

UNIVERSITE DU DROIT ET DE LA SANTE DE LILLE 2

FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année de soutenance : 2015

N°:

THESE POUR LE

DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement le 9 NOVEMBRE 2015

Par Clio DELLACHERIE

Née le 21 FÉVRIER 1989 à Arras – France

PLACE DE L'IRRIGATION EN ENDODONTIE

JURY

Président : Monsieur le Professeur Etienne DEVEAUX

Assesseurs : Monsieur le Docteur Alain GAMBIEZ

Monsieur le Docteur Thibault BÉCAVIN

Madame le Docteur Claire FURLANI

ACADEMIE DE LILLE
UNIVERSITE DU DROIT ET DE LA SANTE LILLE 2

**_*_*_*_*_*_*_*_*_

FACULTE de Chirurgie Dentaire
place de Verdun
59000 LILLE

**_*_*_*_*_*_*_*_*_

Président de l'Université : X. VANDENDRIESSCHE
Directeur Général des Services de l'Université : P.M. ROBERT
Doyen : E. DEVEAUX
Vice-Doyens : E. BOCQUET , L. NAWROVKI et G. PENEL
Chef des Services Administratifs : S. NEDELEC

PERSONNEL ENSEIGNANT DE L'U.F.R.

PROFESSEURS DES UNIVERSITES :

P. BEHIN	Prothèses
H. BOUTIGNY	Parodontologie
T. COLARD	Sciences Anatomiques et Physiologiques, Occlusodontiques, Biomatériaux, Biophysiques, Radiologie
E. DELCOURT-DEBRUYNE	Responsable de la Sous-Section de Parodontologie
E. DEVEAUX	Odontologie Conservatrice – Endodontie Doyen de la Faculté
G. PENEL	Sciences Biologiques

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

T. BECAVIN	Responsable de la Sous-Section d' Odontologie Conservatrice Endodontie
F. BOSCHIN	Parodontologie
E. BOCQUET	Responsable de la Sous-Section d' Orthopédie Dento-Faciale
C. CATTEAU	Reponsable de la Sous-Section de Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie Légale.
A. CLAISSE	Odontologie Conservatrice – Endodontie
M. DANGLETERRE	Sciences Biologiques
A. de BROUCKER	Sciences Anatomiques et Physiologiques, Occlusodontiques, Biomatériaux, Biophysiques, Radiologie
T. DELCAMBRE	Prothèses
C. DELFOSSE	Responsable de la Sous-Section Odontologie Pédiatrique
F. DESCAMP	Prothèses
A. GAMBIEZ	Odontologie Consevratrice - Endodontie
F. GRAUX	Prothèses
P. HILDELBERT	Odontologie Conservatrice – Endodontie
J.M. LANGLOIS	Responsable de la Sous-Section Chirurgie Buccale, Pathologie et Thérapeutique, Anesthésiologie et Réanimation
C. LEFEVRE	Responsable de la Sous-Section de Prothèses
J.L. LEGER	Orthopédie Dento-Faciale
M. LINEZ	Odontologie Conservatrice – Endodontie
G. MAYER	Prothèses
L. NAWROCKI	Chirurgie Buccale, Pathologie et Thérapeutique, Anesthésiologie et Réanimation Chef du Service d'Odontologie A. Caumartin – CHRU Lille
C. OLEJNIK	Sciences Biologiques
P. ROCHER	Sciences Anatomiques et Physiologiques, Occlusodontiques, Biomatériaux, Biophysiques, Radiologie
M. SAVIGNAT	Responsable de la Sous-Section des Sciences Anatomiques et Physiologiques, Occlusodontiques, Biomatériaux, Biophysiques,Radiologie
T. TRENTESAUX	Odontologie Pédiatrique
J. VANDOMME	Prothèses

Réglementation de présentation du mémoire de Thèse

Par délibération en date du 29 octobre 1998, le Conseil de la Faculté de Chirurgie Dentaire de l'Université de Lille 2 a décidé que les opinions émises dans le contenu et les dédicaces des mémoires soutenus devant jury doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'ainsi aucune approbation, ni improbation ne leur est donnée.

Je dédie cette thèse ...

À Monsieur le Professeur Etienne DEVEAUX

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier des CSERD

Sous-section Odontologie Conservatrice – Endodontie

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur en Sciences odontologiques

Docteur en Odontologie de l'Université de Lille 2

Habilité à Diriger des Recherches

Doyen de la Faculté de Chirurgie Dentaire de Lille

Membre associé national de l'Académie Nationale de Chirurgie Dentaire

Personne Compétente en Radioprotection

Ancien Président de la Société Française d'Endodontie

C'est un honneur pour moi de vous avoir comme président de ce jury! Vous vous êtes toujours montré très disponible et c'est avec plaisir que j'ai pu bénéficier de la qualité de votre enseignement mais aussi de vos précieux conseils. Je vous remercie également pour la confiance que vous m'avez portée pendant ces années d'études en me proposant le monitorat puis ce sujet de thèse.

Veillez trouver dans ce travail l'expression de ma gratitude et de mon profond respect.

À Monsieur le Docteur Alain GAMBIEZ

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier des CSERD

Sous-section d'Odontologie conservatrice – Endodontie

Docteur en Chirurgie Dentaire

D.E.A Sciences de la Vie et de la Santé

C'est un plaisir de vous compter parmi les membres de ce jury! Je vous remercie pour la qualité de votre enseignement et pour les conseils délivrés en TP comme en clinique. Vous avez été un professeur exigeant et vos critiques ont toujours été constructives. C'est pourquoi je suis ravie que vous jugiez ce travail aujourd'hui.

Soyez assuré de mon profond respect et de ma sincère reconnaissance.

À Monsieur le Docteur Thibault BÉCAVIN

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier des CSERD

Sous-section Odontologie Conservatrice – Endodontie

Docteur en Chirurgie Dentaire

Responsable de la Sous-Section d'Odontologie Conservatrice et Endodontie

Master 1 en informatique médical de l'université de Lille 2

Master 2 en biologie et santé de l'université de Lille 2

Merci d'avoir accepté de diriger cette thèse! Tu as fait preuve de patience et de diplomatie pour m'aider à construire ce travail et je t'en suis reconnaissante. Tu es un excellent pédagogue et je n'ai aucun doute que tes qualités te permettront d'atteindre tes objectifs professionnels.

Je te souhaite une belle et heureuse carrière de Docteur comme de Professeur et te félicite pour tes nouvelles responsabilités!

Encore un grand merci pour ton aide apportée et ta disponibilité. Au travers de cette thèse, je tiens à te témoigner toute ma reconnaissance et ma gratitude.

À Madame le Docteur Claire FURLANI,

Assistante Hospitalo-Universitaire des CSERD

Sous-section d'Odontologie Conservatrice – Endodontie

Docteur en Chirurgie Dentaire

C.E.S.U d'Occlusodontie – Marseille

C.E.S.U de Prothèse Fixée – Marseille

Tu as accepté avec le sourire de faire partie de ce jury et je t'en remercie. Je te souhaite toute la réussite que tu mérites pour la suite de ta carrière.

Par ce travail, permets moi de te témoigner ma gratitude et mon profond respect .

Table des matières

INTRODUCTION.....	15
1. RAPPEL SUR LE TRAITEMENT ENDODONTIQUE.....	17
1.1.Généralités.....	18
1.1.1.Indications.....	18
1.1.2.Contre-indications.....	18
1.1.2.1.Contre-indications absolues.....	18
1.1.2.1.1.Médicales.....	18
1.1.2.1.2.Non médicales.....	18
1.1.2.2.Contre-indications relatives.....	19
1.1.3.Objectifs du traitement.....	19
1.2.Le protocole opératoire.....	19
1.2.1.La radiographie pré-opératoire.....	19
1.2.2.La reconstitution pré-endodontique.....	20
1.2.3.La pose de la digue.....	20
1.2.4.La cavité d'accès.....	21
1.2.5.La préparation canalaire.....	21
1.2.5.1.Objectifs.....	21
1.2.5.2.Moyens.....	21
1.2.5.3.Le parage canalaire.....	22
1.2.6.Obturation.....	22
1.2.7.Restauration coronaire étanche.....	22
1.3.La problématique bactérienne.....	23
1.3.1.Rôle des bactéries dans le développement de la pathologie endodontique.....	23
1.3.2.Le développement de l'infection pulpaire.....	24
1.3.3.Le biofilm bactérien endodontique.....	24
1.3.3.1.Conditions de développement du biofilm.....	24
1.3.3.2.La complexité du biofilm bactérien.....	25
1.3.3.2.1.Évolution du biofilm.....	25
1.3.3.2.2.Fonctions du biofilm.....	25
1.3.3.3.Les bactéries endodontiques.....	26
1.3.3.3.1.Caractéristiques.....	26
1.3.3.3.2.Bactéries endopathogènes.....	26
1.3.3.3.3.Bactéries réfractaires.....	27

1.3.4.L'objectif antibactérien du traitement endodontique.....	27
1.4.Anatomie du système canalaire.....	28
1.4.1.Moyens d'étude de l'anatomie canalaire.....	28
1.4.1.1.Aides radiologiques.....	28
1.4.1.2.Aides optiques.....	29
1.4.2.«Réservoirs» bactériens.....	30
1.4.2.1.Tubuli dentinaires.....	30
1.4.2.1.1.Tubuli dentinaires et bactéries.....	30
1.4.2.1.2.Facteurs de pénétration microbienne.....	31
1.4.2.2.Les canaux.....	31
1.4.2.2.1.Nombre de canaux.....	32
1.4.2.2.2.Courbures canalaires.....	32
1.4.2.2.3.Calcifications canalaires.....	33
1.4.2.2.4.Canaux latéraux et accessoires.....	33
1.4.2.3.La zone apicale.....	33
1.5.Conclusion.....	34
2.L'IRRIGATION.....	35
2.1.Intérêt de l'irrigation.....	36
2.1.1.Objectifs.....	36
2.1.2.Caractéristiques de la solution idéale.....	36
2.2.Les solutions d'irrigation.....	37
2.2.1. L'hypochlorite de sodium.....	37
2.2.1.1.Origine.....	37
2.2.1.2.Formation de l'hypochlorite.....	37
2.2.1.3.Intérêt en endodontie.....	38
2.2.1.3.1.Effet antibactérien.....	38
2.2.1.3.2.Action solvante.....	38
2.2.1.4.Modifications des facteurs physico-chimiques.....	39
2.2.1.4.1.Température.....	39
2.2.1.4.2.Concentration.....	39
2.2.1.4.3.Le pH.....	40
2.2.1.5.Limites.....	40
2.2.1.5.1.Agent instable.....	40
2.2.1.5.2.Agent toxique.....	40
2.2.2. La chlorhexidine.....	42

2.2.2.1. Propriétés.....	42
2.2.2.2. Présentation et conditionnement.....	43
2.2.2.3. Intérêt en endodontie.....	43
2.2.2.3.1. Effet antibactérien.....	43
2.2.2.3.2. Biocompatibilité.....	43
2.2.2.4. Mécanisme d'action en endodontie.....	44
2.2.2.5. Inconvénients.....	44
2.2.3. L'EDTA.....	45
2.2.3.1. Intérêt en endodontie.....	45
2.2.3.2. Mécanisme d'action.....	46
2.2.3.3. Conditionnement.....	46
2.2.3.4. Inconvénients.....	47
2.2.3.4.1. Diminution de la micro-dureté dentinaire.....	47
2.2.3.4.2. Activité antibactérienne directe limitée.....	47
2.2.3.5. En pratique.....	47
2.2.4. Autres solutions d'irrigation.....	48
2.2.4.1. L'acide citrique.....	48
2.2.4.2. Le MTAD.....	48
2.2.4.3. Le sérum physiologique.....	49
2.3. Moyens d'irrigations.....	49
2.3.1. Objectifs.....	49
2.3.2. Irrigation manuelle conventionnelle.....	50
2.3.2.1. Définition.....	50
2.3.2.2. Choix de l'aiguille.....	50
2.3.2.2.1. Diamètre de l'aiguille.....	50
2.3.2.2.2. Design de l'aiguille.....	51
2.3.2.3. Placement de l'aiguille.....	51
2.3.2.4. Limites.....	52
2.3.2.4.1. Risques d'extrusion.....	52
2.3.2.4.2. Manipulation.....	52
2.3.3. Irrigation assistée.....	52
2.4. L'activation des solutions.....	52
2.4.1. Intérêts.....	52
2.4.2. Activation manuelle mécanique.....	53
2.4.3. Activation dynamique.....	54

2.4.3.1.RinsEndo®.....	54
2.4.3.2.EndoVac®.....	55
2.4.4.Activation ultrasonique.....	55
2.4.4.1.Définition.....	55
2.4.4.2.Irrigation passive ultrasonique.....	56
2.4.5.Activation sonique.....	57
2.4.5.1.Définition.....	57
2.4.5.2.L'Endoactivator®.....	58
2.4.6.Autres moyens d'irrigation activée.....	59
2.4.6.1.Préparation-irrigation: le système self adjusting file.....	59
2.4.6.2.Activation chimique.....	60
2.4.6.2.1.La chaleur.....	60
2.4.6.2.2.La désinfection photo-activée.....	60
2.5.Les interactions.....	61
2.5.1.Interaction hypochlorite de sodium chlorhexidine.....	62
2.5.1.1.Réaction chimique.....	62
2.5.1.2.Conséquences de l'interaction.....	62
2.5.1.3.La Para-chloroaniline.....	62
2.5.1.4.Conduite à tenir.....	63
2.5.2.Interaction hypochlorite de sodium-EDTA.....	64
2.5.2.1.Diminution des propriétés dissolvantes du NaOCl.....	64
2.5.2.2.Action sur les capacités anti-microbiennes du NaOCl et de l'EDTA.....	65
2.5.2.3.Capacité chélatante de l'EDTA.....	65
2.5.2.4.Conclusions.....	65
2.5.3.Interaction chlorhexidine-EDTA.....	66
2.5.4.Interactions de l'acide citrique.....	66
2.5.4.1.Avec l'hypochlorite de sodium.....	66
2.5.4.2.Avec la chlorhexidine.....	67
2.6.Protocoles cliniques d'irrigation.....	68
2.6.1.TEI sur dent vivante.....	68
2.6.2.TEI sur dent nécrosée.....	69
2.7.En conclusion.....	70

INTRODUCTION

La carie dentaire est la pathologie la plus répandue dans le monde. C'est une pathologie infectieuse qui va déminéraliser les tissus durs de la dent et provoquer leur destruction. Après l'atteinte de l'émail, la pathologie va s'étendre à la dentine et le patient va commencer à ressentir des douleurs. A ce stade, les bactéries vont pouvoir coloniser les tubuli dentinaires et proliférer jusqu'à la pulpe: il se développe alors une maladie pulpaire. Le maintien de la vitalité pulpaire n'est plus possible et afin de conserver la dent, le chirurgien-dentiste va la dépulper: c'est le traitement endodontique.

