

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

ANNEE 2020

TOU3 3028

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

Présentée et soutenue publiquement  
par

**Ludovic Pelletier**

le Mardi 30 Juin 2020

**EFFICACITE ANTIBACTERIENNE DE DIFFERENTS MOYENS**  
**D'ACTIVATION DE L'IRRIGANT EN ENDODONTIE : UNE ETUDE**  
**EX-VIVO SUR BIOFILM POLYBACTERIEN**

Directeurs de thèse : Drs Vincent Blasco-Baqué et Jérôme Fisse

**JURY**

Président :	Pr Franck Diemer
1er assesseur :	Dr Marie Georgelin-Gurgel
2ème assesseur :	Dr Vincent Blasco-Baqué
3ème assesseur :	Dr Jérôme Fisse



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

ANNEE 2020

TOU3 3028

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

Présentée et soutenue publiquement  
par

**Ludovic Pelletier**

le Mardi 30 Juin 2020

**EFFICACITE ANTIBACTERIENNE DE DIFFERENTS MOYENS**  
**D'ACTIVATION DE L'IRRIGANT EN ENDODONTIE : UNE ETUDE**  
**EX-VIVO SUR BIOFILM POLYBACTERIEN**

Directeurs de thèse : Drs Vincent Blasco-Baqué et Jérôme Fisse

**JURY**

Président :	Pr Franck Diemer
1er assesseur :	Dr Marie Georgelin-Gurgel
2ème assesseur :	Dr Vincent Blasco-Baqué
3ème assesseur :	Dr Jérôme Fisse



**Faculté de Chirurgie Dentaire**

➔ **DIRECTION**

**DOYEN**

M. Philippe POMAR

**ASSESEUR DU DOYEN**

Mme Sabine JONIOT  
Mme Sara DALICIEUX-LAURENCIN

**CHARGÉS DE MISSION**

M. Karim NASR (*Innovation Pédagogique*)  
M. Olivier HAMEL (*Maillage Territorial*)  
M. Franck DIEMER (*Formation Continue*)  
M. Philippe KEMOUN (*Stratégie Immobilière*)  
M. Paul MONSARRAT (*Intelligence Artificielle*)

**PRÉSIDENTE DU COMITÉ SCIENTIFIQUE**

Mme Cathy NABET

**DIRECTRICE ADMINISTRATIVE**

Mme Muriel VERDAGUER

➔ **PERSONNEL ENSEIGNANT**

➔ **HONORARIAT**

**DOYENS HONORAIRES**

M. Jean LAGARRIGUE +  
M. Jean-Philippe LODTER +  
M. Gérard PALOUDIER  
M. Michel SIXOU  
M. Henri SOULET

➔ **ÉMÉRITAT**

M. Damien DURAN  
Mme Geneviève GRÉGOIRE  
M. Gérard PALOUDIER

**Section CNU 56 : Développement, Croissance et Prévention**

**56.01 ODONTOLOGIE PEDIATRIQUE et ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE** (Mme Isabelle BAILLEUL-FORESTIER)

**ODONTOLOGIE PEDIATRIQUE**

Professeurs d'Université : Mme Isabelle BAILLEUL-FORESTIER, M. Frédéric VAYSSE  
Maîtres de Conférences : Mme Emmanuelle NOIRRIT-ESCLASSAN, Mme Marie- Cécile VALERA, M. Mathieu MARTY  
Assistants : Mme Alice BROUTIN, Mme Marion GUY-VERGER  
Adjoint d'Enseignement : M. Sébastien DOMINE, M. Robin BENETAH

**ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE**

Maîtres de Conférences : M. Pascal BARON, Mme Christiane LODTER, Mme Christine MARCHAL, M. Maxime ROTENBERG  
Assistants : Mme Isabelle ARAGON, Mme Anaïs DIVOL,

**56.02 PRÉVENTION, ÉPIDÉMIOLOGIE, ÉCONOMIE DE LA SANTÉ, ODONTOLOGIE LÉGALE** (Mme NABET Catherine)

Professeurs d'Université : M. Michel SIXOU, Mme Catherine NABET, M. Olivier HAMEL  
Maître de Conférences : M. VERGNES Jean-Noël  
Assistant: M. Julien ROSENZWEIG  
Adjoints d'Enseignement : M. Alain DURAND, Mlle. Sacha BARON, M. Romain LAGARD, Mme FOURNIER Géromine, M. Fabien BERLIOZ

**Section CNU 57 : Chirurgie Orale, Parodontologie, Biologie Orale**

**57.01 CHIRURGIE ORALE, PARODONTOLOGIE, BIOLOGIE ORALE** (M. Bruno COURTOIS)

**PARODONTOLOGIE**

Maîtres de Conférences : M. Pierre BARTHET, Mme Sara DALICIEUX-LAURENCIN, Mme Alexia VINEL  
Assistants: Mme. Charlotte THOMAS, M. Joffrey DURAN  
Adjoints d'Enseignement : M. Loïc CALVO, M. Christophe LAFFORGUE, M. Antoine SANGIER, M. Ronan BARRE ,  
Mme Myriam KADDECH

### CHIRURGIE ORALE

Professeur d'Université : Mme Sarah COUSTY  
Maîtres de Conférences : M. Philippe CAMPAN, M. Bruno COURTOIS  
Assistants : Mme Léonore COSTA-MENDES, M. Clément CAMBRONNE  
Adjoints d'Enseignement : M. Gabriel FAUXPOINT, M. Arnaud L'HOMME, Mme Marie-Pierre LABADIE, M. Luc RAYNALDI, M. Jérôme SALEFRANQUE

### BIOLOGIE ORALE

Professeur d'Université : M. Philippe KEMOUN  
Maîtres de Conférences : M. Pierre-Pascal POULET, M. Vincent BLASCO-BAQUE  
Assistants : M. Antoine TRIGALOU, Mme Inessa TIMOFEEVA, M. Matthieu MINTY, Mme, Cécile BLANC  
Adjoints d'Enseignement : M. Mathieu FRANC, M. Hugo BARRAGUE

## **Section CNU 58 : Réhabilitation Orale**

### **58.01 DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE, PROTHESES, FONCTIONS-DYSFONCTIONS, IMAGERIE, BIOMATERIAUX** (M. Serge ARMAND)

#### DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE

Professeur d'Université : M. Franck DIEMER  
Maîtres de Conférences : M. Philippe GUIGNES, Mme Marie GURGEL-GEORGELIN, Mme Delphine MARET-COMTESSE  
Assistants : Mme Pauline PECQUEUR, M. Jérôme FISSE, M. Sylvain GAILLAC, Mme Sophie BARRERE, M. Dorian BONNAFOUS, Mme. Manon SAUCOURT  
Adjoints d'Enseignement : M. Eric BALGUERIE, M. Jean-Philippe MALLET, M. Rami HAMDAN

#### PROTHÈSES

Professeurs d'Université : M. Serge ARMAND, M. Philippe POMAR  
Maîtres de Conférences : M. Jean CHAMPION, M. Rémi ESCLASSAN, M. Florent DESTRUHAUT  
Assistants : M. Victor EMONET-DENAND, M. Antonin HENNEQUIN, M. Bertrand CHAMPION, Mme Caroline DE BATAILLE, Mme Margaux BROUTIN  
Adjoints d'Enseignement : M. Antoine GALIBOURG, M. Christophe GHRENASSIA, Mme Marie-Hélène LACOSTE-FERRE, M. Laurent GINESTE, M. Olivier LE GAC, M. Louis Philippe GAYRARD, M. Jean-Claude COMBADAZOU, M. Bertrand ARCAUTE, M. Eric SOLYOM, M. Michel KNAFO, M. Alexandre HEGO DEVEZA

#### FONCTIONS-DYSFONCTIONS, IMAGERIE, BIOMATERIAUX

Maîtres de Conférences : Mme Sabine JONJOT, M. Karim NASR, M. Paul MONSARRAT  
Assistants : M. Thibault CANCEILL, M. Damien OSTROWSKI, M. Julien DELRIEU  
Adjoints d'Enseignement : M. Yasin AHMED, Mme Sylvie MAGNE, M. Thierry VERGÉ, Mme Josiane BOUSQUET

Mise à jour pour le 02 mars 2020

## Remerciements :

- A mes parents, pour « m'avoir tout appris », alliés du quotidien et soutien de toujours si j'en suis là aujourd'hui c'est grâce à votre amour et vos encouragements, vous remercier ne semblera jamais suffisant.
- A mes grands-parents, pour avoir toujours été là pour moi et m'avoir offert de merveilleux moments.
- A ma grande sœur et mon grand frère, avec toute mon affection et mes remerciements pour leur gentillesse et leur bienveillance à mon égard, en espérant qu'à l'avenir nos retrouvailles se fassent plus fréquentes.
- A toute ma famille, oncles et tantes, parrain et marraine, cousins et cousines, beau-frère et belle-sœur, ainsi qu'à mes neveux et nièce, pour tous nos bons moments partagés.
- A Léonor, pour tous ces bons moments passés, présent, et à venir, puissent-ils durer toujours. Chocolatine.
- Aux champis, pour avoir ponctué ces études de moments inoubliables. Et dans l'espoir d'en rajouter beaucoup d'autres.
- A mes copains de lycée, même si les études nous ont éloigné, rien ne peut effacer nos fous rires de l'époque, en espérant qu'il nous soit à l'avenir plus facile de nous retrouver.
- A mes camarades de promotion et à ma binôme de caisse pour ses conseils littéraires et musicaux toujours pertinents.
- Aux Drs Ducom, Durand-Dastes, Lavit, Orechia et Michetti, pour m'avoir ouvert les portes de leur cabinet et m'avoir ainsi permis de débiter dans la vie active et professionnelle.
- A Pascale Loubières, ainsi qu'à l'ensemble de l'équipe de l'Inserm pour la qualité de leur accueil et leur aide précieuse dans la réalisation des diverses manipulations.
- A la société Micro-méga et à mes principales interlocutrices, Armelle Boirie et Sarah Benzouai, ainsi qu'à la société Ultradent et Fanny Avet, pour avoir accepté de me prêter leur matériel et ainsi rendre cette thèse réalisable.
- A l'équipe d'encadrement d'endo pour sa gentillesse, son accueil, et la confiance accordée en m'intégrant dans le monitorat.

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

Monsieur le Professeur Franck DIEMER,

- Professeur des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie,
- 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,
- Responsable du Diplôme universitaire d'hypnose,
- Co-responsable du diplôme Inter-Universitaire d'odontologie du Sport,
- Vice- Président de la Société Française d'Endodontie,
- Lauréat de l'Université Paul Sabatier.

C'est un honneur d'être sous votre présidence pour cette thèse. Nous vous remercions pour votre disponibilité et votre implication dans ce travail. La qualité de votre enseignement aussi bien théorique que pratique ont grandement enrichi notre apprentissage. Nous vous remercions également d'avoir accepté de présider le jury de cette thèse. Veuillez trouver en celle-ci le témoignage de notre grande reconnaissance et de notre profond respect.

**A notre jury de thèse,**

Madame le Docteur Marie GURGEL- GEORGELIN

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

Nous vous remercions d'avoir accepté de faire partie de ce jury de thèse. Nous vous remercions également pour votre dynamisme, votre disponibilité, votre gentillesse et les valeurs humaines que vous avez su faire transparaître tout au long de votre enseignement. Autant de qualités qui ont fait de vous un modèle.

**A notre directeur de thèse,**

Monsieur le Docteur Vincent BLASCO-BAQUE,

- Maître de Conférence Universitaire et Praticien Hospitalier à la Faculté de Chirurgie Dentaire de Toulouse,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- Docteur de l'Université Paul Sabatier,
- Lauréat de l'Université Paul Sabatier
- Diplôme Inter-Universitaire d'Endodontie de la Faculté de Chirurgie Dentaire de Toulouse
- Diplôme Universitaire de Pédagogie en Santé de l'université paul Sabatier
- Responsable Diplôme Inter-Universitaire de Médecine bucco-dentaire du Sport
- HDR

Nous vous remercions pour votre implication dans ce travail. Pour nous avoir ouvert les portes de la recherche et avoir été partie prenante dans la conception et la réalisation des protocoles. Pour avoir su nous conforter dans certaines idées et nous éviter d'autres écueils. Votre sens clinique et l'étendue de vos connaissances théoriques font de vous un enseignant de qualité. Nous espérons que le travail que vous trouverez par la suite sera à la hauteur de vos exigences.

**A notre directeur de thèse,**

Monsieur le Docteur Jérôme Fisse,

- Assistant hospitalo-universitaire
- CES d'odontologie conservatrice et endodontie (Toulouse)
- CES d'odontologie prothétique mention Prothèse conjointe (Toulouse)
- Attestation universitaire de dentisterie esthétique et restauratrice (Paris 7)
- Attestation universitaire d'imagerie maxillo faciale Cone Beam CT (Toulouse)

Nous vous remercions pour votre disponibilité, votre enthousiasme et votre rigueur. Pour avoir été à l'initiative de ce projet et toujours de bons conseils. De votre encadrement au cours de la 5<sup>ème</sup> année jusqu'à l'aboutissement de cette thèse, votre implication et votre soutien dans notre parcours ont été inestimables. Veuillez trouver en ce travail notre gratitude et notre respect.

INTRODUCTION .....	12
<b>1<sup>ERE</sup> PARTIE : RAPPEL SUR LES SOLUTIONS D'IRRIGATION ET LES MOYENS D'ACTIVATION EN ENDODONTIE .....</b>	<b>14</b>
I- NOTION D'INFECTION ENDODONTIQUE ET DE BIOFILM (5).....	15
II- LES SOLUTIONS D'IRRIGATION .....	18
A. <i>Le Cahier des charges des irrigants</i> .....	18
B. <i>Les solutions d'irrigation antibactériennes conventionnelles</i> .....	20
1. L'Hypochlorite de Sodium (NaOCl) : (10) (11).....	20
2. La Chlorhexidine (CHX) : (23) .....	22
C. <i>Les solutions chélatantes conventionnelles</i> .....	23
1. L'Éthylènediaminetétraacétique (EDTA) :.....	23
2. L'Acide Citrique (AC) : .....	23
D. <i>Les solutions combinant les deux activités</i> .....	23
1. LE QMIX® :.....	24
2. Le MTAD® : (38) .....	24
E. <i>Les solutions complémentaires</i> .....	25
1- H2O2.....	25
2- L'ETHANOL .....	25
3- L' Ozone (O3) .....	26
III- LES MOYENS D'ACTIVATION .....	27
A. <i>La Pression Positive et la Pression Variable contrôlée</i> .....	27
B. <i>La pression négative</i> .....	29
C. <i>L'activation manuelle dynamique</i> .....	30
D. <i>L'activation sonore- ultrasonore</i> .....	30
E. <i>Le L.A.S.E.R (light amplified by stimulated emission of radiation):</i> .....	32
F. <i>Le plasma</i> .....	34
<b>2<sup>EME</sup> PARTIE : INTERET DES MOYENS D'ACTIVATION DES SOLUTIONS D'IRRIGATION EN ENDODONTIE : UNE ETUDE EX-VIVO COMPARANT L'EFFICACITE ANTIBACTERIENNE D'UNE SERINGUE CLASSIQUE, DE L'ENDOULTRA, DU LASER DIODE ET D'UNE SERINGUE A PRESSION CONTROLEE PAR MESURE CFU. ....</b>	<b>36</b>
I- INTRODUCTION.....	37
II- MATERIEL ET METHODE .....	38
A. <i>Préparation de l'échantillon</i> .....	39
B. <i>Contamination</i> .....	41
C. <i>Protocole de Mise En Forme</i> .....	42
D. <i>Les différents protocoles de désinfection</i> .....	44
E. <i>Ensemencement</i> .....	47
F. <i>Analyse du Tiers Apical</i> .....	47
G. <i>Modifications apportées au cours de l'expérimentation</i> .....	49
H. <i>Analyse statistique</i> .....	50
III- RESULTATS .....	50
A. <i>Comparaison des colonisations</i> .....	50
B. <i>Efficacité des protocoles de désinfection</i> .....	51
C. <i>Comparaison des méthodes de désinfection entre elles</i> .....	53
IV- DISCUSSION.....	57
V- CONCLUSION.....	59
CONCLUSION .....	60
ANNEXES .....	62
BIBLIOGRAPHIE.....	67

## INTRODUCTION

L'endodontie est définie par l'AAE (American Association of Endodontics), dans le Glossaire des termes Endodontiques, comme la spécialité de la dentisterie qui est concernée par la morphologie et la physiopathologie de l'organe pulpaire et des tissus péri-radicaux.

L'endodontie a donc trait au traitement des différentes pathologies usuelles (maladie carieuse, trauma dentaire etc.) dès lors qu'elles entraînent une effraction ou induisent une réaction de l'organe pulpaire et des tissus de soutien de la dent.

La pulpe dentaire étant un tissu vascularisé et innervé, elle possède les moyens de défense pour endiguer ces différentes agressions notamment par un système de réaction inflammatoire. Néanmoins la virulence de l'agression peut amener les défenses de l'hôte à être dépassées. La pulpe peut ainsi passer d'un stade inflammatoire réversible, à un stade inflammatoire irréversible, voire même à une nécrose pouvant être à l'origine de lésions péri-apicales, conséquences de la présence de bactéries et de leurs toxines au contact étroit de la pulpe (1).

Le traitement endodontique consiste donc en l'éviction du facteur causal, et en la diminution de la charge bactérienne, pour permettre à l'hôte de retrouver un nouvel état d'équilibre l'amenant vers la guérison.

Cet acte thérapeutique une fois l'agent étiologique éliminé et l'accès à l'endodonte réalisé, est souvent, de manière pédagogique, décomposé en trois parties qui se succèdent mais fonctionnent en réalité en synergie : La mise en forme canalaire, L'irrigation, et L'obturation. Chacun de ces temps correspondant à un geste, un matériel et une technique spécifique.

L'obturation, ultime stade du traitement canalaire n'a pas d'activité bactéricide propre. Elle ne fait qu'assurer le maintien du degré de désinfection obtenu par les temps précédents. Elle vise à assurer une étanchéité entre la couronne dentaire ; et donc le milieu buccal ; et les tissus péri-apicaux. Elle permet donc d'éviter que des fluides buccaux ou péri-apicaux ne puissent pénétrer au sein de l'endodonte et servir de substrat aux bactéries qui pourraient persister suite aux manœuvres de désinfection, le traitement endodontique n'aboutissant jamais à une stérilité du réseau endo-canalaire(2).

La mise en forme, quant à elle, possède une activité antibactérienne par son action mécanique de remontée des différents matériaux endo canalaires colonisés par les bactéries et leurs substrats, tels que la pulpe ou la dentine canalaire. Néanmoins cette activité strictement mécanique est insuffisante puisqu'une grande partie de l'endodonte ; qui est d'une anatomie complexe, se présentant plus sous la forme d'un réseau anastomotique de géométrie variable, que sous la forme d'un cône idéal reprenant les côtes de nos instruments de mise en forme endodontique(3) ; est impossible d'accès et n'est pas instrumentable(4). Il ne faut donc pas concevoir la mise en forme comme une finalité, mais comme un moyen.

En effet la mise en forme permet à l'irrigant d'accéder à l'endodonte. C'est dans cette irrigation que réside l'activité bactéricide principale du traitement. Ces deux étapes fonctionnent donc de manière complémentaire : l'irrigation par son action mécanique

permet de remonter les débris générés par la mise en forme, permettant un libre accès instrumental, limitant les contraintes qui s'y appliquent. De même son action lubrifiante permet une pénétration plus aisée et sécurisée des instruments. La mise en forme quant à elle permet d'agrandir l'espace canalaire pour qu'un plus grand volume de solution puisse pénétrer dans l'endodonte, et y être amené plus profondément. C'est de cette synergie que vient l'appellation chimio-mécanique qui caractérise le traitement endodontique.

La solution d'irrigation revêt donc une importance capitale et nous tâcherons de voir dans une première partie quels sont les principaux irrigants disponibles, leurs qualités, leurs défauts, mais aussi et surtout les moyens d'activation existant pour potentialiser l'efficacité de ces solutions. Dans une deuxième partie nous soumettrons une étude sur l'efficacité antibactérienne de différentes méthodes d'irrigation finale faisant intervenir des moyens d'activation.

**1<sup>ère</sup> Partie :**  
**Rappel sur les solutions d'irrigation et les moyens d'activation en  
endodontie**

## I- Notion d'infection endodontique et de Biofilm (5)

Le développement de pathologies péri apicales est intimement lié à l'infection endodontique et aux bactéries qui l'accompagnent ainsi qu'à leurs toxines(1). La pathologie ne se manifeste que lorsque l'équilibre entre les défenses immunitaires de l'hôte et la pathogénicité de l'infection est rompu. Elle correspond à une réaction inflammatoire visant à circonscrire l'infection.

Celle-ci correspond au passage de micro-organismes du milieu septique qu'est la cavité buccale à un territoire aseptique qu'est l'os. Cette colonisation est, dans le cadre d'une primo infection, peu spécifique. Elle comporte des micro-organismes variés(6). Elle se spécifie en fonction du milieu avec lequel elle interagit. En effet certains supports seront plus propices à la prolifération bactérienne de certaines espèces alors qu'ils seront hostiles à d'autres. Il se crée une pression de sélection bactérienne exercée par l'hôte et le tissu colonisé mais aussi par les autres bactéries présentes au sein de l'infection. Celles-ci peuvent donc avoir une pression positive comme négative, ce qui aboutit à la formation d'un écosystème.

L'endodonte constitue un milieu de colonisation complexe par son architecture mais aussi par les tissus qu'il renferme(3). Les tissus minéraux varient selon la profondeur de la dent, le nombre et le diamètre des tubulis dentinaires dans la portion coronaire et dans la portion radiculaire varient, il sera donc plus ou moins facile pour des bactéries d'y pénétrer.

De même la salive et les nutriments qu'elle comporte sont autant de substrats bactériens qui ne descendront pas nécessairement jusqu'à l'apex, mais des éléments similaires peuvent être amenés par voie rétrograde via les fluides péri apicaux et la pulpe si cette dernière n'est qu'en cours de nécrose. Il y a donc au sein de l'organe dentaire la formation de niches écologiques particulières, fonction de la capacité de certaines bactéries à résister à une privation nutritive de même qu'à différentes concentrations en O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>.

Au sein du tissu colonisé les bactéries vont élaborer des stratégies pour échapper aux systèmes de défense de l'hôte. L'une d'entre elles est l'agencement sous forme de biofilm. Les bactéries sont capables d'évoluer d'un stade planctonique en solution à un stade de biofilm en s'adsorbant sur une surface à partir de laquelle elles secrèteront une matrice extra cellulaire(7).

