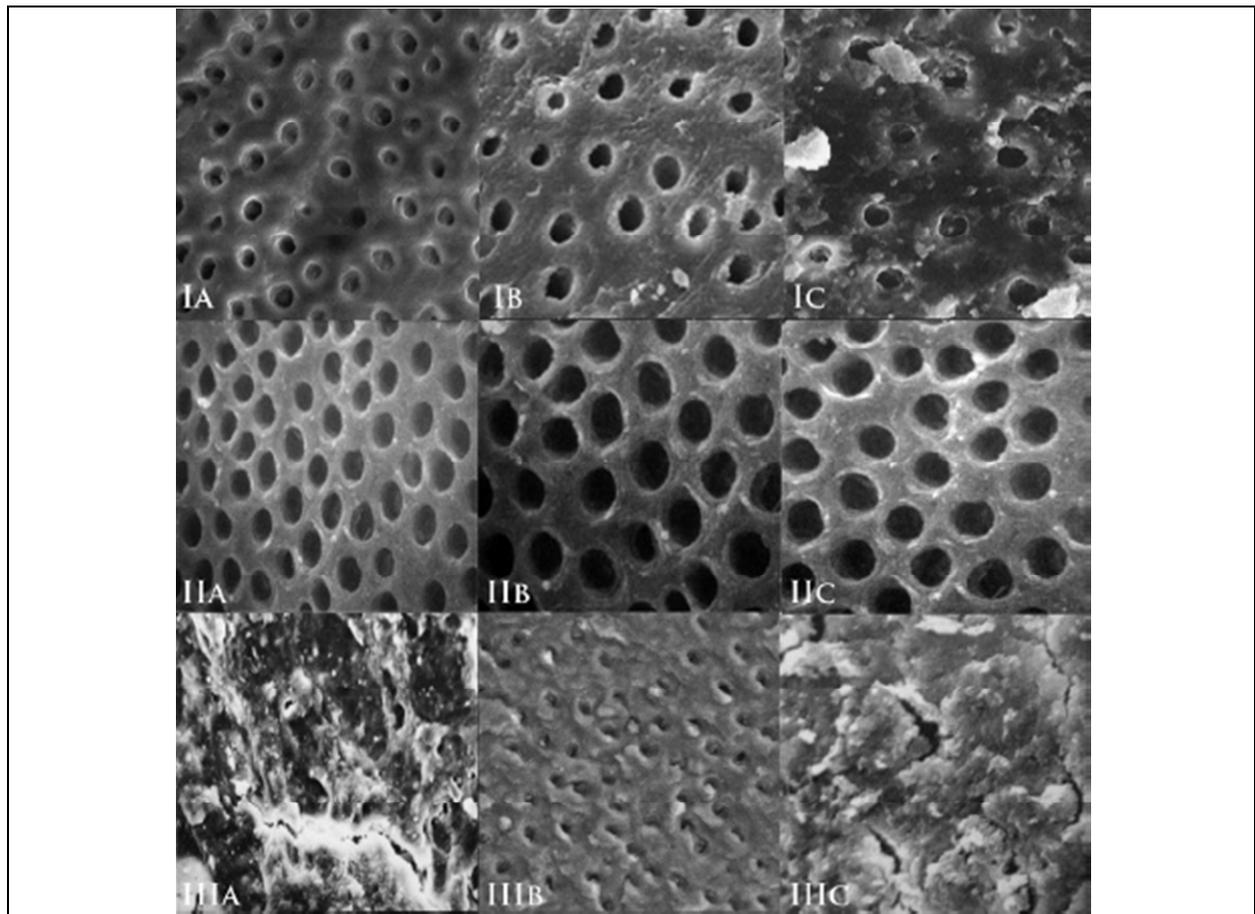


Figure 18 : Images obtenues au microscope électronique à balayage ; des tiers coronaires (A) médians (B), et apicaux (C) des groupes irrigation par seringues conventionnelle (I), EndoVac (II), et témoin (III). Les groupes I et II sont irrigués avec 9ml de NaOCl 2,5% puis 9ml d'EDTA, d'après l'étude d'Abarajithan et coll. [2011, 1]

L'avantage de l'EndoVac® est l'apport sécurisé et renouvelé d'irrigant frais à la longueur de travail grâce à la pression négative.

L'inconvénient est l'obstruction du système d'aspiration à 12 trous de la canule microscopique avec les débris de bonne taille. Normalement, le NaOCl ou l'EDTA doivent réduire ce problème, et le système reste efficace même partiellement obstrué. (Sinon une pression positive ou un remplacement résout ce problème) Il semble que plus la préparation est large, moins il y a de risques de blocages. [1, 76]

L'étude de Sui et Baumgartner [2010, 95] relève des contradictions concernant l'efficacité du système EndoVac® par rapport aux ultrasons. Ils pensent que les disparités des résultats dépendent des modèles utilisés lors des différentes expérimentations menées, avec le choix entre un système clos ou ouvert. Le système clos de type tunnel serai d'après eux plus proche de la réalité.

L'intérêt de l'EndoVac® est ce système d'aspiration par pression négative qui réduit efficacement les risques d'extrusion d'irrigant. [47]

En conclusion, le système EndoVac[®] semble être un appareil d'irrigation prometteur car il offre une efficacité accrue pour le débridement canalaire et notamment au niveau de l'apex comparé aux seringues tout en proposant une sécurité contre les accidents d'extrusion. [1]

2) Le système RinsEndo[®] (Dürr Dental, Bietigheim)

RinsEndo[®] est un système automatisé combinant irrigation et phénomène de pression-dépression hydrodynamique.

Une récente étude de Rödiger et coll. [2010, 83] démontre que le RinsEndo[®] est significativement plus efficace que les seringues ($p < 0,001$). En revanche, ils concluent également que l'irrigation passive ultrasonique est significativement plus efficace que le RinsEndo[®] ($p < 0,001$) pour retirer les débris canalaire, sauf au diamètre 30 ISO, où la différence n'est pas significative.

Le débit avec le RinsEndo[®] est inférieur à celui des seringues, mais la technologie créant la dépression et l'activation du fluide le rend plus efficace que les seringues et ce, malgré une insertion de l'aiguille au niveau coronaire uniquement. [83]

De même, la profondeur de pénétration de l'irrigant dans l'espace dentinaire est supérieure avec le RinsEndo[®] comparé aux seringues. [1]

Le placement de la canule du système RinsEndo[®] proche de la longueur de travail débouche vers de meilleurs résultats pour le retrait du collagène [65]

Il semble que le RinsEndo[®] génère une extrusion de solution significativement plus grande que les ultrasons, l'EndoVac[®], l'EndoActivator[®], et l'activation manuelle. Cependant, l'extrusion apicale augmente avec la profondeur d'insertion de la canule. [4, 95]

D. Conclusion sur les techniques

Plusieurs modèles existent pour étudier l'efficacité des techniques. Il faut distinguer les études portant sur l'éviction des débris de celles évaluant le retrait de la smear layer.

Le modèle de Lee et coll. [2004, 61] propose de créer des dépressions artificielles simulant les régions canalaires de type isthmes ou extensions canalaires, non instrumentées, et de les remplir avec une quantité reproductible de débris.

Sur ce modèle, Lee et coll. rapportent que les ultrasons retirent significativement plus de débris que les seringues : $p = 0,002$ pour les rainures et $p = 0,047$ pour les dépressions. Les deux techniques réduisent significativement la quantité de débris dentinaires. Malheureusement cette étude est limitée aux canaux droits.

L'étude de Rodiger et coll. [2010, 83] utilise des paramètres similaires et indique que l'irrigation ultrasonique est supérieure aux irrigations par seringue et hydrodynamiques, également pour des canaux droits.

L'efficacité des ultrasons dépend de l'amplitude oscillatoire de l'aiguille, son action pourrait donc être moindre dans les canaux étroits ou courbes.

L'irrigation hydrodynamique pourrait être une alternative à la PUI. Rödiger et coll. classent par ordre d'efficacité décroissante l'activation ultrasonique, l'irrigation hydrodynamique, puis l'irrigation par seringue. [83]

Caron et coll. [2010, 23] étudient l'éviction de la smear-layer dans les canaux courbes, et concluent que l'irrigation hydrodynamique s'avère moins efficace que l'activation dynamique manuelle, et l'activation sonore. Ils pensent que ces résultats sont liés au temps trop court de l'expérimentation, qui ne laisse pas de temps d'action suffisant au RinsEndo[®] pour exprimer son potentiel.

L'insert ultrasonique ou l'aiguille d'une seringue d'irrigation devrait idéalement être placés à 1 mm de la longueur de travail afin d'assurer un flux irrigant efficace dans la partie apicale canalaire. [59, 64]

Pour les canaux courbes, l'irrigation hydrodynamique montre de meilleurs résultats comparée aux ultrasons. Elle peut donc être recommandée dans ce cas. [4]

L'extrusion d'irrigant survient si la pression au foramen apical dépasse la contre pression de la région périapicale. Le tissu pulpaire vivant ou un granulome apical constituent une barrière limitant l'extrusion de solution par opposition aux cas de dents nécrosées. Or, une faible quantité d'hypochlorite suffit à déclencher d'importantes réactions post opératoires. [3]

Aucune solution ou technique n'a été capable d'aboutir à un débridement canalaire complet, mais l'utilisation de l'activation ultrasonique passive est un atout pour nettoyer et terminer les préparations canalaires.

II. Présentation d'un nouveau modèle d'évaluation de la dynamique des fluides pilotée par informatique (Computational Fluid Dynamics model : CFD)

Initiées par Boutsoukis et coll. [2009, 13], quelques études proposent une analyse tri-dimensionnelle, et assistée par ordinateur de la répartition des fluides lors de l'irrigation canalaire.

L'intérêt est la visualisation en temps réel des flux, de la distribution des pressions, et de la vitesse des fluides dans les différentes zones canalaire.