La carie est l'origine la plus fréquente du développement de la pathologie pulpaire. Mais la contamination bactérienne de la pulpe est également possible lors d'un traumatisme ou d'une maladie parodontale. La dépulpation est aussi envisagée suite à une nécrose spontanée, causée par exemple par une restauration juxta-pulpaire.

Au cours de son exercice, le chirurgien-dentiste est donc fréquemment amené à réaliser un traitement endodontique. Ce dernier consiste à éliminer l'ensemble des débris inorganiques et organiques pulpaires et à conditionner les canaux dentaires afin d'obtenir un scellement correct de l'ensemble du réseau canalaire. C'est un protocole délicat qui s'explique en partie par la complexité anatomique de l'endodonte et sa grande variabilité. Cette anatomie est en effet idéale pour la prolifération bactérienne.

Pour atteindre les objectifs de l'endodontie, le chirurgien-dentiste va devoir réaliser un traitement chémo-mécanique des canaux. La préparation mécanique va permettre de mettre en forme les canaux et d'extirper le contenu canalaire. Il est réalisé à l'aide de limes manuelles et mécaniques rotatives. Mais ce travail va générer des débris dentinaires et être responsable de la formation d'une boue dentinaire. Cette «smear layer» va recouvrir la surface des murs dentinaires et compromettre la suite du traitement canalaire y compris l'étanchéité de l'obturation. Ce traitement mécanique seul est insuffisant pour atteindre les objectifs de l'endodontie.

Il est donc impérativement complété par une préparation chimique : c'est l'irrigation. Pour irriguer, le praticien a le choix entre divers solutions d'irrigations : l'hypochlorite de sodium, la chlorhexidine, l'EDTA, le sérum physiologique, l'acide citrique et le MTAD. Chaque solution d'irrigation présente ses avantages et ses inconvénients respectifs. En effet, il n'existe pas de solution idéale c'est pourquoi le chirurgien-dentiste est souvent amené à

utiliser plusieurs solutions d'irrigation au cours d'un même protocole. Cette problématique implique une mise en contact voire un mélange des solutions d'irrigation entraînant des interactions entre ces solutions. Ces interactions peuvent avoir des conséquences plus ou moins néfastes pour la suite du traitement endodontique.

De plus, l'irrigation doit pénétrer dans l'ensemble du réseau canalaire. Or c'est un système anatomique complexe et propre à chaque patient et certaines particularités anatomiques comme l'isthme apical ou les canaux latéraux ne permettent pas toujours le travail des instruments de mise en forme. Les solutions d'irrigation doivent effectivement éliminer toutes les bactéries du canal quelle que soit la zone où elles se développent, y compris celles inaccessibles à l'instrumentation. Aujourd'hui, de nombreux systèmes ont été mis en œuvre pour optimiser l'efficacité des solutions d'irrigation mais sont encore trop peu utilisés dans la pratique des chirurgiens dentistes.

La finalité de l'irrigation est de nettoyer les canaux et de les conditionner pour obtenir une obturation parfaitement étanche. L'irrigation est donc incontournable pour le succès à long terme du traitement canalaire.

Le but de ce travail est de rappeler l'importance de l'irrigation en endodontie en précisant le rôle des différentes solutions d'irrigation mises à notre disposition. Il détaille également les différents systèmes et méthodes mise en œuvre pour rendre cette irrigation la plus efficace et ainsi réaliser le traitement endodontique dans les meilleures conditions.

1. RAPPEL SUR LE TRAITEMENT ENDODONTIQUE

1.1. Généralités

1.1.1. Indications

Selon la classification des pathologies pulpaires de Baume, la dépulpage est envisagée lorsque la dent en cause peut être classée dans les catégories suivantes:

- catégorie III: la pulpe est vivante mais la pulpectomie est indiquée pour des raisons symptomatologiques (douleurs), prothétiques ou iatrogènes.
- Catégorie IV: la pulpe est nécrosée et présente une infection de la dentine radiculaire avec ou non des complications péri-apicales (1).

En l'absence de pathologie pulpaire, la dépulpage est pratiquée lorsque le pronostic est défavorable à la conservation de la vitalité pulpaire car il existe une probabilité élevée d'exposition pulpaire. C'est le cas lors de restaurations coronaires n'autorisant pas le coiffage direct, d'amputation radiculaire ou d'hémi-section radiculaire (2).

1.1.2. Contre-indications

1.1.2.1. Contre-indications absolues

1.1.2.1.1. Médicales

Les contre-indications absolues de dépulpage d'ordre médicales concernent les patients porteurs d'une cardiopathie à haut risque d'endocardite infectieuse (risque A) lorsque la pulpe est nécrosée. Il s'agit:

- de patients présentant des antécédents d'endocardite infectieuse,
- de patients porteurs d'une prothèse valvulaire ou d'un matériel étranger pour une chirurgie valvulaire conservatrice (anneau prothétique),
- de patients atteints d'une cardiopathie congénitale cyanogène.

Dans ce cas, le seul traitement envisageable dès l'apparition de signes cliniques endodontiques est l'avulsion de la dent (2).

1.1.2.1.2. Non médicales

Il est inutile de dépulper une dent si celle-ci ne présente aucun avenir fonctionnel, c'est-à-dire si elle ne peut être restaurée de manière étanche et durable. Avant de procéder au

traitement endodontique, le praticien doit vérifier l'intégrité du support parodontal afin d'assurer la pérennité du traitement (1).

1.1.2.2. Contre-indications relatives

Les contre-indications relatives à la dépulpage sont les patients atteints de cardiopathies à haut risque d'endocardite infectieuse (risque A) lorsque la pulpe de la dent est vivante et chez les patients atteints de cardiopathie à risque moindre. Chez ces patients, le traitement endodontique doit impérativement être réalisé sous digue en une seule séance. La radiographie réalisée en pré-opératoire doit nous permettre de nous assurer que la totalité de l'endodonte est bien accessible.

1.1.3. Objectifs du traitement

L'objectif principal du traitement endodontique est l'élimination complète des résidus pulpaux et des bactéries présents dans les canaux infectés (3). La finalité du traitement est de permettre une obturation tridimensionnelle complète du système canalaire tout en respectant les objectifs biologiques et mécaniques suivants:

- l'élimination des signes et/ou des symptômes cliniques sans en créer de nouveaux,
- la restauration de façon saine et fonctionnelle de la dent et des tissus péri-radicaux,
- le maintien de l'intégrité des tissus péri-radicaux et de la racine.

Afin de répondre à ces objectifs, la dépulpage doit suivre un protocole opératoire précis et adapté à l'anatomie du système canalaire. Ce protocole respecte les principes de l'endodontie exposés par Schilder il y a plus de 30 ans qui sont le nettoyage et la mise en forme du système canalaire entier « *Cleaning and shaping* » afin d'obtenir une obturation complète tridimensionnelle de ces canaux et ceci dans le but d'assurer la pérennité de la dent sur arcade (4, 5).

1.2. Le protocole opératoire

1.2.1. La radiographie pré-opératoire

Avant de démarrer le traitement endodontique, la prise d'une ou plusieurs radiographies pré-opératoires permet de révéler le système canalaire dans sa globalité. Elle nous oriente ainsi sur le niveau de difficulté et les précautions à prendre pour éviter les

complications pouvant survenir au cours du traitement (fracture d'instrument, perforation,...). Cette radiographie permet également d'obtenir une estimation de la longueur de travail (6).

1.2.2. La reconstitution pré-endodontique

La dépulpage intervenant souvent dans un contexte où la dent est fortement délabrée, il est nécessaire de reconstituer les parois dentaires avant d'entamer le traitement endodontique. La reconstitution pré-endodontique va permettre :

- de poser facilement et convenablement un champ opératoire étanche et stable durant tout le traitement endodontique afin de respecter les règles d'asepsie,
- d'obtenir une cavité d'accès à quatre parois afin de créer un réservoir rempli en permanence de solutions d'irrigation nécessaires à la désinfection de l'endodonte,
- de permettre la bonne tenue du pansement provisoire pour éviter la recontamination bactérienne entre deux séances de traitement endodontique (7, 8).

1.2.3. La pose de la digue

C'est une obligation déontologique bien qu'elle soit peu respectée par les praticiens. C'est une feuille de caoutchouc tendue sur un cadre à digue qui va cercler la dent à l'aide d'un crampon adapté (matériel illustré par la figure 1). Elle permet d'isoler la dent de l'ensemble des tissus buccaux et ainsi:

- d'éviter la contamination de l'endodonte par des micro-organismes étrangers respectant ainsi les conditions requises d'asepsie,
- de protéger le patient des risques d'ingestion (instruments, solutions chimiques),
- de dégager le champ opératoire pour faciliter l'acte endodontique (7, 8).



Figure 1 : Matériel de mise en place du champ opératoire (9) :

1.2.4. La cavité d'accès

La cavité d'accès doit permettre une bonne visibilité et un bon accès à l'ensemble du système canalaire. C'est une étape importante qui doit faciliter le travail des instruments endodontiques utilisés pour la mise en forme canalaire et éviter la fatigue instrumentale (10).

Au cours de cette étape, il conviendra d'éliminer les contraintes corono-radiculaires et les surplombs dentinaires grâce à l'utilisation d'un évaseur (11). Sa bonne réalisation va conditionner la réussite de l'ensemble des étapes à venir pour mener à bien la dépulpaion.

1.2.5. La préparation canalaire

1.2.5.1. Objectifs

Elle a pour objectif la mise en forme, le parage et l'aseptie du système canalaire. La mise en forme va permettre la bonne pénétration des solutions d'irrigation jusque dans la zone apicale afin d'éradiquer un maximum de micro-organismes et de toxines présents dans l'endodonte. La mise en forme des canaux impose une conicité régulière de l'entrée canalaire à l'apex. Mais il conviendra de respecter le profil initial du canal afin d'obtenir une obturation tridimensionnelle étanche et non irritante pour les tissus péri-apicaux (7, 12).

1.2.5.2. Moyens

Après l'aménagement de la cavité d'accès, le cathétérisme initial est réalisé à l'aide de limes manuelles de faible diamètre insérées dans les canaux à la longueur de travail estimée. La longueur de travail réelle doit être confirmée par un cliché radiographique «lime en place» (figure 2) ou à l'aide d'un localisateur d'apex électronique.

La mise en forme des canaux est ensuite effectuée à l'aide de séquences d'instruments rotatifs en NiTi de rotation continue ou de réciprocité. Idéalement, la préparation du canal doit permettre d'obtenir un diamètre de $30/100^{\text{ème}}$ de millimètre à l'apex avec une conicité canalaire progressive de 4 ou 6% (12).

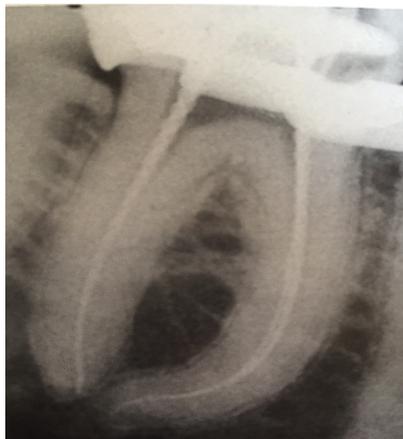


Figure 2 : radiographie lime en place de la 46 (13).

1.2.5.3. Le parage canalaire

Il est obtenu par une irrigation abondante durant toute la préparation canalaire à l'aide de solutions d'irrigation adaptées, assurant à la fois un rôle de lavage et de désinfection du système canalaire. La bonne pénétration des solutions d'irrigation est assurée par la qualité de la mise en forme. Seule l'irrigation va permettre l'élimination des débris organiques pulpaire, des micro-organismes bactériens ainsi que des débris dentinaires générés par le travail de mise en forme. Il existe de nombreuses solutions d'irrigation, diverses et variées mises à notre disposition qui seront développées dans la deuxième partie de cette thèse.

1.2.6. Obturation

Une fois la mise en forme et le parage canalaire terminés, le canal est rincé abondamment puis séché à l'aide de pointes de papier stériles calibrées. Les techniques d'obturation les plus recommandées sont celles basées sur le compactage à chaud de la gutta-percha associée à une quantité minimale de ciment, type eugénolate de zinc. Ce sont les seules qui permettent une obturation tridimensionnelle, étanche et stable dans le temps (14). Elles sont représentées par la compaction verticale à chaud (de Schilder), le système B (SybronEndo®) qui est une évolution de la technique de Schilder, l'obturation thermomécanique ou encore le système Thermafil®.

1.2.7. Restauration coronaire étanche

La pérennité du traitement endodontique ne peut être assurée tant qu'il n'y a pas de restauration coronaire étanche. Après l'obturation, le praticien va poser un pansement provisoire et programmer avec son patient les séances nécessaires à la restauration dentaire.

1.3. La problématique bactérienne

1.3.1. Rôle des bactéries dans le développement de la pathologie endodontique

Les bactéries sont le premier facteur étiologique dans le développement et la progression des maladies pulpaires et péri-apicales. Leur rôle dans les infections dentaires et péri-apicales a été démontré par la théorie des tubuli dentinaires de Rickert et Dixon (15).

Le complexe dentino-pulpaire, est normalement à l'abri des agresseurs présents dans le milieu buccal, et en particulier des bactéries de la flore buccale. Il est protégé par des tissus durs : l'émail et le cément (16). Lorsqu'il y a destruction de ces tissus durs, la dentine sous-jacente et ses tubulis dentinaires sont exposés au milieu buccal. Les bactéries vont alors chercher à pénétrer dans le système canalaire et le complexe dentino-pulpaire va mettre en place des mécanismes de défense contre cette invasion bactérienne.

Les prolongements odontoblastiques, présents dans ces tubuli dentinaires, vont détecter cette agression et produire de la dentine réactionnelle. Cette dentine réactionnelle crée alors une barrière à l'invasion bactérienne. De plus, la pulpe dispose de nombreuses cellules de défense qui vont agir et induire une réponse inflammatoire pour empêcher la multiplication bactérienne. Si ces deux processus naturels ne sont pas suffisants pour éliminer les bactéries, ces dernières vont se propager et être à l'origine d'une maladie pulpaire (16,17).

La destruction des tissus dentaires durs peut s'expliquer par :

- une lésion carieuse : c'est la première cause d'infections pulpaires et péri-apicales. Cette maladie bactérienne provoque la déminéralisation puis la destruction des tissus durs de la dent permettant ainsi aux bactéries d'atteindre la pulpe (18).
- une lésion traumatique : elle crée une exposition directe de la pulpe par une fracture, ou indirecte par la présence d'une fêlure qui va permettre la pénétration bactérienne.
- une lésion endo-parodontale : une infection parodontale sévère va détruire le cément protégeant la dentine radiculaire et permettre aux bactéries de coloniser le système canalaire par les tubuli dentinaires, les foramens accessoires voir le foramen apical.
- une cause iatrogène : un soin juxtapulpaire ou une reconstitution défectueuse peut entraîner la nécrose de la pulpe et permettre la contamination bactérienne (19).