Au sein de cette barrière persistent des espaces qui jouent le rôle de voies de communication permettant aux bactéries d'effectuer des échanges nutritifs et un « Quorum Sensing » pour réagir comme un organisme à part entière et non plus comme une somme d'individualités. Ces canaux sont aussi pour les bactéries des moyens d'échange, elles sont ainsi capables d'effectuer des transmissions géniques horizontales pour acquérir des spécificités d'autres espèces (notamment des résistances antibiotiques)(8).

Ainsi, par des moyens mécaniques (la matrice extra cellulaire jouant le rôle de barrière physique) mais aussi par des moyens enzymatiques (acquisition de résistances

propres à d'autres espèces) les bactéries présentes au sein de biofilm poly-bactériens se trouvent plus résistantes aux antiseptiques que sous forme planctonique et posent ainsi plus de problèmes lors de leur élimination dans le cadre des thérapeutiques endodontiques.

L'infection endodontique primaire est donc une infection poly-microbienne peu spécifique au sein de laquelle on peut retrouver des virus, des champignons mais aussi et surtout les souches bactériennes suivantes : (9) (6)

<i>Spirochaetes</i>	<i>Fusobacteria</i>	<i>Actinobacteria</i>	<i>Firmicutes</i>	<i>Proteobacteria</i>	<i>Bacteroidetes</i>
<i>Treponema denticola</i> <i>socranskii</i> <i>maltophilum</i> <i>amylovorum</i> <i>medium</i> <i>lecithinolyticum</i> <i>pectinovorum</i> <i>vincentii</i>	<i>Fusobacterium nucleatum</i>  <i>periodonticum</i> <i>Leptotrichia buccalis</i>	<i>Actinomyces israelii</i> <i>gerencseriae</i> <i>naeslundii</i> <i>odontolyticus</i> <i>radicidentis</i> <i>Propionibacterium</i> <i>propionicus</i> <i>acnes</i> <i>Slackia exigua</i> <i>Eggerthella lenta</i> <i>Cryptobacterium curtum</i> <i>Corynebacterium matruchotii</i> <i>Rothia dentocariosa</i> <i>Olsenella spp.</i> <i>Atopobium spp.</i>	<i>Streptococcus oralis</i> <i>mitis</i> <i>sanguis</i> <i>anginosus</i> <i>constellatus</i> <i>intermedius</i> <i>mutans</i> <i>sobrinus</i> <i>Enterococcus faecalis</i> <i>Gemella morbillorum</i> <i>Lactobacillus cateniforme</i> <i>Eubacterium nodatum</i> <i>sulci</i> <i>saphenum</i> <i>minutum</i> <i>Mogibacterium timidum</i> <i>neglectum</i> <i>Peptostreptococcus</i> <i>anaerobius</i> <i>micros</i> <i>Fingoldia magna</i> <i>Fillifactor alocis</i> <i>Pseudoramibacter alactolyticus</i> <i>Dialiser pneumosintes</i> <i>Veillonella parvula</i> <i>Selenomonas sputigena</i> <i>Centipeda periodontii</i> <i>Staphylococcus epidermidis</i> <i>aureus</i>	<i>Neisseria mucosa</i> <i>Eikenella corrodens</i> <i>Acinetobacter baumannii</i> <i>Pseudomonas aeruginosa</i> <i>Escherichia coli</i> <i>Actinobacillus actinomycetemcomitans</i> <i>Haemophilus aphrophilus</i> <i>Campylobacter gracilis</i> <i>rectus</i> <i>showae</i>	<i>Prevotella intermedia</i> <i>nigrescens</i> <i>denticola</i>  <i>melaninogenica</i> <i>oris</i> <i>loescheii</i> <i>buccae</i> <i>oralis</i> <i>tanneriae</i> <i>dentalis</i> <i>Porphyromonas gingivalis</i> <i>endodontalis</i> <i>Capnocytophaga</i> <i>gingivalis</i> <i>ochracea</i> <i>Tannerella forsythensis</i>

Figure 1- Tableau reprenant les principales bactéries pathogènes retrouvées dans les primo-infections, issu de l'article de Siqueira (6)

Les infections endodontiques secondaires surviennent après un premier traitement. Une forte pression de sélection a modifié l'écosystème présent lors de la primo

infection, certaines bactéries issues de cette primo infection ont pu survivre, d'autres ont pu s'infiltrer dans un second temps. On note la présence de matériaux exogènes comme le ciment de scellement et la gutta percha dans le milieu, alors que lors de la primo-infection on ne trouvait que des tissus organiques, comme des débris nécrotiques pulpaire. Cette infection secondaire voit donc sa population bactérienne changer au profit de souches plus résistantes qui peuvent survivre dans des conditions de privation (issues de la primo-infection) ou coloniser des tissus qui ne leur sont de prime abord non propices (infection 2<sup>nd</sup> au sein d'un endodonte désinfecté et obturé). L'infection secondaire a donc une flore plus restreinte pouvant même se limiter à une seule souche bactérienne, fréquemment *Enterococcus faecalis* (E.f).

La détection des micro-organismes pathogènes endodontiques est permise par l'avènement de la biologie moléculaire et notamment l'évolution des techniques d'identification au sein des techniques de PCR (Polymerase Chain Reaction). La technique de PCR présente l'avantage d'être très sensible, d'identifier et de dénombrer des organismes « non encore cultivables », ou même morts. Si l'organisme est présent, qu'il soit mort ou vivant on peut considérer qu'il a joué à un moment ou à un autre un rôle dans le processus de colonisation et de développement de l'infection. Néanmoins il n'est au moment « t » du prélèvement plus un organisme pouvant induire la réaction inflammatoire c'est pourquoi lors des prélèvements réalisés immédiatement après un protocole de désinfection cette méthode de mesure peut sembler inopportune, en effet du matériel ADN de cellules mortes pouvant persister, être identifié et quantifié, alors qu'il n'est plus en mesure d'avoir un effet pathogène.

Ce problème de détection de bactéries mortes peut être contré par certains stratagèmes comme la mesure PCR du matériel ARN (Acide RiboNucléique) plutôt qu'ADN (Acide DésoxyRiboNucléique), la demie vie de celui-ci étant plus courte. De même le design de primers PCR plus longs permet d'autoriser l'amplification uniquement de fragments ADN longs donc plus susceptibles d'appartenir à des bactéries vivantes qu'à des fragments ADN de bactéries mortes le matériel long étant lui aussi moins bien conservé.(5). Dans ce cadre-là on effectue une recherche à priori en utilisant des primers connus d'une bactérie spécifique que l'on recherche. Dans le cadre d'une recherche sans a priori, lorsque l'on cherche à savoir quelles bactéries sont présentes, l'ensemble des bactéries est blasté puis le matériel ADN est comparé à des banques de données de bactéries connues, il n'est donc pas possible de mettre en place les stratagèmes évoqués auparavant.

On peut aussi objecter que même si la cellule est lysée, non viable et ne peut plus se multiplier, elle peut encore servir de substrats aux autres micro-organismes présents mais aussi entraîner une réaction inflammatoire chez l'hôte par les protéines présentes à la surface de sa membrane lysée notamment. Finalement le choix de la méthode de détection des micro-organismes endodontiques doit être réfléchi et fonction de la question à laquelle l'on cherche à répondre.

## II- Les solutions d'irrigation

Le traitement endodontique vise donc à éradiquer le facteur pathogène (bactéries, leurs produits, ainsi que les tissus infectés) de la manière la plus aboutie possible. Cette désinfection est assurée par des solutions d'irrigation qui en plus de leur action antibactérienne doivent répondre à d'autres caractéristiques qui peuvent être résumées comme suit :

### A. Le Cahier des charges des irrigants

Les capacités des solutions endodontiques doivent être multiples et peuvent être regroupées sous différents aspects. Propriétés Antimicrobiennes :

- Bactéricide : Les infections endodontiques primaires sont des infections peu spécifiques l'irrigant doit donc avoir un spectre le plus large possible. Un rétrécissement du spectre bactérien peut être intellectuellement envisageable dans le cadre d'une infection secondaire ou résistante, si un pathogène particulier est identifié lors d'un prélèvement, mais ceci n'est jamais (ou très rarement) transposé en pratique en endodontie (chose beaucoup plus fréquente en parodontie).
- Bactériostatique : il est reconnu que la stérilisation du canal est illusoire. Par conséquent il convient de garder les bactéries non éliminées dans un stade latent où elles ne sont pas à même d'exercer une pathogénicité ou de se multiplier.
- Rémanente : pour les mêmes raisons que pour le caractère bactériostatique.
- Neutralisation des endotoxines et produits bactériens comme le LPS (Lipopolysaccharides, molécules présentes à la surface de la membrane externe des bactéries Gram négatives) : Ces éléments entretenant la réaction inflammatoire délétère.
- Antifongique car lors de prélèvements dans le cadre d'infections primaires mais aussi secondaires il n'y a pas que des bactéries qui sont retrouvées
- Antivirale : comme pour le caractère antifongique

Propriétés Mécaniques :

- Une tension de surface appropriée : la rhéologie de la solution est essentielle pour lui permettre de pénétrer dans les différents isthmes et ramifications du réseau canalaire.
- Action lubrifiante pour faciliter la pénétration instrumentale et éviter de générer des fausses routes et des butées.

Des propriétés solvantes :

- Action sur les tissus inorganiques, chélatante : pour permettre l'élimination de l'enduit dentinaire déposé le long des parois canalaire lors de la mise en forme afin de limiter l'obstruction des tubulis ce qui pourrait emmurer des bactéries mais surtout empêcher la solution d'irrigation d'atteindre certaines zones.
- Action solvante sur le biofilm, une capacité à désorganiser le biofilm

- Action sur les tissus organiques, les débris nécrotiques.

#### Des propriétés de biocompatibilité :

- Non toxicité pour l'hôte : L'irrigant est en contact avec les tissus dentaires tout le temps du traitement endodontique. Avec l'effet de rémanence et la conservation de la dent en bouche pour, nous l'espérons, la durée la plus longue possible, ce temps de contact est prolongé. Il est donc opportun de sélectionner des produits non toxiques, non mutagènes, non carcinogènes etc.
- Ne pas provoquer de réactions d'hypersensibilité
- Ne pas entraîner de résistance antibactérienne au produit (Antibiotiques contenus dans le MTAD®)
- Une non modification des propriétés mécaniques de la dentine : le but du traitement endodontique étant la conservation de la dent et la mise en forme canalaire entraînant une réduction du volume de l'organe dentaire il apparaît opportun de ne pas entraîner une modification chimique affaiblissant les tissus restants.
- Une non modification des capacités d'adhésion au niveau canalaire compromettant la liaison dentine – ciment - gutta percha.
- Une non modification des capacités d'adhésion au niveau coronaire compromettant le continuum endoprothétique garant d'une obturation étanche et pérenne assurant une non recolonisation de l'endodonte. En effet la création d'une cavité à 4 parois assure un réservoir de solution mais implique aussi un temps de contact prolongé des dites solutions avec le plancher et la chambre pulpaire, siège de la future restauration.
- Une absence de réaction ou une réaction positive avec les autres solutions.
- Avec l'avènement de la bio-ingénierie tissulaire l'approche endodontique conventionnelle est en train d'évoluer vers des notions minimalement invasives et des principes plus biologiques, partant du principe que le meilleur matériau d'obturation reste la pulpe, et que celle-ci a des capacités de défense et de régénération insoupçonnées. Il est donc légitime de se demander dans le cadre de ces coiffages, pulpotomies ou encore revascularisations, quelle est la solution idéale à mettre en place. Au-delà de la simple question de la non toxicité de la solution sur un organe que l'on cherche à conserver l'on peut se demander si il est possible avant le coiffage par un matériau bioactif comme une biocéramique, si les solutions ne peuvent pas déjà orienter le tissu vers une réaction biologique favorable, ou si l'emploi de certains irrigants ne compromet pas la régénération que l'on est en droit d'espérer.

#### Des propriétés liées à l'acte endodontique :

- Facilité de mise en œuvre : Certaines solutions précipitent entre elles, il convient donc d'effectuer un rinçage, une aspiration et un séchage entre leurs passages. Ainsi l'utilisation d'une solution unique semble plus ergonomique.
- Effet de corrosion minimum sur les instruments de mise en forme.
- La non coloration des tissus dentaires.

Ce cahier des charges, liste qui se veut la plus complète possible mais qui n'a pas la prétention d'être exhaustive, montre qu'aucune solution d'irrigation ne peut regrouper toutes ces qualités. C'est pourquoi elles sont utilisées de manière complémentaire, les qualités de l'une venant combler les lacunes des autres. Nous allons donc dans la partie qui suit reprendre les avantages et les inconvénients des différentes solutions d'irrigation retrouvées de manière courante dans les cabinets dentaires.

## B. Les solutions d'irrigation antibactériennes conventionnelles

### 1. L'Hypochlorite de Sodium (NaOCl) : (10) (11).

L'hypochlorite de Sodium est aujourd'hui l'antiseptique le plus utilisé lors de l'irrigation en endodontie en effet il regroupe de très nombreuses qualités. Il possède un large spectre antibactérien, ainsi qu'une activité sur un certain nombre de virus, de levures, et même de spores (à contrario de la chlorhexidine qui elle se voit inefficace).

Elle est la seule solution à présenter aussi une action efficace sur les composés organiques que l'on peut retrouver, comme les débris nécrotiques pulpaire, mais une activité très modérée sur la fraction inorganique minérale, qui obligera l'utilisation d'une autre solution en complément pour l'élimination de la boue dentinaire (12).

Son activité lui vient de la réaction de dégradation de son sel en présence d'eau selon la réaction suivante :



La production de chlore qui est un oxydant, entraîne de nombreuses inhibitions enzymatiques au sein des bactéries. De même sa réaction de dissolution fait du NaOCl une base forte avec un pH élevé (ions hydroxyl), dont le mécanisme d'action s'apparente dès lors à celui de l'hydroxyde de Calcium, souvent utilisé comme matériau d'inter-séance. Elle agit donc aussi en plus de sa capacité d'inhibition enzymatique par oxydation irréversible de groupes sulfuryl, en altérant la membrane cytoplasmique, lui donnant une activité non spécifique. C'est le type de défense aspécifique qui peut être retrouvé au sein de l'organisme lors des réactions de lyses induites par les neutrophiles avec les myeloperoxydases.

Bien sûr cette activité est auto-limitante dans le sens où le chlore ayant interagi n'est plus disponible. Ce qui implique un renouvellement fréquent de la solution d'irrigation, un remplacement par de la solution fraîche pour garantir une efficacité d'action.

L'hypochlorite de Sodium peut être retrouvé en différentes concentrations. Les études tendent à montrer que son efficacité est plus importante lorsque sa concentration l'est aussi, mais elle présente une efficacité déjà très importante dès 2%. Il convient alors de prendre en compte la balance bénéfice/risque d'augmenter la concentration de son

irrigant. Son efficacité est liée à de nombreux facteurs et sa concentration n'est pas le seul paramètre à prendre en compte. En effet même si la disponibilité de la chlorine et l'augmentation du pH sont plus importantes avec une concentration supérieure (13), la profondeur d'injection, la surface de contact, le temps de contact, le volume de solution, ainsi que l'architecture du biofilm (14), jouent un rôle dans son efficacité. Ainsi seule la conjonction de tous ces éléments entraîne des variations significatives, une concentration plus importante en grand volume sur un temps de contact important auront de meilleurs résultats. Le changement d'un seul de ces paramètres n'entraînant pas de différence significative. (15). La diminution de la concentration est avancée comme un atout en cas d'extrusion de la solution, néanmoins la maîtrise du geste technique et de la détermination de la longueur de travail doivent prévenir l'extrusion, la qualité de la désinfection devrait donc primer.

Le NaOCl est la seule solution détenant une action solvante sur le biofilm permettant sa désorganisation et son élimination systématique, sans l'utilisation d'une aide mécanique(16).

L'hypochlorite de sodium est donc la solution qui répond de la manière la plus complète au cahier des charges, malgré quelques bémols : une inaction sur la fraction inorganique minérale, une cytotoxicité élevée à l'origine de complications lors d'extrusions au niveau du péri-apex.

Toutefois ces limitations sont relatives, en effet une utilisation méthodique et réfléchie : insertion de l'aiguille d'irrigation à une profondeur bien définie proche de LT-1mm ou LT-2mm selon le système d'aiguille, une irrigation sans pression excessive et sans avoir bloqué l'aiguille dans le canal pour permettre la remontée du liquide le long des parois etc., permet de limiter le risque d'extrusion. Pour ce qui est de son incapacité à agir sur les fractions minérales l'utilisation d'un chélatant en adjuvant résout le problème.

Son activité protéolytique sur la fraction organique pose aussi la question de l'adhésion par hybridation dentinaire lors d'un collage. Si le NaOCl a été utilisé après de l'EDTA([Ethylène diamine tétra acétique] pour éliminer la boue dentinaire et permettre une ultime désinfection dans les tubulis bouchés jusque-là), les fibres de collagène mises à nues par l'EDTA vont être dénaturées par le NaOCl (17), ce qui pourrait engendrer une moins bonne adhésion des ciments d'obturation à base de résine.

L'activité corrosive de l'hypochlorite de sodium n'affecte pas que les tissus dentaires elle est aussi retrouvée sur les instruments de mise en forme (18) (19) (20)

De même il est reconnu que le succès d'un traitement endodontique est aussi conditionné par la qualité du continuum endo-prothétique. Ainsi la restauration coronaire doit être de qualité. Il est donc important de savoir que le NaOCl aura un effet négatif sur les collages faisant intervenir un automordançage, et qu'un collage avec mordançage total devrait lui être privilégié.(10)

Son efficacité est importante mais d'un point de vue antibactérien il est rare, in vivo, d'arriver à des cultures négatives (21). C'est pourquoi l'on cherche à améliorer sa réactivité. Comme vu précédemment la réaction de solubilisation des sels d'hypochlorite est fonction du pH mais aussi de la température, ainsi une solution à 1% chauffée à 60° est plus efficace qu'une solution à 5.25% à température ambiante pour ce qui est de la dissolution des tissus inorganiques type débris pulpaire. L'activité antimicrobienne est aussi plus importante en

fonction de la température de la solution (22). Ainsi des dispositifs permettant de chauffer les seringues ont été mis au point, mais une fois au contact de l'endodonte la solution préalablement chauffée revenait très rapidement à température ambiante. D'autres dispositifs s'intéressent à l'augmentation de la réactivité du NaOCl et seront évoqués dans la troisième partie traitant des moyens d'activation.

## 2. La Chlorhexidine (CHX): (23)

La forme utilisée en endodontie est issue de la recherche sur les thérapeutiques antipaludéennes. C'est un polybiguanide qui est une base forte, stable dans un pH variant entre 5 et 8. Il se dissocie pour donner des molécules cationiques qui se lient aux membranes cytoplasmiques bactériennes, les polarisant, et induisant une fuite cytoplasmique par équilibre osmolaire. Selon sa concentration la CHX peut être bactériostatique ou bactéricide. Elle a un effet de rémanence car elle est capable de charger négativement les parois dentinaires.

Elle a aussi une activité sur les bactéries gram positives comme négatives, sur certains virus, levures et champignons.

Les études diffèrent quant à sa supériorité ou non d'un point de vue antibactérien en comparaison avec le NaOCl mais les rares études in vivo sont en faveur d'une équivalence (24) ou d'une infériorité (21) ne permettant pas d'envisager sereinement le remplacement du NaOCl mais plutôt l'utilisation de la CHX comme un complément.

De plus, toutes s'accordent sur son inefficacité d'un point-de-vue protéolytique et dissolution des tissus pulpaire restants. De même que sur son incapacité à désorganiser un biofilm, propriété que l'on ne retrouve que chez le NaOCl.

Pour ce qui est de la réduction des endotoxines, elles s'accordent toutes à démontrer une baisse significative lors des préparations chimio-mécaniques qui restent pourtant encore haute (réduction approchant en moyenne les 50%)(25). Le critère de la persistance des endotoxines ne semble donc pas être un critère particulièrement pertinent en vue de la guérison, mais l'on notera tout de même une diminution plus importante par le NaOCl.

La CHX pose aussi problème quant à ses nombreuses interactions avec les autres solutions utilisées dans le cadre de l'endodontie. En effet elle forme un précipité avec le NaOCl qui obstrue les tubulis dentaires et comporte des composés connus pour leurs propriétés cytotoxiques et cancérogènes (PCA= parachloroaniline). C'est pourquoi certains auteurs recommandent l'utilisation d'un volume d'au moins 10mL de solution saline entre ces deux irrigants(26). D'autres auteurs démontrant que ce volume n'est pas suffisant pour inhiber le processus de précipitation, de même l'utilisation d'EDTA ou d'acide citrique n'en sont pas capables(23).

Elle précipite aussi avec l'EDTA donnant un composé insoluble, de nombreuses interactions sont donc possibles et doivent être connues avant son utilisation.

Un de ses points forts vient de son activité d'inhibition des MMPs (Métalloprotéases matricielles) qui ont un rôle dans la longévité de l'hybridation dentinaire lors des collages. En effet leur activité enzymatique entraîne une lente destruction de l'interface, la CHX a

donc un rôle positif dans la pérennité du joint en cas de collage et peut donc éviter ou du moins limiter le risque d'infiltration secondaire.

### C. Les solutions chélatantes conventionnelles

#### 1. L'Éthylènediaminetétraacétique (EDTA) :

Avec ses extrémités anioniques il réagit notamment avec les ions  $Ca^{2+}$  de la dentine. Il possède des capacités de désinfection avoisinant celles d'une solution saline et ne peut donc pas être considéré comme un agent antibactérien et n'est pas utilisé en endodontie dans ce but là, mais pour ses propriétés chélatantes qui permettent une élimination efficace du smear layer dont la production est inhérente à la mise en forme canalaire. Une ouverture des tubulis permettant une désinfection finale plus poussée et une meilleure pénétration du ciment d'obturation canalaire. Il ne possède pas non plus d'activité sur la trame inorganique du smear layer (12), mais des propriétés érosives importantes qui posent question quant à l'affaiblissement des structures internes de la dent, et des propriétés adhésives des tissus restants avec les ciments résineux, sans pour autant que ces problèmes aient pu être mis en lumière au sein d'études.

Il présente néanmoins des interactions, notamment avec la CHX, ce qui aboutit à la formation d'un précipité rosé insoluble. Ses propriétés chélatantes ne sont pas considérées comme supérieures à celles de l'Acide Citrique (27) qui dans le cadre d'une utilisation de CHX lui sera donc préféré.