Le principe du CFD est de modéliser un canal dentaire sur support informatique, simuler des écoulements hydrodynamiques, évaluer en temps réel la répartition des flux et les contraintes canalaire exercées sur les parois. L'objectif est de mieux visualiser et comprendre l'action des différentes techniques d'irrigation. [13, 17]

La CFD repose sur un modèle physique qui doit simuler au plus juste les contraintes subies par le fluide lors de l'irrigation. [17]

Cette simulation comporte des limites majeures :

- Modélisation d'un canal à partir d'un Bloc d'entraînement en résine préparé (Endo Training Block[®]; Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland)
- Nombreuses étapes de reconstruction numérique risquant de cumuler des approximations.
- Simulation informatique pure, sans expérimentation *ex vitro*.
- Basée sur un modèle physique, qui doit être bien choisi.

Mais la CFD permet d'évaluer de nombreux paramètres à moindre coût :

- Volume d'irrigant éjecté et débit
- Efficacité du débridement selon la profondeur de pénétration des instruments.
- Impact du diamètre et de la conicité de la préparation.
- Possibilité d'évaluer le comportement hydrodynamique en fonction de différents embouts.

Le modèle physique SST $k-\omega$ [®] (Shear Stress Two Equation Transport) qui intègre les turbulences liées à la viscosité des parois canalaire a été accepté pour effectuer les simulations. [37]

En plus du canal, les aiguilles sont modélisées (voir figures 19 et 20).

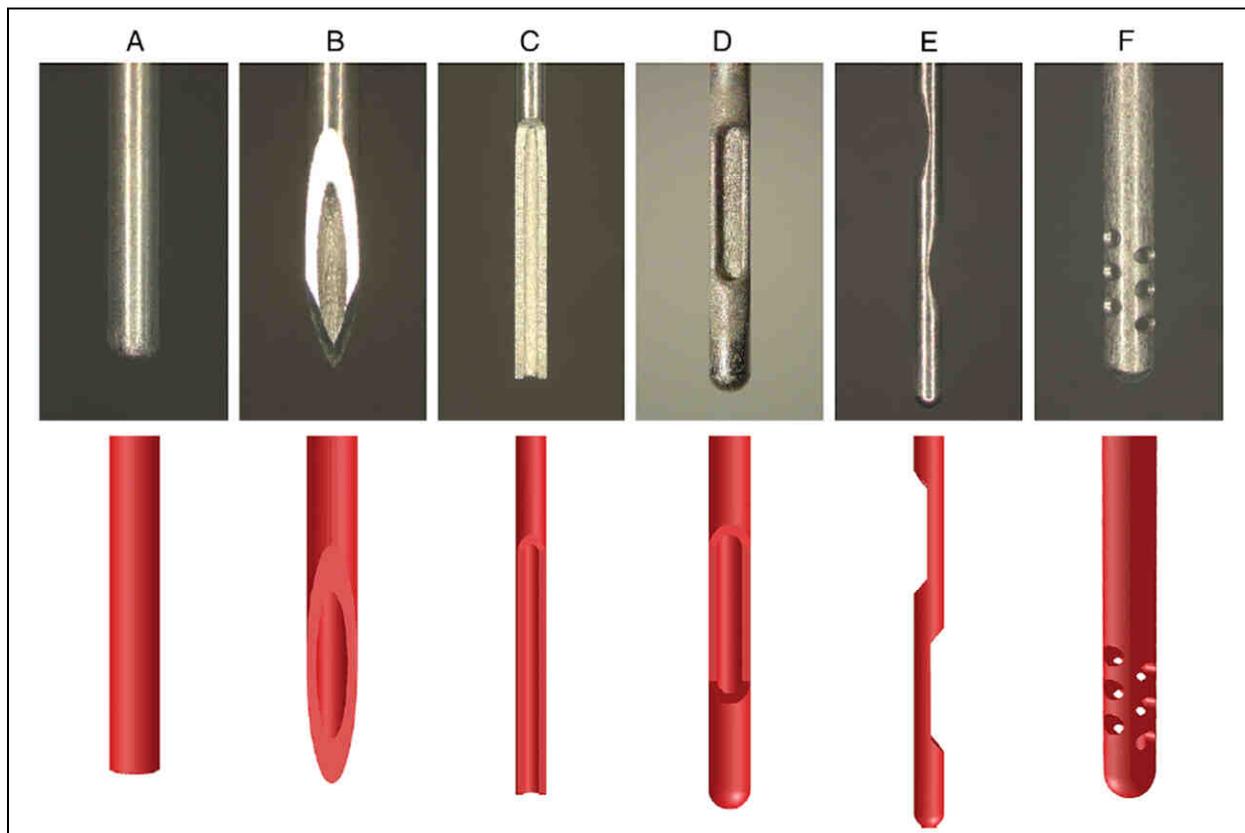


Figure 19 : Six aiguilles normalisées à 30-Gauge (diamètre externe 0.3112 mm, diamètre interne 0.159mm) disponibles dans le commerce photographiées ci-dessus, puis modélisées en dessous, d'après l'étude de Boutsoukis et coll. [2010, 18]

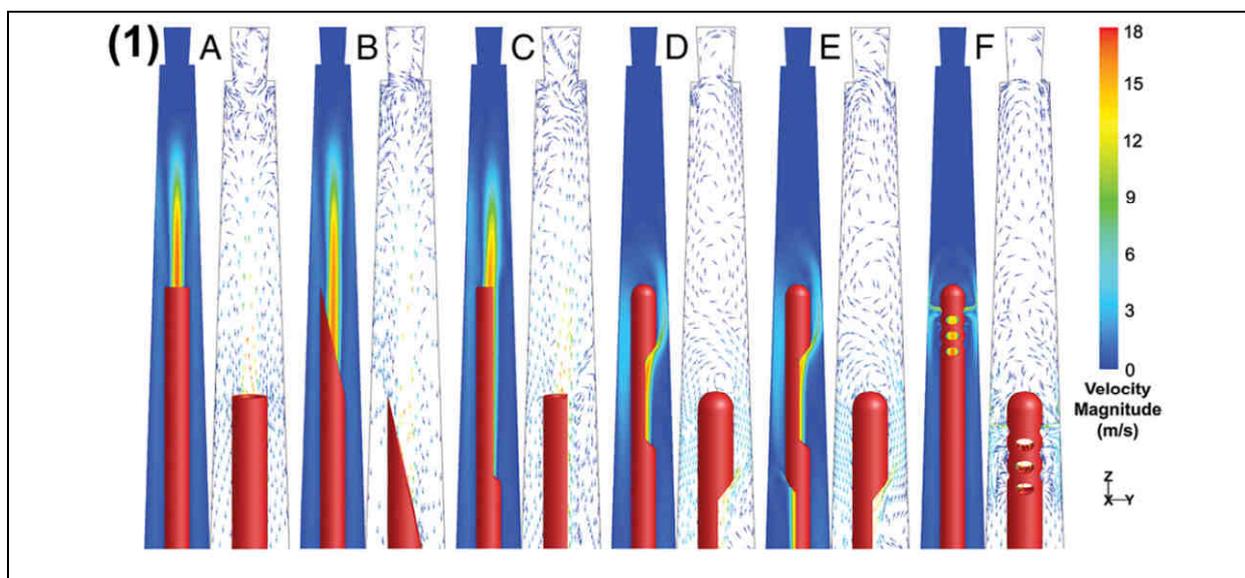


Figure 20 : Enregistrement de la dispersion de l'irrigant dans la partie apicale du canal selon l'anatomie de l'aiguille. A gauche : la vitesse et direction du flux, et à droite : les vecteurs modélisant le flux irrigant, d'après l'étude de Boutsoukis et coll. [2010, 18]

Les simulations révèlent l'importance de la profondeur d'insertion des aiguilles - l'idéal est à 1 mm de la longueur de travail - pour améliorer le débridement canalair.

L'anatomie de ces aiguilles influe significativement sur la direction et la vitesse de l'écoulement. La vitesse d'écoulement est maximale en sortie d'aiguille. [16]