Quelle qu'en soit l'étiologie, l'exposition de la pulpe aux micro-organismes bactériens va entraîner une pulpopathie et nécessiter une dépulpaion. L'élimination de ces bactéries du système canalaire est donc primordiale pour la guérison des tissus dentaires et péri-apicaux.

1.3.2. Le développement de l'infection pulpaire

La première étape est la pénétration de micro-organismes dans la pulpe. Les micro-organismes vont ensuite s'attacher à la paroi du mur dentinaire des canaux radiculaires infectés et se multiplier pour former un biofilm bactérien. C'est après la formation de ce biofilm que le processus infectieux acquiert suffisamment de pouvoir pour détruire le tissu pulpaire. Les cellules de défense de l'hôte vont permettre de ralentir la multiplication bactérienne mais lorsque celles-ci sont surpassées c'est le début de l'infection pulpaire, qualifiée d'infection endodontique primaire. C'est un processus dynamique dont les espèces bactériennes dominantes vont différer en fonction de l'évolution du processus infectieux.

Au cours ou suite au traitement endodontique, les micro-organismes bactériens peuvent se détacher de la surface dentinaire et s'accumuler dans une lésion *per os* : c'est l'infection endodontique secondaire (20). L'infection endodontique persistante est provoquée par des bactéries particulièrement résistantes aux antiseptiques et qui ont survécu aux traitements, à la suite d'une infection primaire ou secondaire.

Il est également important de faire la différence entre les infections aiguës et les infections chroniques : la flore endodontique de l'infection aiguë sera plus diversifiée dans la composition de leur germes bactériens que celle de l'infection chronique (21).

1.3.3. Le biofilm bactérien endodontique

1.3.3.1. Conditions de développement du biofilm

La flore bactérienne endodontique est très variée. En effet, la cavité buccale est le siège d'un écosystème très complexe qui abrite des micro-organismes divers constituant une entité structurale spécifique : le biofilm buccal (17,22).

Dans le système canalaire, la variation des facteurs physico-chimiques peut potentiellement influencer le pouvoir pathogène des bactéries et déterminer le devenir de l'infection. Ces facteurs physico-chimiques appelés « déterminants écologiques » (Steeg et Van der Hoeven) vont conditionner la prolifération bactérienne et sa diversité (23). Ce sont :

- les ressources nutritives : la disponibilité en nutriments exogènes (zone péri-apicale) et endogènes (biofilm) est essentielle pour la survie des bactéries (17). Leurs premières sources d'énergies sont les carbohydrates puis ce sont les protéines et glycoprotéines provenant entre autre de la dégradation pulpaire (24).

- le gradient d'oxygène : la baisse d'oxygène est nocive pour les défenses de l'hôte alors qu'elle favorisera la croissance des bactéries anaérobies (17). Le niveau d'oxygène dans le canal va également conditionner le caractère aérobie/anérobie de l'infection.
- le pH endocanalair : il varie lorsqu'il y a présence d'une infection rendant l'environnement plus acide et propice au développement des bactéries mais nocif pour les cellules de défense du système immunitaire (17)
- les surfaces disponibles d'adhérence : le système endodontique dispose de nombreuses zones anatomiques inaccessibles à la préparation canalaire donc idéales au développement des bactéries (17). Ceci sera développé dans le chapitre sur l'anatomie du système canalaire (chapitre 1.4).

1.3.3.2. La complexité du biofilm bactérien

1.3.3.2.1. Évolution du biofilm

Les bactéries sont organisées dans un biofilm complexe. La composition du biofilm bactérien est très diversifiée et varie en fonction du type et du stade de l'infection. Il existe plus de 1 000 espèces bactériennes différentes dans la cavité orale et plus de 400 espèces sont retrouvées dans le canal lorsque la dent est infectée (25,26). Cependant la diversité bactérienne est moindre concernant les infections secondaires et chroniques (27).

La structure et la composition de ce biofilm vont évoluer en fonction des conditions environnementales. En effet, le statut environnemental et nutritionnel du canal radiculaire se modifie selon le stade de l'infection. L'infection va créer un environnement plutôt anaérobie et dépourvue de nutriments (28).

1.3.3.2.2. Fonctions du biofilm

Les bactéries du biofilm ont la capacité de survivre et de se reproduire dans des conditions environnementales difficiles. Cette capacité unique est due aux diverses fonctions du biofilm. Le biofilm n'agit pas seulement pour les bactéries comme protection face aux défenses de l'hôte mais les rend également plus résistantes face aux divers agents désinfectants utilisés dans le traitement de l'infection.

En effet, le biofilm est une structure bactérienne complexe où les bactéries vont s'organiser en fonction de critères physico-chimiques, nutritionnels ou relationnels au sein d'une couche de glycoprotéines. Cette organisation va permettre aux bactéries de se protéger des agressions environnementales mais va également représenter une importante source de nutriments pour ces dernières (22). De plus, il existe une coopération métabolique entre les

cellules résidentes suivant la structure du biofilm, leur permettant ainsi d'acquérir de nouvelles capacités.

Cette organisation va permettre aux bactéries de les rendre plus résistantes et donc plus difficiles à éliminer du canal. Le succès du traitement de ces maladies dépend aussi bien de l'élimination du biofilm que des bactéries qui le composent (29).

1.3.3.3. Les bactéries endodontiques

1.3.3.3.1. Caractéristiques

Les bactéries qui composent le biofilm bactérien endodontique sont majoritairement des bactéries anaérobies. L'infection primaire sans lésions périapicales dont la pulpe est fermée est généralement caractérisée par des espèces anaérobies strictes. Lorsque la chambre est ouverte, les bactéries microaérophiles et anaérobies facultatives dominent avec une majorité de Gram positif. De plus, la composition bactérienne sera différente dans la chambre pulpaire et dans la partie apicale du canal en raison du gradient d'oxygène.

La flore endodontique est donc prédominée par des bactéries anaérobies à Gram positives. Elles sont généralement plus résistantes que les bactéries à Gram négatives car elles survivent en cas de déshydratation, de manque de nutriments, lors de changements des forces ioniques et de pression osmotiques mais également en présence d'antiseptiques (17).

Dans le cas d'infection secondaire, lorsqu'une lésion péri-apicale est présente, le microbiote du canal est comparable à celui des abcès et des kystes. Il est principalement constitué d'anaérobies et comporte une quantité importante de bactéries (17). L'activité métabolique principale de l'ensemble du site est anaérobique/protéolytique car l'accès à l'oxygène et aux sucres/carbohydrates est limitée.(17).

1.3.3.3.2. Bactéries endopathogènes

Certaines espèces bactériennes sont plus fréquemment rencontrées dans les pathologies endodontiques. *Fusobacterium nucleatum* (bacille ayant une activité protéolytique), *Veillonella parvula*, *Eubacterium* sont associées aux cas d'infections endodontiques primaires (24) *Firmicutes*, *Bacteroidetes*, *Actinobacteria*, *Fusobacteria*, *Proteobacteria*, *Spirochètes* sont d'autres espèces communément retrouvées (30–32).

Les espèces de *Prevotella* comme *P. intermedia* et *P. nigrescens*, sont le plus souvent retrouvées dans les canaux de dents infectées (24). *Peptostreptococcus*, *Streptococcus*, *Fusobacterium*, *Porphyromonas endodontalis*, *Parvimonas* sont présentes dans les infections endodontiques aiguës avec la présence d'un abcès péri-apical collecté (17).

1.3.3.3.3. *Bactéries réfractaires*

Lorsque l'infection évolue dans le temps, l'écologie bactérienne a tendance à devenir de plus en plus sélective et dominée par les germes les plus résistants. Celles retrouvées dans les infections persistantes sont *Streptococcus*, *Actinomyces*, *Propionibacterium*, *Enterococcus*, *Candida* (16).

Les espèces d'*Actinomyces* et *Propionibacterium propionicum* sont associées à la présence de lésions périapicales et surviennent quand le nombre de bactéries présentes dans le biofilm surmontent les mécanismes de défense de l'hôte. L'agrégation des cellules d'*Actinomyces* est influencée par le pH et la concentration bactérienne qui facilitent la formation du biofilm (33).

Enterococcus faecalis, cocci à Gram positive, est une bactérie étroitement associée aux infections endodontiques et fréquemment isolée dans les infections péri-apicales réfractaires (16). Elle est souvent mise en cause dans les échecs de traitement canalaire car elle est capable de produire un biofilm lui permettant de survivre à de longues périodes de privation nutritionnelles et de s'adapter rapidement à différentes conditions environnementales (34) (16,35). De plus, ce n'est pas une bactérie sensible à la chaleur. *E. faecalis* est également capable de supprimer l'action des lymphocytes (36).

E. faecalis a la capacité de cohabiter avec *Fusobacterium nucleatum*. Les interactions entre ces deux espèces bactériennes leurs permettent de coexister au sein d'un biofilm qui ne peut être éliminée par la seule préparation biomécanique et qui présente également une forte résistance aux agents antimicrobiens. Ces bactéries sont associées aux infections persistantes et aux pathologies endodontiques chroniques.

E. faecalis peut se développer dans les tubuli dentinaires et résister à l'application de médicaments intra-canaux tel que l'hydroxyde de calcium pendant 10 jours. Elle permet ainsi aux bactéries regroupées au sein de son biofilm de devenir 1 000 fois plus résistantes aux phagocytes, aux anticorps ainsi qu'aux antimicrobiens (37).

1.3.4. L'objectif antibactérien du traitement endodontique

Le traitement endodontique ne va pas éliminer la totalité des bactéries. Le but n'est pas d'obtenir une aseptie du système canalaire car c'est impossible mais il est de déséquilibrer la flore microbienne communément établie et ainsi assainir l'ensemble du système canalaire (9).

Le biofilm va retarder l'action des antibiotiques et les solutions d'irrigation vont

difficilement l'éliminer car il est difficile de pénétrer sa structure en profondeur. De plus, l'anatomie du système canalaire est complexe et va permettre aux bactéries de se loger dans des « niches endodontiques » pouvant être inaccessibles à la préparation canalaire et difficilement accessibles aux solutions désinfectantes (35).

1.4. Anatomie du système canalaire

Avant de commencer le traitement endodontique, le praticien doit bien se représenter l'anatomie canalaire de la dent. En effet, sa complexité peut compromettre la réussite du traitement d'où l'importance pour le praticien de bien la connaître pour chaque type de dent afin de réaliser la dépulpage dans les meilleures conditions. Lors de la réalisation de la cavité d'accès, des informations vont pouvoir être collectées sur l'anatomie intra-canalaire mais elles sont insuffisantes. D'autres moyens sont à notre disposition pour nous permettre de nous représenter au mieux cette anatomie comme les aides optiques et radiologiques (38).

1.4.1. Moyens d'étude de l'anatomie canalaire

1.4.1.1. Aides radiologiques

La prise de clichés radiographiques au cours du traitement endodontique est inévitable. Des clichés rétro-alvéolaires doivent être réalisés en pré, per et post-opératoire et doivent systématiquement révéler l'ensemble des racines avec les apex bien visibles afin de se représenter l'anatomie du système canalaire au plus proche de sa réalité (39). Elles doivent mettre en évidence les canaux (nombre, configurations, spécificités) et les particularités anatomiques qu'elles soient physiologiques (delta apical, sorties canalaires multiples,...) ou pathologiques (calcifications). Néanmoins, la radio va être à l'origine de déformations et de superpositions, notamment des structures anatomiques voisines, à l'origine d'erreurs d'interprétations (40).

Pour palier à ces déformations, l'utilisation du Cone-Beam peut être une aide précieuse au chirurgien-dentiste (41) Cet appareil offre une haute résolution dans tous les plans de l'espace et représente une aide précieuse au diagnostic, au traitement et à l'évaluation des résultats (42). Le CBCT permet d'individualiser les différentes structures anatomiques et ainsi ne pas confondre une image significative d'une pathologie endodontique (ex : lésion péri-apicale) avec une superposition d'une structure voisine en regard de la racine (ex: le foramen mentonnier) (6). Cette technique d'imagerie 3D doit être considérée comme une méthode diagnostique complémentaire, non systématique mais pouvant être utile et très informative.

1.4.1.2. Aides optiques

L'utilisation d'aides optiques telles que les loupes, le microscope ou l'endoscope, va devenir de plus en plus courante dans la pratique endodontique car elles présentent un réel apport technique pour le praticien (43). L'amélioration de la qualité du champ visuel va permettre (44)

- de faciliter la localisation des entrées canalaires (45)
- de révéler des microstructures ou des caractéristiques anatomiques invisibles à l'œil nu (fentes dentinaires, isthmes),
- le diagnostic d'éventuelles fractures radiculaires ou coronaires.

Le microscope opératoire offre la possibilité de sélectionner le grossissement et possède une source de lumière focalisée au centre du champ de travail, ce qui projette au praticien une vue d'ensemble de haute qualité (46). L'endoscope est un système de caméra permettant d'explorer les zones de l'endodonte inaccessibles à l'œil nu, que ce soit en vision directe ou indirecte. Ce système est surtout utilisé en chirurgie endodontique (47)

L'amélioration de la visibilité va affecter la procédure clinique permettant une gestion du système canalaire plus complète et plus précise. Cette faculté va être associée à une diminution des complications post-opératoires réduisant ainsi la nécessité de retraitement endodontique. La fréquence des accidents pouvant survenir au cours du traitement endodontique (fracture, fausse route) est ainsi réduite. Si toutefois un accident survenait, le microscope opératoire reste une aide précieuse pour extraire les instruments fracturés du canal ou réparer les perforations (48).

Malgré leurs nombreux avantages techniques, aucune étude à ce jour n'a démontré une augmentation du taux de réussite des traitements, une réduction du temps au fauteuil ou encore une diminution des coûts totaux (45).

Ces aides optiques présentent quelques inconvénients. Le microscope opératoire reste un système assez coûteux, encombrant à utiliser et nécessite une certaine phase d'apprentissage dans la technique de travail et la manipulation de micro-instruments (46). Les loupes sont insuffisantes pour inspecter le canal et sont limitées à un certain niveau d'agrandissement. Quant à l'endoscope, sa lentille nécessite d'être nettoyée très régulièrement.

1.4.2. «Réservoirs» bactériens

La complexité du canal pose de grosses difficultés au praticien. En effet, les bactéries vont être protégées des procédures de nettoyage et de mise en forme canalaire en s'immiscant dans les complexités anatomiques et géométriques du canal radiculaire (9). Les biofilms bactériens se développent dans les ramifications apicales, les canaux latéraux, les isthmes et les tubuli dentinaires inaccessibles à la préparation canalaire (49).