Le temps d'action optimum de la solution est de 3 min. (28)

#### 2. L'Acide Citrique (AC) :

Il est aussi utilisé pour ses propriétés déminéralisantes. Il aurait une efficacité pour ce qui est d'éliminer la boue dentinaire, similaire voire supérieure à celle de l'EDTA, mais induirait une légère diminution de la micro dureté dentinaire(29) sans pour autant affaiblir les propriétés mécaniques des dents ayant été traitées avec. (30) (31).

De même il aurait une meilleure biocompatibilité que l'EDTA et posséderait des propriétés antibactériennes, bien que limitées, contre les bactéries anaérobies (32) .

Ainsi il pourrait être préféré à l'EDTA lorsque le chélatant est utilisé après une irrigation à la chlorhexidine. Le temps d'action optimum de la solution est de 3 min. (28)

### D. Les solutions combinant les deux activités

Le cahier des charges complexe qui est appliqué aux solutions d'irrigation fait que plusieurs d'entre elles doivent être utilisées pour permettre d'obtenir l'effet désiré. C'est donc dans une logique de simplification des procédures que s'inscrivent le QMIX® et le MTAD®.

## 1. LE QMIX® :

Cet irrigant tente de réunir les principales caractéristiques demandées aux solutions d'irrigation en mêlant un agent antimicrobien biguanide, un acide polyaminocarboxique comme chélatant, ainsi qu'une solution saline et un surfactant.

Il a été démontré que cet irrigant est efficace sur plusieurs souches bactériennes avec notamment une élimination complète d'*Enterococcus faecalis* (*E.f.*) (33) Et même une activité sur *Candida Albicans* (34). Les études visant à comparer le QMIX® aux autres solutions couramment retrouvées ne donnent pas lieu à un consensus. En effet, certaines ne mettent pas en évidence de différence significative avec la Chlorhexidine, sous-entendant une efficacité équivalente (35), quand d'autres placent l'équivalence au niveau d'une solution de NaOCl à 2% et donc une efficacité supérieure à la chlorhexidine ou au MTAD® (36). Il est à noter qu'une autre étude met en avant la supériorité du Qmix sur la combinaison EDTA/NaOCl à 5.25%, mais lors de la préparation chimio-mécanique plus de 3mL d'hypochlorite de sodium sont utilisés dans tous les groupes y compris celui du Qmix. Par conséquent la grande capacité de désinfection retrouvée ne peut lui être imputée en totalité. (37)

Pour finir sa capacité à éliminer le smear layer et ouvrir les tubulis dentinaires serait voisine de celle de l'EDTA à 17% (36).

Le Qmix® est donc une solution efficace pour son aspect chélatant mais aussi antibactérien, même si les études investiguant ce dernier critère ne sont pas des études cliniques mais seulement ex vivo et in vitro, et n'amènent pas toutes les mêmes conclusions. Par conséquent il apparaît compliqué de l'utiliser seul pour toute la durée de la préparation chimio-mécanique et de la désinfection finale, et son utilisation couplée lui ferait quelque peu perdre de son intérêt, puisque le Qmix® a avant tout la volonté de remplir l'intégralité du cahier des charges avec une seule solution.

## 2. Le MTAD® : (38)

Les différents composants de cet irrigant sont censés couvrir les principaux rôles attendus des solutions d'irrigation avec : une activité antibactérienne amenée par la doxycycline (3%), une action chélatante pour agir sur le smear layer avec l'acide citrique à 4.25%, et 0.5% polysorbate 80 détergent pour améliorer sa rhéologie notamment.

Pour ce qui est de son efficacité antibactérienne, les résultats varient selon les études mais les résultats les plus récents et les plus pertinents (car reposant sur des biofilms et non plus des bactéries planctoniques) tendent à montrer une activité antibactérienne moins optimale en comparaison aux irrigants traditionnels. Il présente toutefois une activité fongicide rémanente jusqu'à 28 jours, mais moins importante que celle de la CHX ou du NaOCl. Sa capacité à agir sur les tissus organiques comme les débris nécrotiques pulpaire avoisine celle de l'EDTA, ne donnant ainsi pas satisfaction(12). Son activité sur le smear layer est plus importante que celle de l'EDTA, surtout dans le tiers apical, et son caractère auto-limitant lui permet d'éviter une déminéralisation de la dentine sous-jacente n'entraînant ainsi aucune modification des propriétés mécaniques de la dentine radulaire. De même cette déminéralisation peu importante et son activité protéolytique limitée permettent de pas dénaturer les surfaces de collage, permettant une obturation

coronaire plus étanche. Ceci dépendant néanmoins du temps d'application du MTAD®.

Le MTAD® est réputé plus biocompatible que le NaOCl, mais lorsque ce dernier est utilisé de manière correcte et sécurisée, sans dépassement il n'induit pas de douleurs post-opératoires particulières amenant, les deux solutions à des résultats identiques sur ce point(39). Cette biocompatibilité du MTAD® est relative car il obtient de moins bons résultats que le NaOCl dans les procédures de revascularisation avec une moins grande quantité de DPSCs pouvant coloniser et survivre au sein de l'endodonte précédemment irrigué.

Pour ce qui est de l'activité antibactérienne la doxycycline est bactériostatique et non bactéricide. Ceci permet de ne pas relâcher d'entotoxines inhérentes à la lyse bactérienne, mais pose la question, malgré un effet rémanent, de la possible recolonisation en cas d'évolution du milieu et apparition de conditions plus favorables pour les bactéries. De même, il s'agit d'un antibiotique, se pose donc la question de la résistance bactérienne. Rappelons que l'antibiothérapie topique en utilisation odontologique est interdite en France.

#### E. Les solutions complémentaires :

##### 1- H2O2 : (40)

Le peroxyde d'hydrogène est une substance comportant de multiples applications même hors du milieu médical, notamment comme agent blanchissant. C'est une molécule à fort potentiel réactif, qui lors de sa dissociation donne des radicaux libres oxygénés pouvant léser les membranes bactériennes, mais aussi entraîner des lésions irréversibles de l'ADN en plus de l'oxygénation des tissus. C'est pourquoi on le retrouve dans certains désinfectants de surface mais aussi comme réactif en endodontie principalement dans des thérapeutiques faisant intervenir des rayonnements lasers qui induiront la création des radicaux libres. Ou encore dans les différents protocoles de prélèvement endodontique lors de la désinfection du champ opératoire.

Son efficacité seul, en endodontie, est modérée et ne permet pas de l'envisager comme un substitutif du NaOCl. De même lorsqu'il est seulement couplé aux irrigants usuels son activité se voit augmentée sans pour autant augmenter significativement celle des autres(41) (42). C'est pourquoi il doit subir une phase « d'activation » et ne présente pas d'intérêt s'il est utilisé comme irrigant de manière passive.

##### 2- L'ETHANOL :

Il permet « d'assécher » les surfaces améliorant les propriétés de la dentine pour ce qui est de la mouillabilité notamment et permettant ainsi d'améliorer le contact avec les ciments à base de résine type AHPlus®. Il présente donc un intérêt à être utilisé en fin d'irrigation avant l'obturation. Dans un tel cas celle-ci doit être mise en place rapidement après cet ultime rinçage pour éviter un collapsus des fibres de collagène. (43)

Il présente un autre intérêt, en cours de désinfection. En effet comme vu

précédemment nombre de solutions présentent entre elles des interactions pouvant entraîner une diminution de l'efficacité de chacune d'elles, ou encore la formation de certains précipités pour certains toxiques (PCA). Le passage d'un volume de solution saline avant de changer de solution peut permettre de limiter ces interactions néanmoins elle n'a pas la capacité d'inhiber la formation du précipité brun contenant la PCA lors du contact NaOCl CHX(44) (23). Capacité que détient l'éthanol, qui de plus ne diminue pas les propriétés antibactériennes de la CHX après son passage(45).

L'un des derniers paramètres restant à évaluer pour son utilisation clinique est sa biocompatibilité. Les quelques tests disponibles montrent une réaction inflammatoire parodontale légère et ne survenant qu'après 6 semaines de contact répété quotidiennement chez le rat lorsque la pulpe n'est pas exposée (46) et une absence de réaction lors d'un contact direct unique avec une solution diluée.(47). Ceci faisant pencher la balance en faveur de la biocompatibilité dans le cadre d'une utilisation en endodontie.

Il apparaît donc comme une alternative intéressante en tant que rinçage intermédiaire lors de l'utilisation de solutions ayant tendance à précipiter et pour augmenter les capacités de liaison des ciments d'obturation à base de résine.

### 3- L' Ozone (O3) :(48)

L'ozone est un irrigant aux propriétés antibactériennes reconnues car c'est un composant hautement réactif. En effet il est instable et va se décomposer en donnant de l'eau et des radicaux libres.

S'est alors posé la question de savoir si son effet bactéricide était suffisant pour lui permettre de supplanter les irrigants traditionnels ou de s'y surajouter pour potentialiser l'effet de ses derniers dans un principe de synergie.

Une méta-analyse répondant aux principes PICO portant sur 8 études (7 in vitro et 1 essai clinique randomisé) s'est intéressée au sujet et met en lumière que l'effet de l'ozone seul est moins important que celui du NaOCl, et que pour atteindre un niveau de désinfection équivalent il faut un temps de contact plus long et une concentration plus élevée de l'ozone qui ne peut par conséquent pas remplacer le NaOCl en procédure courante.

De même, l'ozone peut être potentialisé par sa combinaison avec du NaOCl (meilleurs résultats que l'ozone seul), de la CHX ou encore une activation ultrasonore. Il y a donc des procédés pour améliorer son efficacité antibactérienne. L'ozone toutefois n'est pas quant à lui un potentialiseur dans le sens où son ajout après du NaOCl n'améliore pas les résultats obtenus par ce dernier. Seul l'EDTA voit son activité antibactérienne augmentée, ce à quoi l'on pourrait objecter que l'EDTA est reconnu pour avoir une activité antibactérienne quasi inexistante et n'est donc jamais utilisé dans ce but.

Par conséquent, bien que fréquemment mentionné dans de nombreuses publications ayant trait à l'endodontie, l'ozone ne semble pas être un irrigant de choix en endodontie.

Il n'y a donc pas de solution « miracle » regroupant toutes les qualités que l'on peut attendre d'un irrigant et les protocoles doivent être adaptés aux situations cliniques qui se présentent. Tout doit être modulé et réfléchi en fonction des étapes ultérieures du traitement, quel ciment d'obturation va être utilisé, quelle obturation coronaire sera choisie et puis je l'améliorer dans le cadre d'un collage ? Quelles sont les interactions possibles entre les différents produits que je compte utiliser etc. A ce jour le NaOCl reste donc le « gold standard » même si différentes combinaisons avec d'autres solutions et/ou moyens d'activation sont à envisager pour pousser encore plus loin la désinfection et tendre vers la stérilisation de l'endodonte.

### III- Les moyens d'activation

L'efficacité de la solution d'irrigation est liée à sa capacité de réaction, donc à son renouvellement, ainsi qu'à son temps de contact. D'où la nécessité d'amener l'irrigant dans toutes les zones. C'est aussi là qu'interviennent les différents moyens d'activation, soit en permettant à la solution de pénétrer dans des zones difficiles d'accès, soit en augmentant sa réactivité.

#### A. La Pression Positive et la Pression Variable contrôlée : (49) (50)

L'apport de solution d'irrigation dans le réseau endodontique peut être effectué à l'aide de divers dispositifs. Le plus commun, désigné sous le terme de « pression positive », est constitué d'une seringue et d'une aiguille de forme variable. Ce procédé diffère d'une injection dans le sens ou le produit ressort par le même orifice qu'il est introduit, assurant un flux de lavage et ce, parce que le système est considéré clos. Il apparaît donc comme évident que le risque d'extrusion est plus important lorsque la pression exercée par le milieu extérieur au réseau endodontique, les tissus péri-apicaux, est diminuée : nécrose avec destruction des tissus péri-apicaux, absence de constriction apicale, perte des tables osseuses etc (54). Cette pression du milieu extérieur qui pourrait permettre d'évaluer le risque d'extrusion lié à un dispositif est encore mal quantifiée, et est généralement assimilée aux valeurs retrouvées pour la pression sanguine dans les vaisseaux intra osseux ou les tissus interstitiels dans les modélisations par ordinateur, soit une fourchette allant de 20 à 30mmHg.

Ce système clos permet de modéliser et de comprendre la dynamique d'un fluide inséré dans le canal. Il permet aussi de mesurer différentes valeurs à différents points, comme la pression à la sortie de l'aiguille en direction apicale (qui permet d'évaluer le risque d'extrusion du dispositif), ou encore les forces s'appliquant aux parois canalaires (plus elles seront grandes plus les chances de déloger le biofilm mécaniquement seront grandes aussi). Ce type d'expérimentation est riche en enseignements théoriques sur la dynamique des fluides, il existe aussi des tests ex vivo et in vitro qui les valident et apportent des informations complémentaires, on relèvera notamment :

- La présence d'une zone neutre, « morte », où le liquide stagne et est très peu renouvelé. Le but est alors de supprimer cette zone (les dispositifs à pression

- négative n'en ont pas) ou de faire en sorte qu'elle se situe le plus apicalement possible.
- La création d'un « Vapor Lock effect », sorte de bouchon gazeux empêchant la propagation de la solution et lié à la nature de celle-ci. En effet la nature protéolytique de l'hypochlorite de sodium entraîne un dégagement gazeux lors de la dissolution des tissus(51). Néanmoins des solutions sont proposées pour diminuer ce phénomène comme : l'augmentation du diamètre apical de préparation, l'utilisation d'aiguille à ouverture frontale, l'application d'une plus grande pression, la descente de l'aiguille au plus près de la LT etc.
  - La propagation apicale de la solution (rappelons que l'objectif principal est d'amener la solution jusqu'à la limite apicale de préparation, la longueur de travail), la pression sur les parois latérales et le risque d'extrusion sont conditionnés par la forme de l'aiguille :
    - Les aiguilles à déflexion latérale sont plus sûres quant au risque d'extrusion car la pression en direction apicale est moindre, mais le liquide ne pénètre qu'1mm au-delà de l'aiguille(52). Elles présentent une bonne pression sur les parois latérales mais le remplacement de la solution d'irrigation par de la solution fraîche au niveau de la limite de travail est moindre.
    - Les aiguilles à ouverture frontale présentent un grand risque d'extrusion (53) mais une propagation du liquide jusqu'à 3mm au-delà de l'aiguille.
    - Les aiguilles à extrémité borgne présentent un faible risque d'extrusion mais aussi des valeurs faibles sur les parois latérales et donc une moins bonne action mécanique sur le biofilm.
  - La mécanique du fluide varie aussi selon la profondeur à laquelle il est inséré. Dans le cadre de préparations coniques plus il sera inséré haut moins le diamètre de l'aiguille sera adapté au diamètre du canal. Si l'aiguille n'est pas ajustée se forment alors à son extrémité des courants turbulents de type vortex qui sont inefficaces, et la pression sur les parois canalaires sera moindre (54). Ce type d'évènement se retrouve aussi dans le cadre des préparations de diamètre important (55). Ainsi le diamètre de l'aiguille et sa profondeur d'insertion doivent être adaptés à la mise en forme du canal.
  - La conicité permet une remontée facilitée de la solution, et par conséquent, une pression moindre à l'intérieur du canal, réduisant le risque d'extrusion mais aussi son efficacité sur les parois canalaires pour ce qui est de déloger le biofilm.(49,54)
  - La récapitulation pour la perméabilité canalaire et foraminale permet une meilleure dynamique de la solution, et sa pénétration plus en profondeur mais est corrélée avec le diamètre de la mise en forme. En effet une différence n'est significative que pour les diamètres de préparation apicale supérieurs à 30/100ème.(56)

Ces informations permettent au praticien de faire un choix adapté à chaque cas clinique quant aux diamètre et conicité de préparation, ainsi qu'au type d'aiguille et profondeur d'insertion. L'un des éléments clés qui transparaît est la pression exercée sur les parois canalaires pour en plus de la composante chimique apportée par la solution, y apporter une composante mécanique propice à disloquer le biofilm. C'est pourquoi dans

l'expérimentation que nous nous proposons de réaliser par la suite différentes pressions d'éjection (la pression réelle intracanalair e dépend de chaque morphologie canalair e et est donc impossible à déterminer mais la pression à la sortie de l'aiguille est quant à elle contrôlable) seront testées pour déterminer si l'une d'elle présente une plus grande efficacité antibactérienne. La problématique de l'extrusion ne sera pas oubliée, bien que d'évaluation empirique, avec la détermination visuelle de la présence de liquide au sein de « l'alvéole » en silicone du socle au moment du retrait de la dent.

Il a aussi été mis en évidence que la profondeur d'insertion de l'aiguille est un paramètre déterminant dans la capacité de l'irrigant à atteindre les zones apicales, ce qui peut être un réel challenge dans les canaux étroits (de nouveaux concepts de préservation tissulaire ont amené l'apparition de mise en forme de faible conicité) et/ou courbes (les aiguilles classiques ne sont que très peu flexibles et ne passent pas les courbures). C'est pourquoi une nouvelle génération d'aiguilles est apparue comme la TruNatomy® ou l'Irriflex® sans que pour le moment des études comparant leur efficacité antibactérienne avec des aiguilles classiques dans les canaux courbes n'aient été menées.

#### **B. La pression négative : (57)**

Cette technique vient en opposition à la technique classique lors de laquelle l'irrigant est expulsé dans le tiers apical par le biais d'une aiguille générant ainsi une pression positive. En effet dans le cas présent l'irrigant est inséré dans la chambre pulpaire pendant qu'une micro canule placée dans le tiers apical crée une aspiration à l'origine de la pénétration de la solution dans le canal. Cette absence de pression positive présente l'avantage de limiter voire même d'éliminer le risque d'extrusion de la solution, néanmoins il est facile à comprendre que la force exercée par la solution sur les parois canalaires, et susceptible de dégrader l'architecture d'un biofilm, est dès lors directement liée à la force de succion, et que le liquide cherchant à suivre le chemin qui lui est le plus favorable et le plus aisé n'aura pas forcément tendance à s'infiltrer dans des anatomies complexes ou des zones non instrumentées qui allongerait son chemin.

Il convient donc de se demander si la sécurité de la non-extrusion apporté par ce système de délivrance de la solution (plus qu'une activation à proprement parler) ne se fait pas au détriment de sa capacité à éliminer biofilm et boue dentinaire.

Les études à fort niveau de preuve prenant place chez l'homme dans le cadre d'essais randomisés et s'intéressant par exemple à un taux de guérison des lésions apicales selon le mode d'irrigation utilisé par l'évaluation de clichés radiologiques et/ou de la symptomatologie sont très rares et aucune n'intègre les dispositifs de pression négative.

Comme souvent c'est donc sur des études ex-vivo et in vitro que se basent les comparaisons. Nombreuses sont les études ne mettant pas en évidence de différences statistiquement significatives avec une irrigation conventionnelle (avec une seringue classique). Certaines y parviennent mais souvent en favorisant le groupe de la pression négative (volumes de solutions différents, profondeur d'introduction de l'aiguille dans le canal différente etc.).

Cette méthode bien que rassurante n'est néanmoins pas aisée à mettre en place, n'apporte pas de preuve de sa supériorité lorsqu'elle est opposée à une irrigation passive classique, nécessite un matériel spécifique mais son principal avantage reste la limitation

du risque d'extrusion. Rappelons néanmoins que ce risque peut être maîtrisé par le clinicien via la connaissance du matériel utilisé (type d'aiguille) et la réflexion liée à la clinique (présence de corticales osseuses autour de la lésion apicale, détermination de la longueur de travail, mise en place d'un stop sur l'aiguille etc.).

### C. L'activation manuelle dynamique :

L'activation dynamique manuelle cherche à éliminer la zone de stagnation du liquide à l'extrémité de la seringue, à permettre une meilleure pénétration et un renouvellement de l'irrigant dans les zones clés par un mouvement de pompage, et à briser un éventuel « vapor-lock ».

Un maître cône de gutta-percha adapté à la mise en forme mais légèrement moins conique (pour permettre un espace de reflux de la solution) et/ou dont l'extrémité a été coupée pour permettre un tug-back plus coronaire au sein du canal limitant le risque d'extrusion, est inséré dans le canal en présence d'irrigant. Son insertion fait pression sur le liquide augmentant le stress induit sur les parois latérales. Son retrait permet au liquide de pénétrer plus apicalement. Ainsi son agitation au rythme de 100 mouvements par minute sur une amplitude d'environ 2mm, est censée permettre de pallier à la passivité d'une irrigation conventionnelle à la seringue.(58)

L'efficacité antibactérienne propre à cette technique (mesure de la charge bactérienne avant et après par exemple) est peu investiguée et est souvent admise comme corollaire d'une plus grande efficacité à nettoyer le canal des débris générés par la mise en forme (les bactéries ne seraient ainsi plus emmurées et accessibles pour les irrigants au pouvoir bactéricide), ce sur quoi se concentre la plupart des études.

Sur ce point les études ne font pas consensus, certaines ne démontrant pas de différence avec une irrigation conventionnelle (59) quand d'autres y parviennent (60,61). Dans l'ensemble lorsque le protocole est correctement appliqué (choix du maître cône, longueur de travail, amplitude et fréquence du battement) cette technique semble compléter l'irrigation conventionnelle passive tout en restant moins efficace que d'autres techniques plus sophistiquées, comme les activations sonores, (61) ou photo-acoustiques induites par laser (62) sur différents points, notamment la profondeur de pénétration de l'irrigant dans les zones difficilement accessibles.

Malgré tout elle reste une technique facile à mettre en place, peu coûteuse, peu chronophage, ne nécessitant pas de matériel spécifique ce qui semble l'indiquer pour compléter l'irrigation conventionnelle et être une introduction aisée à l'activation dans le cadre de l'omnipratique. Toutefois il convient de mettre en place cette technique de manière réfléchie et en suivant les quelques conseils évoqués plus haut pour éviter l'extrusion et/ou la section du cône de gutta dans sa partie apicale.

