

UNIVERSITE TOULOUSE III - PAUL SABATIER

FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année : 2016

Thèse n°2016 TOU3 3057

THESE

POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement

Par

Déborah PINCHON

Le 14 Septembre 2016

**ÉTUDE DE L'EFFICACITÉ DE DÉPOSE DE L'HYDROXYDE DE
CALCIUM : COMPARAISON ENTRE L'IRRIGATION PASSIVE
ULTRASONORE ET L'XP-ENDO® FINISHER**

Directeur de thèse : Dr HAMDAN Rami

JURY

Président :	Professeur Franck DIEMER
1 ^{er} assesseur :	Docteur Marie GURGEL-GEORGELIN
2 ^{ème} assesseur :	Docteur Jean-Noël VERGNES
3 ^{ème} assesseur :	Docteur Rami HAMDAN





➔ DIRECTION

DOYEN

Mr Philippe POMAR

ASSESEUR DU DOYEN

Mme Sabine JONOT

CHARGÉS DE MISSION

Mr Karim NASR

Mme Emmanuelle NOIRRI-ESCLASSAN

PRÉSIDENTE DU COMITÉ SCIENTIFIQUE

Mme Anne-Marie GRIMOUD

RESPONSABLE ADMINISTRATIF

Mme Marie-Christine MORICE

➔ HONORARIAT

DOYENS HONORAIRES

Mr Jean LAGARRIGUE [†]

Mr Jean-Philippe LODTER

Mr Gérard PALOUDIER

Mr Michel SIXOU

Mr Henri SOULET

➔ ÉMÉRITAT

Mme Geneviève GRÉGOIRE

Mr Gérard PALOUDIER

Mr Damien DURAN



PERSONNEL ENSEIGNANT

56.1 PÉDODONTIE

Chef de la sous-section :

Mme BAILLEUL-FORESTIER

Professeur d'Université :

Mme BAILLEUL-FORESTIER, Mr VAYSSE

Maîtres de Conférences :

Mme NOIRRI-ESCLASSAN, Mme VALERA

Assistants :

Mme DARIES, Mr MARTY

Adjoints d'Enseignement :

Mr DOMINÉ

56.2 ORTHOPÉDIE DENTO-FACIALE

Chef de la sous-section :

Mr BARON

Maîtres de Conférences :

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

Assistants :

Mme GABAY-FARUCH, Mme YAN-VERGNES

Adjoints d'Enseignement :

Mme MECHRAOUI, Mr MIQUEL

56.3 PRÉVENTION, ÉPIDÉMIOLOGIE, ÉCONOMIE DE LA SANTÉ, ODONTOLOGIE LÉGALE

Chef de la sous-section :

Mr HAMEL

Professeur d'Université :

Mme NABET, Mr PALOUDIER, Mr SIXOU

Maître de Conférences :

Mr HAMEL, Mr VERGNES

Assistant :

Mlle BARON

Adjoints d'Enseignement :

Mr DURAND, Mr PARAYRE

57.1 PARODONTOLOGIE***Chef de la sous-section :*** **Mr BARTHET**

Maîtres de Conférences : Mr BARTHET, Mme DALICIEUX-LAURENCIN
 Assistants : Mr RIMBERT, Mme VINEL
 Adjoints d'Enseignement : Mr CALVO, Mr LAFFORGUE, Mr SANCIER

57.2 CHIRURGIE BUCCALE, PATHOLOGIE ET THÉRAPEUTIQUE, ANESTHÉSIOLOGIE ET RÉANIMATION***Chef de la sous-section :*** **Mr COURTOIS**

Maîtres de Conférences : Mr CAMPAN, Mr COURTOIS, Mme COUSTY
 Assistants : Mme CROS, Mr EL KESRI, Mme GAROBY-SALOM
 Adjoints d'Enseignement : Mr FAUXPOINT, Mr L'HOMME, Mme LABADIE

57.3 SCIENCES BIOLOGIQUES (BIOCHIMIE, IMMUNOLOGIE, HISTOLOGIE, EMBRYOLOGIE, GÉNÉTIQUE, ANATOMIE PATHOLOGIQUE, BACTÉRIOLOGIE, PHARMACOLOGIE)***Chef de la sous-section :*** **Mr POULET**

Professeurs d'Université : Mr KEMOUN
 Maîtres de Conférences : Mme GRIMOUD, Mr POULET, Mr BLASCO-BAQUE
 Assistants : Mr BARRAGUÉ, Mme DUBOSC, Mr LEMAITRE,
 Assistant Associé : Mme FURIGA-CHUSSEAU
 Adjoints d'Enseignement : Mr SIGNAT, Mme VALERA, Mr BARRE

58.1 ODONTOLOGIE CONSERVATRICE, ENDODONTIE***Chef de la sous-section :*** **Mr DIEMER**

Professeurs d'Université : Mr DIEMER
 Maîtres de Conférences : Mr GUIGNES, Mme GURGEL-GEORGELIN, Mme MARET-COMTESSE
 Assistants : Mr BONIN, Mr BUORO, Mme DUEYMES, Mme. RAPP, Mr. MOURLAN
 Assistant Associé : Mr HAMDAN
 Adjoints d'Enseignement : Mr BALGUERIE, Mr ELBEZE, Mr MALLET

58.2 PROTHÈSES (PROTHÈSE CONJOINTE, PROTHÈSE ADJOINTE PARTIELLE, PROTHÈSE COMPLÈTE, PROTHÈSE MAXILLO-FACIALE)***Chef de la sous-section :*** **Mr CHAMPION**

Professeurs d'Université : Mr ARMAND, Mr POMAR
 Maîtres de Conférences : Mr BLANDIN, Mr CHAMPION, Mr ESCLASSAN, Mme VIGARIOS, Mr.DESTRUHAUT
 Assistants : Mr. CHABRERON, Mr. GALIBOURG, Mr. KNAFO, Mme. SELVA, Mme. ROSCA
 Adjoints d'Enseignement : Mr. BOGHANIM, Mr. FLORENTIN, Mr. FOLCH, Mr. GHRENASSIA,
 Mme. LACOSTE-FERRE, Mr. POGÉANT, Mr. RAYNALDY, Mr. GINESTE

58.3 SCIENCES ANATOMIQUES ET PHYSIOLOGIQUES, OCCLUSODONTIQUES BIOMATÉRIAUX, BIOPHYSIQUE, RADIOLOGIE***Chef de la sous-section :*** **Mme JONIOT**

Professeur d'Université : Mme GRÉGOIRE
 Maîtres de Conférences : Mme JONIOT, Mr NASR
 Assistants : Mr CANIVET, Mme GARNIER, Mr MONSARRAT
 Adjoints d'Enseignement : Mr AHMED, Mme BAYLE-DELANNÉE, Mr ETIENNE, Mme MAGNE, Mr TREIL, Mr VERGÉ

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

Mise à jour au 01 septembre 2016

Remerciements :

Je dédie cette thèse...

À mes parents, pour votre soutien, votre amour et tout ce que vous m'avez apporté durant presque 25 ans.

*À mon frère, pour notre complicité et les délires que nous avons ensemble.
À tes enfants qui sont chers à mon cœur.*

À toute ma famille, en particulier ma grand-mère qui se bat contre la maladie.

À ma meilleure amie Delphine, la sœur que je n'ai jamais eue, toujours là pour moi en toutes circonstances.

À mes collègues et amis Yamna et Sylvain, qui m'ont fait l'honneur de m'inviter à leur mariage, je vous souhaite que la vie vous apporte tout le bonheur que vous méritez.

À ma binôme Émilie, qui poursuit courageusement son chemin vers la guérison.

À Françoise, pour m'avoir accordé sa confiance et m'avoir permis de réaliser mon premier remplacement.

À Mladen qui discute test statistique à des heures improbables.

À Romain, pour les sushis party et surtout pour ton avis éclairé.

À mes amis d'enfance parisiens, À Thomas, Vincent et Cyrielle, toujours dans ma vie malgré la distance qui nous sépare.

À tous les amis que je n'ai pas cités.

À tous ceux qui m'ont aidé à la réalisation de ce travail et qui me font l'honneur d'assister à la soutenance de cette thèse.

À notre président du jury,

Monsieur le Professeur DIEMER Franck,

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

Vous nous avez fait l'honneur d'accepter la présidence de notre jury de thèse.

Nous vous remercions de votre disponibilité, de l'aide et de l'intérêt porté à ce travail.

Nous nous souviendrons de la pédagogie avec laquelle vous avez su nous transmettre votre savoir et de la qualité de votre enseignement qui nous a fait apprécier l'endodontie.

Veillez trouver dans cet ouvrage le témoignage de notre profond respect et de notre sincère gratitude.

À notre jury,

Madame le Docteur GURGEL-GEORGELIN Marie,

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

C'est un grand plaisir de vous compter parmi les membres de notre jury.

Nous tenons à vous témoigner notre gratitude pour la qualité, le dynamisme
de votre enseignement et de votre activité clinique.

Nous vous remercions sincèrement pour l'aide que vous nous avez apportée
durant nos études.

Veillez trouver par ces quelques mots l'expression de notre profond respect.

À notre jury,

Monsieur le Docteur VERGNES Jean-Noël,

- Maître de Conférences des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie,
- Docteur en Epidémiologie,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- Professeur associé, Oral Health and Society Division, Université McGill – Montréal, Québec – Canada,
- Maîtrise de Sciences Biologiques et Médicales,
- Master 2 Recherche – Epidémiologie clinique,
- Diplôme d'Université de Recherche Clinique Odontologique,
- Lauréat de l'Université Paul Sabatier

Vous avez chaleureusement accepté de siéger à notre jury de thèse.

Nous avons pu apprécier tout au long de nos études la richesse de votre enseignement et vos admirables qualités humaines et professionnelles.

Nous vous remercions pour votre sympathie, votre pédagogie et pour votre aide apportée à ce travail.

Soyez assuré de toute notre reconnaissance et de notre profond respect.

À notre directeur de thèse,

Monsieur le Docteur HAMDAN Rami,

- Assistant associé des universités.
- Docteur d'État en Chirurgie Dentaire (Syrie)
- Certificat d'Etudes Supérieures: Technologie des Matériaux employés en art dentaire.
- Certificat d'Études Supérieures: Odontologie conservatrice.
- Diplôme Inter-Universitaire d'Endodontie

Je vous remercie très sincèrement d'avoir accepté de diriger ce travail et d'y avoir apporté votre expérience, vos compétences et votre entière disponibilité.

C'est pour moi un immense honneur d'avoir travaillé sur ce sujet passionnant, que le Pr Diemer et vous-même avez eu la gentillesse de me proposer.

Je vous prie de trouver ici toute ma gratitude et mon respect le plus profond.

Table des matières :

Introduction.....	13
I. L'hydroxyde de calcium	15
1. Historique	15
2. Propriétés physico-chimiques	15
a) Composition	15
b) Carbonation	16
c) Solubilité	16
d) pH	17
3. Indications en odontologie conservatrice	17
4. Propriétés relatives à son utilisation en interséance.....	18
a) Propriétés anti-inflammatoires.....	18
b) Propriétés antiseptiques.....	18
c) Propriétés inhibitrices de l'activité ostéoclastique.....	20
d) Aide à la reminéralisation osseuse périapicale.....	21
e) Dissolution des tissus nécrosés.....	21
5. Limites du Ca(OH) ₂	22
a) Exsudation des tissus périapicaux.....	22
b) Canalicules dentinaires.....	22
c) Résistance de certaines espèces bactériennes.....	22
6. Adjonction de véhicules à l'hydroxyde de calcium.....	23
a) Généralités.....	23
b) Glycérine.....	24
c) Propylène Glycol.....	24
d) CMPC (camphorated paramonochlorophenol).....	24
e) Chlorhexidine.....	25
7. Méthode de pose.....	25
8. Conséquence d'une dépose inefficace de l'hydroxyde de calcium.....	26
a) Interaction avec l'oxyde de zinc eugéol (ZnOE), infiltrations, mauvaise étanchéité apicale	26

b)	Absence de pénétration du matériau d'obturation dans les tubuli dentinaires.....	28
c)	Interaction avec les localisateurs d'apex.....	29
II.	Méthodes d'élimination de l'hydroxyde de calcium.....	30
1.	Élimination par différentes méthodes d'irrigation.....	30
a)	Les solutions d'irrigation.....	30
b)	Irrigation manuelle.....	32
c)	Irrigation passive ultrasonore.....	33
d)	L'endoActivator®.....	34
e)	Le système ProultraPiezoFlow®.....	35
f)	Le système EndoVac®.....	36
g)	Le système RinsEndo.....	37
2.	Élimination par l'utilisation d'instruments rotatifs.....	38
a)	Instruments en NiTi.....	38
b)	Self-adjusting file®.....	39
3.	Autres méthodes.....	40
4.	Conclusion partie bibliographique.....	41
III.	Comparaison de l'efficacité de dépose de l'hydroxyde de calcium intracanalair par deux instruments : Irrisafe® Vs XP-Endo® Finisher, sur l'ensemble de la surface canalaire et au tiers apical.....	44
1.	L'XP Endo® Finisher.....	44
2.	L'Irrisafe®.....	46
3.	Objectif de l'étude.....	47
4.	Matériels et méthodes.....	47
a)	Préparation des dents.....	47
b)	Protocoles de dépose.....	50
•	Groupe 1.....	50
•	Groupe 2.....	52
c)	Coupe des échantillons.....	54

d)	Observation au microscope optique.....	54
e)	Méthode de quantification.....	57
•	Sur l'ensemble du canal.....	57
•	Au tiers apical.....	59
f)	Analyse statistique.....	59
5.	Résultats.....	60
a)	Test Mann-Whitney.....	60
b)	Test exact de Fisher.....	60
c)	Test de Kappa.....	61
6.	Discussion.....	62
a)	Analyse des résultats.....	62
•	Sur l'ensemble du canal.....	62
•	Au tiers apical.....	64
b)	Choix des matériels et méthodes.....	65
7.	Conclusion de l'étude.....	67
	Conclusion.....	68
	Annexe.....	70
	Table des illustrations.....	71
	Bibliographie.....	72

INTRODUCTION

L'éradication bactérienne ainsi que la prévention et le contrôle des infections périapicales sont les objectifs principaux du traitement endodontique.

Le réseau canalaire ne peut être concerné en totalité par l'instrumentation du fait de sa complexité, quel que soit le système de mise en forme utilisé.

En revanche, par leur travail de coupe de la dentine et d'élargissement, ces systèmes permettent aux solutions d'irrigation d'atteindre toutes les zones de l'espace canalaire afin d'assurer la désinfection. Byström & Sundqvist ont souligné l'importance de l'utilisation de ces solutions antiseptiques afin de diminuer la charge bactérienne. Celle-ci n'est pas éliminée en totalité, malgré toutes ces dispositions.

Dans un canal laissé vide entre deux rendez-vous, ces bactéries toujours présentes conservent la capacité de se multiplier jusqu'à retrouver leur niveau initial, malgré une préparation canalaire rigoureuse. Si ces micro-organismes persistent au moment de l'obturation, les risques d'échec augmentent considérablement [1].

Par conséquent, les médications intracanales trouvent leurs indications en interséance, puisque leurs usages ciblent la désinfection du canal, la réduction de la croissance bactérienne et de la douleur.

Les plus couramment utilisés sont les antibiotiques, les dérivés des phénols, les aldéhydes, les dérivés iodés, les corticostéroïdes et l'hydroxyde de calcium. Les phénols et les aldéhydes se sont révélés toxiques sur les tissus périapicaux et accèdent à la circulation systémique, la recherche a démontré leur inefficacité en tant que médicament intracanal [2]. Les corticostéroïdes sont plutôt prescrits pour réduire la douleur post opératoire en supprimant l'inflammation, plus que pour inhiber la croissance des germes, domaine où l'hydroxyde de calcium est le plus efficace.

Même s'il n'assure pas la complète éradication de toutes les espèces bactériennes du réseau canalaire [3], ce dernier reste très largement utilisé lors des traitements endodontiques, et ses indications sont multiples en odontologie conservatrice.

L'élimination complète de ce matériau est complexe. Cependant, il est primordial de n'avoir aucun ou très peu de résidus d'hydroxyde de calcium avant l'obturation, sous peine de compromettre la réussite du traitement endodontique.

Nous verrons dans cette thèse, après une partie dédiée à l'hydroxyde de calcium, les différents moyens pour réaliser son éviction avant obturation du réseau canalaire. Une troisième partie, expérimentale, testera les capacités de dépose d'un nouveau dispositif dédié à la finition de l'ampliation, le XP-Endo[®] *Finisher*, en comparaison à celles de l'Irrisafe[®].

I. L'hydroxyde de calcium

1. Historique

En 1838 apparait la toute première référence de l'hydroxyde de calcium par Nygren. Il ne fut réellement introduit qu'en 1920, par Hermann, avec le CALXYL composé de bicarbonate de soude, de chlorure de sodium, de chlorure de calcium, de chlorure de potassium et d'hydroxyde de calcium [4].