1.4.2.1. Tubuli dentinaires

1.4.2.1.1. Tubuli dentinaires et bactéries

L'infection et l'inflammation pulpaire peuvent survenir lors d'un contact direct entre le tissu pulpaire et les bactéries orales ou comme la conséquence de migrations bactériennes dans les tubuli dentinaires (50). Les tubuli dentinaires sont des canaux cylindriques continus de 1 à 2 micromètres de diamètre qui courent de la jonction amélo-dentinaire jusqu'à la pulpe (figure 3-a). Chacun de ces tubuli contient des prolongements odontoblastiques. Le nombre de tubuli et leur diamètre respectif sont des facteurs qui vont influencer la dynamique de l'infection tubulaire (49,51).

Les tubuli sont des milieux favorables à la survie microbienne, c'est pourquoi de nombreuses espèces bactériennes endopathogènes y sont présentes en grand nombre (49). Toutes les bactéries pénètrent les tubuli dentinaires mais elles n'ont pas les mêmes capacités de colonisation (49).

Les espèces bactériennes anaérobies ont été principalement observées dans les tubuli dentinaires de canaux infectés et semblent persister dans la lumière tubulaire une fois que la dent est traitée (49). Sur la figure 3-b, les bactéries à coques sont nettement distinguées dans la lumière des tubuli dentinaires. À noter qu'*Enterococcus faecalis* a une plus forte capacité à envahir et à coloniser ces tubuli dentinaires que les autres espèces (49).

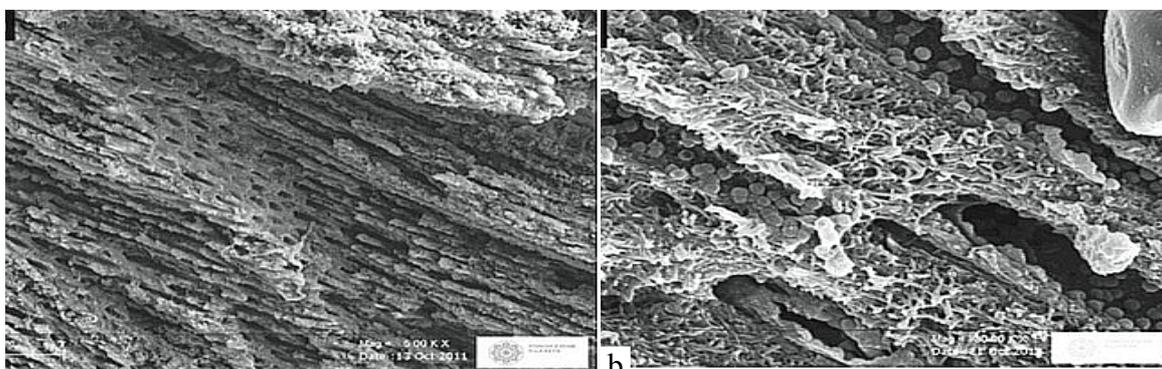


Figure 3 : Les tubulis dentinaires au microscope électronique à balayage. (49).

(a) La structure (x 5 000), (b) Observation de bactéries dans les tubuli dentinaires (x30 000)

1.4.2.1.2. Facteurs de pénétration microbienne

Ces différences de pénétrations bactériennes peuvent être dues à divers facteurs relatant des spécificités anatomiques des tubuli dentinaires aussi bien que de leurs physiologies (49). La variabilité du diamètre des tubuli dentinaires est un facteur clé influençant l'infection microbienne (52). Lorsque les bactéries colonisent les tubuli dentinaire, la matrice collagénique contenu dans les tubuli va se minéraliser et obstruer les tubuli dentinaires. La diminution du diamètre des tubuli dentinaires va ainsi freiner la pénétration bactérienne. Cette matrice minéralisée va influencer la capacité des bactéries telles que *Streptococcus mutans* à adhérer à ses fibrilles. L'obstruction complète des tubuli par la matrice minéralisée signe la fin de la pénétration bactérienne (17,49).

La minéralisation tubulaire augmente progressivement avec l'âge du patient et va provoquer une diminution du nombre de tubuli dentinaires, plus spécialement dans la région apicale. C'est pourquoi la pénétration microbienne est plus rapide dans la population jeune que dans la population âgée (53).

Les défenses de l'hôte apportées par le fluide dentinaire influencent également la colonisation tubulaire. Cependant ce mécanisme reste encore peu connu (49).

1.4.2.2. Les canaux

La configuration anatomique du canal aura tendance à augmenter la difficulté de la préparation canalair. La complexité anatomique des canaux va rendre leur mise en forme plus délicate et donc compliquer la pénétration des solutions d'irrigation permettant leur désinfection. Entre autre, le type de dent, la courbure canalair et la présence de calcifications sont des facteurs anatomiques qui vont augmenter la difficulté de la préparation canalair (54).

1.4.2.2.1. Nombre de canaux

L'anatomie canalair de dents postérieures est plus complexe que celle des dents antérieures. En effet, les dents postérieures comportent plusieurs canaux qui compliquent le travail de mise en forme. De plus, la position très postérieure des molaires sur l'arcade dentaire augmente la difficulté d'accès et donc de préparation canalair (54).

Les dents antérieures comportent bien souvent une seule racine et un seul canal. Cependant, des aberrations anatomiques du nombre de canaux et de leurs configurations peuvent être retrouvées sur les dents antérieures mandibulaires.



Figure 4 :Radiographie rétroalvéolaire montrant l'obturation endodontique de 2 canaux séparés sur 31 et 32 (55).

1.4.2.2.2. Courbures canalaires

Une étude menée par Donald Nguy et Christine Sedgley s'est intéressée à l'influence de la courbure canalaire sur l'efficacité mécanique de l'irrigation. L'irrigation était significativement moins efficace sur les dents présentant une courbure canalaire importante (56). En effet, plus le degré de courbure canalaire augmente, plus l'accès à la longueur de travail est difficile. Plus la courbure commence à distance de l'apex, plus la préparation canalaire est irrégulière (54). Or, l'irrigation sera moins efficace sur un canal mal préparé.

1.4.2.2.3. Calcifications canalaires

Les calcifications résultent en des irrégularités morphologiques et des obstructions du canal. Leur présence dans le canal a un effet significatif sur le résultat de la préparation (54). La taille de la préparation va jouer un rôle sur l'efficacité des solutions d'irrigations dans l'élimination bactérienne et de la smear layer. Plus le diamètre de préparation est important et plus l'irrigation pénétrera efficacement le système endocanalaire. Or, si le canal est obstrué par des calcifications, la préparation canalaire s'avère plus délicate et ne pourra atteindre une taille adéquate, au risque de fragiliser le canal (57).

1.4.2.2.4. Canaux latéraux et accessoires

Sur les dents mono-radiculées, la présence d'un second canal est exceptionnelle mais la présence de canaux latéraux est, quant à elle, beaucoup plus fréquente. Les canaux latéraux vont être une source de nutriments endogènes pour les bactéries colonisant le système endodontique. L'infection peut ainsi s'étendre par les tubuli dentinaires et les canaux latéraux ou accessoires du réseau canalaire. Les systèmes de préparation canalaire ne permettant pas d'accéder à ces canaux comme aux tubuli dentinaires, la préparation des canaux principaux va permettre d'éliminer la couche de dentine infectée et ainsi permettre la désinfection de ces canaux par une irrigation abondante(7).



Figure 5 : Mise en évidence d'une obturation des canaux latéraux sur une radiographie rétroalvéolaire post-opératoire (7).

1.4.2.3. La zone apicale

C'est la zone la plus difficile à nettoyer car elle est difficilement accessible aux instruments de préparation endodontiques. Elle est souvent le lieu de développement des bactéries à l'origine de pathologies péri-apicales (49). La difficulté d'accéder à cette zone est renforcée par la présence des canaux latéraux en amont et par sa configuration très particulière (isthmes, deltas, ramifications apicales)(58). L'irrigation est essentielle pour assainir ces différentes zones anatomiques inaccessibles aux instruments de préparation (52).



Figure 6: Le nettoyage et la mise en forme ont permis une obturation tri-dimensionnelle des canaux latéraux et ramifications apicales comme révélée sur cette radiographie rétroalvéolaire post-opératoire (59).

Les dents infectées doivent être traitées comme étant un système canalaire complexe possédant une anatomie intriquée dans lesquelles les bactéries peuvent diffuser et s'établir sans être inquiétées par la procédure de mise en forme canalaire (60).

1.5. Conclusion

Le succès du traitement endodontique dépend aussi bien de l'élimination du biofilm que de l'ensemble des micro-organismes bactériens présents dans le système canalaire. Il est donc essentiel de respecter les étapes du protocole opératoire pour atteindre les objectifs de la dépulpaion.

Le débridement chémo-mécanique joue un rôle clef dans le traitement des infections endodontiques et doit être réalisé avec précaution. Due à sa complexité anatomique, environ 35% de l'aire canalaire est non instrumentée et va servir de réservoirs aux bactéries endodontiques. Ces niches bactériennes endodontiques vont être à l'origine d'éventuelles pathologies chroniques voir d'un échec thérapeutique (61).

C'est pourquoi l'élimination du biofilm bactérien du canal repose en grande partie sur l'efficacité de l'irrigation endodontique (29). La préparation mécanique va jouer un rôle essentiel dans la pénétration des solutions d'irrigation et leur permettre de remplir leurs objectifs, c'est-à-dire l'élimination des débris organiques et inorganiques générés par la mise en forme ainsi que l'assainissement de l'ensemble du réseau canalaire. Pour amener ces solutions d'irrigation dans l'ensemble du réseau canalaire, différents systèmes d'irrigation sont mis à la disposition du chirurgien-dentiste. L'activation de ces solutions d'irrigation semble aujourd'hui inévitable pour potentialiser leurs effets.

2. L'IRRIGATION

2.1. Intérêt de l'irrigation

2.1.1. Objectifs

L'irrigation est une étape incontournable du traitement endodontique. Elle doit permettre :

- le nettoyage et la désinfection de l'ensemble du système canalaire,
- l'évacuation des copeaux dentinaire et de la smear layer générés par la mise en forme,
- la lubrification des instruments endodontiques afin de limiter le risque de fracture.

Pour répondre à ces objectifs essentiels du traitement endodontique, le praticien va utiliser divers solutions d'irrigations endodontiques.

2.1.2. Caractéristiques de la solution idéale

La solution d'irrigation idéale doit répondre à de nombreux objectifs biologiques et mécaniques. Elle doit présenter les caractéristiques suivantes :

- un large spectre antibactérien efficace contre les bactéries anaérobies, les bactéries aérobies et les micro-organismes présents dans le biofilm,
- une pénétration aisée et efficace du système canalaire complet (tubuli dentinaires, canaux principaux, latéraux et accessoires),
- un effet antibactérien à long terme appelé effet de rémanence,
- une dissolution rapide et totale des contenus canaux organiques et inorganiques (ensemble des tissus nécrotiques pulpaire et des débris tissulaires),
- la capacité d'inactiver les endotoxines (lipopolysaccharides bactériens) impliquées dans le processus de développement de la maladie pulpaire.

La solution va avoir une action mécanique de lavage mais surtout une action chimique. Néanmoins elle ne doit pas présenter de risques pour le patient :

- risque antigénique, toxique voir carcinogénique,
- risque allergique,
- risque corrosif (sur la peau mais également sur les instruments de mise en forme utilisés),
- effets secondaires (discolorations dentaires).

La solution doit également pouvoir être manipulée aisément par le praticien et ne pas représenter de surcoût important (62).

Cette solution idéale d'irrigation n'ayant pas encore été mise au point, il est essentiel au cours du traitement d'utiliser plusieurs agents d'irrigation, chacun comportant leurs avantages, leurs inconvénients et leur limites.

2.2. Les solutions d'irrigation

2.2.1. L'hypochlorite de sodium

2.2.1.1. Origine

L'hypochlorite de sodium est connu classiquement depuis plusieurs siècles sous le nom d'«eau de javel». Depuis de nombreuses années, cette solution est utilisée pour la désinfection domestique car c'est un puissant agent oxydant, peu onéreux (62).

Elle a ensuite été utilisée comme désinfectant médicale lorsque Henry Dakin propose une solution amortie de bisphosphonate pour le nettoyage de plaies ouvertes, en supposant qu'une solution utilisée à pH physiologique devrait être moins agressive (Dakin, 1915) (17).

L'utilisation de l'hypochlorite de sodium à des concentrations «médicales» a ensuite été détournée en agent d'irrigation endodontique par Crane à partir de 1920 (63).

2.2.1.2. Formation de l'hypochlorite

L'hypochlorite de sodium est formé en portant à ébullition du chlore sous forme gazeuse (Cl_2) au travers d'une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) selon la réaction suivante : $2 \text{NaOH} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{NaCl} + \text{NaOCl} + \text{H}_2\text{O}$ (63).

L'effet antiseptique et dissolvant de l'hypochlorite de sodium est ensuite obtenu suite à plusieurs réactions chimiques qui entrent en jeu :



La première est une réaction de dissolution de l'hypochlorite de sodium.

Cette réaction de dissolution permet d'obtenir de l'acide hypochloreux HOCl qui en milieu basique va se dissocier en ions hypochlorites OCl^- et H^+ lors d'une réaction acido-basique (65):



L'hypochlorite se dissocie dans l'eau en Na^+ et OCl^- . L'anion hypochlorite, OCl^- , est

pH dépendant en équilibre avec l'acide hypochloreux HOCl (17).

2.2.1.3. Intérêt en endodontie

L'hypochlorite de sodium est la solution d'irrigation la plus utilisée en endodontie car c'est celle qui remplit au mieux les propriétés de la solution idéale. En effet, cette solution d'irrigation possède de nombreux avantages.

En endodontie, l'hypochlorite de sodium est principalement utilisé pour ses propriétés antiseptiques. Elle possède également une action solvante sur les tissus organiques (66). L'action du produit est renforcée par sa faible tension superficielle qui facilite sa pénétration dans les moindres anfractuosités du canal ainsi que dans les tubuli dentinaires. Cette faible tension superficielle lui permet aussi d'acquérir une action efficace de lavage et de lubrification des instruments. De plus, c'est un produit peu onéreux.

2.2.1.3.1. Effet antibactérien

Cette solution possède un large spectre anti-bactérien. Elle élimine également les virus, les levures, les bactériophages et les spores (65).

En effet, l'anion hypochlorite OCl^- formé lors de la réaction acido-basique est un fort oxydant doté d'une action anti-microbienne. Il va inhiber les enzymes bactériennes et conduire à une oxydation irréversible des groupes sulfhydryles (SH), qui constituent la plupart des membranes des enzymes bactériennes, provoquant ainsi leur destruction (64).