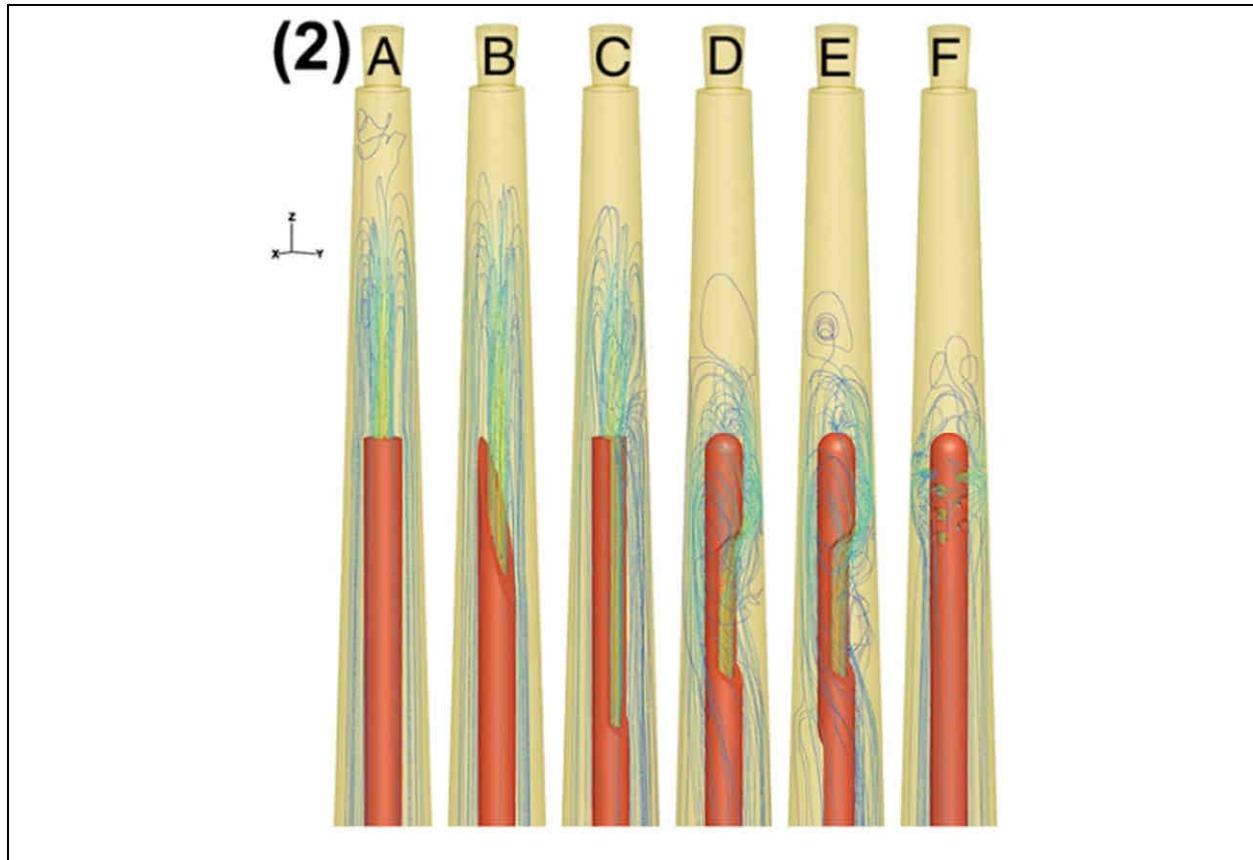


Figure 21 : Visualisation de la direction du flux au sortir de l'aiguille, d'après l'étude de Boutsoukis et coll. [2010, 18]

Sur la figure 21, les aiguilles à fenêtre latérale (D et E) permettent une dispersion plus intense contre les parois. Les aiguilles à extrémité droite ou biseautée (A, B, C) permettent une irrigation plus apicale mais exercent moins de contraintes pariétales, et donc un débridement moins important.

L'aiguille multi-perforée (F) développe le plus de contraintes pariétales mais sur une zone restreinte.

L'efficacité supérieure rapportée des aiguilles à écoulement par fenêtre latérale serait liée à la nature turbulente de l'écoulement provoqué.

Lors de l'écoulement, les petits déplacements latéraux des aiguilles n'ont qu'un effet limité sur l'amélioration de la dispersion de l'irrigant. [18]

Cependant les auteurs n'ont pas connaissance des contraintes pariétales nécessaires pour réaliser un débridement efficace. Ils n'ont pas pu l'intégrer à leur simulations.

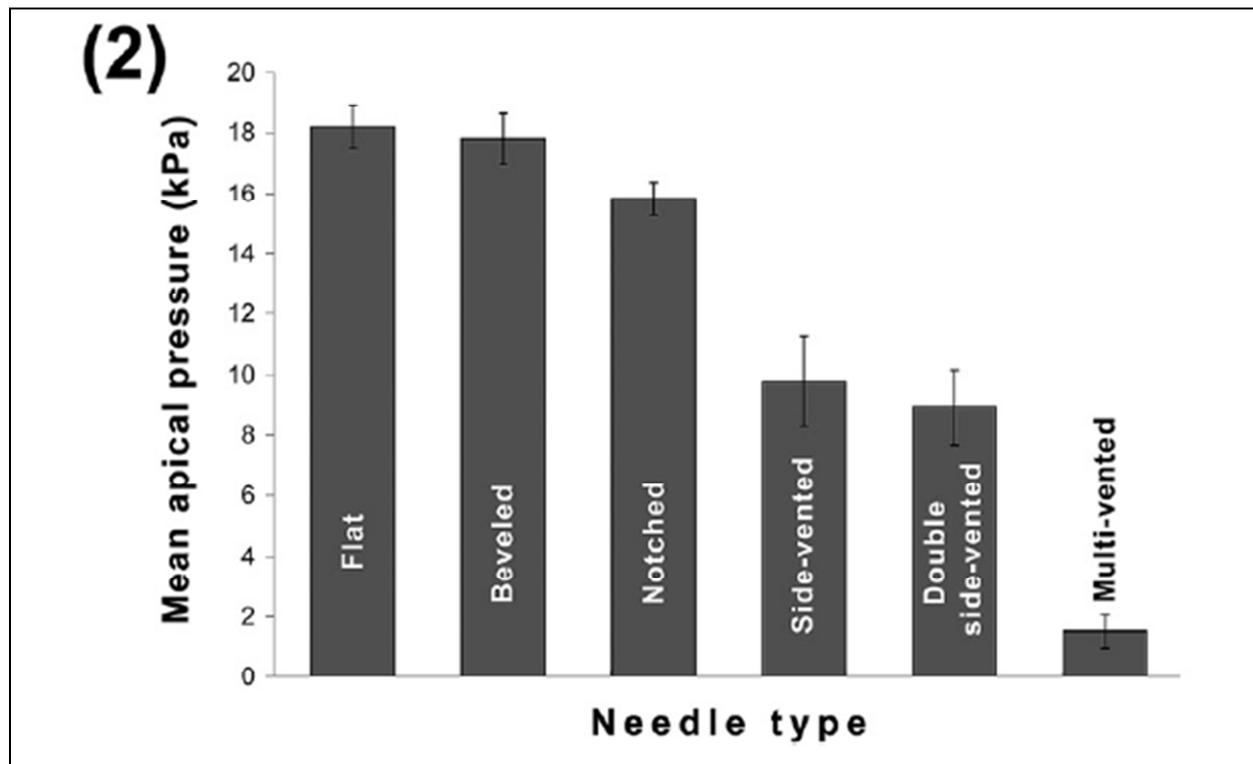


Figure 22 : Pressions moyennes mesurées au niveau du foramen apical pour les six types d'aiguilles, d'après l'étude de Boutsoukis et coll. [2010, 18]

Les aiguilles plates et biseautées exercent les pressions apicales les plus importantes, environ 18 kPa (voir figure 22).

Les aiguilles à fenêtre latérale offrent une pression apicale moindre d'environ 10 kPa. Enfin, la multi perforée exerce une pression négligeable au regard des autres. [18]

En conclusion, malgré les simulations sur un mur imperméable, les résultats de la CFD indiquent que les aiguilles plates et biseautées peuvent potentiellement créer de sévères extrusions d'irrigant dans le péri apex et causer d'importants dégâts tissulaires.

De plus il a été suggéré que les aiguilles à fenêtre latérale sont plus efficaces pour l'élimination des débris de la smear layer.

Malgré l'existence de biais, la CFD représente un outil puissant pour l'étude de l'irrigation canalaire. [13]

III. Discussion ; le point en 2012

Lors d'un traitement endodontique, les praticiens sont confrontés à deux situations. La première est une pulpe vitale et inflammatoire : dans ce cas le but est de retirer toute la pulpe sans introduire de bactéries dans la racine. Cela peut être réalisé en une fois. La seconde est une dent infectée avec ou sans lésion apicale inflammatoire. Le praticien se doit de retirer tous les tissus organiques ainsi que l'invasion bactérienne et ses toxines. Une médication intracanalair temporaire à base d'hydroxyde de calcium aide à la décontamination radiculaire. [50]

Un apport efficace d'irrigant et son agitation topique renforcent la qualité d'un traitement endodontique et améliorent les chances de succès. Les récentes avancées technologiques apportent de nouveaux appareils qui améliorent l'apport et augmentent la distribution des solutions dans les canaux comparées aux seringues conventionnelles d'irrigation.

Un important paramètre reste peu approfondi : la diversité phénotypique des espèces bactériennes composant le biofilm endodontique.

Gu et coll. [2009, 44] ont évoqué une pluralité bactérienne incluant deux phénomènes distincts : l'hétérogénéité génétique et la plasticité génomique bactérienne, challenge redoutable pour nos défenses immunitaires. Pour mieux comprendre ces influences, les auteurs recherchent de nouveaux modèles d'étude qui tiennent de ce concept de pluralité bactérienne, représentant majeur de l'infection chronique en endodontie.

Concernant l'activation endodontique, selon Gu et coll. [2009, 44] il n'y a actuellement aucune étude à haut niveau de preuves disponible en endodontie, ce qui appelle le besoin d'approfondir les recherches sur le débridement canalaire.

De plus nous ne savons pas précisément si ces appareils couteux apportent un gain réellement significatif sur la réussite de nos traitements.

Ajouter une source d'énergie (ultrasons ou Laser) à l'irrigation pour améliorer l'efficacité des solutions et le nettoyage des préparations canalaire.

Une méta analyse de Rödigg et coll. [2010, 83] précise que compte tenu de l'augmentation des débris provoquée par un élargissement supérieur, l'irrigation demeure dépendante de la taille des préparations mécaniques et principalement de la conicité (étudiée de 4% à 10%). Une préparation apicale large favorise les échanges corono-radiculaires.

L'efficacité d'un irrigant dans le système canalaire est influencée par de nombreux facteurs. Notamment la température. La chaleur peut être transférée par l'aiguille, par la conversion ultrasonique ou par friction le long de la paroi. [113]

Rappelons qu'une exposition longue à l'EDTA peut affaiblir la dentine. [109]

La perfection est constamment recherchée mais semble difficile à atteindre d'après Endal et coll. [2011, 36] dans leur étude sur les isthmes endodontiques. Les pourcentages de surface et de volume endodontique représentés par les isthmes dans une molaire mandibulaire inférieure sont en moyenne de 21,4 % de la surface et de 9,4 % du volume. Après obturation,

57,7% du volume des isthmes contiennent du produit d'obturation, contre 98,5 % pour le canal principal ($p < 0,001$), ces vides seraient liés à l'accumulation de débris dentinaires.

Cas des dents infectées

Le traitement des dents infectées requiert un pouvoir antiseptique important. Une concentration maximale autorisée de NaOCl à 5,25% permet de désinfecter et dissoudre la phase organique. Cependant une concentration de NaOCl à 2,5 % suffit à dissoudre la phase organique.