Au milieu du 20^e siècle, les pays Scandinaves l'employaient pour des coiffages pulpaires sur dents vitales où ils constataient la formation d'un pont dentinaire (Nyborg 1955) [5]. Il a été par la suite utilisé de façon empirique lors des traitements endodontiques. Les premiers utilisateurs ont remarqué un résultat bénéfique sur l'exsudation des tissus périapicaux lorsqu'ils le posaient dans le réseau canalaire. On lui a ainsi attribué des propriétés anti-inflammatoires par ses capacités de réparation sur ces tissus [6].

À la suite de nombreuses recherches sur ce matériau, la commercialisation de produits en contenant fut de plus en plus importante. Le DYCAL, apparu en 1962, en fut le précurseur : l'hydroxyde de calcium devient un matériau d'usage courant chez les chirurgiens-dentistes.

2. Propriétés physico-chimiques

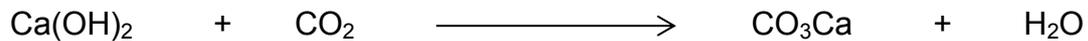
a) Composition

Sa formule, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, est une base alcalino terreuse appelée « chaux éteinte » ou « chaux hydratée ». L'hydroxyde de calcium est obtenu à partir de l'oxyde de calcium ou chaux vive : en présence d'eau, l'oxyde de calcium réagit fortement pour donner de l'hydroxyde de calcium, et s'accompagne d'un fort dégagement de chaleur [4].



b) Carbonation

L'hydroxyde de calcium est instable. Au contact du dioxyde de carbone atmosphérique, il subit une carbonation et se transforme en carbonate de calcium inactif.



La carbonation altère les propriétés des solutions aqueuses d'hydroxyde de calcium, notamment une qui est essentielle : la basicité. Il est donc indispensable de conserver l'hydroxyde de calcium dans un endroit à l'abri de l'air [4].

Il peut se trouver sous la forme de préparations commerciales conditionnées sous forme de seringues (Calxyl[®], Pulpdent[®]) prêtes à l'emploi. La forme galénique la plus répandue est une association d'hydroxyde de calcium (78%) et de sulfate de baryum (22%) sous forme de poudre pour des préparations magistrales. Le mélange de cette poudre avec du sérum physiologique permet d'obtenir plusieurs consistances de pâte, plus ou moins épaisses [1].

c) Solubilité

L'hydroxyde de calcium est très peu hydrosoluble. En conséquence, il ne provoquera qu'une nécrose superficielle des tissus, contrairement à des composés très hydrosolubles tels que l'hypochlorite de sodium, qui entraîne des nécroses profondes. Pour son activité cytotoxique envers les cellules hôtes, il ne peut être utilisé comme médicament en interséance.

De ce fait, l'hydroxyde de calcium est parfaitement biocompatible et peut être posé en grandes quantités dans le réseau canalaire sans entraîner d'irritations sur les tissus périapicaux.

La solubilité de l'hydroxyde de calcium a été mesurée par AMADEO, où il montre qu'elle décroît avec la température [4].

Tableau n°1 : Solubilité de l'hydroxyde de calcium

°C	Solubilité du Ca(OH) ₂ <i>en grammes, pour cent grammes de solution saturée</i>
0	0,185
25	0,120
75	0,075
100	0,071

d) pH

Le pH de l'hydroxyde de calcium est d'environ 12,5. Il est éloigné de celui de la pulpe, qui se situe entre 6,9 et 7,1.

C'est l'ion OH⁻ qui procure la basicité aux solutions aqueuses. Cependant, comme nous l'avons expliqué plus haut, sa faible solubilité s'oppose à sa diffusion alcaline toxique dans les tissus. Ce pH élevé sera au contraire un atout majeur pour lutter contre la prolifération bactérienne.

3. Indications en odontologie conservatrice

En plus d'être utilisé comme antiseptique lors des traitements endodontiques, l'hydroxyde de calcium est utilisé lors de techniques d'apexification et est également utile pour prévenir les résorptions radiculaires de type inflammatoire.

Bien qu'actuellement le MTA lui soit préféré, il peut être utilisé en coiffage pulpaire. Sa capacité de stimulation de formation de tissus calcifiés nous permet d'obtenir une protection pulpaire et l'élaboration d'un pont de dentine réactionnelle néoformée [1].

4. Propriétés relatives à son utilisation en interséance

a) Propriétés anti-inflammatoires

Les ions hydroxyles agissent contre les composés acides des réactions inflammatoires au niveau de la région périapicale.

Leur causticité facilite l'hémostase. Il peut donc être utilisé lors d'un traitement endodontique initial sur une pulpe enflammée, éventuellement hémorragique [1].

b) Propriétés antiseptiques

La majorité des pathogènes présents dans l'endodonte est incapable de survivre dans un milieu alcalin, plusieurs espèces qui colonisent les canaux infectés sont éliminées par un contact direct avec la substance.

Mode d'action :

Lorsque le $\text{Ca}(\text{OH})_2$ est associé à une solution aqueuse, il se dissocie en ions OH^- et Ca^{2+} .

Ces ions sont libérés dans le réseau canalaire de manière contrôlée, prolongée dans le temps, des qualités conduisant à un excellent effet thérapeutique.

Les ions hydroxyles OH^- libérés lors de sa dissociation ionique sont responsables des propriétés antiseptiques (*Oxford, dictionary of chemistry*). Ces ions se comportent comme des radicaux libres, l'interaction avec les bactéries est considérable et ne diffuse pas en dehors du site.

En outre, il baisse le niveau d'oxygène et augmente le pH des tissus périapicaux.

Leur effet létal sur les cellules bactériennes est probablement dû à plusieurs mécanismes [7] :

- **Atteinte de l'intégrité cellulaire : dommages à la membrane cytoplasmique**

La membrane cytoplasmique possède d'importantes fonctions indispensables à la survie cellulaire, comme la perméabilité sélective de certains composants transitant dans la cellule, la phosphorylation oxydative et l'excrétion de certaines enzymes.

Les ions hydroxyles induisent la peroxydation des lipides, entraînant la destruction des phospholipides (composants essentiels de la membrane cellulaire). Ils extraient les atomes d'hydrogène des acides gras insaturés, générant un radical libre lipidique. Ce dernier réagit avec l'oxygène et forment ensemble un peroxyde lipidique qui extrait un nouvel atome d'hydrogène, générant un nouveau peroxyde lipidique : les peroxydes engendrent eux-mêmes une réaction en chaîne jusqu'à la destruction membranaire.

- **Dénaturation des protéines**

Le métabolisme cellulaire est hautement dépendant de l'activité enzymatique. Le bon fonctionnement des enzymes ainsi que leur stabilité dépendent d'un intervalle de pH proche de la neutralité. L'augmentation de pH par les ions hydroxyles altère la structure tertiaire des protéines, rendant leurs conformations spatiales irrégulières : elles perdent leurs propriétés biologiques, induisant une perturbation du métabolisme cellulaire.

- **Interaction avec l'ADN bactérien**

Les ions hydroxyles réagissent avec l'ADN, jusqu'à entraîner la scission des brins. La réplication de l'ADN est entravée, les radicaux libres provoquent des mutations létales.

- Barrière physique

En plus de leur activité chimique antiseptique, les médications intracanales agissent également comme des barrières physiques aux infiltrations bactériennes, inhibant la prolifération des entités résiduelles, et prévenant la réinfection du canal.

c) Propriétés inhibitrices de l'activité ostéoclastique

Les mécanismes par lesquels les micro-organismes provoquent la lyse osseuse périapicale ne sont pas encore complètement compris.

La formation ostéolytique périapicale serait causée par l'infection pulpaire et par les bactéries gram-négatives présentes de façon majoritaire au sein de la flore intracanales.

En effet, il est clairement établi que l'un de leurs composants, le lipopolysaccharide (LPS), situé au niveau de la membrane bactérienne externe, est un acteur majeur de ces résorptions périapicales.

En plus de stimuler le relargage de TNF α et d'interleukine 1, il potentialise la sécrétion de prostaglandines E2 chez les cellules hôtes, médiateurs de l'activité ostéoclastique, même à faible concentration.

Le traitement par hydroxyde de calcium détruit les liaisons ester indispensables aux propriétés biologiques du LPS, notamment en dégradant le lipide-A responsable de sa toxicité et de la majorité de ses activités biologiques telle que l'activation des macrophages. Ceci induit une inhibition de l'activité ostéoclastique [8,9].

De plus, les ions hydroxydes neutralisent l'acide lactique sécrété par les ostéoclastes, prévenant ainsi la destruction du tissu osseux [10].

d) Aide à la reminéralisation osseuse périapicale

Il semblerait que l'hydroxyde de calcium ait la propriété unique de provoquer la minéralisation de tissus qui, à la base, ne sont pas programmés pour. Il n'est pas admis que ce matériau induit du tissu osseux mature. Cependant, Rasmussen et Mjor (1971) ont constaté qu'il induirait la formation d'un tissu fibreux avec des régions de tissu osseux immature. Un contact direct avec la substance est tout de même nécessaire afin d'obtenir cette réaction [10].

Le $\text{Ca}(\text{OH})_2$ reste un initiateur et non un substrat. En effet, les ions Ca^{2+} issus de sa dissociation ne sont pas incorporés dans les tissus en minéralisation.

Son rôle de précurseur dans la réparation des tissus est encore flou. Les ions hydroxydes auraient un effet sur les voies enzymatiques, en potentialisant la phosphatase alcaline qui fonctionne de manière optimale à un pH égal à 10,2. Cette dernière contribue à la formation de tissus durs.

Le rôle des ions Ca^{2+} est moins clair. Des hypothèses comme la stimulation des phosphatases alcalines, une augmentation des pyrophosphatases calcium dépendantes et de la réponse immunitaire ont été émises [6,10]. En revanche, leur rôle est clairement établi concernant la stimulation de la prolifération et de la migration cellulaire [11].

e) Dissolution des tissus nécrosés

La capacité du $\text{Ca}(\text{OH})_2$ à dissoudre les tissus nécrotiques a été reportée par Hasselgren et al (1988). Son action est similaire à l'hypochlorite de sodium, en moins efficace. Cependant, ce manque d'efficacité est compensé puisque son action est maintenue de manière prolongée dans le canal, pour un effet thérapeutique continu [10].

Certains ont préconisé une association entre l'hypochlorite de sodium et l'hydroxyde de calcium. Par ailleurs, un traitement préalable à l'hydroxyde de calcium potentialiserait l'effet de dissolution des tissus par l'hypochlorite de sodium [12].

5. Limites du Ca(OH)₂

a) Exsudation des tissus périapicaux

Les propriétés antiseptiques sont dues essentiellement au pH élevé de ce matériau. Cependant, dans le cas d'une exsudation importante des tissus périapicaux en direction coronaire, le pouvoir alcalin est nettement diminué, le pH peut atteindre 8 dans la partie la plus apicale du canal. Le matériau perd ses propriétés antiseptiques, mais garde son activité anti-inflammatoire qui engendrera l'arrêt de l'exsudation [6]. La pose de l'hydroxyde de calcium peut être ainsi renouvelée dans un deuxième temps pour rétablir son activité antibactérienne.

b) Canalicules dentinaires

Certaines études ont montré son inefficacité contre les bactéries enfouies dans les tubuli dentinaires. La dentine qui compose ces canalicules possède un pouvoir tampon dû aux ions H_2PO_4^- , H_2CO_3 et HCO_3^- qu'elle contient.

L'hydroxyde de calcium demeure inefficace dans ces zones où le pH redevient proche de la neutralité. Par conséquent, son rôle de prévention contre les réinfections a été remis en question. La *smear layer* peut également être un obstacle physique gênant la pénétration du matériau dans ces canalicules [7].

c) Résistance de certaines espèces bactériennes

Molander et al (1998) ont établi la microbiologie de 100 racines atteintes d'une lésion périapicale. Les bactéries anaérobies facultatives représentaient 69% des souches identifiées. Les entérocoques ont été trouvés dans 32% des dents, dont *Enterococcus faecalis*.

Cette bactérie résiste dans un environnement alcalin, apparemment grâce à un mécanisme de pompes à protons spécifiques et un système enzymatique qui maintient le pH cytoplasmique propice à son bon fonctionnement [7].

Une autre cause de la résistance de cette bactérie serait sa capacité à se développer dans les anfractuosités et les canalicules dentinaires [1], dans lesquels l'hydroxyde de calcium est inefficace. En conséquence, son pouvoir bactéricide n'agit pas ou très peu contre cette bactérie.

De plus, son incapacité face à certaines bactéries peut être due à plusieurs raisons :

- Les souches bactériennes sont intrinsèquement résistantes à la médication.
- Les cellules bactériennes possèdent des variations anatomiques.
- Les bactéries produisent des composés neutralisant l'effet antibactérien.
- Le temps d'application de la médication est insuffisant.

Pour obtenir une efficacité antibactérienne optimale, il est nécessaire que l'hydroxyde de calcium soit en contact avec les bactéries sur une durée suffisante. Les études sont controversées sur ce temps nécessaire qui, de nos jours, n'est toujours pas déterminé.

6. Adjonction de véhicules à l'hydroxyde de calcium

a) Généralités

Enormément de substances ont été utilisées en association à l'hydroxyde de calcium. Elles ont des hydrosolubilités différentes, et ne doivent pas faire varier son pH élevé de façon significative.

L'eau distillée, la solution saline et la glycérine n'ont pas d'activité antibactérienne propre, contrairement à la chlorexidine ou au CMPC (*camphorated paramonochlorophenol*).

b) Glycérine

L'association avec la glycérine semble plus intéressante que la solution saline car elle a une influence positive sur la pose de l'hydroxyde de calcium, notamment concernant sa densité dans le canal, jusqu'au tiers apical [13].

Cependant, plus la concentration de glycérine augmente, plus la dissociation de l'hydroxyde de calcium diminue entravant par conséquent son efficacité [14].

c) Propylène glycol

Certains vecteurs comme le propylène glycol, influencent la vitesse de dissociation ionique. L'eau distillée permet un relargage rapide des ions OH^- , alors que le propylène glycol permet une dissociation lente, et sera donc plus utilisé dans le but d'une apexification [15].

Cette substance associée compliquerait l'éviction du $\text{Ca}(\text{OH})_2$, en comparaison à l'eau distillée [15]. Il en est de même pour d'autres véhicules comme l'huile de silicone.

d) CMPC (*camphorated paramonochlorophenol*)

Le CMPC (*camphorated paramonochlorophenol*) est connu pour son activité antibactérienne. Siqueira, Steven et Grossman préconisent cette association, car le CMPC a été considéré comme plus efficace contre les entérocoques, notamment contre *E. Faecalis*, ce qui pourrait pallier la défaillance de l'hydroxyde de calcium à ce niveau.

De plus, l'association glycérine, CMPC et $\text{Ca}(\text{OH})_2$ a une efficacité significative sur les bactéries dans les canalicules dentinaires en une heure seulement, excepté pour les entérocoques qui nécessitent un jour d'exposition. Il est donc plus considéré comme une médication associée plutôt qu'un véhicule.

Malgré le fait qu'il montre des résultats biocompatibles [17], le CMPC reste un dérivé des phénols. Ces derniers se sont révélés caustiques, capables de détruire les tissus de l'hôte [2]. Par conséquent, l'hydroxyde de calcium a un effet bactéricide global plus intéressant [16].

e) Chlorhexidine

La chlorhexidine est un autre médicament intracanalair, qui potentialise l'effet de l'hydroxyde de calcium lorsqu'il lui est associé : dans un essai clinique randomisé, Manzur et al ont montré un taux de bactéries réduit de 99%.

Ce mélange induit une plus grande activité antimicrobienne en comparaison avec une solution saline [2].

Cependant, la chlorhexidine réagirait avec le NaOCl, pour former un composé cytotoxique et très probablement carcinogène nommé "parachloroaniline" [18].

7. Méthode de pose

La mise en place adéquate du Ca(OH)_2 est importante pour pouvoir bénéficier de tous les effets biologiques qu'il peut apporter. L'instrument doit être capable de l'introduire dans le canal à la longueur de travail, avec une densité satisfaisante.

Il a été établi que le plus efficace est le lentulo, qui possède toutes ces qualités. Il permet également la meilleure qualité de remplissage du canal en établissant une masse homogène sur les parois canalaires, jusqu'à la portion la plus apicale, même de faible diamètre.

Les éventuelles courbures canalaires ne compromettent aucunement son efficacité [19].

Cependant, il est indispensable de l'utiliser correctement :

- Rotation constante de l'instrument
- Le garder en contact des murs canalaires
- Le positionner à 2 mm de la longueur de travail
- Effectuer deux applications de pâte

Une troisième application ne change rien au résultat de remplissage du canal [13].

8. Conséquences d'une dépose inefficace de l'hydroxyde de calcium

a) Interaction avec l'oxyde de zinc eugéol (ZnOE) infiltrations, mauvaise étanchéité apicale

Le ciment de scellement doit assurer un joint fin entre la gutta-percha et les parois canalaires, tout en participant à l'obturation tridimensionnelle du réseau. Les ciments à base d'oxyde de zinc eugéol font partie des plus anciens et ont été les plus fréquemment utilisés [1].