C'est un agent antiseptique puissant, efficace contre la majorité des germes bactériens impliqués dans les échecs endodontiques tel que *E. faecalis*. Mais l'hypochlorite de sodium ne détruit pas la totalité des bactéries. Aucune solution d'irrigation ne permet à ce jour d'obtenir une stérilisation complète du canal, l'objectif de l'irrigation étant d'assainir le système endodontique.

L'efficacité antibactérienne de l'hypochlorite de sodium est fonction de sa concentration mais également du temps de contact avec les bactéries : elle doit être en contact direct avec les bactéries pendant au moins dix minutes pour être efficace (67).

2.2.1.3.2. Action solvante

L'hypochlorite possède des propriétés solvantes donc protéolytiques et antiseptiques dues à la libération d'ions hypochlorite (OCl^-) et de molécules non dissociées d'acide hypochloreux (9). Lorsque l'acide hypochloreux (HOCl) entre en contact avec les tissus organiques, il agit comme un solvant et relargue des ions hypochlorites (64). Le chlore libéré dissout les tissus nécrotiques et vitaux pulpaire ainsi que l'ensemble des substances

organiques en cassant les chaînes d'acides aminées des protéines (66). Le chlore, combiné aux chaînes d'acides aminées, va former des chloramines qui vont interférer avec le métabolisme cellulaire provoquant ainsi la mort cellulaire.

L'hypochlorite va dissoudre uniquement la partie organique donc à lui tout seul il ne peut éliminer la totalité de la smear layer (68). Ce pouvoir de dissolution pulpaire croît avec la concentration, la température et la fréquence de renouvellement de la solution (9).

Le processus de dissolution tissulaire et l'effet anti-microbien de l'hypochlorite est le produit d'une réaction de saponification, de neutralisation d'acides aminés et des réactions de chloramination qui interviennent en présence de micro-organismes (64).

2.2.1.4. Modifications des facteurs physico-chimiques

La modifications de certains facteurs physico-chimiques va avoir des répercussions sur les propriétés de l'hypochlorite de sodium. Ces modifications peuvent décupler ses effets bénéfiques ou au contraire être à l'origine d'effets secondaires non désirés.

2.2.1.4.1. Température

Si la solution d'hypochlorite est chauffée, à l'aide des ultrasons par exemple, ses capacités de dissolution tissulaire sont potentialisées (71). En effet, une solution à 2,5% chauffée à 45°C se montre aussi rapide pour dissoudre le tissu pulpaire qu'une solution à 5,25% à 20°C (9).

2.2.1.4.2. Concentration

Il n'y a pas de concentration idéale, celle-ci reste un éternel débat. Dans notre pratique clinique, l'hypochlorite de sodium est utilisé à des concentrations allant de 0,5% à 6%.

À faible concentration, l'hypochlorite de sodium n'aura pas d'effets cytotoxiques ou très peu en cas de projection dans les tissus péri-apicaux. Le temps de contact avec les bactéries doit être rallongé pour que la solution conserve ses propriétés antiseptiques mais à une concentration de 0,5%, elle n'a plus d'action solvante sur les tissus pulpaire (70).

L'hypochlorite utilisé à une concentration supérieure ou égale à 5% sera un antiseptique très efficace mais deviendra également un agent plus toxique. À concentration élevée, il devra donc être manipulé avec précautions.

Pour être efficace sur *E. faecalis*, il est recommandé d'utiliser de l'hypochlorite de sodium à une concentration de 5,25% pendant environ 40 minutes (71).

Il est donc conseillé d'utiliser de l'hypochlorite de sodium à une concentration de

minimum 2%, de ne pas dépasser 5,5% et de renouveler régulièrement la solution pour que celle-ci conserve son efficacité (65).

2.2.1.4.3. Le pH

L'hypochlorite de sodium est hautement instable et la quantité de chlore disponible est fonction de la valeur du pH en présence.

À un pH inférieur à 7,6, la forme prédominante est l'acide hypochloreux HOCl. Lorsque le pH atteint 4,5, l'ensemble de la quantité de chlore est sous forme d'acide hypochloreux.

À un pH supérieur à 7,6, l'hypochlorite est en quantité majoritaire sous forme d'anions hypochlorite OCl⁻ avec la totalité du chlore sous forme OCl⁻ lorsque le pH est égal à 10 (64).

L'acide hypochloreux HOCl est un agent oxydant plus puissant que OCl⁻. Il possède une forte action de chlorination et d'oxydation sur les tissus et les micro-organismes. C'est pourquoi les propriétés désinfectantes de l'hypochlorite de sodium vont diminuer avec l'augmentation du pH. Il faut donc renouveler régulièrement la solution (64).

La réduction du pH sur NaOCl va améliorer la réduction ou l'élimination des colonies bactériennes dans les canaux dentaires mais va diminuer son effet dissolvant en comparaison avec une solution inaltérée (72).

2.2.1.5. Limites

2.2.1.5.1. Agent instable

L'hypochlorite réagit rapidement avec les tissus et devient vite inactif. Il est donc important de renouveler régulièrement la solution au cours du traitement endodontique (73). C'est une solution hautement instable qui doit être conservée à l'abri de la lumière et de l'humidité, dans un flacon opaque, et à une température de 4°C. Même si ces règles de conditionnement sont respectées, il est conseillé de ne pas utiliser la solution au delà de sa date de péremption. En effet, elle aura par la suite tendance à former des cristaux la rendant incapable d'irriguer correctement les canaux dentaires (9, 76).

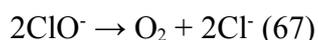
2.2.1.5.2. Agent toxique

À une trop forte concentration, l'hypochlorite de sodium a un effet extrêmement toxique sur les tissus vitaux, c'est un liquide corrosif. Propulsé en quantité importante dans le péri-apex, il peut provoquer des hémolyses, une ulcération de la peau, une nécrose, voir une faiblesse des nerfs faciaux de la région concernée (74). L'hypochlorite de sodium provoque

une inhibition de la migration des polynucléaires agissant dans les défenses immunitaires ainsi que des dommages sur les cellules endothéliales et les fibroblastes aboutissant à des nécroses.

L'hypochlorite de sodium a également un effet sur la dureté dentinaire. Un long temps d'exposition à une haute concentration d'hypochlorite peut diminuer la force de flexion et le module d'élasticité de la dentine. Ce risque est augmenté après avoir soumis la dentine à une solution d'EDTA pendant plus d'une minute. L'hypochlorite de sodium peut donc fragiliser la dent s'il est utilisé à une concentration trop importante (68).

Les ions hypochlorites se dégradent selon la réaction suivante :



Si l'hypochlorite de sodium est propulsé dans les tissus péri-apicaux lors de l'irrigation, sa dégradation va libérer de l'oxygène. Ce dégagement d'oxygène dans les tissus est proportionnel à la quantité d'hypochlorite de sodium propulsée initialement et à sa concentration. Il peut causer un hématome, un emphysème sous-cutané et s'accompagne généralement d'une douleur intense (66). Sur les figures 7-a, 7-b et 7-c, les conséquences de l'extrusion de l'hypochlorite de sodium sont bien illustrées.

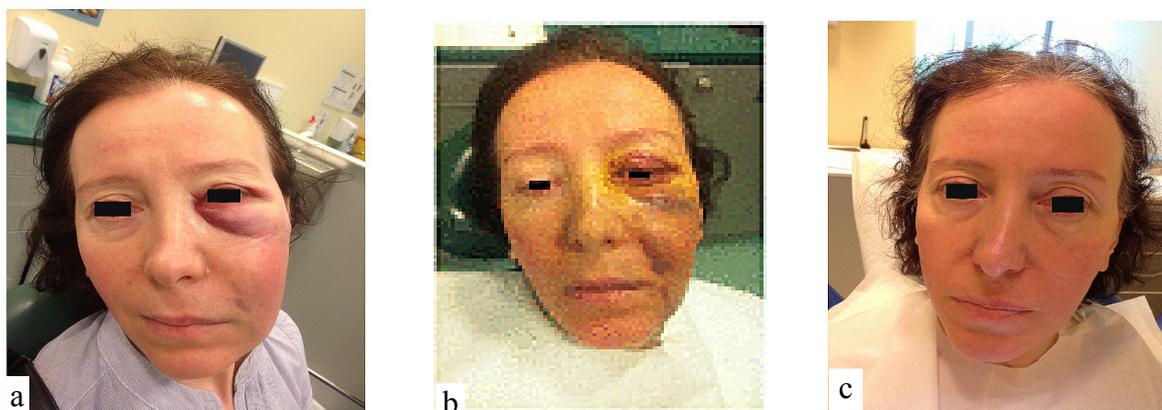


Figure 7: Patiente ayant subi un accident d'extrusion d'hypochlorite de sodium dans le péri-apex au niveau de la 26. (a) elle présente une ecchymose infra-orbitale qui s'étend jusqu'au pli naso-labial ; (b) il y a dans un premier temps une aggravation de l'ecchymose ; (c) cette photo prise à 10 jours de l'accident montre une réparation complète des symptômes (75).

La conduite à tenir dans un premier temps est de rassurer le patient et de rincer le canal d'une abondante quantité de sérum physiologique. Le chirurgien-dentiste doit recommander au patient d'appliquer des compresses froides les premiers jours afin de diminuer le gonflement et l'hématome. Des analgésiques peuvent être prescrits pour le

contrôle des douleurs post-opératoires. L'extrusion de bactéries et toxines bactériennes avec l'hypochlorite de sodium est possible, c'est pourquoi il est recommandé de prescrire une couverture antibiotique à large spectre afin d'éviter une éventuelle infection secondaire. Le patient doit être revu régulièrement jusqu'à disparition complète des symptômes. Le traitement endodontique peut ensuite être repris et mené à terme (75).

En cas de projection d'hypochlorite dans les yeux, le patient va ressentir un picotement, une brûlure intense. Il faut immédiatement effectuer un rinçage de l'œil touché au sérum physiologique et envoyer le patient en urgence chez l'ophtalmologue pour s'assurer que la cornée n'a pas été atteinte (possibilité de perte de cellules endothéliales) (74).

Ces accidents restent rares si les précautions d'usage de l'hypochlorite sont respectées.

2.2.2. La chlorhexidine

2.2.2.1. Propriétés

La chlorhexidine, ou digluconate de chlorhexidine, fait partie des biguanides aromatiques. Elle peut être utilisée comme solution d'irrigation ou comme médicament intracanalair (76). C'est un agent d'irrigation largement utilisé dans le domaine de l'odontologie pour ses propriétés antiseptiques, antibactériennes et antifongiques. Elle est particulièrement efficace sur *Candida albicans* (67).

La chlorhexidine est une molécule hydrophobe chargée positivement (64). Son action est rémanente et présente une faible toxicité (77, 88). Sa formule structurale consiste en deux anneaux 4-chlorophenyl symétriques et deux groupes biguanides connectés par une chaîne d'hexaméthylène centrale (76).

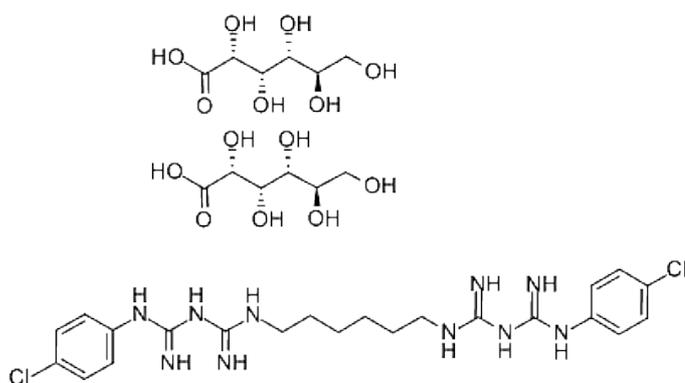


Figure 8: la molécule de digluconate de chlorhexidine (78)

2.2.2.2. Présentation et conditionnement

Elle peut être utilisée sous forme de liquide ou de gel.

Sous forme de gel, son utilisation est optimale à un pH se situant entre 5,5 et 7. C'est un polymère carbonique hydrosoluble qui peut donc facilement être éliminé du canal lors d'un rinçage final à l'eau distillée (76).

La chlorhexidine sous forme de gel va également servir à la lubrification des instruments et permettre une évacuation plus aisée des copeaux dentinaires et tissulaires (76).

La durée de vie de la chlorhexidine liquide est d'au moins un an si les conditions de conservation sont adéquates, c'est-à-dire si elle est conservée à l'abri de la lumière et dans un endroit réfrigéré. Sous forme de gel, elle conserve son pH et une activité antimicrobienne satisfaisante pendant environ 10 mois après la date de fabrication (76).

2.2.2.3. Intérêt en endodontie

2.2.2.3.1. Effet antibactérien

La chlorhexidine possède un large spectre antibactérien. Elle a un effet bactéricide efficace contre les bactéries anaérobies facultatives et anaérobies strictes à Gram négative et Gram positive avec un effet plus important sur ces dernières (64). Ces bactéries sont fréquemment retrouvées lors de pathologies endodontiques. De plus, d'après Basson et Talt, la chlorhexidine serait la seule molécule capable d'éliminer *Actinomyces israelii* (79).

Elle est également active contre certains virus tels que les virus respiratoires, l'herpès, le cytomegalovirus et le VIH (76).

L'effet antibactérien de la chlorhexidine est fonction de sa concentration. À concentration trop basse, la chlorhexidine aura juste un effet bactériostatique. Il faut que la solution soit concentrée à 2% minimum pour provoquer la coagulation des composants intracellulaires et donc posséder un pouvoir bactéricide (68).

La chlorhexidine peut également être utilisée en médication intra-canalair car elle possède une action de rémanence contre l'activité microbienne et ceci jusqu'à douze semaines en fonction de la quantité délivrée. Cet effet de rémanence est dû à son affinité avec les hydroxyapatites de la dentine (76).

2.2.2.3.2. Biocompatibilité

L'activité antimicrobienne de la chlorhexidine est dépendante du pH. L' intervalle optimal d'action de la chlorhexidine correspond au pH corporel et donc tissulaire. La

chlorhexidine se dissocie alors aisément au pH physiologique, libérant les composants CH chargés positivement (76). Elle est donc recommandée comme alternative à l'hypochlorite de sodium dans les cas d'apex ouverts (dents immatures), de résorption canalaire, de foramen élargi ou de perforation canalaire car elle est bien moins cytotoxique (76).

La chlorhexidine ne provoque pas d'érosion de la dentine en rinçage final après l'utilisation d'EDTA (68).

C'est donc une solution d'irrigation de choix car elle possède un effet bactéricide puissant tout en préservant les tissus environnants.