En inter séance l'hydroxyde de calcium est communément utilisé ; un temps d'action allongé (14 jours) lui permet de mieux agir et d'exercer un pouvoir anti bactérien accru. Cependant, plusieurs études démontrent qu'une interséance à l'hydroxyde de calcium n'apporte pas de bénéfice avéré lors du traitement canalaire de la dent infectée. [71, 73]

L'iode est utilisée par certains praticiens comme primo désinfectant pour rapidement abaisser la charge bactérienne. L'utilisation de l'iode IKI est une alternative intéressante en particulier pour une dent avec un apex ouvert, ce qui évite l'extrusion excessive de NaOCl. Le point très défavorable de l'iode est le risque majeur d'allergies croisées, le praticien doit s'en assurer avant utilisation. [71]

L'addition de chlorhexidine à l'hydroxyde de calcium améliore l'effet antibactérien de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, mais en même temps l'hydroxyde de calcium freine l'action bactéricide de la chlorhexidine. Il semble qu'au-delà de 48 heures l'effet de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ s'amenuise. Aucune différence n'a été mesurée entre l'efficacité du gel de chlorhexidine utilisé seul ou avec $\text{Ca}(\text{OH})_2$. [32, 89]

Malgré les disparités mesurées entre les nombreuses études à son sujet, l'hydroxyde de calcium demeure la meilleure solution disponible pour les médications canalaires destinées à réduire la flore microbienne. Largement utilisé, il est sans risque et à l'origine de nombreux succès lors de traitements de dents infectées. [34]

Un rinçage final à la Chlorhexidine avant obturation assure une rémanence antibactérienne intéressante. [62, 109]

Conclusion

Au final, les concepts d'irrigation présentés précédemment ont pour unique objectif l'obtention d'un canal propre et sec, idéalement préparé avant une obturation étanche à la gutta percha et au ciment. Gardons à l'esprit que les microorganismes sont la principale cause des pathologies ou inflammations pulpaire et péri apicales, et la source principale d'échecs endodontiques.

L'irrigation est un maillon essentiel au succès endodontique. Aucun soluté ne peut accomplir seul les objectifs posés par les enjeux de l'irrigation. La compréhension précise des mécanismes d'action constitue un aspect important pour optimiser l'irrigation. Les récentes avancées technologiques comme la CFD et les nouveaux dispositifs apportent en pratique quotidienne un support pour délivrer une irrigation efficace et sécurisée.

La préparation mécanique réduit significativement la charge bactérienne. Mais des zones restent non atteintes. Les solutions irriguantes bien appliquées permettent d'obtenir des parois canalaire propres et peu contaminées. Il est important de bien choisir la solution et sa technique d'apport et d'activation.

L'hypochlorite de sodium NaOCl concentré de 1% à 5,25% démontre son potentiel antibactérien et sa capacité à dissoudre la phase organique. Il est naturellement l'irrigant de choix lors d'un traitement endodontique. Il est recommandé de lui adjoindre un chélatant comme l'EDTA pour retirer la smear layer. Le risque des chélatants associés au NaOCl reste l'érosion dentinaire excessive. Des chélatants alternatifs existent comme l'acide maléique, efficace grâce à son pH acide.

Le volume d'irrigant recommandé est 2 ml d'hypochlorite de sodium par canal après chaque instrument, suivi d'un rinçage final de 5 à 10 ml.

En pratique quotidienne, l'irrigation représente un compromis mettant en balance une qualité de soin opposée à des réalités économiques. Et la qualité de soin est située entre deux impératifs : efficacité et sécurité. Ceci est d'autant plus vrai que le NaOCl est l'irrigant le plus utilisé mais aussi le plus toxique. Un des enjeux de la mise en forme canalaire se situe dans le tiers apical canalaire, partie la plus difficile à atteindre, et la plus dangereuse à nettoyer à cause des risques d'extrusion de solution dans le péri apex.

L'idéal est de compléter par une activation ultrasonique passive (PUI), lors d'un rinçage final avec un chélatant. Cela semble être en 2012 un compromis satisfaisant qui unit technique de pointe, efficacité et faisabilité.

L'élimination des contaminations microbiennes du système canalaire est un pré-requis pour le succès endodontique. Les preuves en faveur de l'instrumentation, de l'irrigation et des médications temporaires sont nombreuses. A l'heure actuelle, toutes les solutions disponibles ont des limites et les recherches continuent pour trouver l'irrigant idéal.

L'avenir nous proposera certainement d'autres idées, d'autres techniques, comme par exemple l'obturation avec des ciments composés de résines, de matériaux bioactifs, voire peut être même, plus tard, la régénération tissulaire pulpaire lors des cas de nécrose. En attendant ces évolutions radicales, les bases et concepts établis évoluent.

Références bibliographiques

- 1. ABARAJITHAN M, DHAM S, VELMURUGAN N et coll.**
Comparison of endovac irrigation system with conventional irrigation for removal of intracanal smear layer: an in vitro study.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2011;**112**(3):407-411.
- 2. ALAÇAM T.**
Scanning electron microscope study comparing the efficacy of endodontic irrigating system.
Int Endod J 1987;**20**(6):287–294.
- 3. ALTUNDASAR E, NAGAS E, UYANIK O et coll.**
Debris and irrigant extrusion potential of 2 rotary systems and irrigation needles.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2011;**112**(4):e31-e35.
- 4. AMATO M, VANONI-HEINEKEN I, HECKER H et coll.**
Curved versus straight root canals: the benefit of activated irrigation techniques on dentin debris removal.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2011;**111**(4):529-534.
- 5. AUBUT V, POMMEL L, VERHILLE B et coll.**
Biological properties of a neutralized 2.5% sodium hypochlorite solution.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2010 Feb;**109**(2):e120-e125.
- 6. BALLAL NV, KANDIAN S, MALA K et coll.**
Comparison of the efficacy of maleic acid and ethylenediaminetetraacetic acid in smear layer removal from instrumented human root canal: a scanning electron microscopic study.
J Endod 2009;**35**(11):1573-1576.
- 7. BALLAL NV, KUNDABALA M et BHAT KS.**
A comparative evaluation of postobturation apical seal following intracanal irrigation with maleic acid and EDTA: a dye leakage under vacuum study.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2010a;**109**(3):e126-e130.
- 8. BALLAL NV, KUNDABALA M et BHAT KS.**
Evaluation of the efficacy of various concentrations of maleic acid and EDTA in removal of smear layer - An SEM study.
Int J Contemp Dent 2010b;**3**(4):225-233.
- 9. BALLAL NV, KUNDABALA M, BHAT S et coll.**
A comparative in vitro evaluation of cytotoxic effects of EDTA and maleic acid: Root canal irrigants.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2009;**108**(4):633-638.

10. BALLAL NV, MALA K et BHAT KS.

Evaluation of the effect of maleic acid and ethylenediaminetetraacetic acid on the microhardness and surface roughness of human root canal dentin.

J Endod 2010;**36**(8):1385-1388.

11. BALLAL NV, MALA K et BHAT KS.

Evaluation of decalcifying effect of maleic acid and EDTA on root canal dentin using energy dispersive spectrometer.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2011;**112**(2):e78-e84.

12. BALLAL NV, YEGNESWARAN PP, MALA K et coll.

In vitro antimicrobial activity of maleic acid and ethylenediaminetetraacetic acid on endodontic pathogens.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2011;**112**(5):696-700.

13. BOUTSIUKIS C, LAMBRIANIDIS T et KASTRINAKIS E.

Irrigant flow within a prepared root canal using various flow rates: a Computational Fluid Dynamics study.

Int Endod J 2009;**42**(2):144-155.

14. BOUTSIUKIS C, LAMBRIANIDIS T, KASTRINAKIS E et coll.

Measurement of pressure and flow rates during irrigation of a root canal ex vivo with three endodontic needles.

Int Endod J 2007;**40**(7):504-513.

15. BOUTSIUKIS C, LAMBRIANIDIS T et VASILADIS L.

Clinical relevance of standardization of endodontic irrigation needle dimensions according to the ISO 9,626:1991 and 9,626:1991/Amd 1:2001 specification.

Int Endod J 2007;**40**(9):700-706.

16. BOUTSIUKIS C, LAMBRIANIDIS T, VERHAAGEN B et coll.

The effect of needle-insertion depth on the irrigant flow in the root canal: evaluation using an unsteady computational fluid dynamics model.

J Endod 2010;**36**(10):1664-1668.

17. BOUTSIUKIS C, VERHAAGEN B, VERSLUIS M et coll.

Irrigant flow in the root canal: experimental validation of an unsteady Computational Fluid Dynamics model using high-speed imaging.

Int Endod J 2010;**43**(5):393-403.

18. BOUTSIUKIS C, VERHAAGEN B, VERSLUIS M et coll.

Evaluation of irrigant flow in the root canal using different needle types by an unsteady computational fluid dynamics model.

J Endod 2010;**36**(5):875-879.

19. BRONNEC F, BOUILLAGUET S et MACHTOU P.

Ex vivo assessment of irrigant penetration and renewal during the final irrigation regimen.

Int Endod J 2010;**43**(8):663-672.