La rétention d'hydroxyde de calcium notamment au niveau du tiers apical nuit à la qualité du scellement. En effet, des opérateurs ont remarqué une réduction de la viscosité du ciment, une gêne à l'insertion des cônes qui n'atteignent la longueur de travail [20].

La couche du ciment au contact de l'hydroxyde de calcium est essentiellement détruite.

Ricucci a matérialisé cette réaction avec un rapport de cas [5].

La mise en place d'hydroxyde de calcium sur une dent nécrosée avec une importante lésion périapicale a été réalisée, suivie de l'obturation à la gutta percha et ciment à l'oxyde de zinc eugéol. La régression de la lésion périapicale a été constatée. Néanmoins, une radioclarité est apparue huit mois plus tard, apicalement à l'obturation canalair. Après quatre ans, cette radioclarité s'est étendue.



Figure 1 : Illustration du défaut d'étanchéité apicale dû à une dépose incomplète de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ [5]

(A) Après obturation (B) Huit mois plus tard : une zone radioclaire est apparue en apical de l'obturation. La lésion périapicale a considérablement régressé (C) Quatre ans plus tard : la zone radioclaire a augmenté entre les parois canalaires et le matériau d'obturation.

Le développement de ce hiatus après l'obturation est le résultat de la dissolution du $\text{Ca}(\text{OH})_2$, suite à une mauvaise dépose de ce matériau.

Dans une autre étude de Margelos, son effet sur le matériau d'obturation a été analysé par une technique de spectroscopie.

L'ampleur de l'implication du $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sur le mode d'action du ZnOE est apparemment dépendante de la surface canalaire qu'il recouvre. Cette surface, si elle est très étendue, serait d'autant plus délétère pour l'efficacité du scellement. Cependant, même des surfaces réduites (telles que la région apicale) peuvent engendrer des conséquences néfastes, altérant le pronostic du traitement endodontique de la dent sur le long terme [20].

De plus, les résidus de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ réduisent l'écoulement, diminuent le temps de travail et de prise des ciments de scellement, favorisant la création de hiatus dans le matériau d'obturation [21].

Des infiltrations apparaissent entre les murs dentinaires et le ciment, entre les cônes de gutta et le ciment, et dans le ciment lui-même.

Lorsque l'hydroxyde de calcium est mélangé à l'oxyde de zinc eugénol, un composé est formé : *le calcium eugénolate*. Il se montre plus soluble, moins étanche et engendre une épaisseur plus conséquente que le ciment de scellement d'origine. De plus, ce composé possède une structure granuleuse de consistance fragile, cassante, ce qui affaiblit l'obturation sur le long terme.

Les auteurs concluent, dans l'étude de Kim, qu'il y aurait davantage d'infiltrations et de défauts d'étanchéité apicale sur les dents traitées par hydroxyde de calcium [22].

b) Absence de pénétration du matériau d'obturation dans les tubuli dentinaires

L'examen au microscope électronique à balayage a permis de visualiser la barrière physique formé par l'hydroxyde de calcium au niveau des canalicules dentinaires.

La figure 2 ci-dessous montre une paroi dentinaire dépourvue d'hydroxyde de calcium, où le matériau d'obturation s'infiltré dans les tubuli dentinaires.

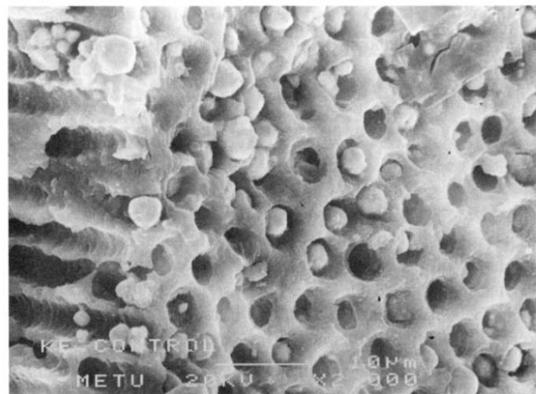


Figure 2 : Illustration de la pénétration du matériau d'obturation dans les tubuli

Source : *Dentinal Tubule Penetration of Root Canal Sealers after Root Canal Dressing with Calcium Hydroxide [24]*

Lorsque l'hydroxyde de calcium n'est pas bien déposé, le matériau ne comble pas les tubuli (fig 3).

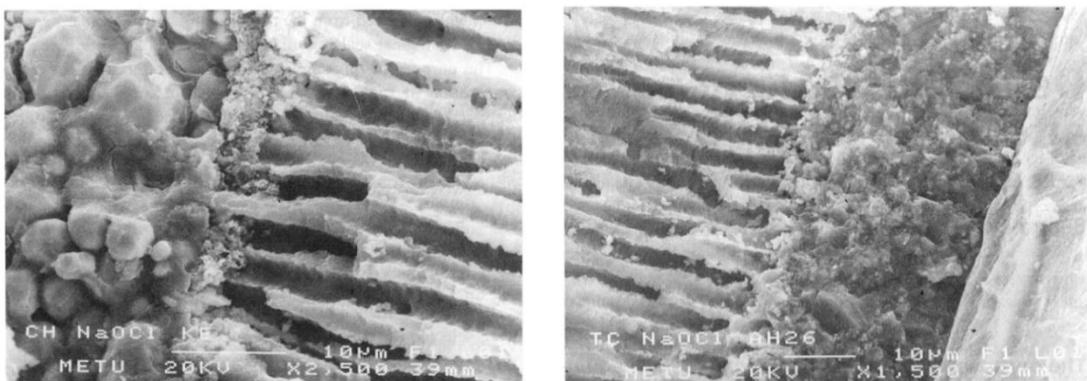


Figure 3 : Absence d'infiltration du matériau d'obturation dans les tubuli

Source : *Dentinal Tubule Penetration of Root Canal Sealers after Root Canal Dressing with Calcium Hydroxide. [24]*

Lorsque l'hydroxyde de calcium est déposé de façon acceptable, le matériau pénètre les tubuli dentinaires (*figure 4 et 5*).

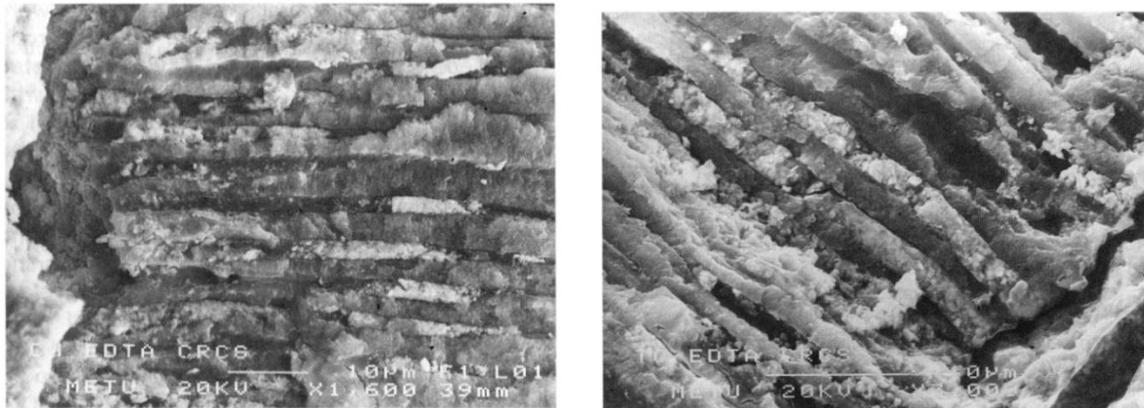


Figure 4 : Infiltration du ciment d'obturation dans les tubuli

Source : Dentinal Tubule Penetration of Root Canal Sealers after Root Canal Dressing with Calcium Hydroxide. [24]

Ce comblement est important, il améliore considérablement la qualité d'obturation en augmentant le volume obturé du réseau canalaire. L'élimination de l'hydroxyde de calcium et de la *smear layer* accroît la possibilité de remplissage des tubuli [24].

c) Interaction avec les localisateurs d'apex

Les localisateurs d'apex font partie de l'arsenal thérapeutique basique du chirurgien-dentiste. Ils permettent d'obtenir des traitements endodontiques prévisibles de haute qualité en réalisant un calcul précis de la longueur de travail.

L'étude d'Ustun montre clairement une différence significative entre un groupe de dents dépourvues d'hydroxyde de calcium, et un autre avec quatre millimètres de ce matériau. En effet, la fiabilité des localisateurs diminue si le taux de résidus est important [25].

Une autre étude d'Uzunoglu a montré des différences significatives entre un groupe de dents ayant de nombreux résidus d'hydroxyde de calcium dans leurs réseaux canaux, par rapport à un groupe qui en possède moins [26].

II. Méthodes d'élimination de l'hydroxyde de calcium

1. Élimination par différentes méthodes d'irrigation

a) Les solutions d'irrigation

- L'Hypochlorite de sodium (NaOCl)

Le NaOCl est la solution d'irrigation la plus utilisée en odontologie, elle possède un large spectre anti bactérien, son efficacité a été démontrée non seulement sur les bactéries, mais également sur les spores, levures et virus [1].

Concernant l'efficacité de nettoyage du $\text{Ca}(\text{OH})_2$, Byström et Sundqvist ont testé l'action de l'hypochlorite de sodium par rapport au sérum physiologique (1983). Ils ont démontré que le premier agent était bien plus efficace que le deuxième, lorsqu'il était associé à une instrumentation ultrasonore.

Le NaOCl est efficace contre les matières organiques, or l'hydroxyde de calcium n'en fait pas partie. Sa supériorité face à l'eau n'est donc pas due à sa capacité à dissoudre les tissus, mais à plusieurs raisons [27] :

- Le NaOCl n'a pas les mêmes propriétés physiques que l'eau : il est constitué d'une suspension d'eau salée, les bulles qui s'y forment ont tendance à être plus nombreuses que dans l'eau. Par conséquent, les micro-diffusions seraient plus puissantes. Le chlore sous forme gazeux se dissout dans les bulles de l'irrigant sous la contrainte de l'irrigation passive ultrasonore et engendre une influence sur l'efficacité de l'oscillation.
- Sa capacité d'oxydation et d'hydrolyse des protéines cellulaires et son hypertonicité permet, par diffusion, l'évacuation des fluides.

Malgré ses nombreuses qualités, le NaOCl utilisé seul n'est pas suffisant pour une dépose efficace de l'hydroxyde de calcium, son inefficacité est similaire à celle de l'eau [28].

- Éthylène Diamine Tétra-Acétique (EDTA), acide édétique

L'EDTA a été introduit en endodontie en 1957 par Nygaard-Ostby pour ses propriétés chélatantes. Il est particulièrement efficace contre la *smear layer* [34]. Par conséquent, il potentialise l'effet des médicaments intracanaux telles que l'hydroxyde de calcium.

Concernant l'élimination de ce dernier, il se montre bien plus performant que l'hypochlorite de sodium grâce à sa capacité de dissolution des matières inorganiques, notamment calciques [24,26].

- Acide citrique

L'usage de l'EDTA et de l'acide citrique, comparé à celle de l'hypochlorite, est significativement plus efficace [29]. Les complexes formés entre le calcium et l'acide citrique seraient d'ailleurs plus importants que ceux formés par l'EDTA [30]. Cependant, aucune différence significative n'a été mise en évidence concernant ces deux irrigants.

- Acide péracétique

L'acide péracétique a également été testé. Avant d'être délaissé, il était utilisé en Allemagne comme solution d'irrigation pour la désorganisation du biofilm. Ce composé est un désinfectant puissant utilisé dans l'industrie alimentaire, le traitement de l'eau, la décontamination et la stérilisation de l'équipement médical.

Une concentration à 2,25% a une efficacité comparable à 17% d'EDTA sur la *smear layer*. Cette dose est caustique pour les muqueuses, par conséquent une concentration à 0,5% est recommandée. L'acide péracétique crée des complexes avec les ions calcium, où ils demeurent dans la solution sans précipiter, tout en étant solubles dans l'eau.

Dans l'étude de *Burak Sagsen*, cet irrigant est significativement supérieur à l'EDTA dans la dépose de l'hydroxyde de calcium.

Néanmoins, avant de le proposer comme une potentielle alternative à l'EDTA ou l'acide citrique, des investigations supplémentaires sont nécessaires concernant sa toxicité, son activité cytotoxique et son potentiel d'irritation sur les tissus [28].

b) Irrigation manuelle

L'irrigation manuelle se fait à l'aide d'une seringue d'irrigation, introduite dans le canal puis la solution est injectée.

Son action de rinçage est faible. Elle n'est pas seulement dépendante de l'anatomie canalaire mais également du diamètre de l'aiguille et de sa profondeur de pénétration dans le canal [31]. En effet, l'irrigant ne va pas plus loin que 1 mm de l'aiguille (Boutsiokis et al, 2009). En outre, l'amener trop profondément augmente considérablement les chances d'extrusion d'irrigant et d'irritation du périapex.

La pression créée par l'injection du fluide induit une résistance de l'air en apical, zone par conséquent non atteinte par l'irrigant. Les ultrasons ont la capacité de rompre cette résistance de l'air, permettant l'accès de l'irrigant au tiers apical [32].

Cette méthode est malheureusement trop peu efficace pour réaliser une éviction correcte de l'hydroxyde de calcium et a montré son infériorité par rapport à bon nombre de techniques.



Figure 5 : Seringue manuelle

Source : <http://www.jolydent.fr/>

c) Irrigation passive ultrasonore

L'irrigation ultrasonore est dite passive, cela sous-entend qu'elle ne met pas en forme le canal et préserve la dentine.

Elle est basée sur la transmission d'énergie : une oscillation ultrasonore est transmise à l'irrigant à l'intérieur du canal. L'irrigant est d'abord injecté, puis activé. Il a été démontré qu'une solution d'irrigation en combinaison avec des vibrations ultrasonores était directement associée à une dépose des débris organiques et inorganiques des parois canalaires [31]. Cet instrument est positionné après préparation canalair, sans contact avec les parois dentinaires, ce qui lui procure une activité plus puissante [27].

Même si dans les deux cas, des résidus d'hydroxyde de calcium persistent, Selon les études de Ahmetoglu et Van der Sluis, l'irrigation passive ultrasonore a donné de biens meilleurs résultats dans les tiers médian et apical par rapport à l'irrigation manuelle classique [27,33].

Tuopcuoglu a testé l'efficacité de plusieurs méthodes d'irrigation sur des dents atteintes de résorptions internes. L'irrigation passive ultrasonore est significativement supérieure aux autres méthodes testées, par sa capacité à atteindre les irrégularités canalaires [34].

Cependant, Balvedi et al [31] ont découvert qu'elle n'était pas pleinement efficace et particulièrement au niveau du tiers apical. En effet, elle n'élimine pas en totalité les résidus d'hydroxyde de calcium.

Figure 6 : Lime d'irrigation passive ultrasonore (Irrisafe®) [52]



d) L'EndoActivator[®] (Dentsply Tulsa Dental Specialties) (système d'activation sonore)

Le principe de l'EndoActivator[®] est l'activation des solutions d'irrigation dans les canaux au cours du traitement endodontique. Il est constitué d'une pièce à main sonore sans fil, qui permet d'activer la vibration d'inserts en plastique flexibles à une fréquence de 10 000 cycles par minute. Ils sont non travaillants sur la dentine et se conforment à la préparation canalaire finale. Cet instrument génère un fluide hydrodynamique facilitant l'élimination de la boue dentinaire et du biofilm bactérien.

Le mode de vibration sonore est différent de celui des ultrasons : la vibration ultrasonore engendre une série de nœuds (zones d'oscillation minimum) et d'anti-nœuds (zone d'oscillation maximum) sur la longueur des inserts. La vibration sonore n'engendre qu'un nœud au niveau de l'attache de l'insert sur la pièce à main et qu'un anti nœud à son extrémité. L'insert de l'Endoactivator[®] est placé à 1mm de la LT, avec des mouvements de va-et-vient verticaux, pendant 1 minute après instillation dans le canal de 1ml d'EDTA et pendant 30 secondes après instillation de 3 ml de NaOCl [1].

Dans l'étude d'Alturaiki, la dépose de l'hydroxyde de calcium a été significativement plus efficace lors de l'élaboration de ce système en comparaison avec le groupe test (irrigation classique d'injection de NaOCl et d'EDTA avec une seringue d'irrigation manuelle), dans le tiers coronaire, médian et apical. De plus, son utilisation a permis un résultat significativement plus satisfaisant que le système ProUltraPiezoFlow[®], et EndoVac[®] [35]. Une autre étude a montré que cet instrument irriguait les canaux accessoires de façon plus efficace que l'irrigation manuelle [36].

Son utilisation dans les canaux courbes semble intéressante. Il a montré sa supériorité par rapport à l'irrigation manuelle et l'irrigation passive ultrasonore (lime non précurbée). En revanche, il n'a pas montré de différences par rapport à une lime ultrasonore courbée [32].

Cependant l'étude d'Arslan [37] n'a pas montré de différence significative entre cet instrument et l'irrigation manuelle.