2.2.2.4. Mécanisme d'action en endodontie

La chlorhexidine lipophile va interagir avec les phospholipides et les lipopolysaccharides présents sur la membrane cellulaire des bactéries. Elle entre dans la cellule par des mécanismes de transport actifs et passifs. Son efficacité est due à sa charge positive qui va entrer en interaction par une liaison électrostatique avec la charge négative des groupes phosphates de la membrane cellulaire des bactéries. La molécule de chlorhexidine compromet ainsi l'équilibre osmotique de la cellule. Elle va provoquer la précipitation et/ou la coagulation du cytoplasme cellulaire aboutissant à la mort cellulaire (75, 76).

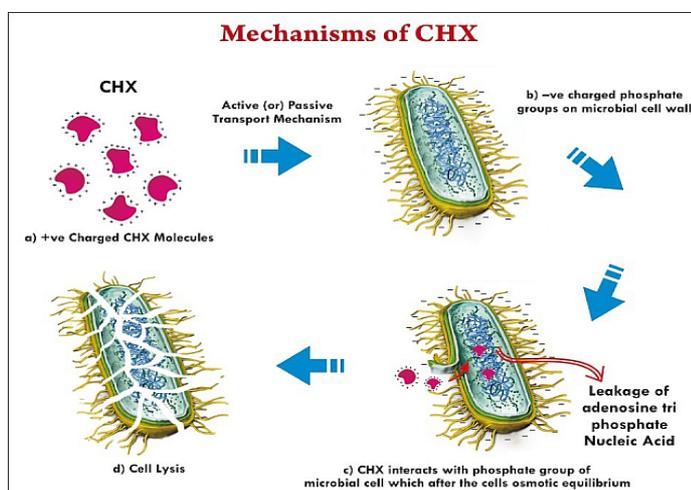


Figure 9: Mécanisme d'action de la chlorhexidine sur les bactéries (80).

2.2.2.5. Inconvénients

La chlorhexidine ne peut dissoudre les tissus organiques et nécrotiques pulpaire c'est pourquoi elle ne peut se soustraire à l'hypochlorite de sodium. Elle ne peut dissoudre toute la «smearlayer» (66). Cette molécule n'a pas d'actions solvantes ni chélatantes (9).

La chlorhexidine est une solution d'irrigation moins toxique que l'hypochlorite de sodium. Cependant, elle est irritante pour la peau à une concentration de 2% (concentration

habituellement recommandée lorsqu'elle est utilisée comme solution d'irrigation) (81).

Utilisée en bain de bouche, elle provoque à terme des discolorations dentaires. Mais en endodontie, les éventuelles colorations pouvant survenir suite à l'utilisation de la chlorhexidine lors de l'irrigation se limitent à la préparation de la cavité d'accès et ne représente donc aucune gêne esthétique pour le patient. (82)

Bien qu'elle possède un effet antibactérien puissant, la chlorhexidine reste inefficace sur *E. faecalis* contrairement à l'hypochlorite de sodium. Or, cette bactérie est fréquemment rencontrée dans le cas de pathologies endodontiques chroniques. La chlorhexidine est également inactive contre les spores bactériennes à température ambiante (63).

Tout comme l'hypochlorite de sodium, la chlorhexidine ne doit pas être utilisée comme solution d'irrigation unique pour mener à bien l'ensemble du traitement endodontique (77).

2.2.3. L'EDTA

2.2.3.1. Intérêt en endodontie

L'EDTA a été introduit en vue de favoriser la préparation de canaux étroits ou calcifiés par Nygard Ostby en 1957 (43,54). C'est un agent chélatant obtenu par dissolution de sels di- ou tri-sodiques d'acide éthylène diamine tétra-acétique dans l'eau (65).

L'instrumentation rotative utilisée lors du traitement endodontique génère la formation de copeaux dentinaires composés à 70% de phase minérale (les hydroxy-apatites). Ces copeaux vont être compactés sur les parois latérales du canal lors du passage des instruments formant ainsi une boue dentinaire appelée communément «smear layer» (65). L'EDTA est utilisé pour éliminer toute la partie minérale donc inorganique de la « smear-layer ». Il nécessite pour cela un temps de contact minimum de 1 minute (64). L'EDTA va ainsi faciliter l'accès aux canaux calcifiés (9).

De plus, l'EDTA est un agent chélatant biocompatible. D'après les études menées par Nygard-Ostby sur des dents humaines, l'extrusion de la solution d'EDTA concentrée à 15% au-delà du foramen apical ne montre aucun dégât sur les tissus péri-apicaux et pulpaire. Aucune réaction inflammatoire n'est visible suite à cette extrusion même après 14 mois. Suite à une biopulpotomie, la mise en place d'EDTA pendant 28 jours n'entraîne pas non plus de nécroses pulpaire (83).

Cependant, l'EDTA peut inhiber l'adhérence des macrophages au substrat à éliminer. Cet effet est dépendant du temps de contact et de la concentration de la solution. Ces

changements d'activité des macrophages peuvent initier une réaction inflammatoire bien qu'ils diminuent la fréquence des phagocytoses.

2.2.3.2. Mécanisme d'action

Il a une action chélatante sur les minéraux en formant un complexe soluble avec les ions calcium extraits de la surface dentinaire jusqu'à une profondeur de 20 à 30 microns en 5 minutes (9, 75). Il va donc déminéraliser la dentine (77).

EDTA sodique + ions calcium → EDTA calcique qui précipite

Son efficacité est proportionnelle à sa concentration: à très faible concentration, il perd ses capacités de chélation. Il n'a pas d'actions solvantes et ne possède pas d'activité antibactérienne directe. En revanche, il possède une activité anti-bactérienne indirecte. En effet, il va éliminer la composante minérale de la « smear layer » et permettre l'action des solutions désinfectantes telles que l'hypochlorite de sodium ou la chlorhexidine. Il va également permettre d'ouvrir les tubuli dentinaires pour une meilleure pénétration des solutions d'irrigation. L'EDTA facilite ainsi l'action des solutions désinfectantes sur les bactéries intra-tubulaires (64,84).

L'efficacité de la solution d'EDTA dépend essentiellement du pH : elle est optimale au pH physiologique et à pH basique dont la fourchette se situe entre 6 et 10 (65).

2.2.3.3. Conditionnement

L'EDTA peut être utilisé sous forme liquide ou sous forme de gel.

Les différentes spécialités liquides contiennent entre 8 et 17% d'EDTA. Selon les fabricants, différents dérivés d'ammonium quaternaires peuvent y être ajoutés pour augmenter la mouillabilité et le pouvoir moussant du mélange. Sous cette forme liquide, l'EDTA est préconisé en rinçage final afin d'éliminer la fraction minérale de l'enduit pariétal (9).

Les gels d'EDTA sont pour la plupart composés d'EDTA à 15% et de peroxyde de carbamide à 10%. Sous cette forme, il est considéré comme un lubrifiant des instruments endodontiques, limitant ainsi le risque de fracture instrumentale. L'EDTA va ainsi faciliter la pénétration initiale des instruments endodontiques, en particulier dans les canaux étroits. Les gels d'EDTA sont également largement utilisés en présence de canaux dentaires calcifiés où la mise en forme s'avère plus délicate (9).

La solution d'EDTA supporte mal le contact avec l'air. Elle aura tendance à former des cristaux lorsqu'elle est présentée sous forme aqueuse. Il est donc recommandé de refermer le flacon immédiatement après usage (65).

2.2.3.4. Inconvénients

2.2.3.4.1. Diminution de la micro-dureté dentinaire

Une trop longue exposition de la dentine à l'EDTA peut causer une élimination excessive de l'ensemble de la dentine tubulaire et péri-tubulaire et ainsi fragiliser la dent (66).

Le temps d'application de l'EDTA liquide ne doit pas dépasser 1 à 3 minutes, selon les spécialités, pour ne pas risquer de déminéraliser excessivement la dentine péri-tubulaire, particulièrement riche en hydroxyapatites. L'effet de l'EDTA sur la micro-dureté dentinaire apparaît après 5 minutes. La micro-dureté de la dentine va diminuer avec l'augmentation du temps d'application des solutions chélatantes (83).

2.2.3.4.2. Activité antibactérienne directe limitée

L'intérêt de l'EDTA ne réside pas dans son activité anti-bactérienne car elle est très limitée. Cette faible action bactéricide s'explique par la chélation des ions métalliques qui entrent dans la composition de diverses enzymes nécessaires au métabolisme des bactéries (9). De plus, l'EDTA va former un puissant complexe en se liant aux ions manganèse (Mn^{2+}), cuivre (Cu^{2+}), fer (Fe^{3+}), cobalt (Co^{3+}) présents à la surface de membranes bactériennes (65).

Mais cette capacité bactéricide est trop faible pour que l'EDTA puisse avoir un impact significatif sur la viabilité du biofilm et son architecture. En d'autres termes, il n'interviendra pas dans la désorganisation du biofilm bactérien. Et d'après les études menées par Arias-Moliz et coll, l'EDTA ne présente aucune efficacité contre *Enterococcus faecalis* même après 60 minutes de contact. La faible action bactéricide de l'EDTA ne présente donc aucun intérêt en comparaison avec les autres solutions d'irrigation mises à notre disposition (85).

2.2.3.5. En pratique

L'EDTA est une solution de choix pour éliminer la « smear layer » et faciliter l'accès aux canaux calcifiés. L'EDTA n'a pas directement un effet antibactérien mais va optimiser l'action des solutions désinfectantes telles que l'hypochlorite de sodium par l'élimination de la « smear layer » et l'ouverture des tubuli dentinaires. L'EDTA va faciliter le travail de mise en forme des canaux calcifiés et ainsi permettre une action plus efficace des solutions désinfectantes sur les bactéries (83).

2.2.4. Autres solutions d'irrigation

2.2.4.1. L'acide citrique

L'acide citrique est un chélateur des ions calcium. À concentration équivalente, il se montre aussi efficace que l'EDTA pour dissoudre la fraction minérale des boues dentinaires et améliorer ainsi les états de surface canalaire. Il est donc utilisé comme alternative à l'EDTA et se présente sous la forme d'un liquide transparent dont la concentration peut varier entre 6% et 40%.

Il est peu utilisé car il présente de nombreux inconvénients. C'est une solution instable qui aura tendance à cristalliser et à se désactiver rapidement au contact de débris organiques.

Son action est plus érosive sur les parois dentinaires que l'EDTA, il va diminuer la micro-dureté de la dentine donc les canaux devront systématiquement être rincés à l'eau distillée après son utilisation (86).

En dehors de son action de chélation, il présente une faible activité bactéricide et son efficacité comme solvant des matières organiques est très limitée (67).

Le praticien préférera l'utilisation de l'EDTA comme solution chélatante lors du traitement endodontique.

2.2.4.2. Le MTAD

Le MTAD (commercialisé sous le nom de Biopure® par la société Dentsply) est un agent chélatant qui se présente sous la forme d'un antibiotique topique dont la composition est proche de l'EDTA (65). C'est un mélange de doxycyclines (isomères de tétracyclines) auquel a été ajouté un détergent (le Tween 80) et de l'acide citrique (66).

Il possède de nombreux avantages. Son activité antimicrobienne de rémanence est supérieure à la chlorhexidine. C'est une solution biocompatible qui possède une durée de vie stable. Sa composition, contrairement aux autres agents chélatants tels que l'EDTA ou l'acide citrique utilisé seul, ne va pas affecter la structure de la dentine (66).

Son utilisation en rinçage final permet de désinfecter le système canalaire et d'éliminer la «smear layer» mais son action solvante sur les matières organiques reste limitée (66). De plus, la présence de cycline dans sa composition risque d'occasionner des allergies, des résistances, voire des dyschromies dentaires. Ce médicament est commercialisé aux États-Unis mais n'a pas obtenu son autorisation de mise sur le marché en France car c'est un antibiotique topique (67).

2.2.4.3. Le sérum physiologique

Le sérum physiologique n'aura aucun effet anti-bactérien, chélatant ou autre sur les tissus organiques comme sur les tissus inorganiques. Cependant, il est intéressant de l'utiliser au cours de l'irrigation pour rincer le canal entre chaque solution d'irrigation afin d'éviter toute interaction néfaste entre elles. Le sérum physiologique permettra également de rincer le canal à la fin du traitement pour s'assurer qu'aucune solution active ne stagne dans les canaux et ne compromette la réparation tissulaire.

Le sérum physiologique à l'avantage d'être non agressif et parfaitement biocompatible. Il peut donc être utilisé à tout moment et en toute sécurité.

Le chirurgien-dentiste a donc de nombreuses possibilités en ce qui concerne le choix des solutions d'irrigation dans le traitement des canaux dentaires. La difficulté va être d'amener un certain volume de la solution choisie dans le système canalaire jusqu'à la zone apicale et que celui-ci pénètre l'ensemble du réseau canalaire. Il existe dans ce but divers moyens d'irrigation.

2.3. Moyens d'irrigations

2.3.1. Objectifs

L'objectif principal de l'irrigation est d'amener un certain volume de solution dans le système canalaire jusqu'à l'apex dans un but de désinfection et d'élimination des débris créés par la mise en forme. Pour se faire, de nombreux systèmes d'irrigation sont mis à notre disposition. Il existe deux types d'irrigation : l'irrigation manuelle conventionnelle ou l'irrigation assistée (65).

Le flux de la solution apporté par le système d'irrigation doit répondre à de nombreuses problématiques :

- la solution d'irrigation doit être fréquemment renouvelée pour rester efficace,
- elle doit être en contact intime avec les parois canalaires,
- elle doit pénétrer l'ensemble du système canalaire y compris la zone apicale,
- le système ne doit pas provoquer d'extrusion de la solution dans les tissus péri-apicaux (87).

2.3.2. Irrigation manuelle conventionnelle

2.3.2.1. Définition

Il s'agit d'une irrigation passive à la seringue. Ce type d'irrigation va être responsable d'une action physique de lavage dont l'efficacité va dépendre du flux de la solution, de sa vitesse de pénétration dans le canal et de la pression d'éjection de la solution. Tous ces paramètres ont un lien direct avec le type de dispositif employé (65).

Pour améliorer la qualité et la sécurité du système d'irrigation, il faut agir sur certains facteurs physiques :

- la contrainte de cisaillement ou de scission: c'est la force appliquée par l'aiguille de manière parallèle sur les surfaces dentinaires. Cette force doit être suffisante pour mettre le fluide en mouvement.
- la pression apicale: si celle-ci est trop importante, il y a un risque d'extrusion de la solution dans les tissus péri-apicaux,
- la vitesse du flux: elle est importante dans la lumière de l'aiguille et ralentie lorsque la solution arrive dans le système canalaire.