- 20. BUI TB, BAUMGARTNER JC et MITCHELL JC.**
Evaluation of the interaction between sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate and its effect on root dentin.
J Endod 2008;**34**(2):181-185.
- 21. CALT S et SERPER A.**
Smear layer removal by EGTA.
J Endod 2000;**26**(8):459-461.
- 22. CARDOSO MG, DE OLIVEIRA LD, KOGA-ITO CY et coll.**
Effectiveness of ozonated water on *Candida albicans*, *Enterococcus faecalis*, and endotoxins in root canals.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2008;**105**(3):e85-e91.
- 23. CARON G, NHAM K, BRONNEC F et coll.**
Effectiveness of different final irrigant activation protocols on smear layer removal in curved canals.
J Endod 2010;**36**(8):1361-1366.
- 24. CARSON KR, GOODELL GG et MCCLANAHAN SB.**
Comparison of the antimicrobial activity of six irrigants on primary endodontic pathogens.
J Endod 2005;**31**(6):471-473.
- 25. CARVALHO BATISTA LH, CEZAR SAMPAIO JE, PILATTI GL et coll.**
Efficacy of EDTA-T gel for smear layer removal at root surfaces.
Quintessence Int 2005;**36**(7-8):551-558.
- 26. CLARKSON RM, PODLICH HM et MOULE AJ.**
Influence of ethylenediaminetetraacetic acid on the active chlorine content of sodium hypochlorite solutions when mixed in various proportions... acid on the active chlorine content of sodium...
J Endod 2011;**37**(4):538-543.
- 27. COBANKARA FK, ERDOGAN H et HAMURCU M.**
Effects of chelating agents on the mineral content of root canal dentin.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2011;**112**(6):e149-e154.
- 28. DAMETTO FR, FERRAZ CC, GOMES BP et coll.**
In vitro assessment of the immediate and prolonged antimicrobial action of chlorhexidine gel as an endodontic irrigant against *Enterococcus faecalis*.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2005;**99**(6):768-772.
- 29. DAVIS JM, MAKI J et BAHCALL JK.**
An in vitro comparison of the antimicrobial effects of various endodontic medicaments on *Enterococcus faecalis*.
J Endod 2007;**33**(5):567-569.

- 30. DE GROOT SD, VERHAAGEN B, VERSLUIS M et coll.**
Laser-activated irrigation within root canals: cleaning efficacy and flow visualization.
Int Endod J 2009;**42**(12):1077-1083.
- 31. DE SERMEÑO RF, DA SILVA LA, HERRERA H et coll.**
Tissue damage after sodium hypochlorite extrusion during root canal treatment.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2009;**108**(1):e46-e49.
- 32. DELGADO RJ, GASPAROTO TH, SIPERT CR et coll.**
Antimicrobial effects of calcium hydroxide and chlorhexidine on *Enterococcus faecalis*.
J Endod 2010;**36**(8):1389-1393.
- 33. DORNELLES-MORGENTAL R, GUERREIRO-TANOMARU JM, DE FARIA-JUNIOR NB et coll.**
Antibacterial efficacy of endodontic irrigating solutions and their combinations in root canals contaminated with *Enterococcus faecalis*.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2011;**112**(3):396-400.
- 34. EL KARIM I, KENNEDY J et HUSSEY D.**
The antimicrobial effects of root canal irrigation and medication.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2007;**103**(4):560-569.
- 35. ELDENIZ AU, ERDEMIR A et BELLI S.**
Effect of EDTA and citric acid solutions on the microhardness and the roughness of human root canal dentin.
J Endod 2005;**31**(2):107-110.
- 36. ENDAL U, SHEN Y, KNUT A et coll.**
A high-resolution computed tomographic study of changes in root canal isthmus area by instrumentation and root filling.
J Endod 2011;**37**(2):223-227.
- 37. GAO Y, HAAPASALO M, SHEN Y et coll.**
Development and validation of three-dimensional computational fluid dynamics model of root canal irrigation.
J Endod 2009;**35**(9):1282-1287.
- 38. GARCIA F, MURRAY PE, GARCIA-GODOY F et coll.**
Effect of Aquatine Endodontic Cleanser on smear layer removal in the root canals of ex vivo human teeth.
J Appl Oral Sci 2010;**18**(4):403-408.
- 39. GHODDUSI J, ROHANI A, RASHED T et coll.**
An evaluation of microbial leakage after using MTAD as a final irrigation.
J Endod 2007;**33**(2):173-176.

- 40. GIARDINO L, AMBU E, BECCE C et coll.**
Surface tension comparison of four common root canal irrigants and two new irrigants containing antibiotic.
J Endod 2006;**32**(11):1091-1093.
- 41. GIARDINO L, AMBU E, SAVOLDI E et coll.**
Comparative evaluation of antimicrobial efficacy of sodium hypochlorite, MTAD, and Tetraclean against *Enterococcus faecalis* biofilm.
J Endod 2007;**33**(7):852-855.
- 42. GIARDINO L, SAVOLDI E, AMBU E et coll.**
Antimicrobial effect of MTAD, Tetraclean, Cloreximid, and sodium hypochlorite on three common endodontic pathogens.
Indian J Dent Res 2009;**20**(3):391.
- 43. GOEL S et TEWARI S.**
Smear layer removal with passive ultrasonic irrigation and the navitip fx a scanning electron microscopic study.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2009;**108**(3):465-470.
- 44. GU LS, KIM JR, LING J et coll.**
Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices.
J Endod 2009;**35**(6):791-804.
- 45. GUERREIRO-TANOMARU JM, MORGENTAL RD, FLUMIGNAN DL et coll.**
Evaluation of pH, available chlorine content, and antibacterial activity of endodontic irrigant and their combinations against *Enterococcus faecalis*.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2011;**112**(1):132-135.
- 46. GUTARTS R, NUSSTEIN J, READER A et coll.**
In vivo debridement efficacy of ultrasonic irrigation following hand-rotary instrumentation in human mandibular molars.
J Endod 2005;**31**(3):166-170.
- 47. HAAPASALO M, YA SHEN, WEI QIAN et coll.**
Irrigation in endodontics.
Dent Clin N Am 2010;**54**(2):291-312.
- 48. HOF R, PEREVALOV V, ELTANANI M et coll.**
The Self-adjusting File (SAF). Part 2: mechanical analysis.
J Endod 2010;**36**(4):691-696.
- 49. HUANG TY, GULABIVALA K et NG YL.**
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.

50. HUFFAKER SK, SAFAVI K, SPANGBERG LS et coll.

Influence of a passive sonic irrigation system on the elimination of bacteria from root canal systems: a clinical study.

J Endod 2010;**36**(8):1315-1318.

51. IKARUGI T, KOKA K, KINOSHITA JI et coll.

Root canal irrigation using Nd : YAG Laser in combination with various solutions - A morphological study.

J Oral Laser Applications 2008;**8**(3):165-174.

52. JIANG LM, VERHAAGEN B, VERSLUIS M et coll.

An evaluation of the effect of pulsed ultrasound on the cleaning efficacy of passive ultrasonic irrigation.

J Endod 2010;**36**(11):1887-1891.

53. JIANG LM, VERHAAGEN B, VERSLUIS M et coll.

Influence of the oscillation direction of an ultrasonic file on the cleaning efficacy of passive ultrasonic irrigation.

J Endod 2010;**36**(8):1372-1376.

54. JIANG LM, VERHAAGEN B, VERSLUIS M et coll.

The influence of the ultrasonic intensity on the cleaning efficacy of passive ultrasonic irrigation.

J Endod 2011;**37**(5):688-692.

55. JOHAL S, BAUMGARTNER JC et MARSHALL JG.

Comparison of the antimicrobial efficacy of 1.3% NaOCl/BioPure MTAD to 5.25% NaOCl/15% EDTA for root canal irrigation.

J Endod 2007;**33**(2):186.

56. KANDASWAMY D et VENKATESHBABU N.

Root canal irrigants.

J Conserv Dent 2010;**13**(4): 256–264.

57. KAYA S, YIĞIT-ÖZER S et ADIGÜZEL Ö.

Evaluation of radicular dentin erosion and smear layer removal capacity of Self-Adjusting File using different concentrations of sodium hypochlorite as an initial irrigant.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2011;**112**(4):524-530.

58. KHO P et BAUMGARTNER JC.

A comparison of the antimicrobial efficacy of NaOCl/Biopure MTAD versus NaOCl/EDTA against Enterococcus faecalis.

J Endod 2006;**32**(7):652-655.

59. KLYN SL, KIRKPATRICK TC et RUTLEDGE RE.

In vitro comparisons of debris removal of the EndoActivator system, the F file, ultrasonic irrigation, and NaOCl irrigation alone after hand-rotary instrumentation in human mandibular molars.

J Endod 2010;**36**(8):1367-1371.

- 60. KUGA MC, GOUVEIA-JORGE E, TANOMARU-FILHO M et coll.**
Penetration into dentin of sodium hypochlorite associated with acid solutions.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2011;**112**(6):e155-e159.
- 61. LEE SJ, WU MK et WESSELINK PR.**
The effectiveness of syringe irrigation and ultrasonics to remove debris from simulated irregularities within prepared root canal walls.
Int Endod J 2004;**37**(10):672-678.
- 62. LIN S, KFIR A, LAVIV A et coll.**
The in vitro antibacterial effect of iodine-potassium iodide and calcium hydroxide in infected dentinal tubules at different time intervals.
J Contemp Dent Pract 2009;**10**(2):59-66.
- 63. LOTTANTI S, GAUTSCHI H, SENER B et coll.**
Effects of ethylenediaminetetraacetic, etidronic and peracetic acid irrigation on human root dentine and the smear layer.
Int Endod J 2009;**42**(4):335-343.
- 64. MARAIS JT.**
Cleaning efficacy of a new root canal irrigation solution: a preliminary evaluation.
Int Endod J 2000;**33**(4):320-325.
- 65. MCGILL S, GULABIVALA K, MORDAN N et coll.**
The efficacy of dynamic irrigation using a commercially available system (RinsEndo) determined by removal of a collagen 'bio-molecular film' from an ex vivo model.
Int Endod J 2008;**41**(7):602-608.
- 66. MELLO I, ROBAZZA CR, ANTONIAZZI JH et coll.**
Influence of different volumes of EDTA for final rinse on smear layer removal
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2008;**106**(5):e40-e43.
- 67. MERCADE M, DURAN-SINDREU F, KUTTLER S et coll.**
Antimicrobial efficacy of 4.2% sodium hypochlorite adjusted to pH 12, 7.5, and 6.5 in infected human root canals.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2009;**107**(2):295-298.
- 68. METZGER Z, TEPEROVICH E, COHEN R et coll.**
The self-adjusting file (SAF). Part 3: removal of debris and smear layer-A scanning electron microscope study.
J Endod 2010;**36**(4):697-702.
- 69. METZGER Z, TEPEROVICH E, ZARY R et coll.**
The self-adjusting file (SAF). Part 1: respecting the root canal anatomy--a new concept of endodontic files and its implementation.
J Endod 2010;**36**(4):679-690.