Selon lui, la vitesse de pointe sonore est inférieure à ce qu'il est nécessaire pour entraîner la cavitation. Une autre étude de Wiseman a montré la supériorité de l'irrigation passive ultrasonore sur l'activation sonore [36]. En conclusion, à cause de résultats contradictoires et par manque de preuves, aucune étude n'a pu démontrer la supériorité de l'irrigation ultrasonore par rapport à l'irrigation sonore (EndoActivator®) concernant la dépose de l'hydroxyde de calcium au niveau du tiers apical de la dent [38].

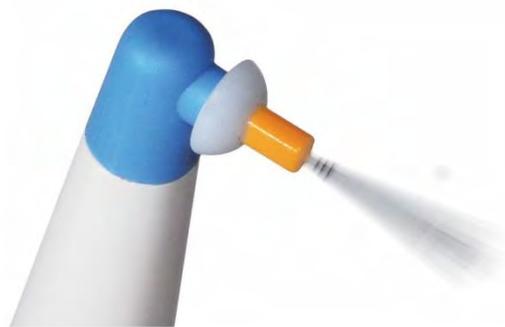


Figure 7 : EndoActivator®

Source : <http://www.dentsply.fr/>

e) Le système Proultra Piezo Flow® (Dentsply Tulsa)

Ce système a été présenté comme un outil efficace et innovant sur l'amélioration des techniques d'irrigation. Contrairement aux autres irrigants, cet instrument est relié à une seringue d'irrigation qui permet de fournir constamment un renouvellement de l'irrigant dans le canal.

Cela lui permettrait de s'introduire dans l'ensemble du réseau canalaire, de déloger les débris des isthmes et tubuli dentinaires et de promouvoir la désorganisation du biofilm.

Dans l'étude d'Alturaiki et al, aucune différence significative n'a été notée en comparaison avec l'irrigation classique, dans les trois parties du canal [35].



Figure 8 : Proultra Piezo Flow®

Source : *dentalproductshopper.com*

f) Le système EndoVac® (irrigation par pression négative apicale)

Contrairement aux autres dispositifs décrits, il ne s'agit pas d'un système d'activation mais d'un moyen de délivrer la solution de façon sûre et prévisible dans les derniers millimètres apicaux. Il est dérivé du concept d'irrigation par pression négative. La solution d'irrigation est déposée dans la chambre pulpaire et aspirée jusqu'à l'extrémité du canal par le biais d'une aiguille fine perforée, formant un circuit hydraulique.

Ce système permet de diminuer le risque d'accident à l'hypochlorite de sodium en comparaison avec une seringue d'irrigation simple, par conséquent, les douleurs postopératoires sont considérablement réduite [1].

Il a été montré comme plus efficace pour amener l'irrigant à la longueur de travail (Munoz et Camacho-Cuadra, 2012) et pour nettoyer les débris et la *smear layer* en comparaison avec l'irrigation classique (Shin 2010)

Concernant l'élimination de l'hydroxyde de calcium, des preuves solides ont démontré son impuissance par rapport à l'irrigation passive ultrasonore [34,39].



Figure 9 : EndoVac®

Source : *kerrdental.fr*

En conclusion, dans la revue de littérature de 2015 d'Ibrahim Ethem, toutes les études démontrent que l'efficacité de l'irrigation ultrasonore est nettement supérieure à l'irrigation par pression négative apicale [38].

g) Le système RinsEndo (irrigation hydrodynamique)

L'irrigation avec le système RinsEndo allie une activation hydrodynamique de la solution d'irrigation à une technologie d'aspiration. Il s'agit d'un dispositif automatique qui aspire de manière cyclique la solution d'irrigation à l'aide d'une seringue insérée et au moyen d'une canule jetable jusqu'à la longueur de travail. Cette technique a démontré une efficacité supérieure sur la capacité de pénétration de l'irrigant dans les tubuli dentinaires et sur l'élimination des débris par rapport à une irrigation manuelle classique [40,41,42].

Cependant, les études de Hauser et Khademi n'ont montré aucune différence significative entre le système RinsEndo et l'irrigation ultrasonore [40] sur l'hydroxyde de calcium dans le tiers cervical, médian ou apical [41].



Figure 10 : RinsEndo

Source : duerrdental.com

2. Elimination par l'utilisation d'instruments rotatifs

a) Instruments en NiTi

Une des recommandations était d'élargir le canal avec un diamètre de lime supérieur à la dernière lime de préparation, néanmoins cette méthode s'est avérée peu efficace (Porkaew et al 1990) [21].

Les instruments rotatifs en Nickel-Titane facilitent la procédure d'irrigation en préparant favorablement les canaux [43]. La méthode la plus répandue pour la dépose de l'hydroxyde de calcium dans les cabinets dentaires est la récapitulation de la dernière lime de préparation, associée à une irrigation manuelle abondante d'hypochlorite de sodium et d'EDTA après ampliation du canal [25, 35, 34].

Cette technique a été étudiée par Kenée, avec la séquence Profile[®] (Tulsa Dentsply). Il montre une différence significative entre cette méthode et l'irrigation seule, certainement dû à sa capacité à atteindre le tiers apical des canaux courbes. Elle n'a pas montré de différence significative avec le groupe de l'irrigation passive ultrasonore. Cette dernière montre tout de même une légère supériorité dans son étude.

Pourtant, Faria démontre que l'utilisation de l'instrumentation en rotation continue (Protaper[®], Dentsply) avec irrigation abondante à la seringue manuelle n'est clairement pas suffisante [44].



Figure 11 : Lime Protaper® (F2)

Source : Dentsply.com

Dans une autre étude de Khaleel, les instruments sonores et ultrasonores ont montré de biens meilleurs résultats que la lime seule du Protaper® (F2), (Dentsply). Ce dernier n'a montré aucune différence significative avec l'irrigation classique manuelle [45].

La section transversale des instruments et leur angle de coupe n'influencerait pas leur efficacité sur l'élimination de l'hydroxyde de calcium. Dadresanfar a confronté deux instruments en Nickel-Titane, Mtwo® (Dentsply) et Race® (FKG), où ces deux caractéristiques diffèrent. Aucun des deux ne s'est démarqué, les résultats obtenus dans l'étude sont semblables [46].

Certes, l'usage des instruments en rotation continue permet une mise en forme canalaire prévisible et adaptée permettant un accès radiculaire aux solutions d'irrigation. Toujours est-il qu'ils n'assurent pas à eux seuls le parage canalaire, et leur capacité de dépose de l'hydroxyde de calcium est clairement insuffisante.

b) Self adjusting file® (SAF) (ReDent-Nova)

Cet instrument en Nickel-Titane permet la préparation endodontique du canal, et une irrigation concomitante à l'élargissement canalaire, afin d'éradiquer plus aisément les débris dentinaires et les bactéries. Inspiré de la constitution des stents, son corps est creux et de la forme d'un treillis, ce qui lui permet de s'adapter à l'anatomie canalaire en étant moins rigide que les instruments « pleins ». La surface du lacis est abrasive et permettrait la préparation des parois dentinaires, le système d'irrigation délivre en continu 1 à 5 ml/min la solution au sein même de l'instrument.

De même que l'instrument XP-Endo® *Finisher* de FKG, il a davantage été présenté comme un instrument de finition après ampliatio

Les résultats de l'étude d'Ahmetoğlu montrent une supériorité significative de l'irrigation ultrasonore passive, dans les 3 parties du canal. Cette dernière engendre un flux d'irrigant de haute vitesse beaucoup plus important que le SAF [33].

De plus, l'étude de *Paranjpe et al* [47], a reporté que le système SAF présentait une préparation et une irrigation incontrôlées en apical. Il a également été noté qu'il n'est pas un instrument de pénétration et est trop souple pour accomplir l'élimination de la majeure partie des matériaux de remplissage des canaux, y compris les résidus de $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Leur complète élimination est loin d'être atteinte avec le système SAF, cela est certainement dû à l'irrigation insuffisante du système qui peine à atteindre l'ensemble de l'environnement canalaire.



Figure 12 : Self adjusting file®

Source : indiamart.com

3. Autres méthodes

La photo activation

Il s'agit de déposer le matériau à l'aide d'un protocole d'irradiation par laser. Cette technique est basée sur les phénomènes photoacoustiques et photomécaniques, ce qui diffère des autres techniques par agitation des solutions d'irrigation.

Elle consiste à utiliser de faibles niveaux d'énergie accompagnés d'impulsions courtes en microsecondes (50 μs). Dans cette technique, chaque impulsion

interagit avec les molécules d'eau, créant ainsi une expansion des ondes de choc de façon successive. Un puissant courant de fluide se forme et entraîne un déplacement en trois dimensions des solutions d'irrigation.

De plus, le dispositif n'a pas à être inséré jusqu'à la longueur de travail, car même s'il est positionné en coronaire, les microcavitations qu'il entraîne agissent sur le tiers apical.

L'étude d'Arslan montre une différence significative avec le groupe de l'irrigation manuelle, de l'instrument sonore, mais également de l'instrument ultrasonore. Les résultats de cette étude montrent une complète dépose du matériau des parois canalaires [37].

Des investigations supplémentaires sont nécessaires avant de confirmer sa supériorité face à l'irrigation passive ultrasonore [38].

4. Conclusion partie bibliographique

Il est admis qu'il est fastidieux de déposer l'hydroxyde de calcium, particulièrement au niveau du tiers apical [38]. De plus, la méthode la plus usitée dans les cabinets dentaires s'est révélée inadaptée.

Les études sont nombreuses concernant la performance de l'éviction de l'hydroxyde de calcium des différents systèmes.

La revue de littérature d'Ibrahim Ethem Yaylali parue en fin 2015 [38] a inclus la plupart de ces études après des critères de sélection particuliers.

Après évaluation, des hétérogénéités considérables ont été mises en évidence, des méthodologies et des analyses descriptives diverses ont été utilisées, par conséquent l'auteur a été dans l'incapacité de réaliser une méta-analyse.

En revanche, il a pu affirmer la supériorité du système d'irrigation activé par ultrasons par rapport à l'irrigation manuelle et les systèmes de pression négative apicale. Concernant les autres techniques innovantes d'irrigation, l'hétérogénéité des inclusions dans les études et le risque de biais (études non conduites en aveugle en majorité) ne permet pas d'affirmer des conclusions.

L'irrigation ultrasonore passive a su se distinguer par rapport à de nombreuses techniques, et demeure la référence.

A ce jour, il n'existe aucun consensus sur la meilleure méthode permettant d'éliminer efficacement l'hydroxyde de calcium, ce qui nous amène à tester un nouvel instrument innovant, dédié à la finition de l'ampliation canalaire.

Partie expérimentale

III. Comparaison de l'efficacité de dépose de l'hydroxyde de calcium intracanaire par deux instruments : Irrisafe[®] Vs XP-Endo[®] *Finisher*, sur l'ensemble de la surface canalaire et au tiers apical

1. L'XP-Endo[®] *Finisher*

L'Xp Endo[®] *Finisher* (FKG) est un instrument universel de conicité nulle et de diamètre ISO 25. Il est constitué d'un alliage exclusif FKG NiTi MaxWire (Martensite-Austénite, Electropolish-Flex) qui réagit à différents degrés de température.

Par conséquent, cet instrument repose sur le principe de la mémoire de forme : lors de sa phase austénitique qui apparaît à une température de 35°C, sa forme est incurvée. Un refroidissement de l'alliage provoque le retour à sa phase martensitique, où il possède un aspect rectiligne.



Figure 13 : Différentes phases de l'XP-Endo[®] *Finisher* [51]

L'XP-Endo[®] *Finisher* est à l'origine un instrument de finition de l'ampliation qui ne doit être utilisé qu'après une préparation canalaire d'au moins #25. Il a été conçu, grâce à sa flexibilité et sa forme particulière incurvée, pour le nettoyage du réseau canalaire dans les trois dimensions et ceci même malgré une anatomie canalaire complexe.

Il atteint les zones où les instruments classiques en NiTi ne peuvent accéder tout en respectant la morphologie canalaire et les parois dentinaires, comme le matérialise le schéma ci-dessous.

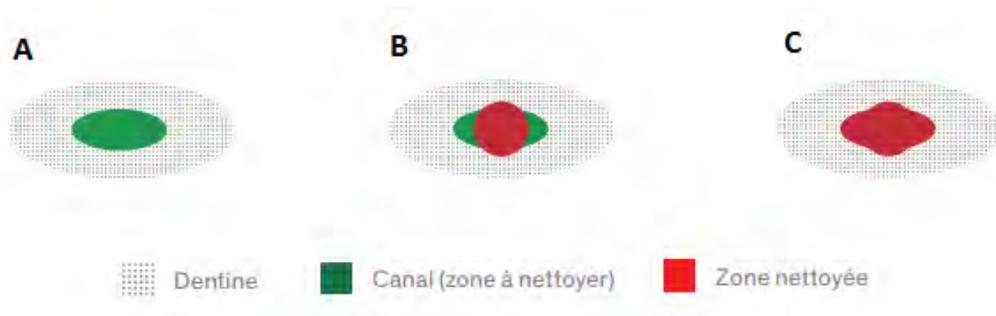


Figure 14 : Capacité de nettoyage de l'XP-Endo[®] *Finisher* [51]

A : Anatomie du canal initiale

B : Préparation avec limes NiTi classiques

C : Préparation avec limes NiTi classiques suivies de l'XP-Endo[®] *Finisher*

En effet, grâce à son extrême flexibilité et à sa capacité d'expansion du volume du champ de travail jusqu'à 100 fois supérieur à celui d'un instrument NiTi classique, l'XP-Endo[®] *Finisher* prétend permettre le nettoyage mécanique complet des canaux les plus complexes [51].

Toutes ces qualités lui permettent d'être un parfait candidat pour assainir efficacement les parois du Ca(OH)₂.

2. L'Irrisafe[®]

Actuellement, l'irrigation passive ultrasonore demeure la référence, par son efficacité supérieure aux autres instruments qui ont pu être testés. Dans cette étude, elle est représentée par L'Irrisafe[®].

Cet instrument est non travaillant sur la dentine, présente une pointe mousse et des spires non coupantes. Son design favorise la transmission des micro-courants dans les solutions d'irrigation. Il provoque un flux intense des fluides qui adoptent un mouvement circulaire tout autour de la lime tout en respectant l'anatomie de la constriction apicale.



Figure 15 : Fonctionnement de l'Irrisafe[®] [52]

Il serait particulièrement efficace dans le tiers apical, en potentialisant les solutions d'irrigation par un effet thermique qui décolle le biofilm et fait refluer les débris vers la surface [52].

3. Objectif de l'étude

Objectif : Tester l'efficacité de dépose du Ca(OH)_2 par l'XP-Endo[®] *Finisher*, en comparaison avec l'irrigation passive ultrasonore représentée par l'Irrisafe[®].

Dans l'étude de R. Wigler où il confronte ces deux instruments [53], aucune différence significative n'a été mise en évidence concernant leur efficacité. Une légère supériorité de l'irrigation passive ultrasonore a été relevée.

Cependant, il n'est pas précisé si l'instrument a été bien utilisé selon sa forme active, austénitique.

De plus, les opérateurs ont utilisé l'XP-Endo[®] *Finisher* pour une durée d'une minute seulement. Ce temps d'utilisation est certainement inadapté, insuffisant pour réaliser une éviction efficace de l'hydroxyde de calcium.

Concernant l'Irrisafe[®], les auteurs ont appliqué l'ancien protocole d'utilisation, sans tenir compte de la mise à jour faite par le fabricant. Précédemment, la lime devait être utilisée durant trois séries de 20 secondes, soit pour une durée totale de 60 secondes minimum, avec renouvellement de l'irrigant.

Récemment, la lime doit être mise en fonction pour une durée de 60 secondes à renouveler trois fois, soit pour une durée totale de 180 secondes, en renouvelant l'irrigant. Cette procédure est réitérée si l'opérateur constate une remontée de débris.

4. Matériels et méthodes

a) Préparation des dents

Quarante-huit dents extraites à apex matures, sans fêlures, fractures ou caries radiculaires ont été sélectionnées pour l'étude.

Après aménagement des voies d'accès endodontiques, la perméabilité apicale des dents a été vérifiée à l'aide d'une lime K 10 (FKG).

Elles ont été conservées dans l'hypochlorite de sodium pour la dissolution des tissus organiques puis dans une solution de formaldéhyde à 2,5%.

Les dents ont été séparées de leur couronne puis sectionnées à une longueur de 16mm à l'aide d'un disque, pour ainsi standardiser la longueur de l'ensemble des échantillons.

L'intégralité de la surface externe, y compris l'apex a été recouverte par deux couches de vernis de couleurs différentes, afin de s'assurer que tous les échantillons ont bien bénéficié de deux épaisseurs. Le but de cette application est d'éviter l'extrusion de l'irrigant en dehors du foramen apical et protéger la surface de la dent.