### D. L'activation sonore- ultrasonore :

L'ultrason est une onde dont la fréquence est supérieure à 20kHz, elle a pour propriété de se propager au sein des fluides et d'induire diverses réactions au sein de ces derniers. Elle peut être générée par un phénomène de magnétostriction où l'alternance de champs magnétiques induit une oscillation qui donnera à l'embout un mouvement elliptique désavantageux dans une utilisation endodontique ainsi qu'un échauffement. Ou

bien par principe piézoélectrique où les variations de morphologie d'un cristal lorsqu'un courant lui est appliqué sont à l'origine de l'ultrason, donnant un mouvement plus linéaire à l'embout et sans échauffement, il sera donc préféré en endodontie.(63)

La propagation de cette onde ultrasonore au sein des solutions d'irrigation endodontiques va avoir plusieurs effets. La création d'un flux augmentant le contact de la solution avec les parois, facilitant leur progression apicale et au sein des variations morphologiques du réseau canalaire comme les isthmes. L'onde ultrasonore génère aussi un phénomène de cavitation au niveau de sa pointe créant des bulles d'air qui ont la capacité d'augmenter la turbulence du flux, de désorganiser les biofilms et même d'altérer ou du moins d'affaiblir les parois bactériennes. (64)

Ces notions induisent essentiellement une activité mécanique, donc de remontée de débris et de nettoyage physique du canal, peu d'action chimique même si l'élévation en température générée par l'agitation de la solution peut induire une augmentation de la réactivité de certaines solutions (le NaOCl (22)), et une activité antibactérienne peu investiguée.

Cette action est liée au mouvement propagé dans la solution par l'embout endodontique, mais le contact de celui-ci avec les parois canalaire interrompt l'onde ultrasonore, et le dispositif perd alors de son efficacité. C'est pourquoi l'on peut en attendre de meilleurs résultats dans des canaux larges et/ou ovalaires que dans des canaux étroits et/ou courbes et qu'il convient de l'utiliser après la mise en forme et l'élargissement du canal.(65)

Finalement l'amélioration de l'efficacité reposerait essentiellement sur l'amélioration de la dynamique de la solution, de son renouvellement et de son contact avec les tissus (durs dentaires, bactériens ou nécrotiques) sans réellement d'amélioration d'un point de vue de la réactivité des produits ou de l'activité antibactérienne.

Ainsi lorsque l'on se base sur des critères objectifs de premier niveau, type augmentation significative du taux de guérison des lésions péri-apicales d'origine endodontique lorsque l'irrigant bénéficie d'une activation ultrasonore passive, les études ne mettent pas en évidence de différence avec une irrigation passive classique à l'aide d'une seringue.(66)

Les études investiguant l'efficacité antibactérienne ont été menées in vitro, la plupart du temps sur une seule espèce bactérienne, et sans la volonté de création d'un biofilm, tout en établissant des protocoles en faveur de l'activation ultrasonore. Pourtant près de la moitié de ces études n'arrivent pas à mettre en évidence de différence significative.(67)

Pour ce qui est de la capacité à éliminer les débris qu'ils soient d'origine organique ou inorganique, minéralisés comme mous, malgré quelques protocoles favorisant à nouveau l'activation ultrasonore, les études tendent globalement à montrer une plus grande efficacité de cette activation (67).

Ainsi l'on peut remarquer que bien que le réseau canalaire soit moins encombré, cette amélioration ne se répercute pas sur la guérison du patient.

Il est donc concevable d'utiliser une activation ultrasonore en espérant un meilleur accès des irrigants dans les zones peu ou non instrumentées, et ainsi une meilleure désinfection et une meilleure obturation ultérieure. Toutefois sa non utilisation ne peut

pas être considérée comme une perte de chance pour le patient, la guérison étant plus conditionnée par le respect des règles de base de l'endodontie (soins sous digue, utilisation d'irrigants adaptés en quantité suffisante et aux bonnes longueurs, continuité endoprothétique...) que par l'emploi d'un complément comme l'activation ultrasonore.

#### **E. Le L.A.S.E.R (light amplificated by stimulated emission of radiation): (68)**

Pour comprendre l'intérêt que peut avoir un LASER dans l'activation d'une solution endodontique il convient tout d'abord de se pencher sur le mode de fonctionnement et les caractéristiques physiques des lasers.

La plupart des lasers fonctionnent sur des principes communs. A savoir : les électrons de différents atomes d'un matériau donné, vont être excités par une source d'énergie (le plus souvent électrique), de manière à créer une inversion de population (plus d'atomes à un état excité qu'à un état stable) et ainsi rendre le milieu actif. Le retour des atomes à leur niveau stable originel se fait par la restitution de l'énergie sous la forme d'une émission de particules énergétiques, les photons.

Les différences au sein des lasers viennent du matériau excitable :

- dans les lasers diodes il s'agit d'un semi-conducteur
- dans les Nd :Yag on retrouve un cristal d'Yttrium aluminium garnet dopé au néodyme
- dans les Er : Yag on retrouve un cristal d'Yttrium aluminium grenat dopé avec des ions erbium
- dans les Nd : Yap on retrouve un cristal d'Yttrium aluminium perovskite dopé au néodyme

Ces matériaux comportent des atomes différents dont les électrons liés ne peuvent prendre que des valeurs discrètes précises et non continues comme les électrons libres. Par conséquent le retour à un état stable des atomes se fait par l'émission de photons de niveaux d'énergie donnés, définis et propres au matériau. L'émission résultante de cette excitation amplifiée par les systèmes de résonance des lasers sera toujours une onde électromagnétique cohérente, monochromatique, et unidirectionnelle, mais dont la longueur d'onde varie, et est donnée par le matériau constitutif du milieu excitable et est donc propre au LASER. Ainsi :

- les lasers diodes émettent entre : 810 et 980 nm
- les lasers Nd : YAG émettent aux alentours de 1064 nm
- les lasers Nd : YAP émettent aux alentours de 1340 nm
- les lasers Er : YAG émettent aux alentours de 2940 nm

Ce paramètre est important car il détermine la pénétration tissulaire du rayonnement ce qui conditionne leur utilisation en odonto-stomatologie.

Ainsi les lasers Er : YAG et Nd : YAP sont relativement peu pénétrants au contraire des lasers Nd : YAG et diodes qui seront plus utilisés lorsqu'une action sur les tissus profonds est recherchée.

Nous venons de voir que la composante excitable du matériau détermine la longueur d'onde du rayonnement laser, mais d'autres caractéristiques de cette émission sont modulables, à savoir :

- la puissance

- la fréquence, lorsque le mode d'émission n'est pas continu mais pulsé.
- le temps de relaxe entre chaque impulsion, lorsque celui-ci est modifiable.

Ces paramètres permettent d'obtenir la fluence, qui correspond à l'énergie cédée sur une surface donnée, et qui va conditionner l'effet du rayonnement sur le tissu cible.

Ainsi plusieurs effets peuvent être obtenus par l'utilisation de lasers dans le cadre de l'odonto stomatologie, ceux recherchés en endodontie sont essentiellement :

- un effet thermique (séchage, coagulation, augmentation de la réactivité du NaOCl ...)
- un effet décontaminant par photothérapie dynamique
- un effet biostimulant des tissus périphériques
- un effet mécanique (propulsion et effet Venturi)

Selon leurs caractéristiques de longueur d'onde, de puissance, de fréquence, de temps de pulse (qui ne sont pas toujours modifiables), les lasers retrouvés en endodontie ne peuvent assurer toutes ces fonctions. Le LASER ultérieurement utilisé dans notre expérimentation est un laser diode car il est généralement de ceux dont le plus grand nombre de paramètres sont modulables et qu'il permettait notamment des effets thermiques, et de décontamination qui étaient les effets recherchés dans le cadre de procédure de décontamination sur des dents ex-vivo.

De nombreuses études s'attardent sur l'intérêt du laser d'un point de vue mécanique en espérant une amélioration de la remontée des débris générés pendant la mise en forme canalaire. Cet effet est notamment possible avec les technologies regroupées sous le nom de PIPS (photon induced photoacoustic streaming) ou encore LAI (laser activated irrigation), dont le but est d'obtenir la formation de bulles et d'un mouvement acoustique des fluides proche de ce que l'on peut retrouver avec une activation sonore/ultrasonore. De ce point de vue l'activation ultrasonore et l'activation manuelle permettent une meilleure évacuation des débris qu'une irrigation passive sans qu'il n'y ait de différence significative entre elles. De même les études peinent à mettre en évidence une différence entre l'activation ultrasonore et l'activation laser.(69)

D'un point de vue antibactérien, que le laser soit utilisé seul ou couplé à des réactifs dans le cadre de thérapies photodynamiques il ne montre pas d'efficacité supérieure aux standards actuels de désinfection (le NaOCl à haute concentration), ne laissant pas envisager son utilisation seul. Et même si les résultats tendent à montrer une amélioration de l'efficacité de l'hypochlorite lors d'une utilisation couplée, la différence n'est pas systématiquement significative selon les études (70).(71).

Néanmoins cette tendance laisse entrevoir la possibilité de diminuer la concentration de l'hypochlorite sans pour autant s'attendre à une diminution de son efficacité antibactérienne si elle est couplée à une activation laser. De récentes études montrent que l'activation laser d'une solution très faiblement concentrée (0.5% NaOCl) lui permet d'atteindre l'efficacité antibactérienne obtenue avec une solution de 2.5% amenée par irrigation passive, sans toutefois atteindre le niveau de désinfection d'une solution de 5% elle aussi administrée passivement par une seringue. (72)

L'activité cytotoxique sur les tissus apicaux du NaOCl étant proportionnelle à sa concentration, ceci peut être une avancée dans la balance bénéfique/risque pour le patient, en limitant les risques notamment dans des cas complexes d'apex ouvert par exemple.

## F. Le plasma :

Le plasma est un gaz chargé, ionisé, qui est considéré comme le 4<sup>ème</sup> stade de la matière car il est lié aux trois autres par des échanges d'énergie (73).

Pour passer du stade de gaz neutre au stade de plasma diverses manipulations sont possibles. Mais pour que son utilisation dans le champ médical en dehors des laboratoires soit possible, et qu'il soit exploitable cliniquement à la sortie de son appareil générateur, le changement de stade de la matière ne peut pas être opéré par augmentation de la pression ou par élévation de la température. C'est pourquoi les plasmas à application dentaire sont retrouvés sous l'appellation « plasmas froids » « plasmas atmosphériques non thermiques » ou encore « plasmas froids atmosphériques » qui est le nom le plus retrouvé (« cold atmospheric plasma= CAP »).

Ce gaz étant partiellement ionisé il est porteur de charges comme des électrons, des ions, des photons ou encore des radicaux libres. Il est ainsi possible via ces charges de le modeler par des champs électromagnétiques et de l'orienter et/ou de lui donner une forme. Son contenu réactif le rend intéressant dans la pratique dentaire pour les procédures de désinfection, c'est pourquoi il a été évoqué dans la stérilisation du matériel chirurgical et la parodontologie non chirurgicale. Mais ses charges lui permettent aussi une modification, une altération des surfaces lui octroyant des possibilités dans le prétraitement des surfaces avant un collage par exemple, ou encore dans les éclaircissements dentaires.(74,75)

L'activité bactéricide du plasma est démontrée (76–78) sur de multiples souches bactériennes. Dans le cadre des infections endodontiques les bactéries se présentent sous forme de biofilm et là encore son efficacité est démontrée (79) avec une activité bactéricide qui augmente avec son temps d'application et sa proximité avec la surface à traiter.

Dès lors des expérimentations visant à identifier un paramétrage optimal pour son utilisation en endodontie et une comparaison aux méthodes de désinfection actuelles ont été menées. Certaines études mettent en lumière son efficacité comparable aux irrigants actuels (80) mais sans analyse statistique et en utilisant comme point de comparaison des concentrations (0.2% CHX et 0.6% NaOCl) éloignées de celles considérées comme le gold standard de leur utilisation. Ou encore des médications intracanalaires (79,81) qui ne sont pas considérées comme des standards de désinfection (le CaOH<sub>2</sub> ayant une activité très limitée sur *E.faecalis* notamment).

D'autres études ayant choisi des points de comparaison plus judicieux confirment l'activité bactéricide du plasma, toujours plus élevée que les contrôles négatifs, mais démontrent une activité moins efficace que le gold standard actuel, le NaOCl à haute concentration (82) qu'il soit utilisé seul ou en association (Plasma+ NaOCl) (83).

Pourtant ses propriétés bactéricides, sa réactivité et sa capacité à amener des radicaux libres semblaient le prédestiner à une utilisation antibactérienne en endodontie mais son atout pourrait se trouver ailleurs que dans son activité bactéricide. En effet ce gaz chargé entraîne une modification de l'état de surface de la dentine et donne une meilleure mouillabilité aux irrigants (84), leur permettant une meilleure progression dans les tubulis dentinaires (donc l'accès à des zones non instrumentables), ainsi qu'une meilleure adhésion dans le collage à la dentine radiculaire assurant un continuum endo prothétique

réussi, gage d'une réhabilitation pérenne.

Il est tout de même à noter que pour pénétrer au sein des tubulis le plasma à besoin que ceux-ci soit ouverts au moins en partie. Dans les divers protocoles envisagés il doit donc intervenir après l'élimination du smear layer, de même il est plus efficace en milieu sec qu'humide, (84), on le retrouverait donc au moment de l'irrigation finale obtenant par exemple en reprenant une suite classique : EDTA → (séchage pointe de papier) Plasma → NaOCl.

Une autre application « endodontique » serait lors de la réalisation d'un ancrage radiculaire foulé, après la préparation du forage pour le tenon, le plasma ayant lui aussi une activité bactéricide mais ne dénaturant pas comme le fait le NaOCl la trame collagénique, il pourrait être utilisé pour garantir une ultime désinfection et améliorer le collage.

Enfin comme tout dispositif médical un intérêt particulier devrait être porté à son innocuité, ce gaz chargé ayant une grande affinité pour la dentine, et une rhéologie particulière ; même si sa facilité de pénétration dans les zones non -instrumentées semble être un point positif il convient de se demander quel est le risque pour le patient de son extrusion péri-apicale. Ce point n'a été que très peu soulevé, l'innocuité du plasma semble communément acceptée pour ses caractéristiques thermiques n'excédant pas les 40°C et ses réactifs à durée de vie très limitée.

**2<sup>ème</sup> PARTIE :**

**Intérêt des moyens d'activation des solutions d'irrigation en endodontie : une étude ex-vivo comparant l'efficacité antibactérienne d'une seringue classique, de l'EndoUltra, du Laser Diode et d'une seringue à pression contrôlée par mesure CFU.**

## I- Introduction

Nous avons pu voir lors de la première partie que les pathologies péri-apicales sont retrouvées lors de l'infection du réseau endodontique par une flore polymicrobienne variée, agencée sous forme de biofilm.

Nous avons aussi pu voir que l'effet antibactérien à proprement parler du traitement endodontique, était délivré par les différentes solutions d'irrigation au cahier des charges complexe, les amenant à être utilisées de manière synergique et non en solution unique. Il nous a aussi été donné de voir que malgré une irrigation conventionnelle poussée, il n'était pas possible d'arriver à une stérilité du réseau canalaire et que de nombreux moyens d'activation avaient été développés dans le but de potentialiser l'efficacité des irrigants.

Souvent les études menées sur l'efficacité des moyens d'activation s'attardent sur la capacité à améliorer la remontée de débris et/ou rendre le canal plus « propre » par l'élimination de l'enduit dentinaire produit lors de la mise en forme.

Certes ces éléments sont garants d'un meilleur accès des solutions antibactériennes aux spécificités anatomiques des canaux ainsi qu'aux substrats avec lesquels elles sont censées réagir, mais l'on peut considérer ce critère comme secondaire, le primaire devrait être l'efficacité antibactérienne.

De même les études comparent souvent un moyen d'activation à un élément de référence : l'irrigation passive à la seringue. Sans comparer ces instruments d'activation entre eux.

L'expérimentation ici proposée a donc la volonté de prendre en considération ces deux paramètres en y ajoutant une notion d'efficacité sur un biofilm polybactérien, ce qui semble plus pertinent qu'une étude menée sur une seule souche.

Ainsi l'objectif de l'étude est de comparer l'efficacité anti-bactérienne de différents dispositifs d'irrigation (Seringue à embout d'irrigation 3cc [Henry Schein, Melville], Seringue à pression contrôlée [PDSA, Vevey, Suisse], Laser Diode Gemini® [Ultradent France, Dardigny], EndoUltra® [MicroMega, Besançon]), sur des dents extraites colonisées par un biofilm allant jusqu'à quatre souches bactériennes, à l'aide de mesures CFU (Colony Forming Unit).

Dans le but de mesurer l'efficacité antibactérienne de chaque dispositif pour identifier si l'un d'entre eux montre une plus grande efficacité que les autres. Et ainsi apporter un éclairage sur l'utilité de ces dispositifs en pratique clinique et si leur utilisation permet au final d'espérer une amélioration du taux de guérison à l'issue du traitement endodontique.

## II- Matériel et méthode

L'étude porte sur des dents extraites, stérilisées puis contaminées avec des bactéries connues. Elles sont ensuite mises en forme suivant un protocole identique, avant d'être désinfectées à l'aide de 6 méthodes d'activation différentes (Seringue à embout d'irrigation classique, Seringue à pression contrôlée à 1 bar, 2 bars, 3 bars, EndoUltra®, Laser Diode).

Des prélèvements à l'aide de pointes papiers stériles sont effectués à divers temps puis mis en culture pour réaliser des comptages CFU et déterminer la charge bactérienne initiale puis après désinfection comme le montre le diagramme fourni en annexe 1.

### **Sélection de l'échantillon :**

#### Critères d'inclusion :

- Dents monoradiculées
- Dents non traitées endodontiquement

#### Critères d'exclusion :

- Présence de plusieurs canaux
- Carie radiculaire entraînant une communication entre l'endodonte et l'espace extra radiculaire
- Dents ne permettant pas la réalisation d'une cavité d'accès à 4 parois d'emblée (Restes radiculaires). Car il doit y avoir une zone réservoir permettant le renouvellement de la solution d'irrigation.
- Dents avec un apex ouvert (s'il n'y a pas de constriction apicale le biofilm tout comme la solution d'irrigation peuvent s'échapper du RCR pendant les différentes manipulations et fausser par la suite les mesures).
- Dents présentant des difficultés : minéralisation canalaire ou oblitération de la chambre pulpaire, canaux courbes ou présentant des divisions sur son trajet (types III, V et VII de Weine).

Le choix de dents monoradiculées est contestable, en effet il est attendu que les difficultés rencontrées en endodontie surviennent plus souvent sur des dents pluriradiculées présentant des courbures. C'est aussi la raison qui justifie ce choix, ainsi le facteur opérateur est minimisé au même titre que les risques d'oubli d'un canal accessoire, de fracture instrumentale, d'incapacité à mettre en forme jusqu'à la longueur de travail (LT), de contamination croisée entre canaux etc.

Ainsi, après répartition des dents dans leurs différents sous-groupes en suivant le modèle proposé dans le diagramme de l'annexe 1, un nombre de 192 dents a été initialement jugé nécessaire pour mener l'expérimentation à bien. Après une première vague de manipulations, l'impossibilité de certaines souches bactériennes à coloniser le milieu, a amené à l'élimination de certains sous-groupes, la partie statistique de l'étude ne porte donc finalement plus que sur 115 dents (5 étant réservées à la vérification de la colonisation par microscopie).

**A. Préparation de l'échantillon :**

Pour rendre les dents extraites comparables celles-ci doivent subir une décontamination poussée.

Tout d'abord décontamination de la surface radiculaire externe par débridement ultrasonore.

Une cavité d'accès au réseau endodontique est réalisée en respectant les critères usuels (à minima, permettant un libre accès instrumental sans contrainte, cavité à quatre parois ...).

La longueur de travail (LT) est déterminée de manière visuelle : Une lime de faible diamètre (10/100° de mm) est amenée au-delà de l'apex anatomique puis retirée jusqu'à ce qu'elle affleure l'apex. Le stop est mis en place sur un repère coronaire fiable. La lime est retirée puis mesurée. En se basant sur les travaux de Kuttler nous déterminons l'emplacement de la constriction apicale comme étant en moyenne à 1mm de l'apex anatomique. Il est donc retiré 1mm à la précédente mesure, on obtient ainsi la LT, longueur à laquelle sera mis en forme le canal.



*Figure 2- Radiographie de la dent lorsque la lime affleure l'apex*

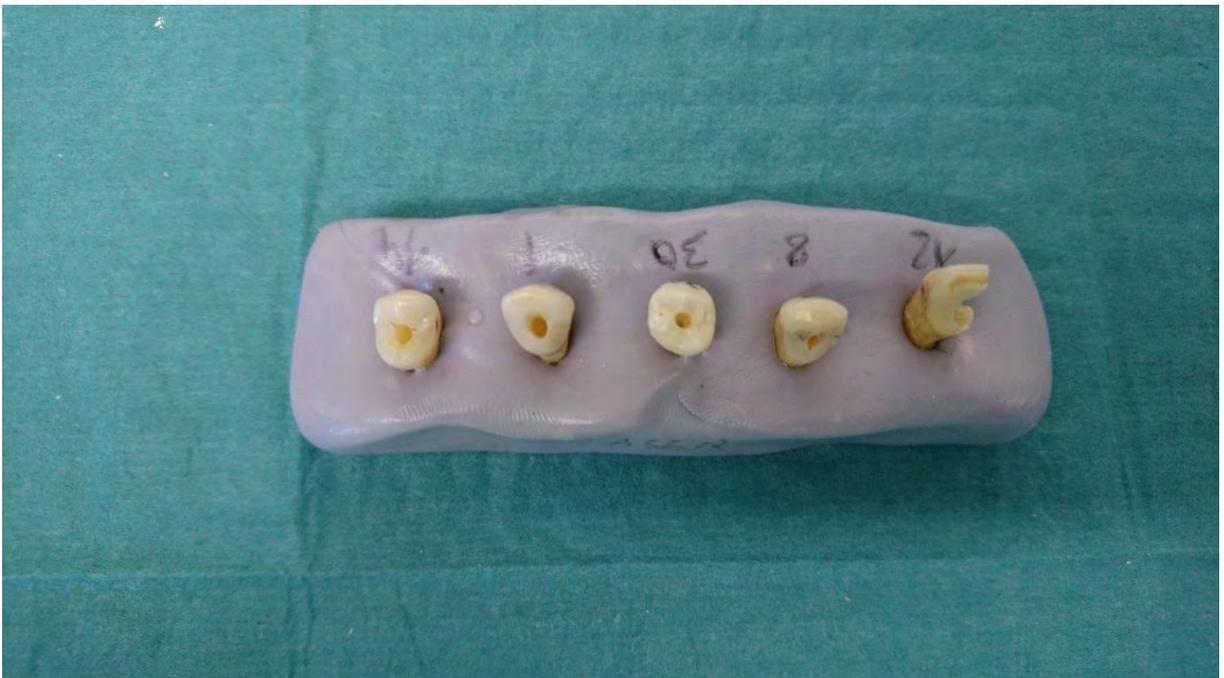


*Figure 3- Radiographie de la dent lorsque 1mm a été retranché à la mesure précédente*

La dent est alors préparée manuellement jusqu'à la lime de diamètre 0.20/100<sup>e</sup>mm, à LT pour permettre la contamination ultérieure du réseau canalaire.