- 70. METZGER Z, ZARY R, COHEN R et coll.**
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 2010;**36**(9):1569-1573.
- 71. MOHAMMADI Z.**
Iodine compounds in endodontics: an update review.
Dent Today 2009;**28**(6):58,60-63;quiz 63.
- 72. MOHAMMADI Z et ABBOTT PV.**
The properties and applications of chlorhexidine in endodontics.
Int Endod J 2009;**42**(4):288-302.
- 73. MOLANDER A, WARFVINGE J, REIT C et coll.**
Clinical and radiographic evaluation of one- and two-visit endodontic treatment of asymptomatic necrotic teeth with apical periodontitis: a randomized clinical trial.
J Endod 2007;**33**(10):1145-1148.
- 74. MOORER WR et WESSELINK PR.**
Factors promoting the tissue dissolving capability of sodium hypochlorite.
Int Endod J 1982;**15**(4):187-196.
- 75. MOZAYENI MA, JAVAHERI GH, POORROOSTA P et coll.**
Effect of 17% EDTA and MTAD on intracanal smear layer removal: a scanning electron microscopic study.
Aust Endod J 2009;**35**(1):13-17.
- 76. NIELSEN BA et CRAIG BAUMGARTNER J.**
Comparison of the EndoVac system to needle irrigation of root canals.
J Endod 2007;**33**(5):611-615.
- 77. PAPPEN FG, SHEN Y, QIAN W et coll.**
In vitro antibacterial action of Tetraclean, MTAD and five experimental irrigation solutions.
Int Endod J 2010;**43**(6):528-535.
- 78. PASCON FM, KANTOVITZ KR, SACRAMENTO PA et coll.**
Effect of sodium hypochlorite on dentine mechanical properties. A review.
J Dent 2009;**37**(12):903-908.
- 79. PASQUALINI D, CUFFINI AM et SCOTTI N.**
Comparative evaluation of the antimicrobial efficacy of a 5% sodium hypochlorite subsonic-activated solution.
J Endod 2010;**36**:1358–1360.
- 80. PEREZ F et ROUQUEYROL-POURCEL N.**
Effect of a low-concentration EDTA solution on root canal walls: A scanning electron microscopic study.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2005;**99**(3):383-387.

81. PRABHAKAR J, SENTHILKUMAR M, PRIYA MS et coll.

Evaluation of antimicrobial efficacy of herbal alternatives (Triphala and green tea polyphenols), MTAD, and 5% sodium hypochlorite against *Enterococcus faecalis* biofilm formed on tooth substrate: an in vitro study.

J Endod 2010;**36**(1):83-86.

82. RÖDIG T, DÖLLMANN S, KONIETSCHKE F et coll.

Effectiveness of different irrigant agitation techniques on debris and smear layer removal in curved root canals: a scanning electron microscopy study.

J Endod 2010;**36**(12):1983-1987.

83. RÖDIG T, SEDGHI M, KONIETSCHKE F et coll.

Efficacy of syringe irrigation rinsendo and passive ultrasonic irrigation in removing debris.

Int Endod J 2010;**43**(7):581-589.

84. ROSSI-FEDELE G, GUASTALLI AR, DOGRAMACI EJ et coll.

Influence of pH changes on chlorine-containing endodontic irrigating solutions.

Int Endod J 2011;**44**:792-799.

85. SALMAN MI, BAUMANN MA, HELLMICH M et coll.

SEM evaluation of root canal debridement with Sonicare CanalBrush irrigation.

Int Endod J 2010;**43**(5):363-369.

86. SAYIN TC, SERPER A, CEHRELI ZC et coll.

The effect of EDTA, EGTA, EDTAC, and tetracycline-HCl with and without subsequent NaOCl treatment on the microhardness of root canal dentin.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2007;**104**(3):418-424.

87. SEDGLEY CM, NAGEL AC, HALL D et coll.

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.

88. SEN BH, ERTURK O et PISKIN B.

The effect of different concentrations of EDTA on instrumented root canal wall.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2009;**108**(4):622-627.

89. SEN BH et TURK BT.

An update on chlorhexidine in endodontics.

Endo (Long Engl) 2009;**3**(2):87-99.

90. SENIA ES, MARSHALL FJ et ROSEN S.

The solvent action of sodium hypochlorite on pulp tissue of extracted teeth.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1971;**31**(1):96-103.

91. SERPER A, CALT S, DOGAN AL et coll.

Comparison of the cytotoxic effects and smear layer removing capacity of oxidative potential water, NaOCl and EDTA.

J Oral Sci 2001;**43**(4):233-238.

92. SINGLA MG, GARG A et GUPTA S.

MTAD in endodontics : an update review.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2011;**112**(3):e70-e76.

93. SIQUEIRA JF JR, ALVES FR, ALMEIDA BM et coll.

Ability of chemomechanical preparation with either rotary instruments or self-adjusting file to disinfect oval-shaped root canals.

J Endod 2010;**36**(11):1860-1865.

94. SIQUEIRA JF JR, ROÇAS IN, PAIVA SS et coll.

Bacteriologic investigation of the effects of sodium hypochlorite and chlorhexidine during the endodontic treatment of teeth with apical periodontitis.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2007;**104**(1):122-130.

95. SIU C et 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):1782-1785.

96. SOBHANI OE, GULABIVALA K, KNOWLES JC et coll.

The effect of irrigation time, root morphology and dentine thickness on tooth surface strain when using 5% sodium hypochlorite and 17% EDTA.

Int Endod J 2010;**43**(3):190-199.

97. STOJICIC S, ZIVKOVIC S, QIAN W et coll.

Tissue dissolution by sodium hypochlorite: effect of concentration, temperature, agitation, and surfactant.

J Endod 2010;**36**(9):1558-1562.

98. TAY FR, GU LS, SCHOEFFEL GJ et coll.

Effect of vapor lock on root canal debridement by using a side-vented needle for positive-pressure irrigant delivery.

J Endod 2010;**36**(4):745-750.

99. TAY FR, HIRAISHI N, SCHUSTER GS et coll.

Reduction in antimicrobial substantivity of MTAD after initial sodium hypochlorite irrigation.

J Endod 2006;**32**(10):970-975.

100. TORABINEJAD M, SHABAHANG S, APRECIO RM ET COLL.

The antimicrobial effect of MTAD : an in vitro investigation.

J Endod 2003;**29**(6):400-403.

101. VAN DER SLUIS L, VERSLUIS M, WU MK ET COLL.

Passive ultrasonic irrigation of the root canal : a review of the literature.

Int Endod J 2007;**40**(6):415-426.

102. VAN DER SLUIS L, WU MK ET WESSELINK P.

Comparison of 2 flushing methods used during passive ultrasonic irrigation of the root canal.

Quintessence Int 2009;**40**(10):875-879.

103. VAN DER SLUIS L, VERSLUIS M, WU MK ET COLL.

Passive ultrasonic irrigation of the root canal : a review of the literature.

Int Endod J 2007;**40**(6):415-426.

104. VIOLICH DR et CHANDLER NP.

The smear layer in endodontics - a review.

Int Endod J 2010;**43**(1):2-15.

105. WELLER, BRADY JM ET BERNIER WE.

Efficacy of ultrasonic cleaning.

J Endod 1980;**6**(9):740-743.

106. YILMAZ Z, AKTEMUR S, BUZOGLU HD ET COLL.

The effect of temperature and pH variations on the surface tension of EDTA solutions.

J Endod 2011;**37**(6):825-827.

107. YILMAZ Z, BASBAG B, BUZOGLU HD ET COLL.

Effect of low-surface-tension EDTA solutions on the wettability of root canal dentin.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2011;**111**(1):109-114.

108. ZACCARO SCELZA MF, DA SILVA PIERRO VS, CHAGAS MA ET COLL.

Evaluation of inflammatory response of EDTA, EDTA-T, and citric acid in animal model.

J Endod 2010;**36**(3):515-519.

109. ZEHNDER M.

Root canal irrigants.

J Endod 2006;**32**: 389–398.

110. ZEHNDER M, KOSICKI D, LUDER H ET COLL.

Tissue-dissolving capacity and antibacterial effect of buffered and unbuffered hypochlorite solutions.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2002;**94**(6):756-762.

111. ZEHNDER M, PAQUE F.

Disinfection of the root canal system during root canal re-treatment.

Endodontics topic 2011;**19**(1):58-73.

112. ZEHNDER M, SCHMIDLIN P, SENER B ET COLL.

Chelation in root canal therapy reconsidered.

J Endod 2005;**31**(11):817-820.

113. ZELTNER M, PETERS OA ET PAQUE F.

Temperature changes during ultrasonic irrigation with different inserts and modes of activation.

J Endod 2009;**35**(4):573-577.

114. ZHANG K, TAY FR, KIM YK ET COLL.

The effect of initial irrigation with two different sodium hypochlorite concentrations on the erosion of instrumented radicular dentin.

Dent Mater 2010;**26**(6):514-523.

115. ZMENER O, PAMEIJER CH, SERRANO SA ET COLL.

Efficacy of the NaviTip FX irrigation needle in removing post instrumentation canal smear layer and debris in curved root canals.

J Endod 2009;**35**(9):1270-1273.

116. ZOU L, SHEN Y, LI W ET COLL.

Penetration of Sodium Hypochlorite into Dentin.

J Endod 2010;**36**(5):793-796.