L'ensemble des dents a ensuite été répartie au hasard en quatre groupes :

- **Groupe 1** : 20 échantillons où l'hydroxyde de calcium sera déposé par l'XP Endo-Finisher[®]
- **Groupe 2** : 20 échantillons où le matériau sera déposé par l'Irrisafe[®]
- **Groupe 3** : 4 échantillons qui serviront de contrôle négatif (canaux exempts d'hydroxyde de calcium)
- **Groupe 4** : 4 échantillons qui serviront de contrôle positif (hydroxyde de calcium non déposé)

Les dents ont donc été numérotées de 1 à 48. La longueur de travail a été déterminée à 0,7 millimètre de moins que la longueur de la lime au foramen apical.

Les dents ont été préparées à l'aide d'instruments en rotation continue, par les limes FKG (séquence BT Race[®]) montées sur contre angle avec moteur réducteur endodontique (X-Smart, Dentsply, sirona, ballaigues Suisses).

La séquence est composée de trois instruments stériles à usage unique :

- BT1 : Elle effectue le cathétérisme et l'élargissement du tiers coronaire, elle possède une conicité élevée (6%) et un faible diamètre apical.
- BT2 : Elle réalise la préparation du tiers apical et a la particularité d'avoir une conicité nulle.
- BT3 : Elle est utilisée pour la mise en forme finale et a une conicité de 4%.



Figure 16 : Séquence BT-Race®

Source : fkg.ch

La séquence a été utilisée selon les recommandations du fabricant (Vitesse : 800 tours/min et couple : 1,5 Ncm), avec une irrigation abondante à l'hypochlorite de sodium après chaque passage de lime.

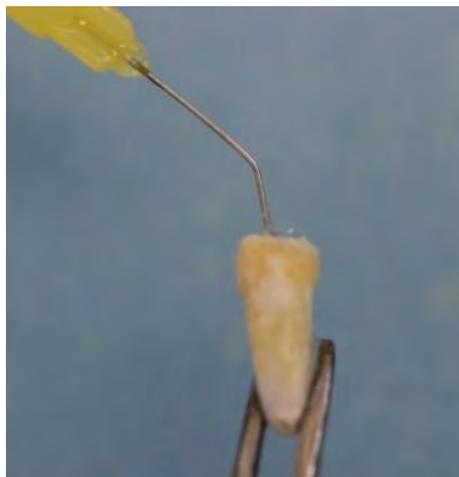


Figure 17 : Application de l'irrigant

Tous les spécimens ont été traités par hydroxyde de calcium, excepté le groupe de contrôle négatif. Le matériau a été utilisé sous forme de poudre associée à du sérum physiologique, à un ratio poudre/liquide de 1/1.5, puis spatulé sur une plaque de verre. Il a été injecté à l'aide d'un lentulo taille #30. La partie coronaire a été obturée par un Cavit (3M ESPE, Seefeld, Germany).

Des radiographies argentiques ont été réalisées pour assurer la mise en place correcte de l'hydroxyde de calcium, dont la radio-opacité est similaire à celle de la dentine.

Les échantillons ont été placés dans une étuve à 37°C et à 100% humidité durant une semaine, afin de simuler la situation clinique.

b) Protocoles de dépose

Pour les deux groupes, une aiguille Monoject™ a été utilisée, avec un diamètre de 27 Gauge. Cette aiguille a été insérée à LT-1, où l'irrigant a été délivré à une vitesse de 5ml/minute.

Concernant les solutions d'irrigation, l'hypochlorite de sodium est à une concentration de 2,6%. La solution chélatante utilisée est l'EDETAT® (Acteon Mérignac Bordeaux France) qui possède une concentration en acide édétic de 14%.

- **Groupe 1** : dépose de l'hydroxyde de calcium par l'XP-Endo® *Finisher*

L'instrument est fourni avec un tube en plastique permettant la détermination précise de la longueur de travail. La température de l'instrument est abaissée à l'aide du spray de refroidissement afin qu'il soit dans sa phase martensitique, où l'instrument est rectiligne. Le stop peut ainsi être positionné pour définir la longueur de travail.

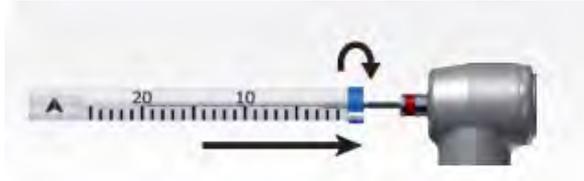


Figure 18 : Conditionnement de l'XP-Endo® *Finisher* [51]

Le XP-Endo® *Finisher* est mis en rotation afin de le sortir du tube en appliquant un appui sur les parois latérales. Seulement l'extrémité du tube doit être saisie manuellement afin d'éviter le réchauffement de la lime [51].

Cette dernière est insérée dans le canal à la longueur de travail, puis mise en rotation. De doux mouvements longitudinaux sont effectués sur 7-8 mm, afin de traiter l'ensemble du canal, tout en pratiquant un appui pariétal. A la fin de la procédure, l'instrument est retiré en rotation.

A l'aide du moteur X-Smart (Dentsply, sirona, ballaigues Suisses), l'instrument a été utilisé selon les recommandations du fabricant, à une vitesse de 800 tours/minute et un couple de 1 Ncm.

Protocole :

- Dépose de l'obturation coronaire
- Perméabilisation canalaire à l'aide d'une lime 15
- Irrigation à l'hypochlorite de sodium (2,5ml)
- Passage de la lime FKG BT3 à la longueur de travail
- Irrigation à l'hypochlorite de sodium (2,5ml)
- Séchage du canal à l'aide de pointes papier
- Mise en place de l'EDETAT® pendant 3 minutes (0,5ml)
- Rinçage à l'hypochlorite (2,5ml)
- Passage de l'XP-Endo® *Finisher* pendant 1 minute
- Irrigation à l'hypochlorite (2,5ml)
- Passage de l'XP-Endo® *Finisher* pendant 1 minute
- Irrigation à l'hypochlorite (2,5ml)
- Passage de l'XP-Endo® *Finisher* pendant 1 minute
- Irrigation à l'hypochlorite (2,5ml)

Le volume de l'irrigant pour chaque dent est de 15 ml de NaOCl et de 0,5ml d'Edetat[®], soit un volume total de 15,5ml.

Lors du passage de l'instrument, la dent est plongée dans un bac d'eau à 37°C afin qu'il conserve sa forme active, austénitique.



Figure 19 et 20 : Mise en rotation de l'instrument dans l'étuve à 37° où il évolue en phase austénitique

- **Groupe 2** : dépose de l'hydroxyde de calcium par irrigation passive ultrasonore (Irrisafe[®])

La lime passive ultrasonore a été utilisée selon les recommandations du fabricant, à l'aide d'un générateur d'ultrasons : le P-Max Newtron[®] (Satelec[®], Acteon, Mérignac, France) réglé à puissance moyenne. La lime a été insérée sans contact sur les parois dentinaires, à 2 mm de la longueur de travail. Des mouvements de retrait ont été effectués afin de faire remonter les débris en coronaire.



Figure 21: Conditionnement des limes Irrisafe[®]

Protocole :

- Dépose de l'obturation coronaire
- Perméabilisation canalaire à l'aide d'une lime 15
- Irrigation à l'hypochlorite de sodium (2,5ml)
- Passage de la lime FKG BT3 à la longueur de travail
- Irrigation à l'hypochlorite de sodium (2,5ml)
- Séchage du canal à l'aide de pointes papier
- Mise en place de l' EDETAT[®] pendant 3 minutes (0,5ml)
- Rinçage à l'hypochlorite de sodium (2,5ml)
- Passage de la lime ultrasonore (Irrisafe[®]) pendant 1 minute
- Irrigation à l'hypochlorite de sodium (2,5ml)
- Passage de la lime ultrasonore (Irrisafe[®]) pendant 1 minute
- Irrigation à l'hypochlorite de sodium (2,5ml)
- Passage de la lime ultrasonore (Irrisafe[®]) pendant 1 minute
- Irrigation à l'hypochlorite de sodium (2,5ml)

De même que pour le premier groupe, le volume total de l'irrigant injecté est de 15,5ml, comprenant 15ml de NaOCl et 0,5ml d'Edetat[®].

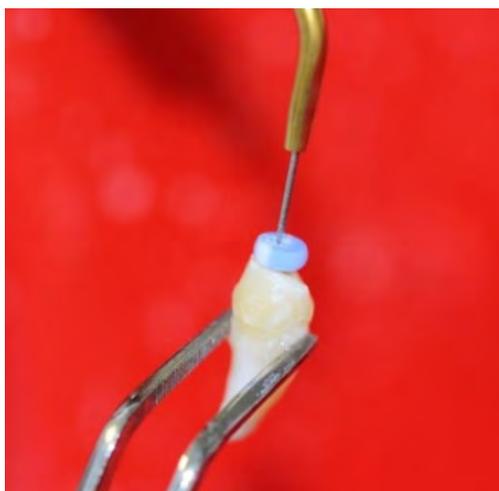


Figure 22 : Mise en fonctionnement de l'Irrisafe[®]

c) Coupe des échantillons

Les dents ont été coupées longitudinalement sans atteindre le canal, à l'aide d'un disque, pour ainsi obtenir deux échantillons sans risquer de perturber le contenu canalaire en hydroxyde de calcium.

Pour chaque numéro, nous obtenons donc deux parties de l'échantillon initial, excepté pour les dents numéro 5, 20, 23, 25, où l'une des moitiés a été fracturée lors de cette procédure.



Figure 23 : Échantillons après section longitudinale

d) Observation au microscope optique

L'ensemble des échantillons (deux par dent) a été observé au microscope optique binoculaire (Leica-WILD M3B).

Les images ont été obtenues par acquisition photographique à des grossissements de 6, 16 et 40, à l'aide d'un boîtier réflex Canon EOS 600D, associé à un objectif Macro Tamron® SP 90MM F/2.8 Di VC USD 1:1.