Passage dans un bain de NaOCl puis rinçage et conservation dans du sérum physiologique.

Les dents sont alors réparties de manière aléatoire dans des supports en silicone, chaque support contenant 5 dents et correspondant à un groupe bactérien et un système d'activation.



*Figure 4- Photographie montrant les dents dans leur rack de silicone avant passage à l'autoclave*

Deux dents sont mises à part dans un support correspondant au contrôle (au blanc), qui subira les mêmes étapes de mise en forme, désinfection, et prélèvement que les autres dents sans avoir été au préalable contaminé, permettant ainsi de contrôler le caractère stérile en sortie d'autoclave et son maintien tout au long des différentes procédures.

Deux autres dents sont mises à part pour être étudiées au microscope après inclusion en paraffine (ces dents sont contaminées mais non traitées, elles servent à étudier la formation d'un biofilm).

Tous les supports passent à l'autoclave.

## B. Contamination

Comme vu précédemment les infections endodontiques primaires sont polymicrobiennes et s'agencent sous forme de biofilm. La plupart des études sont en général menées contre une seule souche bactérienne. Dans cette expérimentation nous avons cherché à nous rapprocher de la clinique en tentant de développer un biofilm polybactérien reprenant des bactéries anaérobies strictes et aéro anaérobies, ainsi que des bactéries Gram positif et Gram négatif, toutes retrouvées dans la flore pathogène endodontique de manière à reproduire de manière large et variée les possibilités de contamination endodontique. Ont été retenues initialement pour l'expérimentation les bactéries suivantes : *Fusobacterium Nucleatum (F.n)*, *Prevotella intermedia (P.i)*, *Porphyromona gingivalis (P.g)*, *Enterococcus faecalis (E.f)*.

La contamination est effectuée sous un PSM (poste de sécurité microbiologique) à flux d'air laminaire.

Le passage des dents à l'autoclave a tendance à les dessécher et à les rendre poreuses, par conséquent les dents ont été contaminées en trois vagues successives avec un gel bactérien comportant : Bouillon Bruscella, Agar, *Fusobacterium Nucleatum*, *Prevotella intermedia*, *Porphyromona gingivalis*, *Enterococcus faecalis*. Ou seulement le Bouillon Bruscella, l'Agar et une seule souche bactérienne.

A chaque passage l'aiguille est introduite le plus bas possible dans le canal puis le gel est injecté avec un mouvement de remonté jusqu'au remplissage de la chambre. Une lime 15 est alors insérée jusqu'à l'apex avec un mouvement de va et vient pour permettre au gel de progresser, puis le canal est re-rempli.

Après un temps de pause de 10min (temps nécessaire à la dent pour absorber le gel) un nouveau passage est réalisé pour réaliser les trois vagues.



Figure 5- Contamination

Les dents sont placées dans une boîte fermée hermétiquement avec des sachets d'anaérobiose.

Les dents ainsi contaminées sont alors laissées pendant 10 jours en anaérobiose dans une étuve à 37 degrés.

### C. Protocole de Mise En Forme :

Dans la pratique clinique le volume de solution utilisé lors de la mise en forme n'est pas constant. Avec l'avènement des procédures mono-instrumentales il a tendance à diminuer car il n'y a plus d'irrigation entre chaque changement d'instrument (celui-ci ne changeant plus). Il a alors été décidé pour se rapprocher de la clinique et obtenir des résultats reproductibles de ne mesurer dans cette étude que l'efficacité de l'irrigation finale qui est quant à elle systématique et standardisée.

Le choix du diamètre final d'ampliation (25/100<sup>e</sup>) peut sembler faible notamment dans le cas d'infections avérées. Néanmoins cela correspond au standard actuel des fabricants, dans les trousse instrumentales les diamètres supérieurs venant séparément et étant dès lors considérés comme réservés aux cas particuliers (apex ouverts ou résorbés par la pathologie péri-apicale) dans la pratique quotidienne de la plupart des cabinets dentaires. De même le but de cette étude est de comparer l'efficacité antibactérienne des moyens d'activation, minimiser la réduction de la charge bactérienne liée à la mise en forme semble aussi opportun.

### Protocole :

Sortie du Rack du contenant assurant l'anaérobiose. Travail sous le PSM. Le canal a été calibré avant colonisation jusqu'à la LT avec une lime manuelle acier de 0.20.

- 1- Insertion d'une pointe de papier de diamètre 0.20 amenée à la LT. Laisser en place 30s. A Faire 2 fois. Mise en Culture dans 0.5mL de Bouillon Bruscella faisant office de milieu de transport. Correspond au prélèvement t0.

Utilisation de la séquence ProTaper Next® à 300tr/min et couple 2.5N/cm.

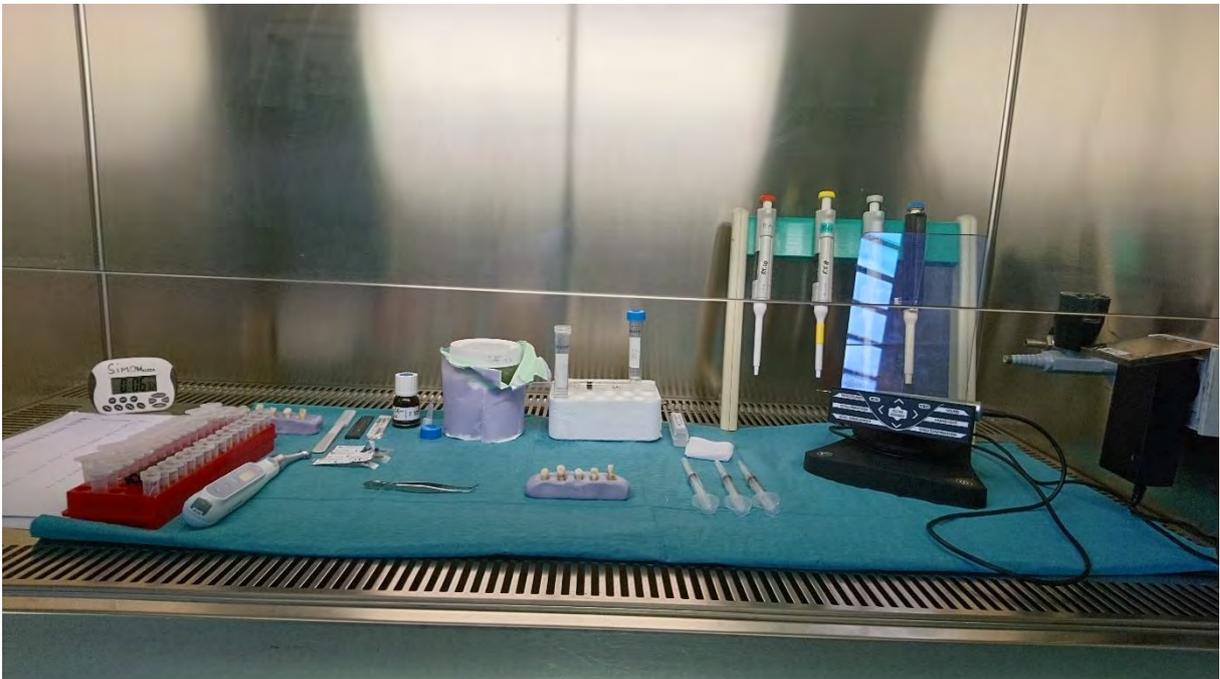
- 2- Utilisation d'une lime 15 pour vérifier la vacuité canalaire et la perméabilité jusqu'à la LT, cette lime sera ré-utilisée entre chaque passage d'instrumentation rotative pour vérifier la perméabilité.
- 3- Utilisation du X1 (diamètre 0.17 4%) en vague jusqu'à la LT  
Passage lime 0.15 de récapitulation +/- irrigation entre chaque descente pour éviter la formation d'un bouchon.  
Quand X1 arrive de manière passive à LT :

Utilisation du X2 (diamètre 0.25 6%) en vague jusqu'à la LT

Passage lime 0.15 de récapitulation +/- irrigation entre chaque descente pour éviter la formation d'un bouchon.

Jusqu'à ce que X2 arrive de manière passive à la LT.

Un volume constant de 2mL d'eau distillée est utilisé soit au moment jugé opportun par le clinicien pour éviter la formation d'un bouchon, soit en fin de mise en forme pour maintenir la comparabilité entre les groupes.



*Figure 6- plan de travail sous le PSM montrant de gauche à droite : les tubes prêts à recevoir les prélèvements, le moteur endodontique, les solutions d'irrigation, le rack en silicone contenant les dents, les seringues d'irrigation et le laser diode Gemini®.*

#### D. Les différents protocoles de désinfection

##### Protocole 1 : Irrigation Finale avec la seringue classique à déflexion latérale

- 1- La seringue d'irrigation est amenée à LT – 1 mm, l'irrigation est effectuée de manière passive sans pression excessive sur le piston et sans bloquer l'aiguille dans le canal. Un mouvement vertical de va et vient entre la portion coronaire du canal et LT-1mm est effectué pour favoriser le pompage et le renouvellement de la solution.  
Un volume total de 2,5 mL de NaOCl est ainsi injecté.
- 2- Pour limiter les interactions NaOCl et EDTA qui minimisent l'efficacité de chacun de ces produits une fois le volume de NaOCl injecté l'aiguille est descendue à LT-1mm et une aspiration est réalisée.
- 3- Un volume d'EDTA suffisant pour remplir le réseau canalaire jusqu'à la chambre est injecté puis laissé en place pour un temps total de 2min.
- 4- Une fois les 2min écoulées l'aiguille est descendue à LT-1mm et une aspiration est réalisée.
- 5- Un volume final de 2,5 mL de NaOCl est injecté en suivant le même protocole que précédemment.
- 6- 2 mL de solution saline sont injectés pour éviter que l'effet rémanent du NaOCl ne perturbe la mise en culture du prélèvement.
- 7- Une pointe de papier de diamètre 0.25 est insérée dans le canal et laissée en place 30s. A faire 2 fois. Puis mise en culture dans 0.5mL de Bouillon Bruscella faisant office de milieu de transport. Correspond au prélèvement t1.

##### Protocole 2 : Irrigation avec la seringue à pression variable

Cette méthode « d'activation » n'utilise pas de solution spécifique. Le protocole d'irrigation finale est donc identique au protocole classique développé dans l'utilisation de la seringue classique, à ceci près que l'irrigant est inséré dans le canal à l'aide du dispositif.

Compte tenu des difficultés de mise en place évoquées dans le manuel d'utilisation, seul le NaOCl sera injecté à l'aide de la seringue à pression contrôlée. Les aspirations et la mise en place de l'EDTA seront réalisées à l'aide d'une seringue classique.

- 1- La seringue à pression contrôlée est amenée à LT – 1 mm, l'irrigation est effectuée sans bloquer l'aiguille dans le canal et avec un mouvement vertical de va et vient entre la portion coronaire du canal et LT-1mm pour favoriser le pompage et le

renouvellement de la solution.

Un volume total de 2,5 mL de NaOCl est ainsi injecté.

- 2- Pour limiter les interactions NaOCl et EDTA qui minimisent l'efficacité de chacun de ces produits une fois le volume de NaOCl une aspiration est effectuée à l'aide d'une seringue classique descendue à LT-1mm.
- 3- Un volume d'EDTA suffisant pour remplir le réseau canalaire jusqu'à la chambre est injecté puis laissé en place pour un temps total de 2min à l'aide d'une seringue classique.
- 4- Une fois les 2min écoulées l'aiguille est descendue à LT-1mm et une aspiration est réalisée.
- 5- Un volume final de 2,5 mL de NaOCl est injecté en suivant le même protocole que précédemment avec la seringue classique.
- 6- 2 mL de solution saline sont injectés pour éviter que l'effet rémanent du NaOCl ne perturbe la mise en culture du prélèvement.
- 7- Une pointe de papier de diamètre 0.25 est insérée dans le canal et laissée en place 30s. A faire 2 fois. Puis mise en culture dans 0.5mL de Bouillon Bruscella faisant office de milieu de transport. Correspond au prélèvement t1.

### Protocole 3 : EndoUltra®

L'EndoUltra® est un dispositif d'activation des solutions endodontiques qui ne fait pas intervenir de solution spécifique mais potentialise l'effet de celles utilisées dans les protocoles classiques après leur injection. Les volumes, les temps et la manière d'apporter l'irrigant dans le canal sont donc identiques au protocole 1.

- 1- La seringue d'irrigation est amenée à LT – 1 mm, l'irrigation est effectuée de manière passive sans pression excessive sur le piston et sans bloquer l'aiguille dans le canal. Un mouvement vertical de va et vient entre la portion coronaire du canal et LT-1mm est effectué pour favoriser le pompage et le renouvellement de la solution.  
Un volume total de 2,5 mL de NaOCl est ainsi injecté.
- 2- L'Endo Ultra® est alors inséré dans le canal puis activé. Un mouvement de va et vient entre la portion coronaire du canal et LT-1mm est réalisé pendant un temps minimum de 30sec

- 3- Pour limiter les interactions NaOCl et EDTA qui minimisent l'efficacité de chacun de ces produits une fois le volume de NaOCl injecté, l'aiguille est descendue à LT-1mm et une aspiration est réalisée.
- 4- Un volume d'EDTA suffisant pour remplir le réseau canalaire jusqu'à la chambre est injecté puis laissé en place pour un temps total de 2min.
- 5- L'Endo Ultra® est alors inséré dans le canal puis activé. Un mouvement de va et vient entre la portion coronaire du canal et LT-1mm est réalisée pendant un temps minimum de 30sec
- 6- Une fois les 2min écoulées l'aiguille est descendue à LT-1mm et une aspiration est réalisée.
- 7- Un volume final de 2,5 mL de NaOCl est injecté en suivant le même protocole que précédemment.
- 8- L'Endo Ultra® est alors inséré dans le canal puis activé. Un mouvement de va et vient entre la portion coronaire du canal et LT-1mm est réalisé pendant un temps minimum de 30sec
- 9- 2 mL de solution saline sont injectés pour éviter que l'effet rémanent du NaOCl ne perturbe la mise en culture du prélèvement.
- 10- Une pointe de papier de diamètre 0.25 est insérée dans le canal et laissée en place 30s. A faire 2 fois. Puis mise en culture dans 0.5mL de Bouillon Brucella faisant office de milieu de transport. Correspond au prélèvement t1.

#### Protocole 4 : Utilisation du Laser Diode Gemini®

Le laser diode Gemini® autorise le réglage de nombreux paramètres permettant d'obtenir des effets différents sur les tissus cibles. Les effets recherchés dans le cadre de nos expérimentations se limitent à la désinfection (pas de bio-stimulation recherchée par exemple).

On recherchera donc un effet thermique sur le NaOCl (plus efficace si chauffé) et un effet photodynamique qui nécessite du peroxyde d'hydrogène.

Ce protocole diffère donc des précédents avec l'apparition de nouveaux irrigants et d'une nouvelle séquence même si des éléments sont communs. L'apport intra-canalair des différents irrigants se fait à l'aide d'une seringue classique.

Le laser Diode Gemini® permet d'utiliser des modes prédéfinis et de modifier certains paramètres mais non l'intégralité de ces derniers. Les valeurs chiffrées données dans le protocole suivant sont donc les données optimales pour l'utilisation souhaitée, et un contact avec le fabricant a été établi pour convenir des différents réglages opérables sur le laser Gemini pour se rapprocher le plus possible de ces valeurs.

- 1- La seringue d'irrigation est amenée à LT – 1 mm, l'irrigation est effectuée de manière passive sans pression excessive sur le piston et sans bloquer l'aiguille dans le canal. Un mouvement vertical de va et vient entre la portion coronaire du canal et LT-1mm est effectué pour favoriser le pompage et le renouvellement de la solution.  
Un volume total de 2,5 mL de NaOCl est ainsi injecté.
- 2- Le Laser Diode est réglé à 2W avec un Ton= 5ms et Toff= 5ms pour avoir un effet thermique. Il est inséré dans un mouvement de va et vient avec des rafales de 5s. La longueur d'onde de 910 nm rendant le laser pénétrant il n'est pas nécessaire de descendre le tip du laser plus bas que la moitié du canal. Trois rafales sont effectuées avec un temps de repos de 10s entre chaque.
- 3- De l'eau oxygénée à 10 Volumes est insérée dans le canal. Le Laser Diode est réglé à 2.3W avec Ton=33 $\mu$ s et Toff=133 $\mu$ s. Un mouvement de va et vient pendant des rafales de 5s est effectué. L'eau oxygénée est renouvelée après chaque rafale. Trois Rafales sont effectuées. L'eau oxygénée est laissée en place pendant 1 minute avant de commencer la dernière rafale.
- 4- Un volume d'EDTA suffisant pour remplir le réseau canalaire jusqu'à la chambre est injecté puis laissé en place pour un temps total de 2min.
- 5- Une fois les 2min écoulées l'aiguille est descendue à LT-1mm et une aspiration est réalisée.
- 6- 2 mL de solution saline sont injectés pour éviter que l'effet rémanent du NaOCl ne perturbe la mise en culture du prélèvement.
- 7- Une pointe de papier de diamètre 0.25 est insérée dans le canal et laissée en place 30s. A faire 2 fois. Puis mise en culture dans 0.5mL de Bouillon Bruscella faisant office de milieu de transport. Correspond au prélèvement t1.

#### E. Ensemencement

100 $\mu$ L de chaque milieu de culture sont prélevés puis mis en culture sur gélose au sang par technique d'inondation.

#### F. Analyse du Tiers Apical

La complexité anatomique, la difficulté d'accès, et le caractère conique de la mise en forme, font que la portion la plus à même d'être mal désinfectée correspond au tiers apical de la dent. Il a donc été pensé un protocole pour investiguer plus en avant la charge bactérienne de cette portion, en la séparant du reste de la dent, en la « broyant » puis en la mettant en culture. Ceci permettant de noter la présence de bactéries même si celles-ci se trouvent dans des deltas apicaux, des canaux accessoires, hors du canal principal et donc

inaccessible par prélèvement à la pointe de papier, et de comparer si les protocoles de désinfection étaient efficaces quel que soit le tiers de la dent.

Le protocole initial était donc le suivant :

La méthode employée n'étant pas assez puissante pour pulvériser la dent, elle correspond plus à l'extraction des bactéries du réseau endocanalaire, et à leur mise en suspension dans le milieu de culture par agitation.

Passage du PSM à une zone rendue « stérile » à l'aide d'un bec bunsen.

- 1- Sortie de la dent du Rack
- 2- Découpe à l'aide de la disqueuse dans le grand axe de la dent pour mettre à jour le canal sur toute sa longueur
- 3- Découpe des 3mm apicaux
- 4- Insertion des 3mm apicaux et du reste de la dent dans 2 tubes différents. Chacun contenant 1 mL du milieu de culture (Bouillon Bruscella) et des billes métalliques.
- 5- Passage dans l'agitateur 2 fois 30s.
- 6- Mise en culture de la solution.



Figure 7- Photographie montrant le plan de travail lors de la réalisation des broyats



Figure 8- Photographie montrant les sections obtenues avant centrifugation pour mise en suspension

#### G. Modifications apportées au cours de l'expérimentation

Après une première série d'expérimentations nous avons pu remarquer que :

- La contamination polybactérienne fonctionnait mais avec une prédominance de *E.f*
- Les contaminations mono souches de *Pi* et *Fn* ne donnait pas de CFU par conséquent le milieu (dent extraite stérilisée) n'était pas propice au développement de ces souches. Il a donc été décidé de ne pas les renouveler dans la suite de l'expérimentation, et de ne renouveler que *E.f* (contamination élevée avec plus de 300ufc systématiquement) et *P.g* (contamination systématique mais peu élevée).

De même lors de la dernière vague d'expérimentation il a été constaté que la contamination avec *P.g* était inconstante, peu productive, peu reproductible et non exploitable.

Aussi, le protocole initial de broyat ne pouvant être réalisé sous PSM (création de poussière dentinaire) donc dans des conditions d'asepsie idéales, et utilisant une scie non stérilisable qui n'a pu être désinfectée qu'à l'aide d'un désinfectant de surface type surfasafe, il a donné lieu à des contaminations (visible dans le premier tableau au niveau des blancs) rendant ces données non exploitables.

Il a donc été envisagé par la suite d'inclure les dents dans de la paraffine et de réaliser des coupes et une analyse au microscope comme pour les deux dents sorties en début de protocole pour vérification de la création d'un biofilm.

## H. Analyse statistique

Dans un premier temps, la lecture CFU des boîtes de pétri et le comptage des colonies donnaient des variables quantitatives discrètes, il était donc possible d'appliquer un test t de Student pour effectuer les comparaisons, le seuil de significativité étant placé à 5% ( $p < 0.05$ ).

Le confinement lié aux limitations de propagation du Covid-19 ayant entraîné une fermeture précipitée des différents laboratoires il n'a pas été possible d'effectuer un comptage dans le temps imparti, les derniers résultats ont donc été obtenus sous la forme (positif : présence de colonies ; négatif : absence de colonies). Les résultats sont donc devenus des variables qualitatives nominales, dichotomiques, sur de petits effectifs. Il a donc pour la comparaison été appliqué un test exact de Fisher avec la aussi un seuil de significativité de 5% ( $p < 0.05$ ).

## III- Résultats

Le tableau de résultat comportant toutes les mesures CFU relevées nécessaires aux calculs statistiques est donné en annexe 2.

Son exploitation amène les informations suivantes :

### A. Comparaison des colonisations

La colonisation par le gel polybactérien est importante, reproductible et quasi identique dans chaque groupe avec un nombre de CFU > 300 UFC.

La colonisation monobactérienne est faible est très peu reproductible pour la souche *P.g*, et est inexistante pour *F.n* et *P.i*. Elle est au contraire très importante et reproductible avec *E.f* ce qui était prévisible suite à l'analyse de la morphologie des CFU ainsi que l'analyse au microscope des contaminations obtenues avec le gel polybactérien où *E.f* prédominait.