Ces facteurs physiques sont difficilement mesurables mais il est possible de les contrôler en agissant sur certains paramètres du système d'irrigation. En effet, le choix du praticien sur le type d'aiguille, le calibre de la seringue utilisée avec l'aiguille et la manipulation du système jouera un rôle sur les paramètres énoncés précédemment et donc sur la qualité de l'irrigation (87).

2.3.2.2. Choix de l'aiguille

2.3.2.2.1. Diamètre de l'aiguille

Les aiguilles les plus couramment utilisées en endodontie ont un calibre de 27G soit 30^{100ème} de millimètre correspondant au diamètre de la préparation apicale recommandée en endodontie. L'aiguille doit en effet pouvoir pénétrer jusqu'au tiers apical et amener la solution désinfectante dans cette zone.

Plus le diamètre de l'aiguille est faible, plus la pression d'éjection sera importante pour délivrer la solution d'irrigation, et plus celle-ci progressera apicalement pour un même placement de l'aiguille dans le canal (65).

Il faudra choisir une seringue dont le diamètre est en rapport avec le calibre de

l'aiguille pour éviter une augmentation trop importante de la pression d'éjection. Par sécurité, il est recommandé d'utiliser des seringues ne pouvant contenir qu'1 à 5 ml de solution (68).

2.3.2.2.2. Design de l'aiguille

Les aiguilles d'irrigation utilisées en endodontie sont à bout mousse. Il en existe deux types: les aiguilles à extrémité ouverte et celles à extrémité fermée.

Les **aiguilles «ouvertes»** peuvent être à embout plat, biseauté ou cannelé. L'intérêt d'un tel dispositif est que l'aiguille va créer un jet de solution vers l'apex donc elle sera plus efficace que l'extrémité à bout fermé pour amener la solution jusque dans la zone apicale. Ce type d'aiguille permet également d'obtenir de meilleurs résultats en terme de renouvellement de la solution mais l'aiguille cannelée est moins efficace que les deux autres types d'aiguilles à bout ouvert (98, 99).

Les **aiguilles «fermées»** sont des dispositifs dits de sécurité car la pression apicale exercée par ce type d'aiguille est significativement plus basse que les aiguilles «ouvertes», Le risque d'extrusion de la solution est donc moindre. La solution se déverse dans le canal par une ou plusieurs sorties latérales, ne créant pas de flux apicalement à la sortie d'éjection de la solution (98, 99). Elles sont moins efficaces pour renouveler la solution que les aiguilles à extrémité ouverte. Enfin, la contrainte de cisaillement murale recherchée pour nettoyer les murs canalaires en profondeur et éliminer la «smear layer» est meilleure que sur une aiguille à extrémité ouverte mais celle-ci reste localisée à une petite région du mur canalaire (65).

2.3.2.3. Placement de l'aiguille

Si l'aiguille n'est pas disposée à une distance suffisante de l'apex, la solution ne permettra pas de nettoyer et de désinfecter cette zone apicale. Or, la zone apicale est souvent le lieu de déjection des copeaux dentinaires générés lors du travail de mise en forme. De plus, cette zone du canal peut ne pas avoir été totalement instrumentée suivant les difficultés d'accès et de disposition de l'isthme apicale. Irriguer le tiers apical avec une solution désinfectante est donc essentiel pour permettre la guérison des tissus péri-apicaux et éviter le développement d'une pathologie chronique endodontique.

À l'inverse si l'aiguille est placée trop proche de l'apex, il y a un risque d'extrusion de la solution qui pourrait entraîner des lésions des tissus péri-apicaux ainsi que des douleurs post-opératoires (90).

Peu importe le type d'aiguille, la longueur d'insertion de l'aiguille va affecter les facteurs physiques de l'irrigation: la fréquence de remplacement de la solution, la contrainte

de cisaillement exercée sur les murs canaux ainsi que la pression apicale. La pression apicale augmente graduellement d'autant que l'on diminue la distance entre l'extrémité de l'aiguille et l'apex. (91).

2.3.2.4. Limites

2.3.2.4.1. Risques d'extrusion

Ce risque d'extrusion concerne la zone péri-apicale. Il est dû à la difficulté de localiser l'apex anatomique, car celui-ci ne correspond pas toujours à l'apex radiologique, auquel s'ajoute la difficulté à contrôler la pression d'éjection de la solution. Dans notre pratique, l'aiguille doit être insérée dans le canal jusqu'au contact avec les parois puis légèrement retirée. La solution est ensuite débitée sans pression excessive en animant le corps de l'instrument de mouvements axiaux de faible amplitude (92). L'éjection ne doit jamais être forcée dans le canal (65).

2.3.2.4.2. Manipulation

L'aiguille doit comporter un système de vissage sur le corps de la seringue pour être utilisée en toute sécurité. Le vissage va empêcher la désolidarisation de l'aiguille du corps de la seringue lorsque l'on applique une pression sur le piston et ainsi éviter à la solution de se déverser en dehors du système canalaire et de créer un incident (dégâts sur les vêtements du patient, projection dans les yeux ou ingurgitation accidentelle de la solution).

L'aiguille doit pouvoir se courber pour pénétrer plus aisément dans le canal. Elles sont à usage unique (65).

2.3.3. Irrigation assistée

Il existe divers systèmes d'irrigation assistée. Ces systèmes ne se composent pas d'une aiguille et d'une seringue comme dans l'irrigation conventionnelle mais sont des systèmes composés en général d'une pièce à main spécifique avec un fonctionnement qui leur est propre. Ces systèmes d'irrigation assistée ont également l'avantage d'activer la solution. L'activation des solutions va apporter un bénéfice supplémentaire à l'irrigation endodontique.

2.4. L'activation des solutions

2.4.1. Intérêts

L'activation des solutions d'irrigation va permettre d'améliorer les capacités mécaniques et chimiques des différentes solutions d'irrigation.

Pour activer les solutions, deux méthodes sont utilisées : soit en agissant sur la température ou la concentration afin de modifier les propriétés physico-chimiques de la solution, soit en agitant la solution manuellement ou mécaniquement.

Il y a différentes façons de procéder pour agiter la solution :

- mouvements manuels de l'instrument dans le canal par le chirurgien-dentiste,
- activation sonore ou ultrasonique pour amener une oscillation de la solution,
- mouvements mécaniques d'un instrument dans le canal.

L'agitation va apporter un réel bénéfice à l'irrigation. Elle encourage le mélange des fluides canaux. Les fluides occupant déjà le canal et n'ayant plus aucune action sont ainsi remplacés par une solution fraîchement injectée (87).

Elle disperse la solution partout dans le système canalaire et facilite sa pénétration dans les canaux latéraux et la chambre en dehors des canaux préparés (87).

Enfin, l'agitation améliore le nettoyage des canaux par son mouvement de déplacement en diluant les débris résidents et en évacuant les débris de la zone apicale. De plus, le stress généré par l'agitation va encourager l'élimination de matériels adhérent à la surface des murs canaux (87).

L'efficacité de ce processus est dépendant du volume du fluide agité dans la cavité aussi bien que des systèmes utilisés pour placer ou éliminer la solution d'irrigation.

2.4.2. Activation manuelle mécanique

C'est la méthode la plus simple pour agiter les fluides canaux. Il s'agit d'insérer un instrument dans le canal et de le redistribuer manuellement tout le long du canal avec un mouvement de va et vient.

Pour activer manuellement la solution, le praticien peut utiliser une lime manuelle, l'aiguille d'irrigation, un canal brush ou un maître cône de gutta-percha sélectionné à la fin de

la préparation canalaire. Ce dernier est le plus recommandé. En effet, l'intime adaptation du maître cône aux parois canalaire va permettre :

- une surpression lors des mouvements de poussée qui va engendrer une meilleure répartition des solutions d'irrigation au niveau des zones non instrumentées,
- un déplacement corono-apical des fluides en apportant une solution fraîche apicalement et en remontant les solutions consommées coronairement,
- d'apporter une aisance des mouvements de va-et-vient qui va favoriser la formation des turbulences sans risquer d'irriter la zone péri-apicale (87).

Des études ont montré que le degré de propreté dans l'élimination des débris après l'utilisation du maître cône est significativement supérieur à celui obtenu après l'utilisation d'une seringue d'irrigation conventionnelle sans activation. Après activation, il persiste une quantité mineure de la «smear layer» sur des dents mono-radiculaires droites comme sur des dents pluri-radiculées courbes.

L'activation mécanique favorise ainsi l'élimination du biofilm artificiel, permet de désagréger ce dernier et de mettre en suspension des agglomérats bactériens qui seront ensuite éliminés par l'irrigation à la seringue conventionnelle (65).

2.4.3. Activation dynamique

Différents facteurs connus vont influencer l'irrigation dynamique dans le système canalaire :

- les propriétés chimiques, rhéologiques et antibactériennes de la solution,
- le modèle du flux de l'irrigation dans le système canalaire et les interactions résultantes avec les murs canalaire,
- le degré de préparation canalaire comme le diamètre apical et la conicité du canal préparé.

L'activation dynamique est représentée par des systèmes d'agitation mécanique de solution d'irrigation tels que RinseEndo et le système EndoVac.

2.4.3.1. RinsEndo®

RinsEndo est un système d'irrigation basé sur le principe d'injection et d'aspiration créant un mouvement hydro-dynamique de flux et de reflux à raison de 100 cycles par

minutes. Il est composé d'une pièce à main fonctionnant sous pression d'air. Cette pièce à main est connectée à une canule qui va délivrer la solution et associée à une seringue qui sert de réservoir d'irrigation. Une cupule de protection est positionnée sur la canule et permet de protéger le patient et le praticien des risques de projection (65).



Figure 10 : le système RinsEndo® (93)

Il n'y a pas assez de données pour confirmer ou infirmer la sécurité et l'efficacité de ce système (78, 104).

2.4.3.2. EndoVac®

L'EndoVac est également basé sur un système d'aspiration en créant une pression apicale négative dans le canal. La solution est délivrée dans la cavité d'accès puis elle est entraînée vers l'apex par une micro-canule insérée dans le canal jusqu'à l'apex qui va aspirer la solution et les débris organiques et inorganiques qu'elle emmène avec elle (65).

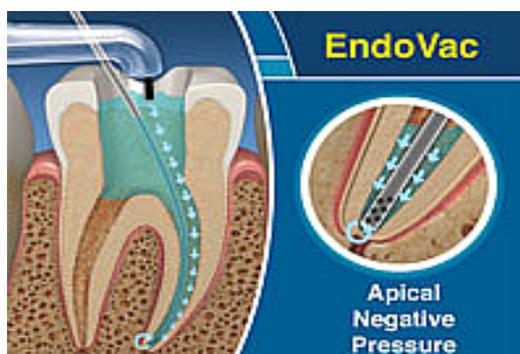


Figure 11 : Illustration de la pression apicale négative par l'EndoVac® (95)

En comparaison avec une irrigation traditionnelle à l'aiguille ou d'autres systèmes d'irrigation, l'EndoVac® permet un bon nettoyage de la zone apicale jusqu'à 1 millimètre de l'apex tout en minimisant les risques d'extrusion dans les tissus péri-apicaux (79, 99).

L'utilisation de la pression négative en irrigation peut réduire de manière significative le niveau de douleur post opératoire en comparaison avec une aiguille d'irrigation conventionnelle (96).

2.4.4. Activation ultrasonique

2.4.4.1. Définition

De nombreuses études montrent que les ultrasons, combinés à n'importe quelle autre solution, vont améliorer le nettoyage du système canalaire par rapport à une irrigation passive (107, 108). En effet, le réseau canalaire endodontique présente de nombreuses cavitations dans lesquelles vont être enfermées de l'air. La vibration acoustique en continue de la solution va perturber sa tension superficielle et faire remonter cet air sous forme de bulles d'air de la région apicale vers la surface aérienne de la solution. Cela permet d'augmenter les capacités biologiques et chimiques des solutions d'irrigation (99).

Cette activation résulte de la transmission d'onde d'une fréquence comprise entre 25 et 30 kHz. La solution peut être activée par des ultra-sons selon deux techniques différentes :

- la combinaison d'une instrumentation ultrasonore et de l'irrigation dite « instrumentation ultrasonore ». Cette technique n'a pas démontré d'efficacité réelle et présente l'inconvénient d'être difficile à maîtriser (risque de perforation, stripping). Ce n'est donc pas une alternative à l'instrumentation manuelle (65).
- l'application d'une séquence ultrasonore après la mise en forme conventionnelle dite irrigation passive ultrasonique (IPU) : cette technique d'activation ultrasonore est la seule conseillée (65).

2.4.4.2. Irrigation passive ultrasonique

L'énergie ultrasonore est transmise à une lime K ou à une lime lisse montée sur une pièce à main (type Piezon Master 400®) délivrant des ultrasons et reliée à un générateur piézo-électrique. La lime ultrasonique doit avoir un mouvement libre dans le canal, sans contact avec les murs canalaires, pour pouvoir travailler efficacement. La production de turbulences acoustiques va générer des mouvements liquidiens. Cette action mécanique améliore ainsi l'action chimique des solutions d'irrigation.

L'irrigation passive ultrasonique (IPU) s'utilise soit avec une irrigation continue soit avec une irrigation intermittente. Cette dernière permet un contrôle plus précis du niveau de l'irrigation et du volume employé, c'est donc la seule retenue.

L'élimination bactérienne est similaire à celle obtenue avec une irrigation à la seringue conventionnelle mais de meilleurs résultats sont obtenus concernant le nettoyage et l'élimination des débris en fin de mise en forme. La propreté canalaire obtenue avec l'IPU est

similaire à celle obtenue avec l'Endoactivator® (100).

Le mouvement apical de la solution peut être attribué à la génération de vagues ultrasoniques induites à l'interface aérienne de la solution, aboutissant au déplacement de l'air pris au piège dans le canal radiculaire comme illustré sur la figure 15. Le mouvement créé permet ainsi à la solution de voyager dans des directions opposées (via un flux inverse) (99).

Acteon propose des limes ultrasonores appelées Irrisafe® pour l'irrigation passive ultrasonique. Ces inserts spécifiques sont en acier pré-courbables, non tranchants donc non invasifs.



Figure 12: schématisation des turbulences acoustiques provoquées par la lime ultra-sonore Irrisafe® (101)

Les limes ultrasoniques doivent être utilisées avec des solutions désinfectantes telles que l'hypochlorite de sodium ou la chlorhexidine et non avec les agents chélatants. En effet, ces derniers ont besoin de contact sur les parois canalaire pour être efficace alors que les ultrasons auraient tendance à déloger l'EDTA ou tout autre agent chélatant des murs canalaire. Ces agents seraient donc moins efficaces lorsqu'ils sont utilisés avec les ultrasons (102).

Ces limes permettent de nettoyer efficacement les murs canalaire et de libérer les tubuli dentinaires de la «smear layer». Ces systèmes ont démontré une meilleure efficacité que l'irrigation passive à la seringue (103).