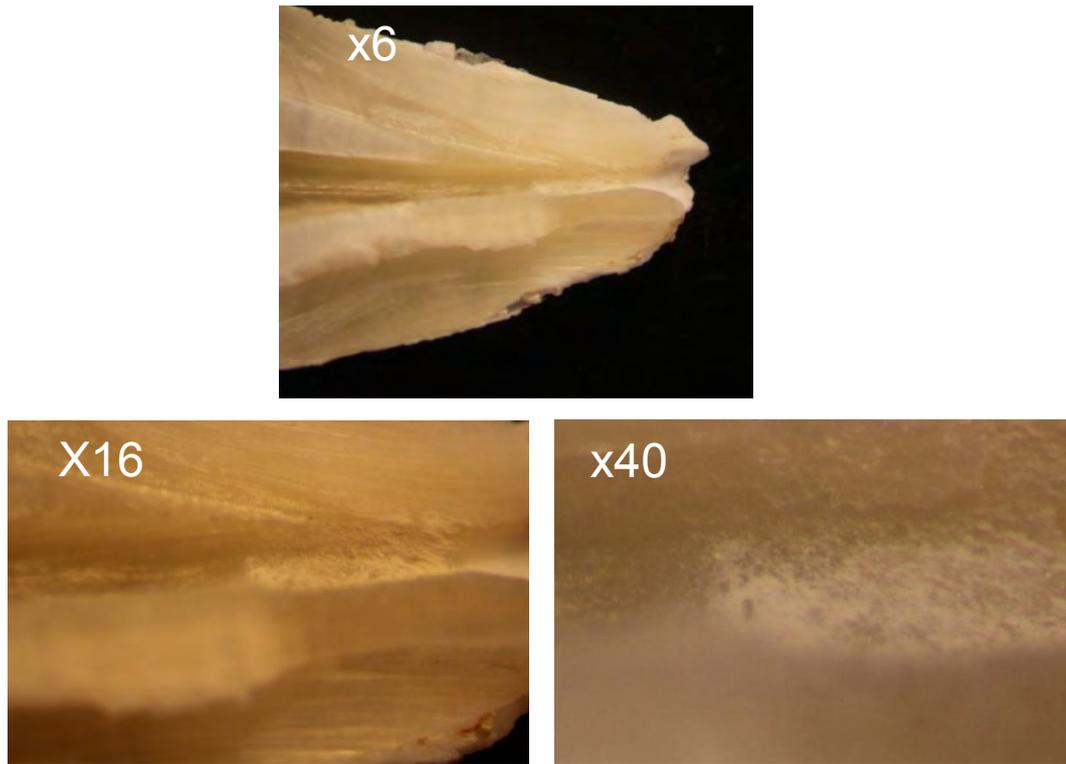


Figure 24 : Exemples de photographies du Groupe 1

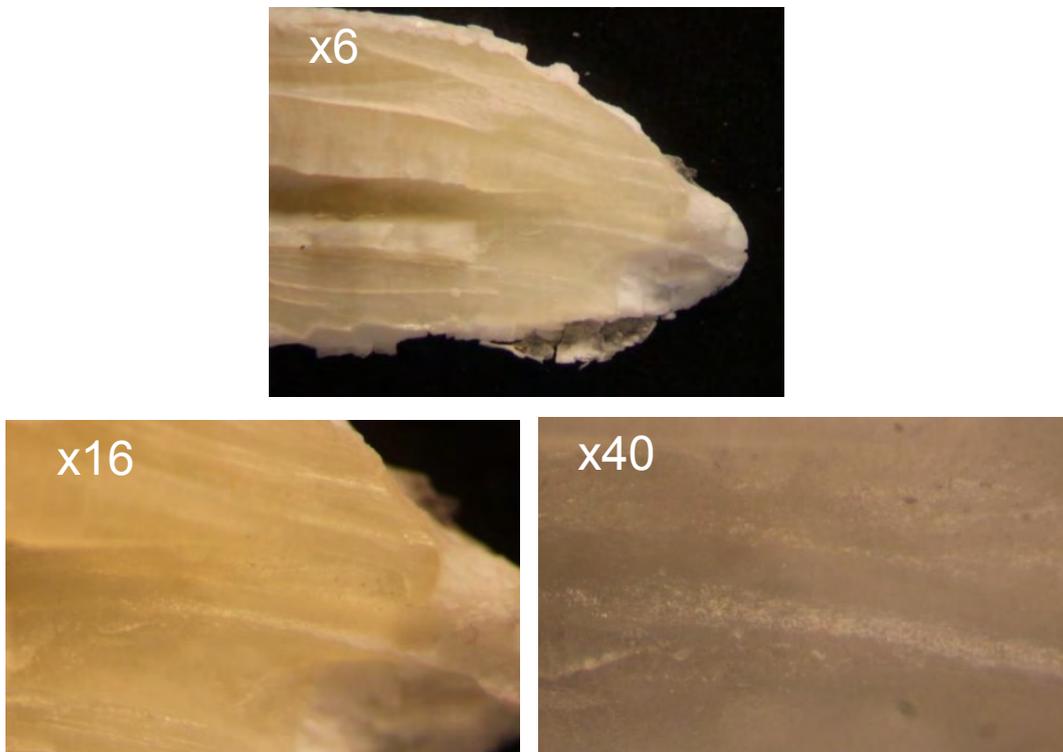


Figure 25 : Exemples de photographies du Groupe 2

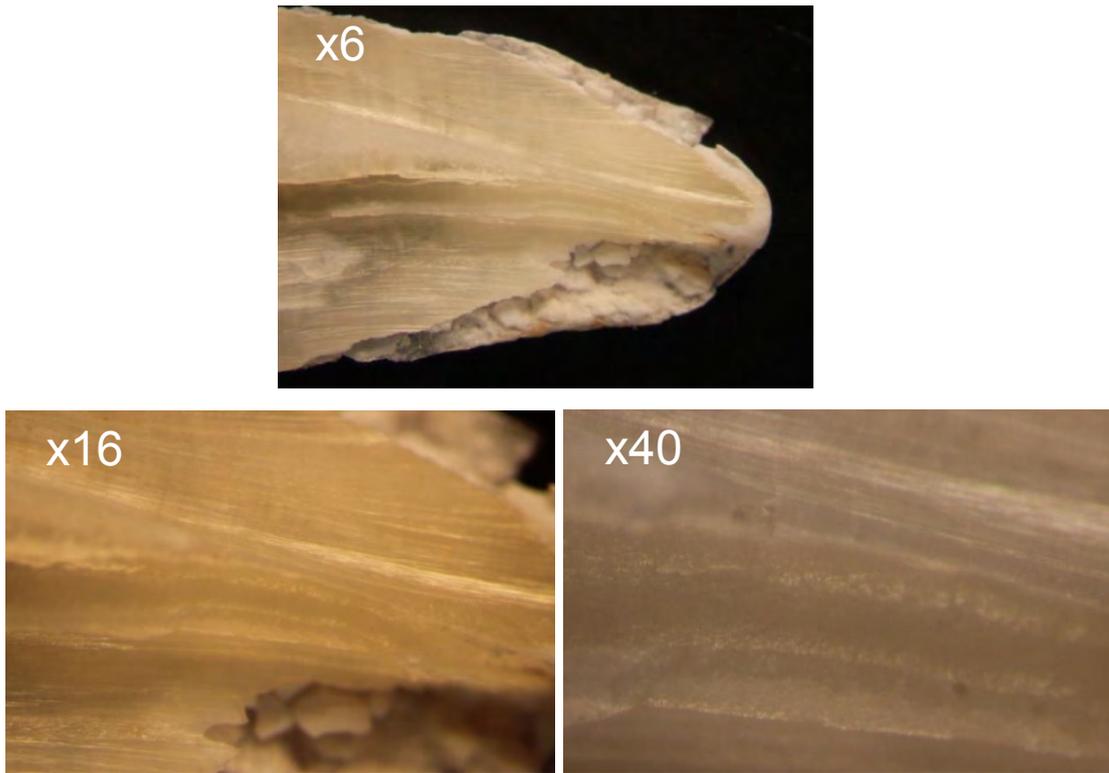


Figure 26 : Exemples de photographies du Groupe 3

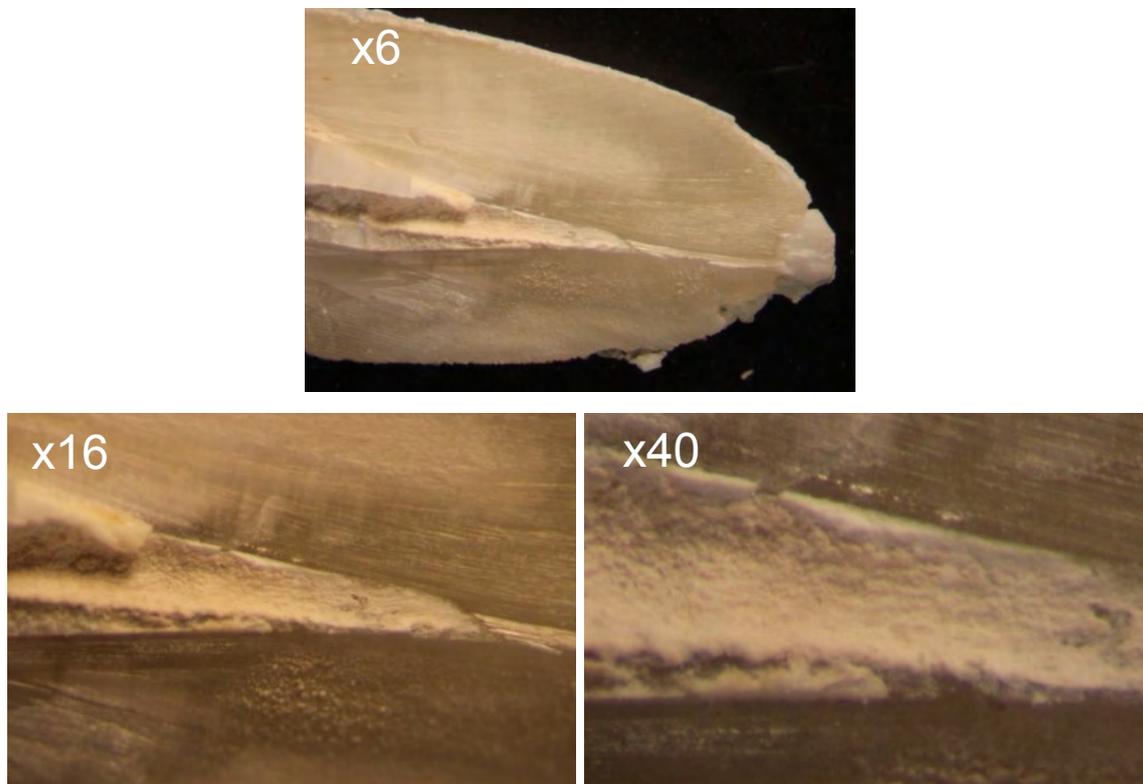


Figure 27 : Exemples de photographies du Groupe 4

e) Méthode de quantification

- **Sur l'ensemble du canal**

Les dents des différents groupes ont toutes été analysées à l'aide du logiciel « ImageJ ». Initialement développé pour explorer des images médicales par le *National Institute of Health*. C'est un outil intéressant pour effectuer des mesures physiques à partir d'images. Cela a permis de calculer la superficie des restes d'hydroxyde de calcium par rapport à celle du canal, pour ainsi obtenir un pourcentage, à partir des photographies prises à un grossissement X6.

Explication de la méthode de quantification : exemple de la dent n°27

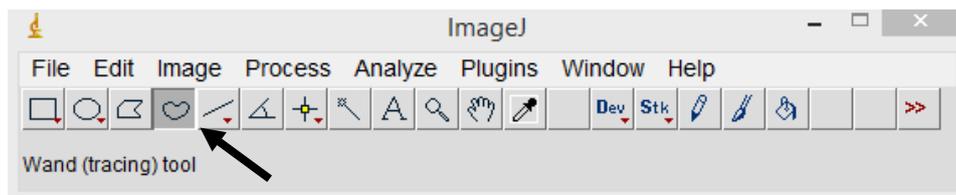


Figure 28 : Barre des tâches ImageJ

Après ouverture du fichier à partir d'ImageJ, l'icône indiquée ci-dessus permet de tracer la circonférence du canal.

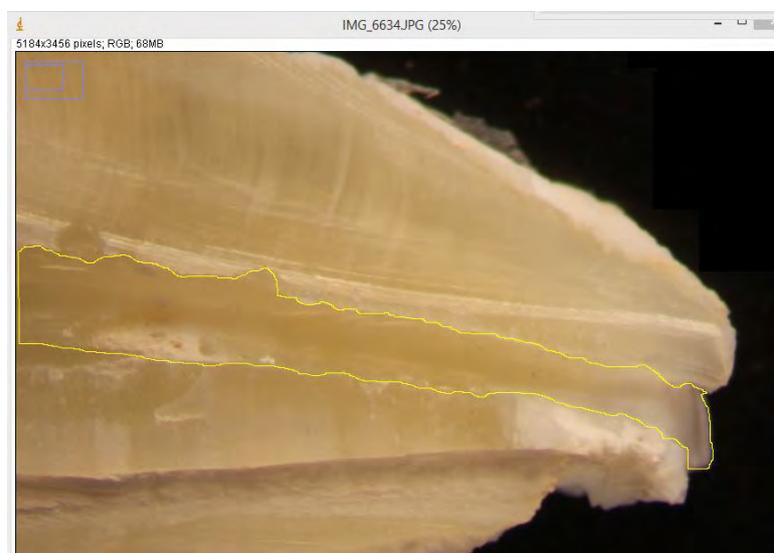


Figure 29 : Tracé de la circonférence du canal

L'onglet « Analyse » puis « Measure » permet d'obtenir l'aire du canal en pixel.

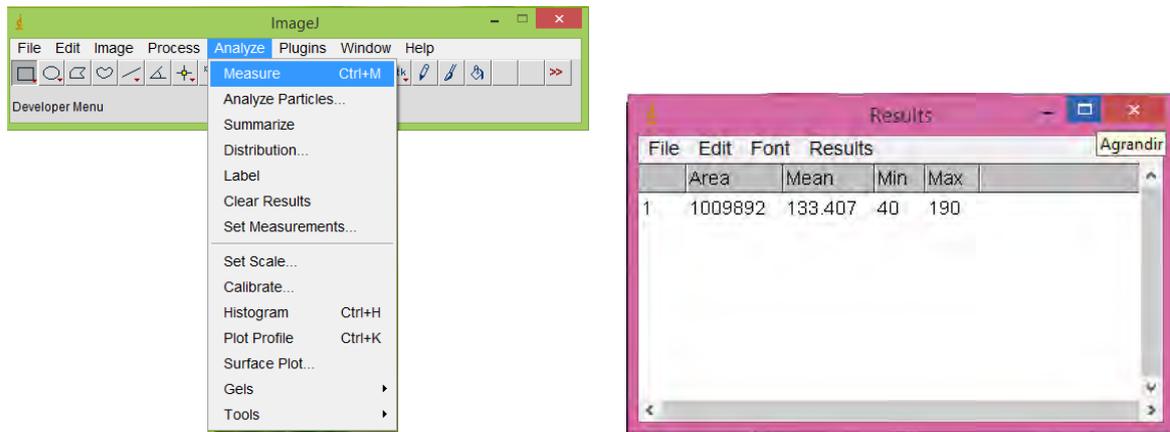


Figure 30 : Mesure de l'aire du canal en pixels

Les résidus d'hydroxyde de calcium sont de la même façon entourés par le curseur puis l'aire totale de ceux-ci est calculée.

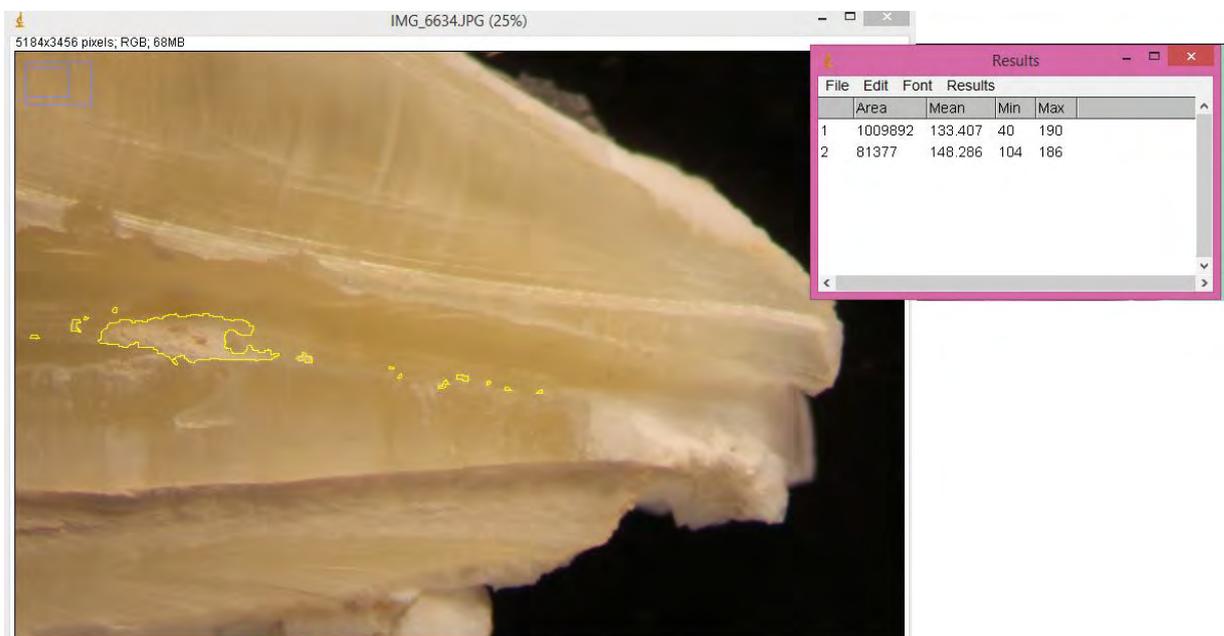


Figure 31 : Mesure de la surface des résidus de $\text{Ca}(\text{OH})_2$

La surface des résidus est notifiée en dessous de l'aire canalaire. Un ratio en pourcentage peut ainsi être obtenu. Ici, cela donne :

$$81377/1009882=0.08 \times 100=8\%.$$

Le même procédé a été réitéré pour tous les échantillons, pour chaque moitié de racine et par deux évaluateurs différents. Le pourcentage final ainsi obtenu dans les résultats est la moyenne des pourcentages obtenus pour les deux moitiés.

- **Au tiers apical**

Concernant l'estimation de résidus au tiers apical des dents, une méthode qualitative par score a été choisie. Comme précédemment, ce calcul par score a été matérialisé par deux évaluateurs différents.

Échelle d'évaluation des scores au tiers apical :

- 0 = Absence de Ca(OH)_2
- 1 = Peu de Ca(OH)_2
- 2 = $\text{Ca(OH)}_2 < 50\%$ de la superficie canalaire
- 3 = $\text{Ca(OH)}_2 > 50\%$ de la superficie canalaire
- 4 = $\text{Ca(OH)}_2 = 100\%$ de la superficie canalaire

f) Analyse statistique

Pour comparer les quantités résiduelles de Ca(OH)_2 sur l'ensemble du canal dans les deux groupes, le test utilisé est celui de **Mann-Whitney** ou **Wilcoxon-Mann-Whitney**. Il s'agit d'un test statistique non paramétrique qui permet de tester l'hypothèse selon laquelle la distribution des données est la même dans les deux groupes.

Concernant le tiers apical, les scores des deux groupes ont été comparés à l'aide du test exact de **Fisher**. La qualité de l'accord des résultats entre les deux évaluateurs a été matérialisée à l'aide du Test **Kappa**.

L'hypothèse nulle H_0 est qu'il n'y a pas de différence significative entre les deux instruments concernant l'efficacité de dépose de l'hydroxyde de calcium.

Pour les deux tests, l'hypothèse nulle est rejetée pour une valeur de p-value inférieure à 0,05.

5. Résultats

Voir tableau résultats des groupes 1 et 2 en Annexes

a) Test Mann-Whitney

La P-value entre les groupes 1 et 2 est de 0.7866870411624 ($p > 0.05$) pour le premier évaluateur. Elle est de 0.93531639523681 ($p > 0.05$) pour le second.

Aucune différence significative n'est décelée entre le groupe XP-Endo[®] *Finisher* et Irrisafe[®], pour les deux évaluateurs.

b) Test exact de Fisher

En ce qui concerne les scores obtenus au tiers apical, le test de Fisher a été appliqué, en prenant en compte deux paramètres :

- Le nombre d'échantillons où le score a été égal à 0 (absence totale de $\text{Ca}(\text{OH})_2$)
- Le nombre d'échantillons où le score a été supérieur ou égal à 1 (présence d'hydroxyde de calcium)

Si nous prenons l'exemple du premier évaluateur, nous avons pour le groupe 1, huit échantillons où le score est égal à 0, et douze échantillons qui ont obtenu tout autre score. Pour le groupe 2, trois échantillons ont obtenu un score 0, contre dix-sept échantillons avec un score supérieur ou égal à 1.

Tableau n°2 : Exemple test exact de Fisher (1^{er} évaluateur)

	Xp-Endo [®] <i>Finisher</i>	Irrisafe [®]
Score = 0	8	3
Score \geq 1	12	17

La P-value qui en résulte est de 0.155187 ($p > 0.05$).

La même procédure a été menée pour le deuxième évaluateur. Il en résulte une P-value de 0,450576 ($p > 0,05$).

Pour les deux évaluateurs, il n'y a également pas de différence significative entre les deux instruments au tiers apical.

c) Test de Kappa

Nous prenons, comme pour le test exact de Fisher, deux paramètres :

- Le score est égal à 0 (absence d'hydroxyde de calcium)
- Le score est supérieur ou égal à 1 (présence d'hydroxyde de calcium)

Pour calculer le coefficient Kappa, un tableau a été réalisé pour chaque groupe.

Tableau n°3 : Exemple test de Kappa (Groupe 1)

		A	B	C	D
		1er évaluateur			
			Accord	Désaccord	
1					
2	2e évaluateur	Accord	6	0	6
3		Désaccord	2	12	14
4			8	12	20

Si nous prenons l'exemple du groupe 1, la valeur correspondant à l'accord (case B2) correspond au nombre de scores 0 trouvés par les deux évaluateurs pour les mêmes échantillons. La valeur correspondant au désaccord (case C3) correspond à des scores supérieurs ou égaux à 1, obtenus pour les mêmes échantillons et pour les deux évaluateurs. Les cases C2 et B3 correspondent au nombre de fois où les évaluateurs ont été en désaccord (un évaluateur a obtenu le score 0, l'autre un score supérieur ou égal à 1).

La valeur *Observed agreement* a été calculée ($OA = (B2 + C3) / D4$) ainsi que la valeur *agreement of chance* [$AC = (B4/D4) * (D2/D4) + (C4/D4) * (D3/D4)$] afin d'obtenir la valeur Kappa, $K = (OA - AC) / (1 - AC)$.

La valeur obtenue pour le Groupe 1 est donc $K = (0,9 - 0,54) / (1 - 0,54) = 0,78$.

L'échelle d'évaluation qui permet d'interpréter la valeur Kappa est :

- < 0 Désaccord
- 0 — 0.20 Accord très faible
- 0.21 — 0.40 Accord faible
- 0.41 — 0.60 Accord modéré
- 0.61 — 0.80 Accord fort
- 0.81 — 1.00 Accord presque parfait

Par conséquent pour le groupe 1, l'accord entre les deux évaluateurs a un degré fort.

La même procédure est réitérée pour le groupe 2.

La valeur Kappa obtenue est égale à 1, cela correspond à un accord presque parfait entre les deux évaluateurs.