Moyen d'activation	Souche bactérienne	Numéro dent	t0	t1	Broyat Haut	Broyat Bas	Culture t0	Culture t1
Endo Ultra	Mix	3	>300 UFC	0	0	0	+	-
Endo Ultra	E.F	4	>300 UFC	0			+	-
Endo Ultra	P.I	3	0	0			-	-
Endo Ultra	F.N	9	0	0			-	-
Endo Ultra	P.G	7	1	0			+	-
Endo Ultra	P.G	19	39	0			+	-

Figure 9- Extrait des résultats CFU illustrant la colonisation bactérienne à t0 selon la souche (l'intégralité des résultats est consultable en annexe)



Figure 10-Photographie illustrant les résultats CFU obtenus à partir d'un prélèvement t0

On note aussi la présence d'une contamination dans les manipulations amenant les prélèvements « broyats » haut et bas, rendant leurs données non exploitables, et ayant amené à changer le protocole pour une inclusion en paraffine et coupe histologique. (Contamination visible sur les blancs notamment).

Moyen d'activation	Souche bactérienne	Numéro dent	t0	t1	Broyat Haut	Broyat Bas	Culture t0	Culture t1
Blanc Mix	Blanc	23	0	0	47	>300 UFC	-	-
Blanc Mix	Blanc	33	0	0	5	0	-	-

Figure 11 - Extrait des résultats CFU illustrant la contamination liée au protocole de broyage (l'intégralité des résultats est consultable en annexe)

### B. Efficacité des protocoles de désinfection

Les différences entre le nombre de CFU retrouvé à t0 et à t1 sont significatives à l'intérieur de chaque groupe pour ce qui est du groupe contaminé par le gel polybactérien d'un point de vue quantitatif. Ainsi toutes les méthodes testées ont significativement diminué la charge bactérienne initiale.

De même du point de vue qualitatif, les différences retrouvées lors de la comparaison du pourcentage de dents donnant des cultures positives avant et après traitement sont significatives.

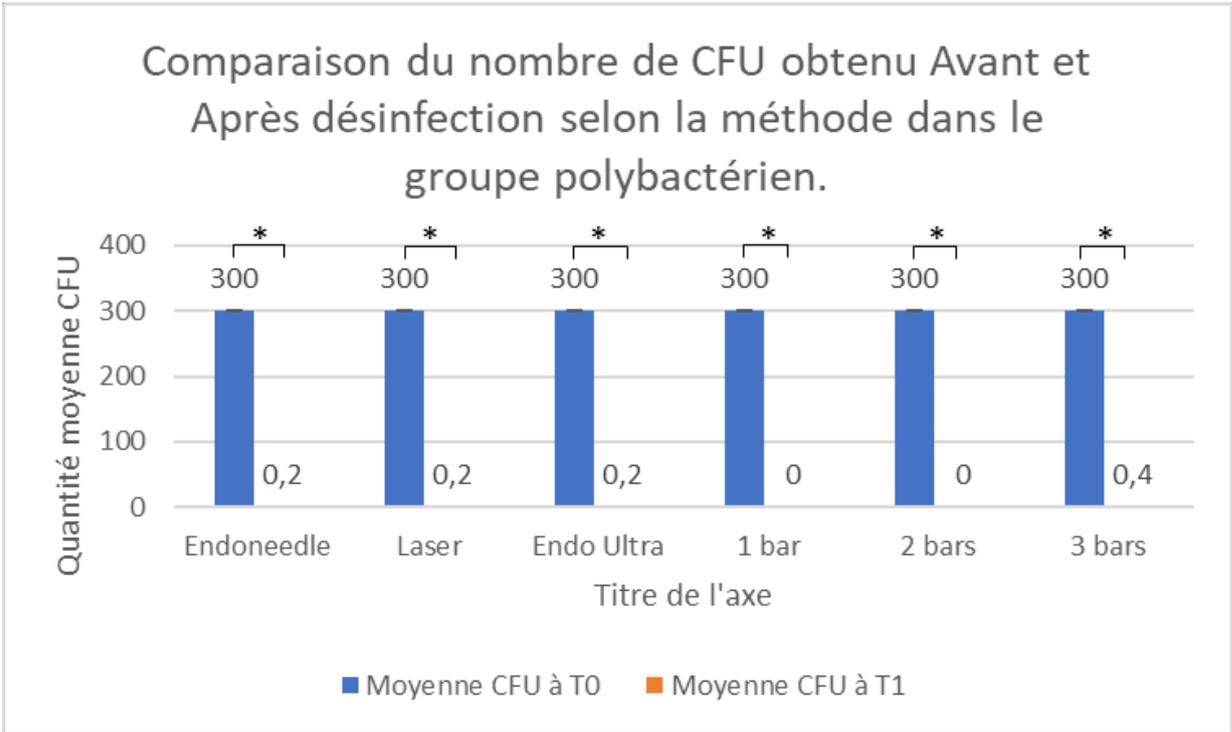


Figure 12-Comparaison du nombre moyen de CFU obtenu avant et après désinfection selon la méthode

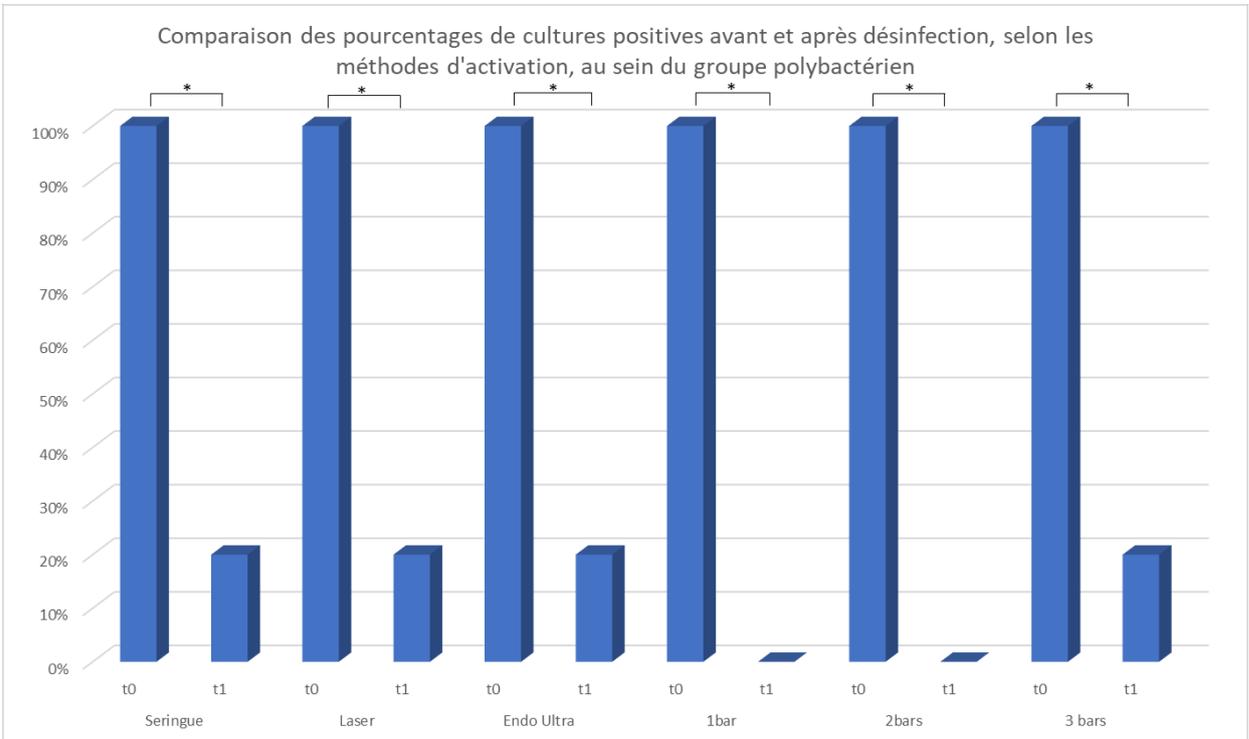


Figure 13- Comparaison des pourcentages de cultures positives retrouvées avant et après désinfection selon les méthodes d'activation, au sein du groupe polybactérien

Ceci n'étant plus vrai dans les groupes dont la contamination est mono-souche *E.f* où seuls des résultats qualitatifs ont pu être mesurés, et où les différences de pourcentage de dents donnant des cultures positives ne sont significatives que pour les groupes : EndoUltra®, Laser, 1bar et 3 bars.

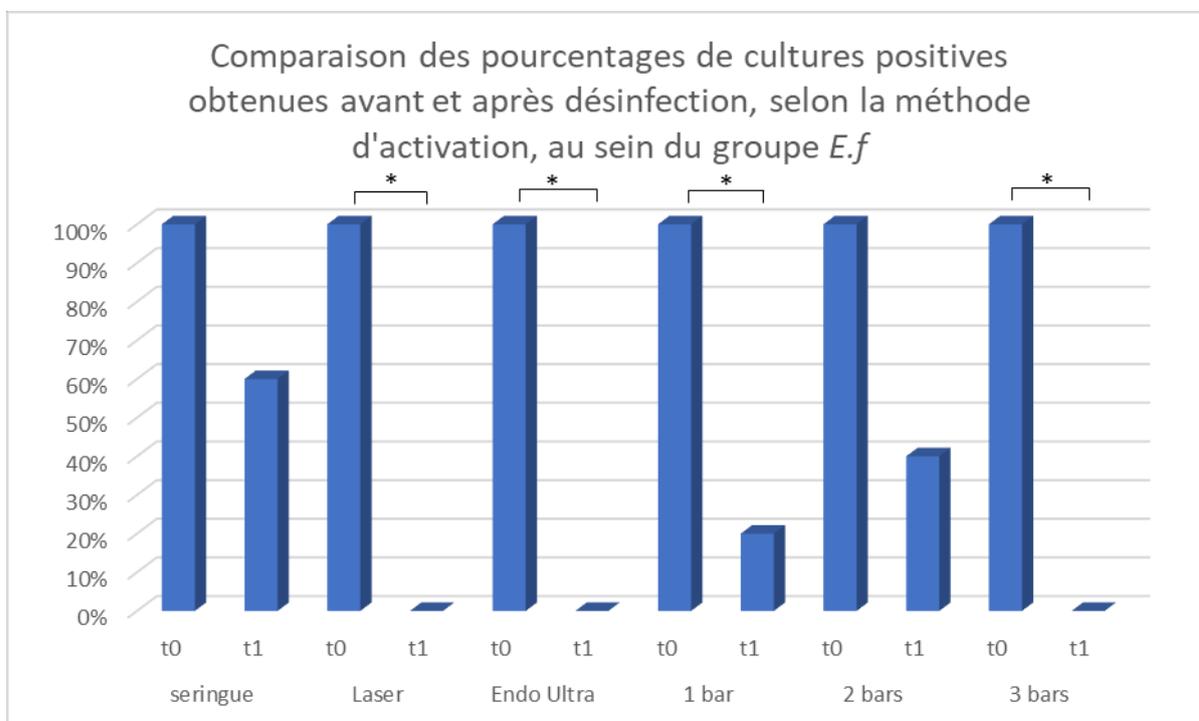


Figure 14- Comparaison des pourcentages de culture positives obtenues avant et après désinfection selon la méthode d'activation, au sein du groupe *E.f*

### C. Comparaison des méthodes de désinfection entre elles

La comparaison des relevés CFU à t1, donc après désinfection, est censée illustrer les différences d'efficacité antibactérienne entre chaque méthode d'irrigation.

Les différences obtenues sont très faibles et non significatives que ce soit d'un point de vue quantitatif avec la comparaison du nombre moyen de CFU obtenues ou qualitatif avec la comparaison des pourcentages de cultures positives obtenues après désinfection, et ce pour les groupes polybactérien ou *E.f* monosouche

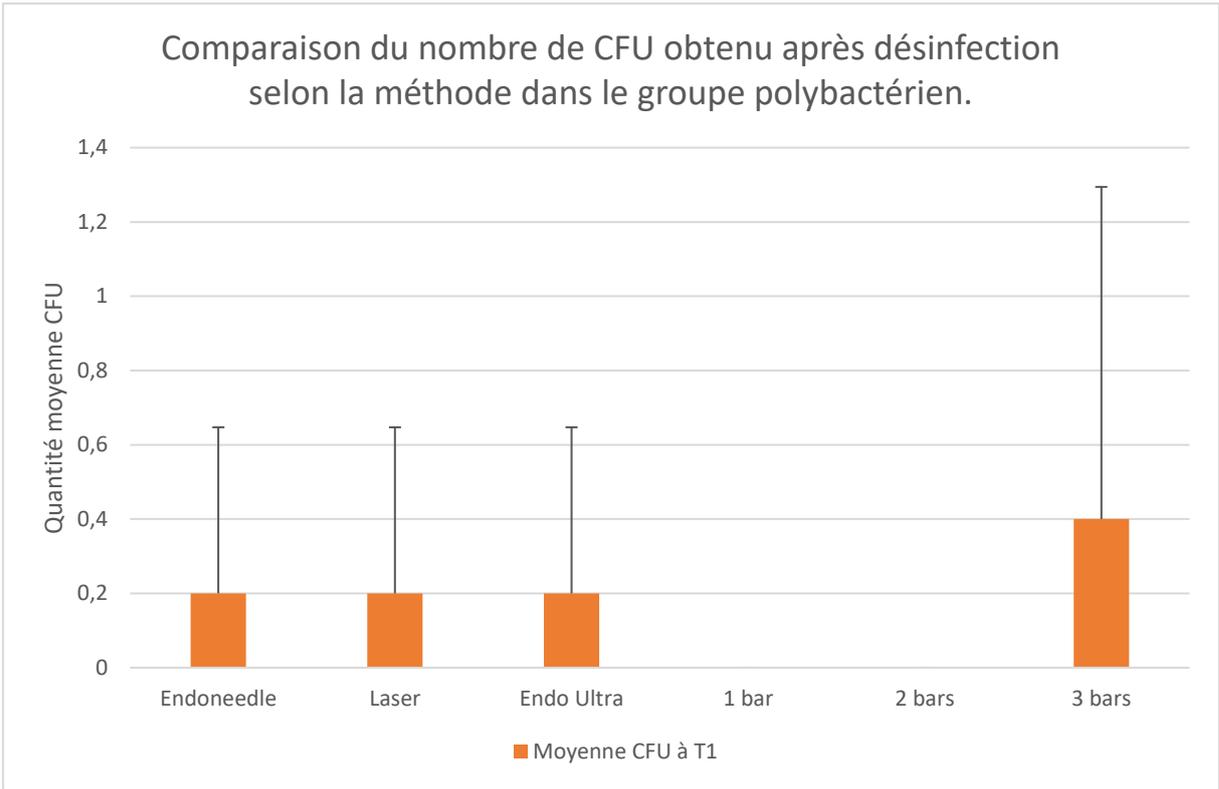


Figure 15- Comparaison du nombre de CFU obtenu après désinfection selon la méthode

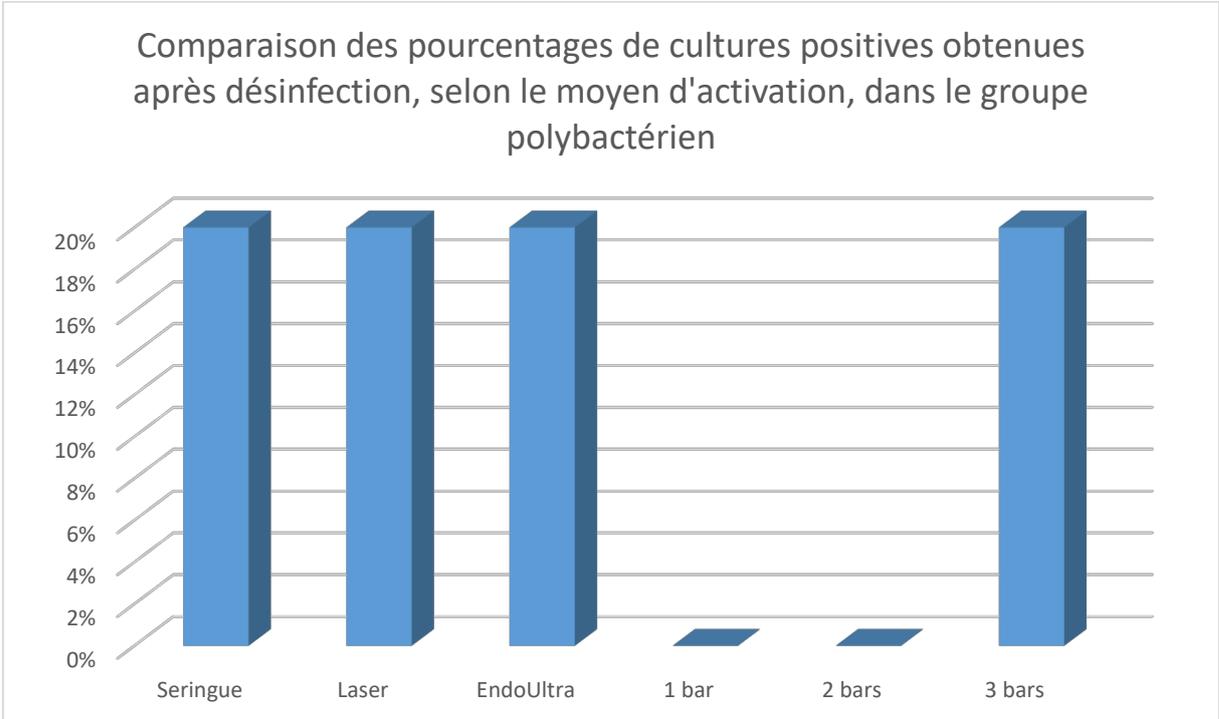
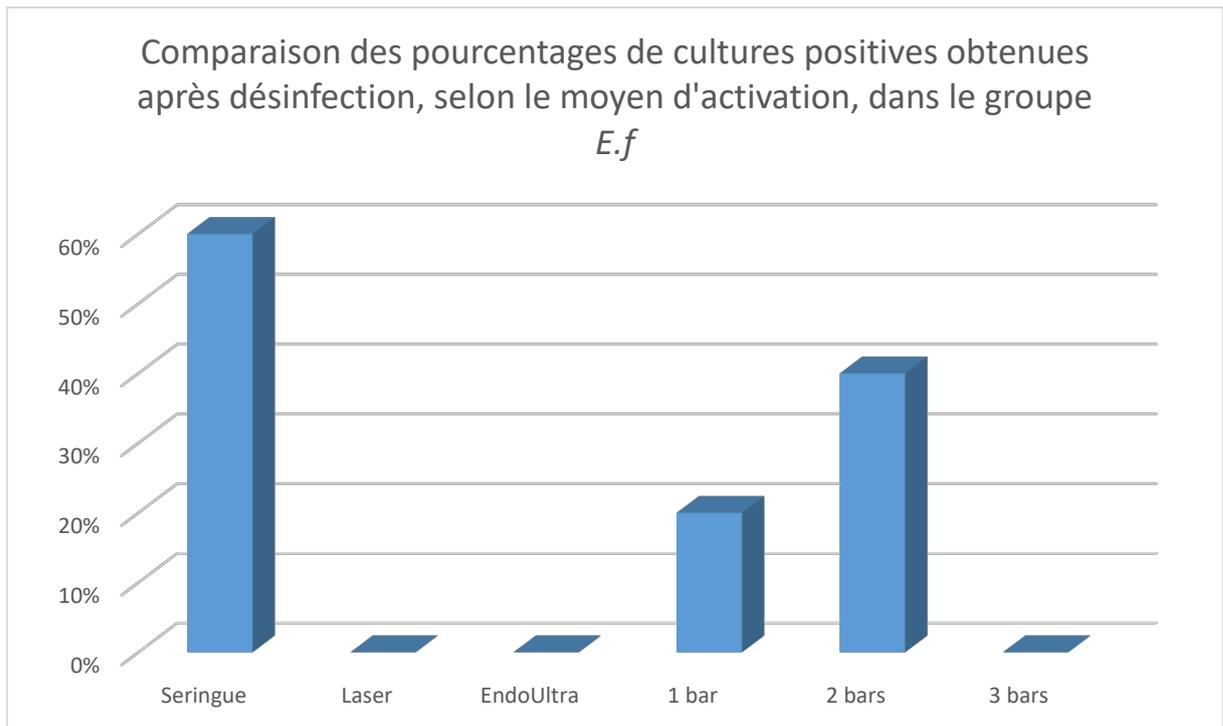


Figure 16- Comparaison des pourcentages de cultures positives obtenues après désinfection selon le moyen d'activation, au sein du groupe polybactérien



*Figure 17- Comparaison des pourcentages de cultures positives obtenues après désinfection selon le moyen d'activation, au sein du groupe E.f*

Ainsi lors des premiers temps de manipulation il a été possible de compter les colonies et d'établir des données quantitatives, alors que lors du dernier temps seul des données qualitatives (culture positive/ culture négative) ont pu être relevées.

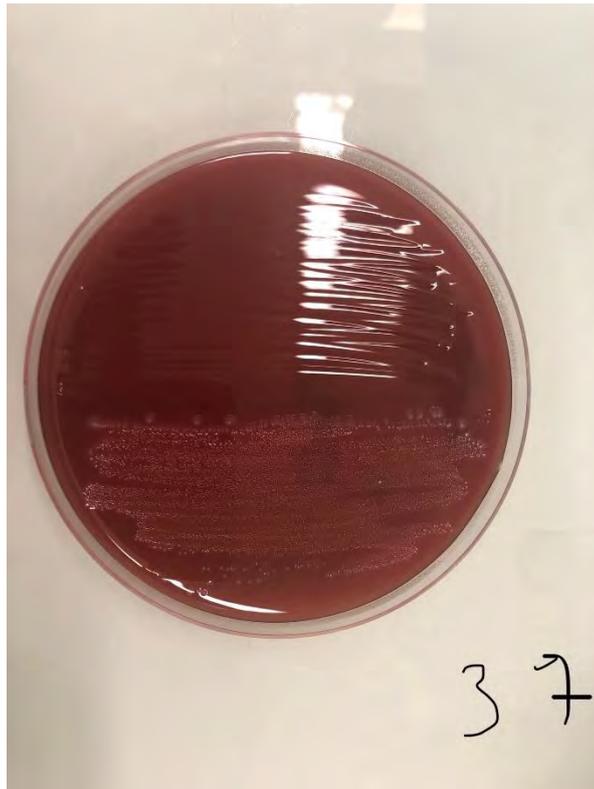


Figure 18- Boîte présentant un t0 positif à plus de 300UFC et un t1 négatif



Figure 19- Boîte présentant un t0 positif à plus de 300UFC et un t1 positif mais à moins de 300UFC



Figure 20- Boîte présentant un t0 négatif et un t1 négatif

#### IV- Discussion

Il a été constaté lors du comptage CFU que les bactéries prélevées au moment t0 pour vérifier la présence de bactéries avant désinfection étaient en très grande majorité des *Enterococcus Faecalis* dans le groupe « Mix » correspondant au gel polybactérien.