Tables des illustrations

FIGURE 1 : EQUATION D'HYDROLYSE DE L'HYPOCHLORITE DE SODIUM, D'APRES L'ETUDE DE KANDASWAMY ET COLL. [2010, 56].....	9
FIGURE 2 : EQUATION DE DISSOCIATION PARTIELLE DE L'ACIDE HYPOCHLOREUX EN MILIEU AQUEUX, D'APRES L'ETUDE DE KUGA ET COLL. [2011,60]	12
FIG. 3 : DISSOLUTION TISSULAIRE PAR NAOCL SELON LA TEMPERATURE, D'APRES L'ETUDE DE ZOU ET COLL. [2010, 116]	13
FIGURE 4 : VALEURS DES TENSIONS DE SURFACE DES IRRIGANTS DE L'EXPERIMENTATION, D'APRES YILMAZ ET COLL. [2011, 107].....	22
FIGURE 5 : POURCENTAGES D'ALTERATION DES ENERGIES LIBRES DE SURFACE DENTINAIRES SUITE A L'IRRIGATION PAR LES SOLUTIONS EXPERIMENTEES, D'APRES YILMAZ ET COLL. [2011, 107]	22
FIGURE 6 : PHOTOMICROGRAPHIE (X2000) DE MURS CANALAIRE INSTRUMENTES ET IRRIGUES AVEC DE L'EDTA 17% (A) PARTIE CORONAIRE, (B) TIERS MEDIAN, (C) TIERS APICAL, MONTRANT DES DEBRIS MODERES ET UNE EROSION DE LA DENTINE PERI TUBULAIRE (INDIQUE PAR LES FLECHES, SCHEMA C), D'APRES L'ETUDE DE BALLAL ET COLL. [2009, 6]	27
FIGURE 7 : PHOTOMICROGRAPHIE (X2000) DE MURS CANALAIRE INSTRUMENTES ET IRRIGUES AVEC DE L'ACIDE MALEIQUE 7% (A) PARTIE CORONAIRE, (B) TIERS MEDIAN, (C) TIERS APICAL, OU LES TUBULI DENTINAIRES SONT LARGEMENT OUVERTS, SANS AUCUN DEBRIS, D'APRES L'ETUDE DE BALLAL ET COLL. [2009, 6].....	27
FIGURE 8 : BOITES DE PETRI ET LEURS COLONIES FORMEES APRES TRAITEMENT AVEC EDTA OU ACIDE MALEIQUE A 0,025% COMPARE AU GROUPE CONTROLE, D'APRES L'ETUDE DE BALLAL ET COLL. [2009, 9]	29
FIGURE 9 : AIGUILLES D'IRRIGATION CANALAIRE SIMPLE MIRAJECT [®] HTTP://WWW.ONLINE-DENTAL.NET	37
FIGURE 10 : AIGUILLES D'IRRIGATION (MODELE MAX-I-PROBE [®]) A ECOULEMENT LATERAL ADAPTABLES SUR UNE SERINGUE DE TYPE LUER HTTP://WWW.SMARTPRACTICE.COM/APPS/WEBOBJECTS/SMARTPRACTICE.WOA/WA/STYLE?ID=S26402 .	38
FIGURE 11 : EMBOUTS NAVITIP FX HTTP://WWW.ULTRADENT.COM/FR/DENTAL-PRODUCTS/EMBOUITS-SERINGUES/EMBOUITS-ENDODONTIQUES/NAVITIP-FX/PAGES/DEFAULT.ASPX	38
FIGURE 12 : COUPE D'UNE SECTION RADICULAIRE INDIQUANT LA DIRECTION DE L'OSCILLATION ET REPRESENTANT LE FLUX DEVELOPPE AUTOUR. C1 : OSCILLATION PERPENDICULAIRE A L'ANFRACTUOSITE. C2 : OSCILLATION EN DIRECTION DE L'ANFRACTUOSITE, D'APRES L'ETUDE DE JIANG ET COLL. [2010, 53]	41
FIGURE 13 : SYSTEME D'IRRIGATION CONTINU COUPLE A L'ACTIVATION ULTRASONIQUE, D'APRES L'ETUDE DE GUTARTS, NUSSTEIN ET COLL. [2005, 46]	44
FIGURE 14 : RADIOGRAPHIE AVEC INSTRUMENT EN PLACE MONTRANT LA DEFORMATION DU SAF LORS D'UN TRAITEMENT CANALAIRE. HTTP://WWW.EUGENOL.COM/EUGENOL-ADVISOR-TESTS-PRODUITS/126-SYSTEME-ENDODONTIQUE-SAF .	45
FIGURE 15 : PHOTOGRAPHIES D'UN SAF APRES UTILISATION INTENSIVE (EN HAUT) ET D'UN SAF PRESENTANT UNE FRACTURE D'ARCHE. (EN BAS), D'APRES L'ETUDE DE METZGER ET COLL. [2010, 69]	46
FIGURE 16 : COMPARAISON AU CONE BEAM ENTRE LE SAF ET LA ROTATION CONTINUE PROTAPER DE LA QUALITE DES PREPARATIONS (C&S : CLEANING AND SHAPING) QUI EST UN POURCENTAGE DES ZONE NON PREPAREES PAR LA TECHNIQUE ; ET DE L'ADAPTATION DES OBTURATIONS CANALAIRE (RCF : ROOT CANAL	

FILLING) EXPRIMEES EN POURCENTAGE DE ZONES NON TOUCHEES PAR L'OBTURATION, D'APRES L'ETUDE DE METZER ET COLL [2010, 70]	47
FIGURE 17 : LE SYSTEME ENDOVAC AU COMPLET (A) ; DETAIL DE LA MACRO CANULE POUR L'IRRIGATION INITIALE CORONAIRE (B) ; DETAIL DE LA MICRO CANULE, PERMETTANT L'IRRIGATION A LA LONGUEUR DE TRAVAIL (C) ; DETAIL DE LA SERINGUE D'APPORT, LE SURPLUS D'IRRIGANT EST ASPIRE PAR LA TUBULURE EN PLASTIQUE (D), D'APRES NIELSEN [2007, 76].....	49
FIGURE 18 : IMAGES OBTENUES AU MICROSCOPE ELECTRONIQUE A BALAYAGE ; DES TIERS CORONAIRES (A) MEDIANS (B), ET APICAUX (C) DES GROUPES IRRIGATION PAR SERINGUES CONVENTIONNELLE (I), ENDOVAC (II), ET TEMOIN (III). LES GROUPES I ET II SONT IRRIGUES AVEC 9ML DE NAOCL 2,5% PUIS 9ML D'EDTA, D'APRES L'ETUDE D'ABARAJITHAN ET COLL. [2011, 1]	50
FIGURE 19 : SIX AIGUILLES NORMALISEES A 30-GAUGE (DIAMETRE EXTERNE 0.3112 MM, DIAMETRE INTERNE 0.159MM) DISPONIBLES DANS LE COMMERCE PHOTOGRAPHIEES CI-DESSUS, PUIS MODELISEES EN DESSOUS, D'APRES L'ETUDE DE BOUTSIUKIS ET COLL. [2010, 18]	54
FIGURE 20 : ENREGISTREMENT DE LA DISPERSION DE L'IRRIGANT DANS LA PARTIE APICALE DU CANAL SELON L'ANATOMIE DE L'AIGUILLE. A GAUCHE : LA VITESSE ET DIRECTION DU FLUX, ET A DROITE : LES VECTEURS MODELISANT LE FLUX IRRIGANT, D'APRES L'ETUDE DE BOUTSIUKIS ET COLL. [2010, 18].....	54
FIGURE 21 : VISUALISATION DE LA DIRECTION DU FLUX AU SORTIR DE L'AIGUILLE, D'APRES L'ETUDE DE BOUTSIUKIS ET COLL. [2010, 18]	55
FIGURE 22 : PRESSION MOYENNES MESUREE AU NIVEAU DU FORAMEN APICAL POUR LES SIX TYPES D'AIGUILLES, D'APRES L'ETUDE DE BOUTSIUKIS ET COLL. [2010, 18]	56

Autorisations de publication

○ **Figure 4 et 5 :**

Dear Dr Yilmaz,

I'm writing my thesis to become a dentist in France (Nantes), my subject is about irrigation in Endodontics.

Could i insert in my thesis a part of your publication

"Effect of low-surface-tension EDTA solutions on the wettability of root canal dentin." in january 2011

the fig 1 ; Percentage alteration of surface free energy (SFE) values of dentin surfaces following treatment with experimental solutions.

and

the table III : Mean surface tension values of experimental irrigants (mN/m; mean SD)

Thank you for your answer,

Best regards,

Hadrien Broudin.

○ **Figure 6 et 7**

--- On Sat, 8/9/12, Hadrien Broudin <hadrienbroudin@hotmail.com> wrote:

From: Hadrien Broudin <hadrienbroudin@hotmail.com>
Subject: Asking a permission for using publication material in thesis (bis)
To: drballal@yahoo.com
Date: Saturday, 8 September, 2012, 1:05 PM

Could i use too the figure 4 ; Representative Petri dishes with colonies formed after treatment with 0.025% of EDTA/MA compared with the control. The number of colonies in the EDTA-treated group showing significantly fewer colonies indicating higher cytotoxic effect.

in the article : "A comparative in vitro evaluation of cytotoxic effects of EDTA and maleic acid: Root canal irrigants" published in 2009.

Thank you for your answer,

Hadrien Broudin

Re: Asking a permission for using publication material in thesis (bis)

05:50

Répondre □

vasudev ballal

Ajouter aux contacts

À Hadrien Broudin

Dear Broudin,

Thank you for your email. You can use the images from my article for your thesis. May I know your details just for my interest? Good luck for your thesis. Have a good day!