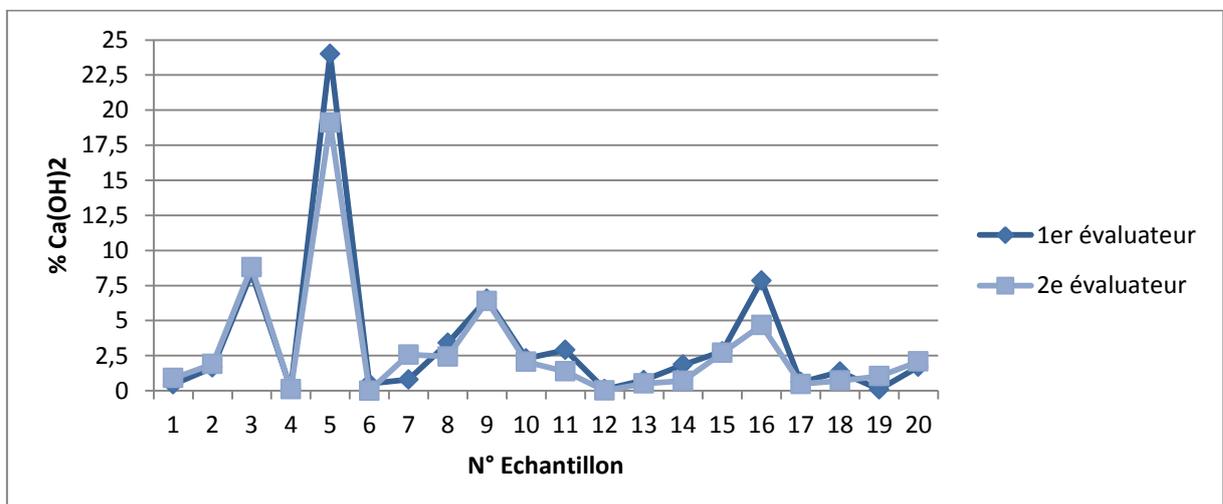
6. Discussion

a) Analyse des résultats

- Sur l'ensemble du canal

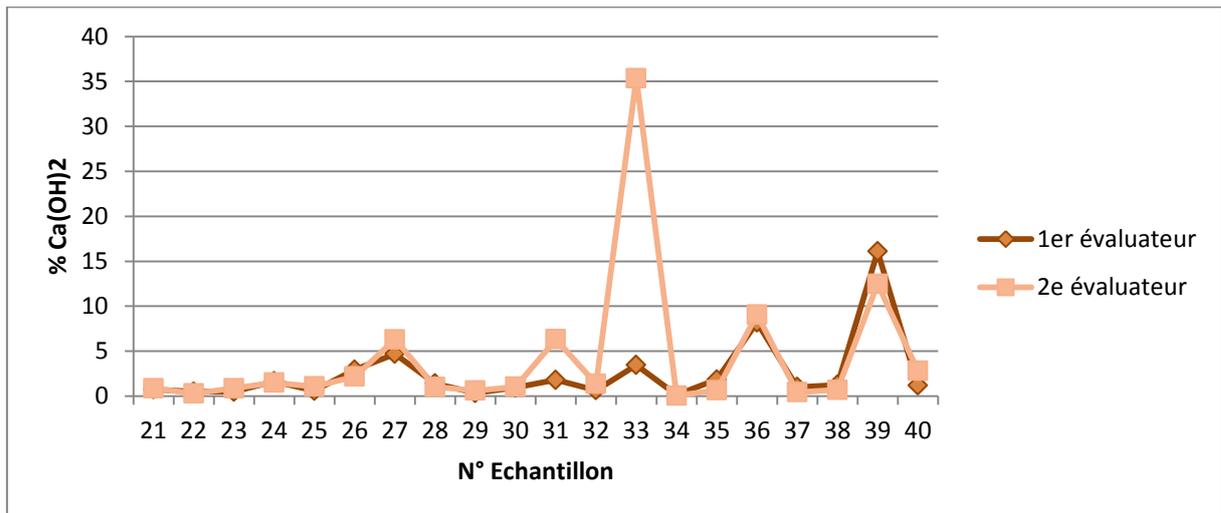
Les résultats entre les deux évaluateurs se révèlent globalement cohérents comme le matérialisent les courbes ci-dessous.

Graphique n°1 : Courbes résultats en pourcentage (Groupe 1)



Concernant le groupe 1 (Xp-Endo[®] Finisher), le premier évaluateur a estimé plus important le pourcentage d'hydroxyde de calcium par rapport au second pour les échantillons n°5,11, 14 et 16.

Graphique n°2 : Courbes résultats en pourcentage (Groupe 2)



Concernant le Groupe 2 (Irrisafe[®]), une plus grande hétérogénéité a été trouvée notamment sur les échantillons n°31 et 33, où le deuxième évaluateur détecte un pourcentage de Ca(OH)₂ bien plus conséquent.

Le test de Mann-Whitney nous permet d'affirmer qu'il n'y a pas de différence significative entre les deux instruments. L'hypothèse nulle H₀ est donc acceptée.

Néanmoins, le 2^e évaluateur a trouvé des résultats plus satisfaisants pour l'XP-Endo[®] Finisher par rapport à l'Irrisafe[®] (avec une moyenne de 2,9% pour le premier, et 4.25% pour le deuxième).

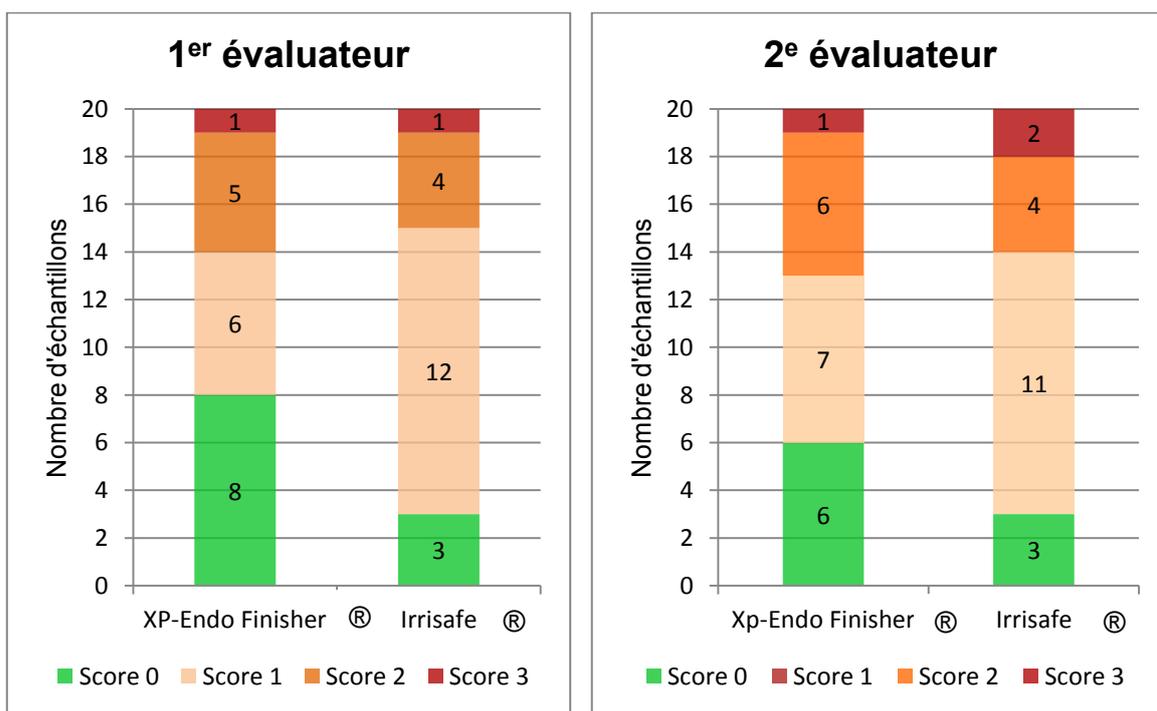
Avec un écart moins prononcé, le 1^{er} évaluateur révèle des résultats inverses, avec un pourcentage de 3.41% pour l'XP-Endo[®] Finisher et 2.50% pour l'irrigation passive ultrasonore.

- Au tiers apical

Les histogrammes ci-dessous matérialisent la répartition des dents par rapport à leurs scores au tiers apical, pour les deux évaluateurs.

Le groupe XP-Endo[®] *Finisher* détient le plus grand nombre de scores égal à 0 (en vert), Un écart plus prononcé est visible pour le 1^{er} évaluateur avec l'Irrisafe[®].

Graphique n°3 : Histogrammes des scores au tiers apical (Groupe 1 et 2)



Après avoir réalisé le test exact de Fisher, la P-value est supérieure à 0.05 pour les deux évaluateurs. La même conclusion est mise en évidence, il n'existe aucune différence significative entre les deux instruments. L'hypothèse nulle est acceptée.

Une tendance va néanmoins vers le premier groupe. Le fait qu'il n'y ait pas de différence entre les deux instruments peut s'expliquer par une puissance faible des calculs, dû au nombre insuffisant d'échantillons. Le test de Fisher au tiers apical serait probablement significatif en augmentant le nombre de dents dans chaque groupe.

Nous avons pu constater grâce au test de Kappa, que la concordance entre les résultats trouvés par les deux évaluateurs est très satisfaisante, avec un accord presque parfait pour le second groupe.

b) Choix des matériels et méthodes

- Coupe des échantillons

La séparation de la couronne et de la racine à une longueur généralisée à tous les échantillons a été réalisée. Il n'y a pas de réservoir pour les solutions d'irrigation en coronaire, donc moins de volume d'irrigant disponible. De plus, selon les recommandations, l'XP-Endo[®]*Finisher* nécessite un approvisionnement en solution d'irrigation lors de son fonctionnement, ce qui nous éloigne davantage de la situation clinique. Cependant, afin d'éviter d'obtenir des résultats biaisés, une longueur similaire pour tous les échantillons est nécessaire et appliquée par une grande majorité d'études.

En ce qui concerne la section des échantillons en deux parties, elle s'est effectuée après l'étape de dépose du $\text{Ca}(\text{OH})_2$, contrairement à certaines études. Réaliser les rainures avant pourrait, même après réassemblage des deux échantillons, interférer lors de l'injection de l'irrigant en faisant varier la pression intracanalalaire. En effet, nous observons une perte de matière à l'endroit de la coupe par le disque, les deux moitiés ne peuvent pas être parfaitement rassemblées.

- Qualité de l'irrigation

L'efficacité de l'irrigation dépend de plusieurs facteurs [40] :

- Diamètre de préparation apicale
- Conicité de la préparation
- Volume de la solution
- Débit de l'irrigation

L'ensemble des échantillons a été préparé de la même façon. Le même protocole a été utilisé pour les deux instruments, avec le même volume et débit d'irrigation afin d'éviter d'éventuels biais liés aux techniques d'irrigation.

- Observation des échantillons

Pour observer les résidus d'hydroxyde de calcium, dans la plupart des études, la microscopie à balayage est utilisée. Elle permet une autre vision de l'échantillon, en deux dimensions.

Cependant, cette technique n'apporte pas plus de précision que le microscope optique pour cette étude, puisqu'elle ne nécessite pas de grossissement très important.

De plus, il est impossible de différencier les résidus d'hydroxyde de calcium des débris dentinaires et de la *smear layer*. Cette dernière est composée de particules inorganiques de tissu calcifié avec une concentration majoritaire en calcium [48]. L'analyse par la spectroscopie à dispersion d'énergie des rayons X met en évidence le calcium dans les deux cas : ceux présents dans l'hydroxyde de calcium et ceux composant la *smear layer*, sans aucune différenciation [38].

Pour une question de fiabilité, la microscopie optique a été choisie dans cette étude pour quantifier les restes d'hydroxyde de calcium.



Figure 32 : Microscope optique binoculaire (Leica-WILD M3B)

Cette technique permet une observation bidimensionnelle du canal, à différentes échelles, permettant une analyse des images en pixels à l'aide du logiciel ImageJ.

Cependant, nous n'avons pas de vision en trois dimensions, par conséquent une perte d'informations est envisageable. Une technique d'analyse par micro-CT

aurait été certainement plus précise, car elle permettrait d'obtenir le volume du canal et des résidus d'hydroxyde de calcium. Un logiciel adapté est capable de détecter les différents niveaux de gris sur l'image obtenue, qui n'est plus en pixels mais en voxels, offrant une vision tridimensionnelle, plus exacte.

7. Conclusion de l'étude

Cette étude a permis d'évaluer la performance d'un nouvel instrument sur la dépose de l'hydroxyde de calcium, en le comparant à un autre instrument de nature opposée.

En effet, l'XP-Endo[®] *Finisher* est un instrument rotatif amené jusqu'à la longueur de travail qui agit mécaniquement sur les parois dentinaires. Il revendique pouvoir assurer le nettoyage de l'intégralité du réseau canalaire même des zones les plus complexes grâce à sa morphologie particulière.

À l'inverse, l'Irrisafe[®] agit à distance des parois canales et à LT-2mm. Il doit son efficacité aux micro-courants qu'il génère dans la solution d'irrigation, ainsi qu'à l'élévation de température de l'irrigant.

Dans l'étude de Wigler, les auteurs n'ont pas réussi à montrer de différence significative entre les deux instruments et ont trouvé des résultats plutôt en faveur de l'Irrisafe[®].

Dans notre étude, aucun des deux instruments n'a été capable de nettoyer parfaitement les parois canales de l'hydroxyde de calcium.

L'XP-Endo[®] *Finisher* a néanmoins montré des résultats plus probants au niveau du tiers apical, contrairement à l'étude de Wigler.

Cette différence peut s'expliquer par le fait que l'XP-Endo[®] *Finisher* a été utilisé sur une durée plus longue de trois minutes, au même titre que l'Irrisafe[®], où le nouveau protocole a été respecté. Par ailleurs, contrairement à cette autre étude il est précisé que les échantillons ont été plongés dans une étuve d'eau à 37°C afin d'exploiter son paramètre de mémoire de forme.

En conclusion, l'XP-Endo[®] *Finisher* semble être un outil intéressant qui mérite de plus amples investigations.

CONCLUSION

Le débridement mécanique et la désinfection chimique demeurent les facteurs majeurs influençant la thérapeutique endodontique. Même si les procédures instrumentales ont considérablement évolué, aucune ne peut assurer la parfaite éradication des germes du réseau canalaire [50].

L'hydroxyde de calcium est donc une alternative intéressante, par son efficacité contre la majorité des pathogènes capables de coloniser l'endodonte.

Néanmoins, sa présence au moment de l'obturation apporterait des conséquences néfastes, jusqu'à compromettre la réussite du traitement endodontique.

Par ailleurs, l'inaptitude de l'hydroxyde de calcium à procurer une action bactéricide optimale et sa capacité à influencer de façon péjorative le pronostic du traitement a engendré un scepticisme chez certains auteurs, qui s'interrogent sur les bénéfices qu'il apporte réellement. Une méta-analyse s'est portée en faveur des traitements endodontiques en une seule séance remettant davantage en cause son utilité [2].

Cependant, ce matériau possède de multiples indications et fait partie intégrante de l'arsenal thérapeutique des cabinets dentaires. De nouveaux composés lui sont associés compensant ainsi ses lacunes, mais aucun ne montre sa biocompatibilité.

Lorsque le traitement ne peut être achevé en une seule visite, la médication intracanalairre demeure essentielle afin d'enrayer la croissance bactérienne en interséance. Le meilleur composé disponible capable de remplir cette mission reste l'hydroxyde de calcium [50].

Par conséquent, lorsqu'il est mis en place dans le réseau canalaire, son élimination est primordiale afin d'éviter les complications qu'il peut engendrer.

Depuis 2010, plus d'une trentaine d'articles sont parus sur l'évaluation de la performance de différents dispositifs à ce sujet [38]. Elles mettent à l'épreuve des solutions d'irrigation, des limes manuelles, des instruments rotatifs Nickel-Titane et même de nouvelles technologies innovantes d'irrigation. Un nouveau procédé prometteur a vu le jour, l'activation photonique, qui mérite d'être davantage étudié.

Aucun consensus n'a été établi sur la meilleure méthode puisqu'aucune n'est capable d'éliminer à la perfection l'hydroxyde de calcium.

L'irrigation passive ultrasonore s'est tout de même démarquée et reste la technique de référence.

Dans notre étude, de façon similaire aux autres techniques, aucun des deux instruments n'a pu effectuer un nettoyage parfait des parois canalaires, malgré l'application d'un protocole rigoureux.

Néanmoins, l'XP-Endo[®] *Finisher*, grâce à ses capacités de nettoyage de zones inatteignables par les instruments NiTi classiques, s'est avéré efficace, avec des résultats semblables à ceux de l'Irrisafe[®].

Ce nouvel instrument se révèle être prometteur et mérite de plus amples investigations, notamment en incluant un plus grand nombre d'échantillons. En effet, même si aucune différence significative entre ces deux instruments n'a été décelée, l'XP-Endo[®] *Finisher* a montré des résultats plus satisfaisants que l'irrigation passive ultrasonore au tiers apical de la dent.