Il semblerait donc que les différentes bactéries soient entrées en compétition et que *E.f* ait pris le dessus. Même si le choix des bactéries utilisées pour la colonisation est appuyé par une étude de la littérature sur les principaux pathogènes retrouvés dans les infections endodontiques il serait donc sans doute plus pertinent d'utiliser un prélèvement issu d'une infection endodontique chez un patient pour se rapprocher de la clinique.

De même, certaines souches bactériennes après un temps de colonisation de 10 jours affichent des cultures négatives, ce qui nous a amené à les retirer des manipulations suivantes (*Pi*, *Fn*, et même *Pg* dans un deuxième temps). Le milieu qui leur a été proposé semble donc relativement hostile, il convient de réfléchir à un moyen de l'améliorer (Insertion avant contamination d'un gel contenant des nutriments qui serait absorbé par les porosités de la dentine par exemple).

Dans un premier temps cette expérimentation avait été pensée avec un autre prélèvement intermédiaire pour permettre de comparer le nombre de CFU obtenu après préparation mécanique (et donc avant désinfection chimique) et après irrigation, dans l'espoir d'illustrer qu'une désinfection mécanique est insuffisante et moins poussée qu'une

préparation chimio-mécanique avec désinfection finale. Le peu de bactéries retrouvées à t0 et le grand nombre d'ensemencements déjà présent nous ont amené à supprimer ce prélèvement. Ainsi dans le cadre de l'évaluation de l'efficacité antibactérienne strictement du moyen d'activation, il pourrait être plus opportun de réaliser l'ampliation avant la stérilisation pour permettre d'une part de faciliter la mise en place du gel de colonisation, et de faciliter le prélèvement à t0 ; et d'autre part de s'affranchir de la partie mécanique de la désinfection chimio-mécanique.

L'étude ne met pas en évidence de différence significative entre les différentes méthodes d'irrigation finale, plusieurs possibilités peuvent expliquer cet échec :

- Il n'y a pas de différences

- L'expérimentation ne présente pas une puissance suffisante. Il faudrait envisager de revoir le calcul du nombre de sujets nécessaires et d'augmenter le nombre de dents incluses dans chaque groupe de l'expérimentation.

- La méthode de détection bactérienne n'est pas assez sensible. L'utilisation d'une détection par PCR pourrait résoudre ce problème mais se poserait alors la question de la détection d'ADN de bactéries lysées et par conséquent non pathogènes.

Ce point est contestable car la pathogénicité peut être liée à la présence de résidus bactériens, de LPS sur des membranes de bactéries lysées. Mais aussi car il est possible de réaliser des PCR du matériel RNA plutôt que DNA la demie vie de celui-ci étant plus courte. De même le design de primers PCR plus longs permet d'autoriser l'amplification uniquement de fragments ADN longs donc plus susceptibles d'appartenir à des bactéries vivantes qu'à des fragments ADN de bactéries mortes le matériel long étant lui aussi moins bien conservé.

Un changement de méthode de détection est donc envisageable pour espérer des résultats plus concluants.

- Pour pouvoir comparer l'intégralité des groupes il a été nécessaire de ramener toutes les données à des variables qualitatives et ainsi comparer la présence ou l'absence de colonies. Cette méthode est plus stricte qu'une étude des variables quantitatives.

En effet comme illustré par les photographies proposées dans les résultats l'on peut remarquer qu'une diminution de la charge bactérienne est possible, mais sera répertoriée comme un échec du moment qu'une seule colonie pourra être observée.

De nombreuses études ont démontré la quasi impossibilité d'obtenir de manière reproductible un endodonte stérile, il apparaît donc comme sévère d'appliquer cette stérilité comme critère de jugement.

Une lecture complète des CFU aurait pu mettre en évidence des diminutions de charge bactérienne avec des différences significatives.

- Aucune différence significative n'est mise en évidence entre les différents moyens d'activation il semble néanmoins se dégager une tendance en adéquation avec ce que la logique voudrait notamment au sein du groupe *E.f* où l'on peut remarquer une diminution du pourcentage de cultures positives après une désinfection assistée par laser ou EndoUltra en comparaison avec une irrigation conventionnelle.

De même les résultats sont meilleurs avec une pression plus importante (3 bars vs 1 bar). Il n'en demeure pas moins que certains résultats diffèrent de ce que l'on pourrait attendre : 1bar plus efficace que 2bars dans le groupe *E.f* ou encore l'équivalence entre l'irrigation conventionnelle et le laser ou l'activation ultrasonore.

Ces « aberrations » peuvent s'expliquer par le faible nombre de dents incluses par groupe et être dues au hasard de l'échantillonnage ce qui concorde avec la non significativité des résultats. De même ces résultats sont en adéquation avec la plupart des études réalisées qui ne parviennent pas non plus à montrer de différences significatives entre les différents moyens d'activation.

Enfin, cette étude a été menée sur des dents monoradiculées monocanales ne présentant des courbures que très faibles et des anatomies relativement simples, les conclusions de l'étude ne sont donc extrapolables qu'à ce type de dents. La difficulté des instruments d'irrigation à franchir les courbures font que des différences entre les différents moyens d'activation pourraient être mises en lumière sur des dents présentant des anatomies plus complexes. L'étude pourrait donc être menée par exemple sur les racines mésiales de premières molaires mandibulaires. Le pendant de cette modification serait d'augmenter le biais opérateur qui serait plus à même de commettre des fautes.

Enfin, cette expérimentation correspond à une étude ex-vivo, donc avec un niveau de preuve et une pertinence clinique peu élevés. L'idéal serait de confronter ces résultats préliminaires avec des études cliniques portant sur des critères de premier ordre comme par exemple des taux de survie des dents traitées endodontiquement en fonction de la méthode d'irrigation employée.

## V- Conclusion

L'objectif de l'étude était de répondre à la question « Y-a-t-il une méthode d'irrigation plus efficace qu'une autre d'un point de vue antibactérien entre l'endoneedle®, la seringue à pression contrôlée, l'activation ultrasonore, et l'activation laser ? ». Les expérimentations montrent que toutes ces méthodes sont efficaces pour réduire la charge bactérienne et qu'aucune ne se démarque des autres.

Cette étude n'ayant porté que sur des dents monoradiculées ne présentant qu'un seul canal, ces résultats ne sont extrapolables qu'à ce type de dents. Ils sont néanmoins en adéquation avec la plupart des autres études qui, comme l'a illustrée la première partie, peinent à mettre en évidence des différences statistiquement significatives entre les différents moyens d'activation.

Cette étude est une étude ex-vivo, à confronter à des études in-vivo au niveau de preuve plus élevé. Mais ces résultats préliminaires engagent le praticien à suivre une méthode d'irrigation finale réfléchiée en fonction du cas clinique auquel il est confronté, à laquelle il est habitué, et suivant les recommandations de bonne pratique évoquées dans la première partie, plutôt qu'une méthode d'activation réputée meilleure et dont il ne serait pas totalement maître, aucune méthode ne semblant, d'après ces résultats, surpasser les autres.

## CONCLUSION

Les parodontites péri-apicales sont liées à l'infection du réseau endodontique par des pathogènes connus, et la résolution de la symptomatologie liée à cette pathologie passe par la réalisation d'une thérapeutique endodontique visant à diminuer au maximum la charge bactérienne endo-canalair pour que l'immunité de l'hôte puisse reprendre le dessus et l'engager sur la voie de la guérison.

Pour ce faire, le geste thérapeutique consiste en l'ampliation du réseau canalair pour permettre son libre accès à des solutions aux propriétés antiseptiques. Le gold standard de ces solutions désinfectantes est l'hypochlorite de sodium, qui malgré des avantages indéniables présente des limites.

Dans le but de repousser ces limites, différentes solutions y sont associées pour un effet synergique. De même pour potentialiser les effets antibactériens des différentes solutions sur le marché, voire tenter de s'y substituer, de nombreux dispositifs et/ou principes sont apparus. Nous pouvons notamment citer l'agitation manuelle dynamique, les technologies sonores et ultrasonores, et les LASERs.

Les différentes études quant à leur efficacité antibactérienne ne font pas consensus. Souvent les études proposées se concentrent sur la capacité des dispositifs à remonter les débris générés par la mise en forme et à rendre les surfaces propices à l'obturation ce qui n'engage en rien sur la qualité de la désinfection proposée. De même les études comparent souvent le dispositif à une référence mais rarement les dispositifs entre eux.

C'est donc dans cette volonté de préciser l'efficacité antibactérienne propre à chaque moyen d'activation et de les comparer entre eux de ce point de vue ci, que s'inscrit l'expérimentation que nous avons développé et présenté dans cette thèse.

Elle met en évidence une réduction significative de la charge bactérienne pour tous les dispositifs utilisés sur des biofilms qu'ils soient polybactériens ou monosouche, sans pour autant, même si des tendances émergent, montrer de différence concluante pour les dispositifs entre eux.

Dans ce sens notre étude est cohérente avec la majorité de celles qu'il est possible de retrouver dans la littérature, mais il est important de la remettre en perspective. En effet il s'agit d'une étude ex-vivo portant sur des dents extraites monoradiculées ne présentant pas de difficultés endodontiques. Ce travail n'est donc extrapolable qu'à ce type de dent et ne peut être considéré que comme un préalable à des recherches futures à plus haut niveau de preuve, in-vivo notamment.

Même si aucune recommandation franche et arrêtée ne peut être donnée suite à ce travail, il permet de mettre en lumière qu'à ce jour continuer d'effectuer son asepsie intra-canalair de manière conventionnelle uniquement à l'aide d'une seringue d'irrigation n'est pas une hérésie du moment que les grands principes de l'irrigation sont respectés. En effet le volume, la concentration, le temps de contact, et la profondeur d'insertion de l'irrigant notamment sont autant de facteurs sur lesquels l'omnipraticien peut agir de

manière simple et réfléchie, et qui lui permettront d'arriver à une désinfection poussée pour des résultats en adéquation à ses attentes.

Vu Directeur de Thèse V. Blasco-Baque

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized 'V' followed by 'B' and 'Ba'.

Vu le Président du Jury

A handwritten signature in black ink, featuring a large, stylized 'P' followed by 'Pr'.

Vu Directeur de Thèse J. Fisse

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized 'J' followed by 'F' and 'Fi'.

## ANNEXES

Annexe 1 : Diagramme de flux de l'expérimentation

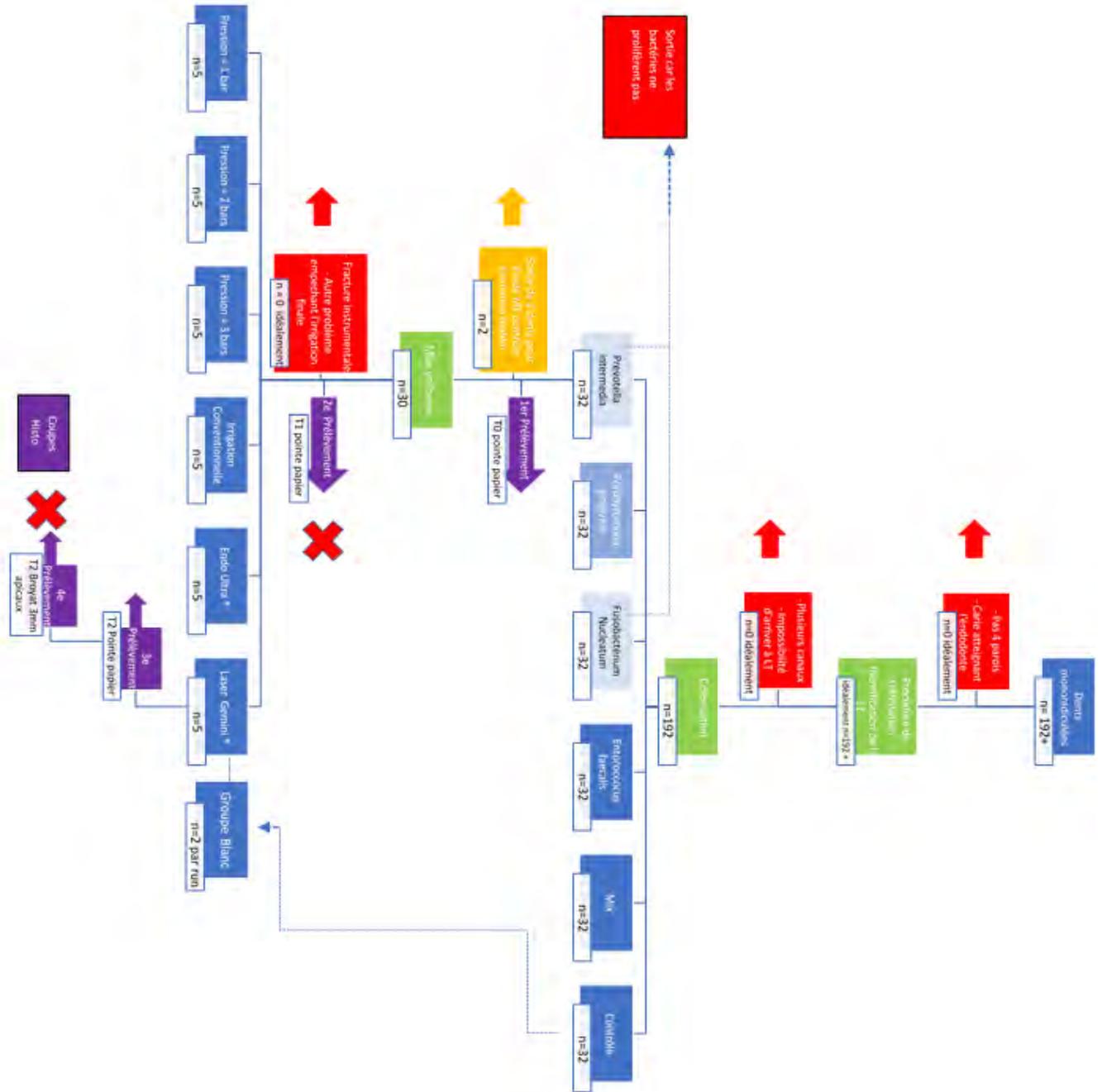


Figure 21- Diagramme de flux de l'expérimentation (Annexe 1)

## Annexe 2 : Tableau récapitulatif des mesures CFU

Moyen d'activation	Souche bactérienne	Numéro de	t0	t1	Broyat Haut	Broyat Bas	Culture t0	Culture t1
Endo Ultra	Mix	3	>300 UFC	0	0	0	+	-
Endo Ultra	Mix	11	>300 UFC	0	2	0	+	-
Endo Ultra	Mix	16	>300 UFC	0	3	9	+	-
Endo Ultra	Mix	17	>300 UFC	0	0	2	+	-
Endo Ultra	Mix	31	>300 UFC	1	1	>300	+	+
Endo Ultra	E.F	4	300	0			+	-
Endo Ultra	E.F	15	300	0			+	-
Endo Ultra	E.F	5	300	0			+	-
Endo Ultra	E.F	13	300	0			+	-
Endo Ultra	E.F	1	300	0			+	-
Endo Ultra	P.I	8	0	25			-	+
Endo Ultra	P.I	3	0	0			-	-
Endo Ultra	P.I	20	0	0			-	-
Endo Ultra	P.I	16	1	0			+	-
Endo Ultra	P.I	6	0	0			-	-
Endo Ultra	F.N	9	0	0			-	-
Endo Ultra	F.N	10	1	1			+	+
Endo Ultra	F.N	17	3	1			+	+
Endo Ultra	F.N	21	0	0			-	-
Endo Ultra	F.N	14	0	0			-	-
Endo Ultra	P.G	11	0	0			-	-
Endo Ultra	P.G	7	1	0			+	-
Endo Ultra	P.G	19	39	0			+	-
Endo Ultra	P.G	12	300	0			+	-
Endo Ultra	P.G	2	6	1			+	+
Laser	Mix	1	>300 UFC	0	1	1	+	-
Laser	Mix	8	>300 UFC	1	0	1	+	+
Laser	Mix	12	>300 UFC	0	19	0	+	-
Laser	Mix	14	>300 UFC	0	>300	0	+	-
Laser	Mix	30	>300 UFC	0	0	0	+	-
Laser	E.f	55					+	-
Laser	E.f	54					+	-
Laser	E.f	48					+	-
Laser	E.f	30					+	-
Laser	E.f	24					+	-
Laser	P.G	25					-	-
Laser	P.G	27					-	-
Laser	P.G	8					-	-
Laser	P.G	10					-	-
Laser	P.G	21					-	-
Seringue	Mix	4	>300 UFC	1	17	2	+	+
Seringue	Mix	5	>300 UFC	0	2	0	+	-
Seringue	Mix	10	>300 UFC	0	0	0	+	-
Seringue	Mix	19	>300 UFC	0	1	1	+	-
Seringue	Mix	27	>300 UFC	0	97	0	+	-
Seringue	E.f	45					+	+
Seringue	E.f	37					+	-
Seringue	E.f	4					+	+
Seringue	E.f	57					+	+
Seringue	E.f	44					+	-

Seringue	P.g	40					-	-
Seringue	P.g	28					-	-
Seringue	P.g	22					-	-
Seringue	P.g	18					-	-
Seringue	P.g	20					-	-
1bar	Mix	2	>300 UFC	0	0	0	+	-
1bar	Mix	6	>300 UFC	0	1	0	+	-
1bar	Mix	9	>300 UFC	0	6	0	+	-
1bar	Mix	32	>300 UFC	0	0	0	+	-
1bar	Mix	34	>300 UFC	0	8	128	+	-
1bar	E.f	17					+	+
1bar	E.f	17B					+	-
1bar	E.f	33					+	-
1bar	E.f	32					+	-
1bar	E.f	1					+	-
1bar	P.g	7					+	-
1bar	P.g	39					-	-
1bar	P.g	11					-	-
1bar	P.g	34					-	-
1bar	P.g	12					-	-
2bars	Mix	13	>300 UFC	0	1	0	+	-
2bars	Mix	18	>300 UFC	0	1	0	+	-
2bars	Mix	26	>300 UFC	0	0	78	+	-
2bars	Mix	28	>300 UFC	0	0	0	+	-
2bars	Mix	29	>300 UFC	0	1	0	+	-
2bars	E.f	53					+	+
2bars	E.f	16					+	-
2bars	E.f	50					+	+
2bars	E.f	19					+	-
2bars	E.f	26					+	-
2bars	P.g	58					-	-
2bars	P.g	42					-	-
2bars	P.g	35					-	-
2bars	P.g	5					+	-
2bars	P.g	9					-	-
3bars	Mix	15	>300 UFC	0	2	1	+	-
3bars	Mix	21	>300 UFC	0	0	103	+	-
3bars	Mix	22	>300 UFC	0	2	0	+	-
3bars	Mix	24	>300 UFC	2	0	0	+	+
3bars	Mix	25	>300 UFC	0	0	0	+	-
3bars	E.f	41					+	-
3bars	E.f	6					+	-
3bars	E.f	56					+	-
3bars	E.f	3					+	-
3bars	E.f	29					+	-
3bars	P.g	43					-	-
3bars	P.g	51					+	-
3bars	P.g	2					-	-
3bars	P.g	14					-	-
3bars	P.g	52					-	-

Blanc Mix	Blanc	23	0	0	47	>300 UFC	-	-
Blanc Mix	Blanc	33	0	0	5	0	-	-
0	Blanc	15					-	-
0	Blanc	36					-	-
0	Blanc	38					-	-
0	Blanc	13					-	-
0	Blanc	18	0	0			-	-
0	Blanc	22	0	0			-	-

**Annexe 3 : Tableaux des pourcentages de cultures positives comparant t0 et t1**

Mix	Seringue		Laser		Endo Ultra		1bar		2bars		3 bars	
	t0	t1	t0	t1	t0	t1	t0	t1	t0	t1	t0	t1
Cas Positifs	100%	20%	100%	20%	100%	20%	100%	0%	100%	0%	100%	20%

E.f	seringue		Laser		Endo Ultra		1 bar		2 bars		3 bars	
	t0	t1	t0	t1	t0	t1	t0	t1	t0	t1	t0	t1
Cas positif	100%	60%	100%	0%	100%	0%	100%	20%	100%	40%	100%	0%

**Annexe 4 : Tableaux des pourcentages de cultures positives comparant les méthodes d'activation**

Mix	Seringue	Laser	EndoUltra	1 bar	2 bars	3 bars
Cas +	20%	20%	20%	0%	0%	20%

E.f	Seringue	Laser	EndoUltra	1 bar	2 bars	3 bars
cas +	60%	0%	0%	20%	40%	0%

## Bibliographie

1. Kakehashi S, Stanley HR, Fitzgerald RJ. The effects of surgical exposures of dental pulps in germ-free and conventional laboratory rats. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* sept 1965;20(3):340-9.
2. Carr GB, Schwartz RS, Schaudinn C, Gorur A, Costerton JW. Ultrastructural Examination of Failed Molar Retreatment with Secondary Apical Periodontitis: An Examination of Endodontic Biofilms in an Endodontic Retreatment Failure. *J Endod.* sept 2009;35(9):1303-9.
3. Vertucci FJ. Root canal anatomy of the human permanent teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* nov 1984;58(5):589-99.
4. Paqué F, Balmer M, Attin T, Peters OA. Preparation of Oval-shaped Root Canals in Mandibular Molars Using Nickel-Titanium Rotary Instruments: A Micro-computed Tomography Study. *J Endod.* avr 2010;36(4):703-7.
5. Fouad AF, rédacteur. *Endodontic microbiology.* Ames, Iowa : Wiley-Blackwell; 2009. 352 p.
6. Siqueirajr J. Taxonomic Changes of Bacteria Associated with Endodontic Infections. *J Endod.* oct 2003;29(10):619-23.
7. O'Toole GA. To Build a Biofilm. *J Bacteriol.* 1 mai 2003;185(9):2687-9.
8. Bjarnsholt T, Alhede M, Alhede M, Eickhardt-Sørensen SR, Moser C, Kühl M, et al. The in vivo biofilm. *Trends Microbiol.* sept 2013;21(9):466-74.
9. Siqueira JF, Rocas IN. Uncultivated Phylotypes and Newly Named Species Associated with Primary and Persistent Endodontic Infections. *J Clin Microbiol.* 1 juill 2005;43(7):3314-9.
10. Mohammadi Z. Sodium hypochlorite in endodontics: an update review. *Int Dent J.* déc 2008;58(6):329-41.
11. Estrela C, Estrela CRA, Barbin EL, Spanó JCE, Marchesan MA, Pécora JD. Mechanism of action of sodium hypochlorite. *Braz Dent J.* 2002;13(2):113-7.
12. Beltz R, Torabinejad M, Pouresmail M. Quantitative Analysis of the Solubilizing Action of MTAD, Sodium Hypochlorite, and EDTA on Bovine Pulp and Dentin. *J Endod.* mai 2003;29(5):334-7.
13. Mohammed SA, Vianna ME, Penny MR, Hilton ST, Knowles JC. The effect of sodium hypochlorite concentration and irrigation needle extension on biofilm removal from a simulated root canal model. *Aust Endod J.* déc 2017;43(3):102-9.
14. Petridis X, Busanello FH, So MVR, Dijkstra RJB, Sharma PK, Sluis LWM. Chemical efficacy of several NaOCl concentrations on biofilms of different architecture: new insights on NaOCl working mechanisms. *Int Endod J.* déc 2019;52(12):1773-88.
15. Gazzaneo I, Vieira GCS, Pérez AR, Alves FRF, Gonçalves LS, Mdala I, et al. Root Canal Disinfection by Single- and Multiple-instrument Systems: Effects of Sodium Hypochlorite Volume, Concentration, and Retention Time. *J Endod.* juin 2019;45(6):736-41.