With regards,

Vasudev

Dr.Vasudev Ballal, BDS, MDS, Ph.D

Associate Professor

Department of Conservative Dentistry & Endodontics

Manipal College of Dental Sciences, Manipal, 576104

Manipal University

Karnataka, India

Tel: 91 9880626167

PLAN PURPOSEFULLY * PREPARE PRAYERFULLY * PROCEED POSITIVELY * PURSUE PERSISTENTLY

○ **Figure 8**

Could i use too the figure 4 ; Representative Petri dishes with colonies formed after treatment with 0.025% of EDTA/MA compared with the control. The number of colonies in the EDTA-treated group showing significantly fewer colonies indicating higher cytotoxic effect.

in the article : "A comparative in vitroevaluation of cytotoxiceffects of EDTA and maleic acid: Root canal irrigants" published in 2009.

Thank you for your answer,

Hadrien Broudin

○ **Figure 9**

Dear Mrs, Mr,

I'm writing my thesis to become a dentist in France (Nantes), my subject is about irrigation in Endodontics.

Could i insert in my thesis a picture from your website (the needle miraject endo) ?

Thank you for your answer,

Best regards,

Hadrien Broudin.

○ **Figure 10**

Dear Mrs, Mr,

I'm writing my thesis to become a dentist in France (Nantes), my subject is about irrigation in Endodontics.

Could i insert in my thesis a picture from your website (the needle max i probe) ?

Thank you for your answer,
Best regards,
Hadrien Broudin.

○ **Figure 11**

Bonjour Madame ou monsieur,

J'écris une thèse au sujet de l'irrigation endodontique,

et j'aimerais y insérer une photo des aiguilles Navi Tip fx, puis-je avoir votre autorisation écrite pour cela,

Cordialement

Hadrien Broudin

○ **Figure 12**

Dear Dr Jiang,

I'm writing my thesis to become a dentist in France (Nantes), my subject is about irrigation in Endodontics.

Could i insert in my thesis a part of your publication

"Influence of the oscillation direction of an ultrasonic file on the cleaning efficacy of passive ultrasonic irrigation." in 2010

the figure 2 ; Direction (solid arrows) and magnitude (colors) of the flow caused by an ultrasonically oscillating file. White arrows in the black circles indicate the direction of oscillation. (A) Steady part of the flow when oscillating in a large water tank, averaged over 100 frames (0.8 ms). (B1) Unsteady part of the flow, single frame only; (B2) unsteady part of the flow in the confinement of a root canal, single frame only. (C) Sketch of the cross section of the root canal indicating the direction of oscillation with respect to the groove and the flow around the oscillating file; (C1) oscillation perpendicular to the groove, (C2) oscillation toward the groove. (Black bar is 0.2 mm.) ?

Thank you for your answer,
Best regards,
Hadrien Broudin.

○ **Figure 13**

Dear Dr Nusstein,

I'm writing my thesis to become a dentist in France (Nantes), my subject is about irrigation in Endodontics.

Could I insert in my thesis a part of your publication

" In vivo debridement efficacy of ultrasonic irrigation following hand-rotary instrumentation in human mandibular molars. " in 2005

the figure 2 ; Diagrammatic representation of ultrasonic irrigating device used in this study ?

Thank you for your answer,
Best regards,

Hadrien Broudin.

o *Figure 14*

ITENA® Laboratoire Itena | Produits | Clinique et Scientifique | Actualités | Distribution | Contact

Français English Русский

Contact

Civilité * M
Nom * Broudin
Prénom * Hadrien
E-mail * hadrienbroudin@hotmail.c
Société

Adresse * 14 rue du moulin des land
Code postal * 44840
Ville * Les sornières
Pays * France
Téléphone
Fax

Votre Message

et j'aimerais y insérer une photo du cliché rétro alvéolaire de la molaire mandibulaire présentant un instrument SAF inséré dans un canal mésial. Puis recevoir votre autorisation par courrier électronique ? Cordialement

Votre demande d'un échantillon gratuit (limité à un seul produit) :

Totalcem Dentotemp Prevent Seal
 Dentocore Reflectys Provitemp

J'accepte de recevoir des informations sur les nouveautés ITENA
 J'accepte de recevoir des offres commerciales ITENA

Envoi

*Champs obligatoires

ITENA CLINICAL

83 avenue Foch
75116 Paris

o *Figure 15*

Tel Aviv University

De : **Hadrien Broudin** (hadrienbroudin@hotmail.com)
Envoyé : dim. 27/05/12 01:12
À : metzger@post.tau.ac.il

Dear Dr Metzger,

I'm writing my thesis to become a dentist in France (Nantes), my subject is about irrigation in Endodontics, a part is about the SAF.

Could i insert in my thesis from :

"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." in 2010, the figure 2, the graph who resume the efficacy of SAF over NiTi instrumentation for this experimentation ?

Thank you for your answer,
Best regards,
Hadrien Broudin.

Re: Ask of permission for images in thesis

De : **Zvi Metzger** (metzger.zvi@gmail.com)
Envoyé : lun. 28/05/12 16:20
À : Hadrien Broudin (hadrienbroudin@hotmail.com)

Dear Hadrien Broudin

You have my permission to use any of my figures in your thesis.

Prof. Zvi Metzger

○ **Figure 16**

Re: Ask of permission for images in thesis

De : **Zvi Metzger** (metzger.zvi@gmail.com)
Envoyé : lun. 28/05/12 16:20
À : Hadrien Broudin (hadrienbroudin@hotmail.com)

Dear Hadrien Broudin

You have my permission to use any of my figures in your thesis.

Prof. Zvi Metzger

○ **Figure 17**

Dear Dr Baumgartner,

I'm writing my thesis to become a dentist in France (Nantes), my subject is about irrigation in Endodontics.

Could I insert in my thesis a part of your publication ?

"Comparison of the EndoVac system to needle irrigation of root canals." in 2007
the figure 1 ; (A) The complete EndoVac system including all tubing and vacuum attachment. The free end of the large tubing plugs into the high speed suction of the dental chair. A clip, seen on the end of the clear tubing near the "T" connector, attaches to the patient napkin. (B) The macrocannula attached to its handle used for initial flushing of the coronal portion of the canal. (C) The microcannula attached to its handle. This replaces the macrocannula and its handle and is used for irrigation at the apical portion of the canal to working length. (D) The delivery/evacuation tip attached to a syringe. Irrigant is delivered to the pulp chamber by the metal needle. Any excess is immediately suctioned off through the plastic tubing surrounding the metal that is attached to the suction tubing.

Thank you for your answer,

Best regards,

Hadrien Broudin.

○ **Figure 18**

Hadrien Broudin <hadrienbroudin@hotmail.com> wrote:

Dear Dr Abarajithan,

I'm writing my thesis to become a dentist in France (Nantes), my subject is about irrigation in Endodontics.

Could I insert in my thesis a part of your publication ?

"Comparison of Endovac irrigation system with conventional irrigation for removal of intracanal smear layer: an in vitro study." in 2011

The figure 1 ; Scanning electron microscopy (SEM) images in the (A) coronal, (B) middle, and (C) apical thirds of (I) group I

(conventional syringe irrigation), (II) group II (Endovac), and (III) group II (negative control).

Thank you for your answer,

Best regards,

Hadrien Broudin.

Re: Asking a permission for using publication material in thesis

00:41

Répondre ▼

endo_abi

Ajouter aux contacts

À Hadrien Broudin

dear dr.Hadrien,

Its really nice of you for seeking my permission to use the pictures in my study.i'm really glad tat my study is helping you complete your thesis..you can go ahead and use it..i have no issues..all the best..

regards,

dr.abarajithan

endodontist,

director,smilebright root canal academy (root canal training and research centre)

Sent from Samsung Galaxy Note

○ **Figure 19, 20, 21, 22**

On 26/5/2012 03:31, Hadrien Broudin wrote:

Dear Dr C. Boutsoukias,

I'm writing my thesis to become a dentist in France (Nantes), my subject is about irrigation in Endodontics.

Could i insert your photos from

"Evaluation of irrigant flow in the root canal using different needle types by an unsteady computational fluid dynamics model." in 2010, in my thesis ?

Thank you for your answer,

Best regards,
Hadrien Broudin.

De : Christos Boutsoukias (chb@dent.auth.gr)

Envoyé : sam. 26/05/12 10:27

À : Hadrien Broudin (hadrienbroudin@hotmail.com)

Dear Hadrien,

All images in the article are published material, so I have no objection, as long as you mention in the legend where you found the images.

However, I think that you should also get permission from the journal, since they own the copyright of all the material in the article.

Best regards,
Christos Boutsoukias

BROUDIN (Hadrien). Modalités de l'irrigation en endodontie, le point en 2012.
- 22 f. ill. ; tabl. ; 116 ref. ; 30 cm. (Thèse : Chir. Dent. ; Nantes ; 2012)

RESUME

Les pathologies pulpaires sont provoquées par une agression bactérienne et de leurs toxines.

Lors du traitement endodontique, les irrégularités et complexités anatomiques non préparées au cours de la mise en forme canalaire représentent un risque de recontamination bactérienne, source d'infection à l'origine d'échecs thérapeutiques.

Le succès endodontique impose une désinfection bactérienne et l'obtention d'un canal propre, dépourvu d'enduit organo pariétal (smear layer) et de débris liés à l'action mécanique.

De nos jours il existe différentes solutions antibactériennes et chélatantes disponibles, ainsi que des techniques permettant de les délivrer efficacement.

La technologie moderne assistée par informatique permet d'étudier la dynamique des fluides à l'intérieur du canal et nous apporte une meilleure compréhension des flux impliqués pendant l'irrigation.

Ces éléments servent à améliorer notre pratique quotidienne pour comprendre et proposer les meilleures combinaisons disponibles à l'heure actuelle lors d'un traitement endodontique.

RUBRIQUE DE CLASSEMENT : ODONTOLOGIE-ENDODONTIE

MOTS CLES MESH

Liquides d'irrigation endocanalaire
Traitement de canal radiculaire
Endodontie
Contrôle de l'infection dentaire

Root canal irrigants
Root canal therapy
Endodontics
Infection control dental

JURY

Président : Professeur JEAN A.
Assesseur : Docteur ARMENGOL V.
Assesseur : Docteur DUPAS C.
Directeur : Docteur MARION D.