Le directeur de thèse

Rami HAMDAN


Le président du jury

Pr. Franck DIEMER


ANNEXE

Tableau Résultats des groupes 1 et 2 : Scores et pourcentages

N° Echantillons	Groupe 1 Xp-Endo® Finisher				Groupe 2 Irrisafe®			
	% Ca(OH) ₂ canal		Score tiers apical		%Ca(OH) ₂ canal		Score tiers apical	
	Éva. 1	Éva. 2	Éva. 1	Éva. 2	Éva. 1	Éva. 2	Éva. 1	Éva. 2
1	0.45	0,9	1	2	0.75	0,88	1	1
2	1.65	1,9	1	1	0.5	0,299	0	0
3	8.4	8,8	2	2	0.5	0,88	1	1
4	0.15	0,1	1	1	1.65	1,5	2	2
5	24	19,1	2	2	0.6	1,07	1	1
6	0.5	0	0	0	2.95	2,18	1	2
7	0.8	2,57	1	1	4.7	6,31	1	1
8	3.4	2,43	2	1	1.4	1,02	2	1
9	6.55	6,39	2	2	0.35	0,61	1	1
10	2.3	2,06	0	0	0.95	1,04	1	1
11	2.9	1,38	0	1	1.8	6,34	1	2
12	0.1	0,007	0	0	0.65	1,37	2	1
13	0.75	0,51	0	1	3.45	35,35	1	2
14	1.85	0,7	1	2	0.15	0,076	0	0
15	2.8	2,7	0	0	1.85	0,65	1	1
16	7.85	4,68	3	3	8.2	9,08	3	3
17	0.6	0,48	0	0	1	0,44	0	0
18	1.35	0,72	2	2	1.25	0,7	1	1
19	0.09	1,03	0	0	16.1	12,5	2	3
20	1.7	2,08	1	1	1.2	2,84	1	1
Moyenne	3.41%	2.9%			2.50%	4.25%		

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Illustration du défaut d'étanchéité apicale dû à une dépose incomplète de $\text{Ca}(\text{OH})_2$	26
Figure 2 : Illustration de la pénétration du matériau d'obturation dans les tubuli.....	28
Figure 3 : Absence d'infiltration du matériau d'obturation dans les tubuli.....	28
Figure 4 : Infiltration du ciment d'obturation dans les tubuli.....	29
Figure 5 : Siringue manuelle.....	32
Figure 6 : Lime d'irrigation passive ultrasonore (Irrisafe®).....	33
Figure 7 : EndoActivator®.....	35
Figure 8 : Proultra Piezo Flow®.....	36
Figure 9 : EndoVac.....	37
Figure 10 : RinsEndo.....	38
Figure 11 : Lime Protaper® (F2).....	39
Figure 12 : Self Adjusting File®.....	40
Figure 13 : Différentes phases de l'XP-Endo® Finisher.....	44
Figure 14 : Capacité de nettoyage de l'XP-Endo® Finisher.....	45
Figure 15 : Fonctionnement de l'Irrisafe®.....	46
Figure 16 : Séquence BT-Race®.....	49
Figure 17 : Application de l'irrigant.....	49
Figure 18 : Conditionnement de l'XP-Endo® Finisher.....	51
Figure 19, 20 : Mise en rotation de l'instrument dans l'étuve à 37° où il évolue en phase austénitique.....	52
Figure 21 : Conditionnement des limes Irrisafe®.....	52
Figure 22 : Mise en fonctionnement de l'Irrisafe®.....	53
Figure 23 : Échantillons après section longitudinale.....	54
Figure 24 : Exemples de photographies du Groupe 1.....	55
Figure 25 : Exemples de photographies du Groupe 2.....	55
Figure 26 : Exemples de photographies du Groupe 3.....	56
Figure 27 : Exemples de photographies du Groupe 4.....	56
Figure 28 : Barre des tâches ImageJ.....	57
Figure 29 : Tracé de la circonférence du canal.....	57
Figure 30 : Mesure de l'aire du canal en pixels.....	58
Figure 31 : Mesure de la surface des résidus de $\text{Ca}(\text{OH})_2$	58
Figure 32 : Microscope optique binoculaire (Leica-WILD M3B).....	66

BIBLIOGRAPHIE

1. Stéphane SIMON, Pierre MACHTOU, Wilhelm-Joseph PERTOT. JPIO Endodontie. Editions CdP, 2012.
2. Mahmoud Torabinejad, Richard E. Walton, Ashraf F. Fouad. Endodontie principes et pratique, ELSEVIER-MASSON, 2016.
3. C. Sathorn, P. Parashos, H. Messer. Antibacterial efficacy of calcium hydroxide intracanal dressing: a systematic review and meta-analysis. International Endodontic Journal, 2007 ; **40** : 2 – 10.
4. ALBERT Marianne. L'hydroxyde de calcium : ses propriétés et son application en thérapeutique endodontique. 101F, Th D., 1986 ; Th n°86 TOU3 3073.
5. Ricucci D., Langeland K. Incomplete calcium hydroxide removal from the root canal: a case report. International Endodontic Journal, 1997 ; **30** : 418 – 421.
6. Tronstad Leif Endodontie Clinique. Flammarion médecine-sciences, 1993.
7. J. F. Siqueira, P. Lopes. Mechanisms of antimicrobial activity of calcium hydroxide: a critical review. International Endodontic Journal, 1999 ; **32** : 361–369.
8. Safavi, Kamran E, Nichols, Frank C. Alteration of Biological Properties of Bacterial Lipopolysaccharide by Calcium Hydroxide Treatment. Journal of Endodontics, 1994 ; **20** : 127 – 129.
9. Safavi, Kamran E, Nichols, Frank C. Effect of Calcium Hydroxide on Bacterial Lipopolysaccharide. Journal of Endodontics, 1993 ; **19** : 76 – 78.

10. Foreman PC, Barnes IE. Review of calcium hydroxide. *International Endodontic Journal*, 1990 ; **23** : 283-97.
11. Athanassiadis, PV. Abbott, LJ. Walsh. The use of calcium hydroxide, antibiotics and biocides as antimicrobial medicaments in endodontics. *Australian Dental Journal*, 2007 ; **52** : 64–82.
12. Wadachi R, Araki K, Suda H. Effect of Calcium Hydroxide on the Dissolution of Soft Tissue on the Root Canal Wall. *Journal of Endodontics*, 1998 ; **24**, 326 – 330.
13. Rivera E, Williams K. Placement of calcium hydroxide in simulated canals: comparison of glycerin versus water. *Journal of Endodontics*, 1994 ; **20** : 445-448.
14. Safavi K, Nakayama T. Influence of glycerin on dissociation of calcium hydroxide in solution. *Journal of Endodontics*, 1999 ; **25** : 292.
15. Lima R, Lins P, Nogueira B, Fagundes N, Silva F. Analysis of the effectiveness of calcium hydroxide removal with variation of technique and solvent vehicles. *Indian Journal of Dental Research*, 2015 ; **26** : 304 – 308.
16. Bystrom A, Claesson R, Sundqvist G. The antibacterial effect of camphorated paramonochlorophenol, camphorated phenol and calcium hydroxide in the treatment of infected root canals. *Endodontics & dental traumatology*, 1985 ; **1** : 170.
17. Siqueira J F, Uzeda M. Influence of Different Vehicles on the Antibacterial effects of Calcium Hydroxide. *Journal of Endodontics*, 1998 ; **24** : 663 – 665.
18. Arslan H, Gok T, Saygili G, Altintop H, Akçay M, Çapar ID. Evaluation of Effectiveness of Various Irrigating Solutions on Removal of Calcium Hydroxide Mixed with 2% Chlorhexidine Gel and Detection of Orange-brown Precipitate after Removal. *J Endod*. 2014 ; **40** : 1820-3.

19. Sigurdsson A., Stancill R, Madison S. Intracanal placement of Ca(OH)₂: a comparison of techniques. *Journal of Endodontics*, 1992 ; **18** : 367-70.
20. Margelos, J. Eliades, G. Verdelis, C. Palaghias. Interaction of Calcium Hydroxide with Zinc Oxide- Eugenol Type Sealers: A Potential Clinical Problem. *Journal of Endodontics*, 1997 ; **23** : 43 – 48.
21. Hosoya, N, Kurayama H, Iino F, Arai T. Effects of calcium hydroxide on physical and sealing properties of canal sealers. *International Endodontic Journal*, 2004 ; **37** : 178-84.
22. Kim S K, Kim Y O. Influence of calcium hydroxide intracanal medication on apical seal. *International endodontic journal*, 2002 ; **35** : 623.
23. Rudolf Beer, Michael A. Baumann, Andrej M. Kielbassa. *Atlas de poche d'endodontie*. Flammarion médecine-sciences, 2008.
24. Çalt Semra, Serper Ahmet. Dentinal Tubule Penetration of Root Canal Sealers after Root Canal Dressing with Calcium Hydroxide. *Journal of Endodontics*, 1999 ; **25** : 431 – 433.
25. Ustun Y, Uzun O, Er O, Canakçı BC, Topuz O. The effect of residual calcium hydroxide on the accuracy of a contemporary electronic apex locator. *Acta Odontol Scand*. 2015 ; **73** :132-6
26. Uzunoglu E, Eymirli A, Uyanik M. Calcium hydroxide dressing residues after different removal techniques affect the accuracy of Root-ZX apex locator. *Restorative dentistry & endodontics* 2015 ; **40** : 44.
27. L. W. M. van der Sluis et al. The evaluation of removal of calcium hydroxide paste from an artificial standardized groove in the apical root canal using different irrigation methodologies. *International Endodontic Journal*, 2007 ; **40** : 52 – 57.

28. Sağsen B, Ustün Y, Aslan T, Canakçi BC. The Effect of Peracetic Acid on Removing Calcium Hydroxide from the Root Canals. *J Endod.* 2012 ; **38** : 1197-201.
29. Salgado, Ricardo Julio Cabrales et al. Comparison of different irrigants on calcium hydroxide medication removal: microscopic cleanliness evaluation. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontology*, 2009 ; **107** : 580 – 584.
30. Rödiger T, Vogel S, Zapf A, Hülsmann M. Efficacy of different irrigants in the removal of calcium hydroxide from root canals. *Int Endod J.* 2010 ; **43** :519-27.
31. Balvedi R P A, Versiani M A, Manna F F, Biffi J C G. A comparison of two techniques for the removal of calcium hydroxide from root canals. *International endodontic journal*, 2010 ; **43** : 763.
32. Song Y, Ma JZ, Wang RY, Zhou XD, Zou L, Gao Y. Calcium Hydroxide Removal in Curved Root Canals with Apical transportation In Vitro. *J Huazhong Univ Sci Technolog*, 2014 ; **34** : 608-11.
33. AHMETOĞLU F, ŞİMŞEK N, KELEŞ A, OCAK M. Efficacy of self-adjusting file and passive ultrasonic irrigation on removing calcium hydroxide from root canals. *Dental Materials Journal*, 2013 ; **32** : 1005 – 1010.
34. Ismail Davut Capar, Erhan Ozcan, Hakan Arslan, Huseyin Ertas, Hale Ari Aydinbelge. Effect of Different Final Irrigation Methods on the Removal of Calcium Hydroxide from an Artificial Standardized Groove in the Apical Third of Root Canals. *Journal of Endodontics*, 2014 ; **40** : 451–454.
35. Alturaiki S, Lamphon H, Edrees H, Ahlquist M. Efficacy of 3 different irrigation systems of removal of calcium hydroxide from the root canal : a scanning electron microscopic study. *J Endod.* 2015 ; **41** : 97-101.

36. Wiseman A, Cox TC, Paranjpe A, Flake NM, Cohenca N, Johnson JD. Efficacy of Sonic and Ultrasonic Activation for removal of Calcium Hydroxide from Mesial Canals of Mandibular Molars: A Microtomographic study. *J Endod.* 2011 ; **37** : 235-8.
37. Arslan H, Akcay M, Capar I D, Saygili G, Gok T, Ertas H. An in vitro comparison of irrigation using photon-initiated photoacoustic streaming, ultrasonic, sonic and needle techniques in removing calcium hydroxide. *International Endodontic Journal*, 2015 ; **48** : 246 – 251.
38. Ethem Yaylali I, Kececi AD, Ureyen Kaya B. Ultrasonically Activated irrigation to remove calcium hydroxide from apical third of human root canal system : a systematic review in vitro study. *J Endod.* 2015 ; **41** : 1589-99.
39. Ismail Davut Capar, Erhan Ozcan, Hakan Arslan, Huseyin Ertas, Hale Ari Aydinbelge. Effect of Different Final Irrigation Methods on the Removal of Calcium Hydroxide from an Artificial Standardized Groove in the Apical Third of Root Canals. *Journal of Endodontics*, 2014 ; **40** : 451–454.
40. Rödiger T, Hirschleib M, Zapf A, Hülsmann M. Comparison of ultrasonic irrigation and RinsEndo for the removal of calcium hydroxide and Ledermix paste from root canals. *International Endodontic Journal*, 2011 ; **44** : 1155 – 1161.
41. Khademi A et al. Removal efficiency of calcium hydroxide intracanal medicament with RinsEndo system in comparison with passive ultrasonic irrigation, an in vitro study. *Dental research journal* 2015 ; **12** : 157 – 160.
42. Hauser V, Braun A, Frentzen M. Penetration depth of a dye marker into dentine using a novel hydrodynamic system (RinsEndo). *Int Endod J.* 2007 ; **40** ; 644-52

43. Kenee DM, Allemang JD, Johnson JD, Hellstein J, Nichol BK. A Quantitative Assessment of Efficacy of Various Calcium, hydroxide Removal Techniques. *J Endod.* 2006 ; **32** : 563-5.
44. Faria G. et al. Effect of Rotary Instrument Associated with Different Irrigation Techniques on Removing Calcium Hydroxide Dressing. *Microsc Res Tech*, 2014 ; **77** : 642-6.
45. Khaleel HY, Al-Ashaw AJ, Yang Y, Pang AH, Ma JZ. Quantitative Comparison of Calcium Hydroxide Removal by EndoActivator, Ultrasonic and ProTaper File Agitation Techniques: an in vitro study. *J Huazhong Univ Sci Technolog*, 2013 ; **33** : 142-5.
46. Bahare Dadresanfar, Fateme Mashhadi Abbas, Hamide Bashbaghi, Shima Sadat Miri, Farshid Ghorbani. Intra-canal calcium hydroxide removal by two rotary systems: A comparative study. *Journal of conservative dentistry*, 2015 ; **18** : 257-260.
47. Paranjpe A, de Gregorio C, Gonzalez AM, Gomez A, Silva Herzog D, Piña AA et al. Efficacy of the self-adjusting file system on cleaning and shaping oval canals: a microbiological and microscopic evaluation. *J Endod.* 2012 ; **38** :226-31.
48. A.R. Pradeep Kumar, C. V. Subba Rao, A. Parameswaran, A. Kishen, C. S. Lim. Scanning electron microscopic and energy dispersive spectrometric investigations on the effect of XeCl excimer laser on human dentin with smear layer. *Journal of Oral Rehabilitation*, 2002 ; **29** : 1003–1009.
49. Lambrianidis T, Margelos J, Beltes P. Removal Efficiency of Calcium Hydroxide Dressing from the Root Canal. *J Endod*, 1999 ; **25** : 85-8.
50. Law A, Messer H. An Evidence-Based Analysis of the Antibacterial Effectiveness of Intracanal Medicaments. *J Endod.* 2004 ; **30** : 689-94

51. Brochure, protocole, instructions de XP Endo[®] Finisher FKG, disponible sur : <http://www.fkg.ch/fr/produits/endodontie/pr%C3%A9paration-canalair-et-retraitement/xp-endo-finisher>
52. Documentation et protocole Irrisafe[®], disponible sur : support-acteon-equipment.com/download-file-documentation.php?id=2428
53. R. Wigler, R. Dvir, A. Weisman, S. Matalon, A. Kfir. Efficacy of XP-endo finisher files in the removal of calcium hydroxide paste from artificial standardized grooves in the apical third of oval root canals. International Endodontic Journal 2016.

ÉTUDE DE L'EFFICACITÉ DE DÉPOSE DE L'HYDROXYDE DE CALCIUM : COMPARAISON ENTRE L'IRRIGATION PASSIVE ULTRASONORE ET L'XP-ENDO® FINISHER

RÉSUMÉ EN FRANÇAIS :

L'hydroxyde de calcium est largement utilisé en odontologie conservatrice pour ses nombreuses qualités. Cependant, son éviction incomplète des parois canalaires peut influencer de façon péjorative le pronostic du traitement endodontique. Par conséquent, la littérature est pléthorique sur l'utilisation d'instruments visant à le déposer de manière optimale, mais aucun dispositif testé n'a montré une parfaite efficacité.

Dans la partie expérimentale, une étude compare la capacité de nettoyage d'un instrument innovant créé pour la finition de l'ampliation canalaire, le XP-Endo® *Finisher*, avec un instrument d'irrigation passive ultrasonore, l'Irrisafe®.

TITRE EN ANGLAIS : Comparison of XP-Endo® Finisher and Irrisafe® for the removal of calcium hydroxide paste from root canals : An in vitro study

DISCIPLINE ADMINISTRATIVE : CHIRURGIE DENTAIRE

MOTS-CLÉS

HYDROXYDE DE CALCIUM, MÉDICATION INTRACANALAIRE, XP-ENDO® FINISHER, IRRISAFE®

INTITULÉ ET ADRESSE DE L'UFR :

Université Toulouse III - Paul Sabatier

Faculté de chirurgie dentaire, 3 chemin des Maraîchers, 31062 Toulouse Cedex

DIRECTEUR DE THÈSE : Dr Rami HAMDAN