16. Giardino L, Ambu E, Savoldi E, Rimondini R, Cassanelli C, Debbia E. Comparative Evaluation of Antimicrobial Efficacy of Sodium Hypochlorite, MTAD, and Tetraclean Against *Enterococcus faecalis* Biofilm. *J Endod.* juill 2007;33(7):852-5.
17. Tartari T, Bachmann L, Maliza AGA, Andrade FB, Duarte MAH, Bramante CM. Tissue dissolution and modifications in dentin composition by different sodium hypochlorite concentrations. *J Appl Oral Sci.* juin 2016;24(3):291-8.
18. Algahtani F, Huang X, Haapasalo M, Wang Z, Hieawy A, Zhang D, et al. Fatigue resistance of ProTaper gold exposed to high-concentration sodium hypochlorite in double curvature artificial canal. *Bioact Mater.* déc 2019;4:245-8.
19. Huang X, Shen Y, Wei X, Haapasalo M. Fatigue Resistance of Nickel-titanium Instruments Exposed to High-concentration Hypochlorite. *J Endod.* nov 2017;43(11):1847-51.
20. Peters OA, Roehlike JO, Baumann MA. Effect of Immersion in Sodium Hypochlorite on Torque and Fatigue Resistance of Nickel-Titanium Instruments. *J Endod.* mai 2007;33(5):589-93.
21. Vianna ME, Horz HP, Gomes BPFA, Conrads G. In vivo evaluation of microbial reduction after chemo-mechanical preparation of human root canals containing necrotic pulp tissue. *Int Endod J.* juin 2006;39(6):484-92.
22. Sirtes G, Waltimo T, Schaetzle M, Zehnder M. The Effects of Temperature on Sodium Hypochlorite Short-Term Stability, Pulp Dissolution Capacity, and Antimicrobial Efficacy. *J Endod.* sept 2005;31(9):669-71.
23. Gomes BPFA, Vianna ME, Zaia AA, Almeida JFA, Souza-Filho FJ, Ferraz CCR. Chlorhexidine in Endodontics. *Braz Dent J.* avr 2013;24(2):89-102.
24. Rôças IN, Siqueira JF. Comparison of the In Vivo Antimicrobial Effectiveness of Sodium Hypochlorite and Chlorhexidine Used as Root Canal Irrigants: A Molecular Microbiology Study. *J Endod.* févr 2011;37(2):143-50.
25. Vianna ME, Horz H-P, Conrads G, Zaia AA, Souza-Filho FJ, Gomes BPFA. Effect of root canal procedures on endotoxins and endodontic pathogens. *Oral Microbiol Immunol.* déc 2007;22(6):411-8.
26. Haapasalo M, Shen Y, Wang Z, Gao Y. Irrigation in endodontics. *Br Dent J.* mars 2014;216(6):299-303.
27. Machado R, Garcia L da FR, da Silva Neto UX, Cruz Filho A de M da, Silva RG, Vansan LP. Evaluation of 17% EDTA and 10% citric acid in smear layer removal and tubular dentin sealer penetration. Perry G, rédacteur. *Microsc Res Tech.* mars 2018;81(3):275-82.
28. Scelza MFZ, Pierro V, Scelza P, Pereira M. Effect of three different time periods of irrigation with EDTA-T, EDTA, and citric acid on smear layer removal. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology.* oct 2004;98(4):499-503.
29. Unnikrishnan M, Mathai V, Sadasiva K, Santakumari RM, Girish S, Shailajakumari A. The evaluation of dentin microhardness after use of 17% EDTA, 17% EGTA, 10% citric acid, MTAD used as chelating agents combined with 2.5% sodium hypochlorite after rotary instrumentation: An in vitro SEM study. *J Pharm Bioallied Sci.* 2019;11(6):156.

30. Gokturk H, Aydin U, Ozkocak I, Aydemir ME. Effect of different chelating agents on dentinal crack formation. *J Oral Sci.* 2019;61(2):294-9.
31. Arslan H, Barutcgil C, Karatas E, Topcuoglu HS, Yeter KY, Ersoy I, et al. Effect of citric acid irrigation on the fracture resistance of endodontically treated roots. *Eur J Dent.* janv 2014;08(01):074-8.
32. Yamaguchi M, Yoshida K, Suzuki R, Nakamura H. Root canal irrigation with citric acid solution. *J Endod.* janv 1996;22(1):27-9.
33. Matos F de S, Khoury RD, Carvalho CAT, Martinho FC, Bresciani E, Valera MC. Effect of EDTA and QMIX Ultrasonic Activation on the Reduction of Microorganisms and Endotoxins in Ex Vivo Human Root Canals. *Braz Dent J.* juin 2019;30(3):220-6.
34. Jose J. Comparative Evaluation of Antimicrobial Activity of QMiX, 2.5% Sodium Hypochlorite, 2% Chlorhexidine, Guava Leaf Extract and Aloe vera Extract Against *Enterococcus faecalis* and *Candida albicans* – An in-vitro Study. *J Clin Diagn Res [En ligne].* 2016 [cité le 13 févr 2020]; Disponible: [http://jcdr.net/article\\_fulltext.asp?issn=0973-709x&year=2016&volume=10&issue=5&page=ZC20&issn=0973-709x&id=7747](http://jcdr.net/article_fulltext.asp?issn=0973-709x&year=2016&volume=10&issue=5&page=ZC20&issn=0973-709x&id=7747)
35. Zhang R, Chen M, Lu Y, Guo X, Qiao F, Wu L. Antibacterial and residual antimicrobial activities against *Enterococcus faecalis* biofilm: A comparison between EDTA, chlorhexidine, cetrimide, MTAD and QMix. *Sci Rep.* oct 2015;5(1):12944.
36. Stojicic S, Shen Y, Qian W, Johnson B, Haapasalo M. Antibacterial and smear layer removal ability of a novel irrigant, QMiX: Antibacterial and smear layer removal. *Int Endod J.* avr 2012;45(4):363-71.
37. Liu Y, Guo L, Li Y, Guo X, Wang B, Wu L. In vitro comparison of antimicrobial effectiveness of QMix and other final irrigants in human root canals. *Sci Rep.* nov 2016;5(1):17823.
38. Singla MG, Garg A, Gupta S. MTAD in endodontics: an update review. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology.* sept 2011;112(3):e70-6.
39. Torabinejad M, Shabahang S, Bahjri K. Effect of MTAD on Postoperative Discomfort: A Randomized Clinical Trial. *J Endod.* mars 2005;31(3):171-6.
40. [En ligne]. PubChem. Hydrogen peroxide; [cité le 12 déc 2019]. Disponible: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/784>
41. Mirhadi H, Abbaszadegan A, Ranjbar MA, Azar MR, Geramizadeh B, Torabi S, et al. Antibacterial and Toxic Effect of Hydrogen Peroxide Combined with Different Concentrations of Chlorhexidine in Comparison with Sodium Hypochlorite. *J Dent Shiraz Iran.* déc 2015;16(4):349-55.
42. Hasheminia S, R. Farhad A, Saatchi M, Rajabzadeh M. Synergistic antibacterial activity of chlorhexidine and hydrogen peroxide against *Enterococcus faecalis*. *J Oral Sci.* 2013;55(4):275-80.
43. Pantoja CA de MS, Silva DH da, Soares A de J, Ferraz CCR, Gomes BPF de A, Zaia AA, et al. Influence of ethanol on dentin roughness, surface free energy, and interaction between AH Plus and root dentin. *Braz Oral Res [En ligne].* 3 mai 2018 [cité le 10 déc 2019];32(0).

Disponible: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1806-83242018000100227&lng=en&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-83242018000100227&lng=en&tlng=en)

44. Silva CC, Ferreira VMD, De-Deus G, Herrera DR, Prado M do, Silva EJNL da. Effect of Intermediate Flush Using Different Devices to Prevent Chemical Smear Layer Formation. *Braz Dent J.* août 2017;28(4):447-52.
45. Duarte PHM, da Silva PB, Rosa RA da, Montagner F, Duarte MAH, Kuga MC, et al. Effect of ethanol on the antimicrobial properties of chlorhexidine over oral biofilm. *Diaspro A, rédacteur. Microsc Res Tech.* avr 2018;81(4):408-12.
46. Oguntebi BR, Barker BF, Anderson DM, Sakumura J. The effect of indomethacin on experimental dental periapical lesions in rats. *J Endod.* mars 1989;15(3):117-21.
47. Yesilsoy C, Whitaker E, Cleveland D, Phillips E, Trope M. Antimicrobial and toxic effects of established and potential root canal irrigants. *J Endod.* oct 1995;21(10):513-5.
48. Silva EJNL, Prado MC, Soares DN, Hecksher F, Martins JNR, Fidalgo TKS. The effect of ozone therapy in root canal disinfection: a systematic review. *Int Endod J.* 3 nov 2019;iej.13229.
49. Gregorio C de, Heilborn C, Cohenca N. Positive Pressure Irrigation. Dans: Cohenca N, rédacteur. *Disinfection of Root Canal Systems [En ligne].* Hoboken, NJ, USA : John Wiley & Sons, Inc.; 2014 [cité le 29 janv 2020]. p. 169-88. Disponible: <http://doi.wiley.com/10.1002/9781118914014.ch9>
50. Loroño G, Zaldivar JR, Arias A, Cisneros R, Dorado S, Jimenez-Octavio JR. Positive and negative pressure irrigation in oval root canals with apical ramifications: a computational fluid dynamics evaluation in micro-CT scanned real teeth. *Int Endod J.* 7 janv 2020;iej.13260.
51. Boutsoukis C, Kastrinakis E, Lambrianidis T, Verhaagen B, Versluis M, van der Sluis LWM. Formation and removal of apical vapor lock during syringe irrigation: a combined experimental and Computational Fluid Dynamics approach. *Int Endod J.* févr 2014;47(2):191-201.
52. Boutsoukis C, Lambrianidis T, Verhaagen B, Versluis M, Kastrinakis E, Wesselink PR, et al. The Effect of Needle-insertion Depth on the Irrigant Flow in the Root Canal: Evaluation Using an Unsteady Computational Fluid Dynamics Model. *J Endod.* oct 2010;36(10):1664-8.
53. Psimma Z, Boutsoukis C, Kastrinakis E, Vasiliadis L. Effect of Needle Insertion Depth and Root Canal Curvature on Irrigant Extrusion Ex Vivo. *J Endod.* avr 2013;39(4):521-4.
54. Boutsoukis C, Gogos C, Verhaagen B, Versluis M, Kastrinakis E, Van Der Sluis LWM. The effect of root canal taper on the irrigant flow: evaluation using an unsteady Computational Fluid Dynamics model: CFD canal taper study. *Int Endod J.* oct 2010;43(10):909-16.
55. Boutsoukis C, Gogos C, Verhaagen B, Versluis M, Kastrinakis E, Van Der Sluis LWM. The effect of apical preparation size on irrigant flow in root canals evaluated using an unsteady Computational Fluid Dynamics model: CFD preparation size study. *Int Endod J.* oct 2010;43(10):874-81.
56. Vera J, Hernández EM, Romero M, Arias A, van der Sluis LWM. Effect of Maintaining Apical Patency on Irrigant Penetration into the Apical Two Millimeters of Large Root Canals: An In Vivo Study. *J Endod.* oct 2012;38(10):1340-3.

57. Konstantinidi E, Psimma Z, Chávez de Paz LE, Boutsoukis C. Apical negative pressure irrigation versus syringe irrigation: a systematic review of cleaning and disinfection of the root canal system. *Int Endod J.* nov 2017;50(11):1034-54.
58. Machtou P. Manual Dynamic Activation (MDA) Technique. Dans: Basrani B, rédacteur. *Endodontic Irrigation* [En ligne]. Cham : Springer International Publishing; 2015 [cité le 13 févr 2020]. p. 149-55. Disponible: [http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-16456-4\\_8](http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-16456-4_8)
59. Jasrotia A, Bhagat K, Bhagat N, Bhagat RK. Comparison of Five Different Irrigation Techniques on Smear Layer Removal in Apical Thirds of Root Canals of Mandibular First Premolar: A Scanning Electron Microscopic Study. *J Int Soc Prev Community Dent.* déc 2019;9(6):630-6.
60. Andrabi SM-U-N, Kumar A, Zia A, Iftekhhar H, Alam S, Siddiqui S. Effect of passive ultrasonic irrigation and manual dynamic irrigation on smear layer removal from root canals in a closed apex *in vitro* model. *J Investig Clin Dent.* août 2014;5(3):188-93.
61. Caron G, Nham K, Bronnec F, Machtou P. Effectiveness of Different Final Irrigant Activation Protocols on Smear Layer Removal in Curved Canals. *J Endod.* août 2010;36(8):1361-6.
62. Galler KM, Grubmüller V, Schlichting R, Widbiller M, Eidt A, Schuller C, et al. Penetration depth of irrigants into root dentine after sonic, ultrasonic and photoacoustic activation. *Int Endod J.* 27 mars 2019;iej.13108.
63. Plotino G, Pameijer C, Mariagrande N, Somma F. Ultrasonics in Endodontics: A Review of the Literature. *J Endod.* févr 2007;33(2):81-95.
64. Mozo S, Llena C, Forner L. Review of ultrasonic irrigation in endodontics: increasing action of irrigating solutions. *Med Oral Patol Oral Cirugia Bucal.* 2012;e512-6.
65. Roy\* RA, Ahmad\* M, Crum LA. Physical mechanisms governing the hydrodynamic response of an oscillating ultrasonic file. *Int Endod J.* juill 1994;27(4):197-207.
66. Liang Y-H, Jiang L-M, Jiang L, Chen X-B, Liu Y-Y, Tian F-C, et al. Radiographic Healing after a Root Canal Treatment Performed in Single-rooted Teeth with and without Ultrasonic Activation of the Irrigant: A Randomized Controlled Trial. *J Endod.* oct 2013;39(10):1218-25.
67. Căpută PE, Retsas A, Kuijk L, Chávez de Paz LE, Boutsoukis C. Ultrasonic Irrigant Activation during Root Canal Treatment: A Systematic Review. *J Endod.* janv 2019;45(1):31-44.e13.
68. Rey G. *Utilisation des lasers en endodontie: principes physiques et protocoles opératoires.* 2016.
69. Kurzmann C, Meire MA, Lettner S, Farmakis ETR, Moritz A, De Moor RJG. The efficacy of ultrasonic and PIPS (photon-induced acoustic streaming) irrigation to remove artificially placed dentine debris plugs out of an artificial and natural root model. *Lasers Med Sci* [En ligne]. 28 nov 2019 [cité le 18 déc 2019]; Disponible: <http://link.springer.com/10.1007/s10103-019-02912-3>
70. Cheng X, Guan S, Lu H, Zhao C, Chen X, Li N, et al. Evaluation of the bactericidal effect of Nd:YAG, Er:YAG, Er,Cr:YSGG laser radiation, and antimicrobial photodynamic therapy (aPDT) in experimentally infected root canals. *Lasers Surg Med.* déc 2012;44(10):824-31.

71. Cheng X, Tian T, Tian Y, Xiang D, Qiu J, Liu X, et al. Erbium:Yttrium Aluminum Garnet Laser-Activated Sodium Hypochlorite Irrigation: A Promising Procedure for Minimally Invasive Endodontics. *Photomed Laser Surg.* déc 2017;35(12):695-701.
72. Betancourt P, Sierra JM, Camps-Font O, Arnabat-Domínguez J, Viñas M. Er,Cr:YSGG Laser-Activation Enhances Antimicrobial and Antibiofilm Action of Low Concentrations of Sodium Hypochlorite in Root Canals. *Antibiotics.* 22 nov 2019;8(4):232.
73. Jean-Luc Raimbault. *Introduction à la Physique des Plasmas.*
74. Gherardi M, Tonini R, Colombo V. Plasma in Dentistry: Brief History and Current Status. *Trends Biotechnol.* juin 2018;36(6):583-5.
75. Azad A. *Dental Applications of Cold Atmospheric Plasma.* 2017 [cité le 9 févr 2020]; Disponible: <http://rgdoi.net/10.13140/RG.2.2.35158.34881>
76. Chunqi Jiang, Meng-Tse Chen, Schaudinn C, Gorur A, Vernier PT, Costerton JW, et al. Pulsed Atmospheric-Pressure Cold Plasma for Endodontic Disinfection  $\$^{\ast}\$$ . *IEEE Trans Plasma Sci.* juill 2009;37(7):1190-5.
77. Goree J, Liu B, Drake D, Stoffels E. Killing of *S. mutans* Bacteria Using a Plasma Needle at Atmospheric Pressure. *IEEE Trans Plasma Sci.* août 2006;34(4):1317-24.
78. Hirano Y, Hayashi M, Tamura M, Yoshino F, Yoshida A, Masubuchi M, et al. Singlet oxygen generated by a new nonthermal atmospheric pressure air plasma device exerts a bactericidal effect on oral pathogens. *J Oral Sci.* 2019;61(4):521-5.
79. Li Y, Sun K, Ye G, Liang Y, Pan H, Wang G, et al. Evaluation of Cold Plasma Treatment and Safety in Disinfecting 3-week Root Canal *Enterococcus faecalis* Biofilm In Vitro. *J Endod.* août 2015;41(8):1325-30.
80. Simoncelli E, Barbieri D, Laurita R, Liguori A, Stancampiano A, Viola L, et al. Preliminary investigation of the antibacterial efficacy of a handheld Plasma Gun source for endodontic procedures. *Clin Plasma Med.* déc 2015;3(2):77-86.
81. Pan J, Sun K, Liang Y, Sun P, Yang X, Wang J, et al. Cold Plasma Therapy of a Tooth Root Canal Infected with *Enterococcus faecalis* Biofilms In Vitro. *J Endod.* janv 2013;39(1):105-10.
82. Schaudinn C, Jaramillo D, Freire MO, Sedghizadeh PP, Nguyen A, Webster P, et al. Evaluation of a nonthermal plasma needle to eliminate *ex vivo* biofilms in root canals of extracted human teeth. *Int Endod J.* oct 2013;46(10):930-7.
83. Hübner A, Steffen H, Holtfreter B, Schlüter R, Duske K, Matthes R, et al. Effects of Non-Thermal Atmospheric Pressure Plasma and Sodium Hypochlorite Solution on *Enterococcus faecalis* Biofilm: An Investigation in Extracted Teeth: Effects of Non-Thermal Atmospheric Pressure.... *Plasma Process Polym.* mars 2017;14(3):1600064.
84. The Effect of Cold Atmospheric Plasma (CAP) Treatment at the Adhesive-Root Dentin Interface. *J Adhes Dent.* 14 mai 2019;21(3):229-37.

---

**EFFICACITE ANTIBACTERIENNE DE DIFFERENTS MOYENS D'ACTIVATION DE L'IRRIGANT EN ENDODONTIE : UNE ETUDE EX-VIVO SUR BIOFILM POLYBACTERIEN**

---

**RESUME EN FRANÇAIS :** L'irrigation est la clé de la désinfection en endodontie. Nombreuses sont les solutions et les dispositifs d'activation disponibles pour parfaire cette étape. La première partie de ce travail revient sur les principaux avantages et inconvénients des plus utilisés. La deuxième partie, expérimentale, a pour objectif de comparer l'efficacité de désinfection de différents moyens d'activation sur un biofilm polybactérien (Irrigation conventionnelle avec une aiguille à déflexion latérale, irrigation avec une pression variable allant jusqu'à 3 bars, activation ultrasonore avec l'EndoUltra®, avec un laser Diode [Gemini®]), via la diminution de la charge bactérienne par comparaison de mesures CFU. L'étude montre une désinfection efficace pour chaque système par rapport à son contrôle, sans parvenir à mettre en évidence une différence significative des protocoles entre eux. Le respect des grands principes d'irrigation semble donc plus important que l'utilisation d'un dispositif particulier.

---

**TITLE :** ANTIBACTERIAL EFFICACY OF VARIOUS IRRIGANT ACTIVATION METHODS IN ENDODONTICS : AN EX-VIVO STUDY ON POLYBACTERIAL BIOFILM

**SUMMARY :** Irrigation is the key to disinfection in endodontics. Nowadays, there are numerous solutions and activation technics available to enhance this part of treatment, thus the first part of this work collects the advantages and inconvenients of the most popular irrigants. The second part, experimental, aims to evaluate the efficacy of disinfection of some activation methods on a polybacterial biofilm (conventionnal irrigation with a side vent needle, irrigation with a variable pressure maker able to dispense 3bars, ultrasonic activation with EndoUltra®, and Gemini® Laser Diode), following the bacterial load decrease by CFU mesures. The study shows a significant decrease in the bacterial load, proving each method to be effective compared to its control. Nonetheless, it has not been possible to highlight a significant difference between the methods, even if some tendencies seem to appear, the respect of the irrigation principles seems more important than the technology used.

---

**DISCIPLINE ADMINISTRATIVE :** Chirurgie dentaire

---

**MOTS-CLES :** Efficacité antibactérienne, EndoUltra®, Laser diode, Pression variable

---

**INTITULE ET ADRESSE DE L'UFR OU DU LABORATOIRE :**  
Université Toulouse III-Paul Sabatier  
Faculté de chirurgie dentaire 3 chemin des Maraîchers 31062 Toulouse Cedex

---

**Directeurs de thèse :** Drs Vincent Blasco-Baqué et Jérôme Fisse