2.4.5. Activation sonique

2.4.5.1. Définition

Cette activation résulte de la transmission d'ondes issues de la vibration d'un insert spécifique d'une fréquence comprise entre 1 et 6 kHz au sein des solutions d'irrigation. Cette fréquence est plus faible que les ultra-sons donc produit des zones de tension de plus faible

amplitude (65).

Trois systèmes soniques sont retrouvés :

- le Vibringe: ce nouveau système utilise l'irrigation traditionnelle à l'aiguille et à la seringue mais est en plus animé de vibrations soniques. Aucune étude n'a prouvé son efficacité.
- l'Endoactivator®: c'est le seul retenu.

2.4.5.2. L'Endoactivator®

Il se compose d'une pièce à main sonore sans fil qui permet la vibration d'inserts en plastique flexibles et résistants de calibre et de conicité variable.



Figure 13: l'EndoActivator® (104)

L'objectif est de se conformer à la préparation canalaire finale en utilisant l'insert approprié à une fréquence de 10 000 cycles par minute.

Il existe plusieurs inserts: un petit de diamètre 15 avec une conicité de 2%, un moyen d'un diamètre 25 et d'une conicité de 4%, un large d'un diamètre 35 et d'une conicité de 4%.

Le choix de l'insert est fonction du diamètre apical en fin de préparation et est utilisé un millimètre en retrait de la longueur de travail. Les inserts sont flexibles et suivent les courbes pour limiter le risque de fracture instrumentale. Ils sont animés de mouvements de va-et-vient de faible amplitude durant toute la séquence d'activation.

L'EndoActivator® ne délivre pas de solution mais permet d'obtenir une activation à double composante : verticale et latérale. Ce type d'activation est à l'origine de turbulences hydrodynamiques qui vont éliminer la smearlayer et désagréger le biofilm bactérien (105).

Les études sur ce système n'ont pas montré d'extrusion de solution significative au niveau périapical et l'Endoactivator® a prouvé son efficacité :

- une meilleure élimination des débris dans les canaux droits ou courbes retrouvée à tous les niveaux (coronaire, médian et apical) (106)
- une élimination importante de la «smear layer» jusque dans les derniers millimètres

apicaux mais aucune étude n'a montré une amélioration significative du degré de propreté canalaire ou juste très coronaire (107)

- l'EndoActivator® présente un bénéfice significatif sur l'élimination bactérienne par rapport à une irrigation conventionnelle (108)

2.4.6. Autres moyens d'irrigation activée

2.4.6.1. Préparation-irrigation: le système self adjusting file

Le «Self Adjusting File» (SAF) est une lime creuse constituée d'un fin cylindre de treillis d'une épaisseur de 120 micromètres en NiTi compressible permettant de fournir une adaptation tridimensionnelle au canal. Une seule lime est utilisée pour toute la procédure. Elle est insérée dans le canal, préparé initialement à l'aide d'une lime K de diamètre 20, et s'utilise avec un mouvement longitudinal de va-et-vient. La surface abrasive de la lime élimine graduellement une épaisseur uniforme du mur dentinaire. De cette façon, elle élargit le canal tout en conservant son profil initial.

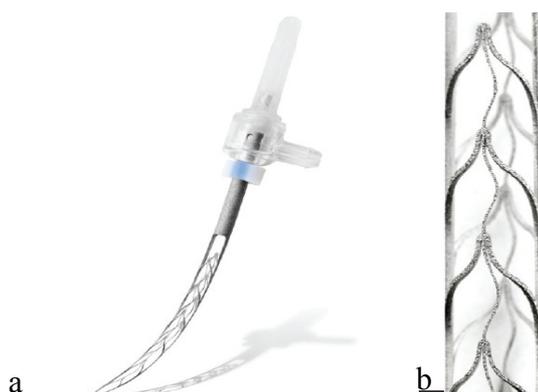


Figure 14: le système « self-adjusting file » : (a) la lime ; (b) structure en treillis (109).

Le SAF est monté sur une pièce à main vibrante qui génère 5 000 vibrations par minute à une amplitude de 0,4 millimètres. Cette pièce à main est reliée à une pompe péristaltique indépendante et permet une irrigation continue durant toute la procédure avec n'importe quelle solution d'irrigation. La lime active continuellement l'irrigation par sa vibration sonique (110,111).

Le SAF permet un nettoyage efficace et uniforme sur l'ensemble du canal y compris de la zone apicale. Cette lime est dotée d'une haute endurance mécanique : la fracture instrumentale est rarissime et si elle survient, elle ne se limite qu'à quelques mailles de sa structure en treillis (110).

Le système SAF présente de nombreux avantages. Il cause moins d'extrusion apicale de débris que les limes manuelles ou rotatives en NiTi parce que son design très particulier ne repose pas sur la génération de pression apicale pour fonctionner. De plus, la lime creuse permet à la solution de s'évacuer librement. Ce système va donc être d'une grande efficacité dans l'élimination de la «smear layer» et de populations bactériennes (122, 123).

2.4.6.2. Activation chimique

2.4.6.2.1. La chaleur

La chaleur est surtout utilisée comme activateur chimique de l'hypochlorite de sodium. Elle agit comme catalyseur et améliore de façon significative l'action de l'hypochlorite de sodium. L'augmentation de la température permet ainsi de réduire la concentration de la solution et de la rendre moins cytotoxique. Il est possible de chauffer extemporanément la solution d'hypochlorite de sodium à 45°C ou 60°C à l'aide d'un appareil de pré-chauffage qui sert également à réchauffer les carpules d'anesthésie.

Cependant, la chaleur entraîne une dissipation plus rapide du taux de chlore actif, ce qui implique un renouvellement plus fréquent de la solution.

2.4.6.2.2. La désinfection photo-activée

L'utilisation du laser de basse puissance en endodontie comme activateur de solutions photosensibles permettrait une diminution de la charge bactérienne. Une solution colorée photosensibilisante (bleu de toluidine, bleu de méthylène, rose bengal) est placée dans le canal, à l'aide d'une seringue d'irrigation conventionnelle. La solution va se fixer sur les bactéries et micro-organismes présents dans le canal puis le canal est irradié à l'aide d'une diode laser couplée à une fibre optique. Le laser va susciter une réaction photochimique sur le colorant photosensibilisant préalablement fixé sur les micro-organismes et provoquer ainsi leur destruction. Le canal est ensuite rincé à l'aide d'une solution type sérum physiologique pour évacuer les débris et micro-organismes ainsi que le colorant (114).

Le laser utilisé seul n'est pas létale pour les bactéries mais son utilisation permet l'activation photochimique d'un colorant qui va dégager de l'oxygène. Le colorant photo-activé va ainsi éliminer les bactéries sur lesquelles il s'est fixé au préalable. Les bactéries Gram positives sont plus sensibles à ce système de désinfection que les bactéries Gram négatives (78, 125).

Aseptim Plus® (SciCan) ou encore PAD Plus® (Denfotex) font partis des systèmes mis sur le marché actuellement pour la désinfection orale photo-activée. À ce jour, ces

techniques sont à un stade expérimental et, face aux données contradictoires, leur usage clinique semble prématuré.



Figure 15 : le laser ASEPTIM plus® par SciCan (116)



Figure 16 : le laser PAD Plus® par Denfotex (117)

2.5. Les interactions

Comme vu précédemment, l'irrigation est essentielle au cours du traitement endodontique. Elle doit être réalisée avec précaution et optimisée par l'activation des solutions afin de garantir une efficacité maximale du travail d'irrigation.

Dues aux nombreuses exigences que doit remplir la solution idéale, le praticien est systématiquement amené à utiliser plusieurs solutions d'irrigation au cours du traitement de dépulpaion. Avec la diversité des agents d'irrigation à la disposition des praticiens, certaines phases de l'irrigation impliquent une mise en contact, voir un mélange de ces éléments chimiques.

Des interactions peuvent donc survenir et avoir un effet bénéfique dans la désinfection du système canalaire et le travail délicat de mise en forme du praticien, ou engendrer des difficultés supplémentaires à l'origine d'effets néfastes pour le patient.

2.5.1. Interaction hypochlorite de sodium chlorhexidine

2.5.1.1. Réaction chimique

La combinaison de la chlorhexidine et de l'hypochlorite de sodium a été évoquée pour cumuler leurs propriétés anti-microbiennes. L'hypochlorite de sodium (NaOCl) et la chlorhexidine (CHX) sont deux solutions qui possèdent toutes les deux de larges spectres anti-microbiens. Il a été supposé que ces deux solutions utilisées ensemble permettraient d'éradiquer tous types de bactéries. De plus, la chlorhexidine possède un effet de rémanence, il peut donc être intéressant de l'utiliser au cours du traitement endodontique et en rinçage final (118).

Cependant, l'activité oxydante du NaOCl cause la chlorination des guanides nitrogènes de la chlorhexidine (118).

2.5.1.2. Conséquences de l'interaction

Cette interaction chimique va avoir de nombreuses conséquences néfastes pour le traitement endodontique du patient.

Suite à la réaction de chlorination, la solution va changer de couleur et former un précipité insoluble. La couleur de ce précipité va varier du orangé-blanc au marron-brunâtre et représente un risque de discoloration sur la structure dentinaire (119). Le précipité va brunir avec l'augmentation de la concentration en hypochlorite de sodium.

Même si l'élimination des débris est toujours possible, la présence de ce précipité recouvre les tubuli dentinaires d'une couche de «smear layer» chimique et interfère avec la désinfection et le scellement correct des canaux dentaires (120).

De plus, suite à la formation de ce précipité, il y a une possible filtration de composés chimiques non identifiés dans les tissus péri-radicaux (118).

La combinaison d'hypochlorite de sodium et de chlorhexidine est donc contre-indiquée car elle va former un précipité neutre et insoluble à l'origine de conséquences négatives pour le traitement endodontique.

2.5.1.3. La Para-chloroaniline

De nombreuses études ont cherché à analyser les produits formés par la combinaison de chlorhexidine et d'hypochlorite de sodium.

Les travaux de Basrani et coll. se sont penchés sur la formation de ce précipité. En

l'analysant, ils ont détecté la présence de Para-chloroaniline (PCA). La para-chloroaniline est un produit formé suite à l'hydrolyse de la chlorhexidine (121).

Ils ont mélangé les solutions de chlorhexidine et d'hypochlorite de sodium avec des concentrations allant de 0,019% à 6% pour le NaOCl et une concentration fixe de 2% pour la chlorhexidine. Le but étant de trouver la concentration minimale de NaOCl requise pour former un précipité.

Les résultats ont montré qu'un changement de couleur instantané a lieu dans tous les échantillonnages mais la couleur du précipité va varier du marron foncé à l'orange clair. La précipitation était induite dès 0,019% de NaOCl et présentait une quantité variable de matériel formé dans les différents mélanges (122).

Une solution de 2% de chlorhexidine (gel ou solution) produit donc immédiatement un précipité de PCA dès qu'il est combiné avec une solution d'hypochlorite de sodium.

En utilisant le spectroscope photo-électronique à rayon x et dans un second temps un spectromètre de masse, ils ont démontré que la PCA était présente à des concentrations directement liées à la concentration initiale d'hypochlorite de sodium.

La Para-chloroaniline est mutagène et cytotoxique. Quelques préoccupations d'une possible carcinogénicité de la PCA ont été exprimées et confirme la contre-indication du mélange de ces deux solutions (123).

2.5.1.4. Conduite à tenir

L'hypochlorite de sodium ne doit pas être utilisée en association avec de la chlorhexidine, qu'elle soit sous forme de gel ou de solution.

Mais ces deux solutions sont fréquemment utilisées séparément au cours du traitement endodontique notamment pour les nombreux avantages qu'elles représentent. Connaissant les risques de leur interaction, quelques précautions sont à prendre lorsque le chirurgien-dentiste utilise ces deux solutions d'irrigation.

Une seringue par solution doit être utilisée. Il n'est pas possible d'utiliser la même seringue pour les deux solutions au risque de les mettre en contact. Cette recommandation est un principe général à respecter quel que soit les solutions utilisées.

Il est également recommandé de bien rincer le canal après l'utilisation d'hypochlorite de sodium avec un flux important de sérum physiologique puis de sécher celui-ci avec des pointes papiers pour enlever toute trace d'hypochlorite de sodium si l'on veut procéder à un rinçage final à la chlorhexidine (121).

Afin de déterminer si la formation de para-chloroaniline pouvait être évitée, différentes solutions d'irrigation ont été testées après une irrigation à l'hypochlorite de sodium mais avant la chlorhexidine. Les solutions alternatives testées sont le sérum physiologique, l'acide citrique et l'EDTA. Aucune n'a empêché la formation du précipité mais la quantité de para-chloroaniline était moindre en utilisant l'acide citrique en solution d'irrigation alternative (124).

2.5.2. Interaction hypochlorite de sodium-EDTA

L'EDTA et l'hypochlorite de sodium ont une action complémentaire ce qui pose la question de leur utilisation simultanée. De nombreuses équipes de recherche ont testé les mélanges d'hypochlorite de sodium et de l'EDTA et ont étudié leurs interactions.

2.5.2.1. Diminution des propriétés dissolvantes du NaOCl

L'addition de chélatants à l'hypochlorite de sodium diminue le pH de la solution. Cette diminution va être fonction du rapport des concentrations et du temps de contact entre les deux solutions.

La diminution du pH va avoir un impact sur la forme de chlore actif dans la solution. En effet la réaction de dissolution de l'hypochlorite de sodium n'a pas lieu ou n'est pas complète en milieu acide. Elle va être à l'origine d'une diminution de la quantité d'acide hypochloreux ce qui par la suite réduit la quantité d'ions hypochlorite.

De plus, selon Baumgartner et Ibay, la diminution du pH d'une solution de NaOCl cause un relargage de chlore gazeux qui a potentiellement un effet dangereux sur les humains. Ce chlore gazeux peut être détecté à un niveau relativement bas, c'est-à-dire même lorsque les quantités de solutions utilisées sont très faibles (125).

L'importante réduction de chlore actif de l'hypochlorite de sodium lorsqu'il entre en contact avec l'EDTA semble expliquer l'incapacité du mélange de NaOCl et de l'EDTA à dissoudre les tissus mous et dans une moindre mesure réduit l'activité anti-microbienne du NaOCl (126).

Irala et coll. ont évalué la capacité dissolvante des tissus du NaOCl (1-2,5%) seul et combiné avec de l'EDTA à 17% dans des proportions différentes (2:2 et 1:3). Les résultats ont indiqué qu'après 48h, seul le NaOCl non mélangé était capable de terminer la dissolution tissulaire. Ces résultats ont été confirmés par Grawer et coll (126).

2.5.2.2. Action sur les capacités anti-microbiennes du NaOCl et de l'EDTA

D'après Grawehr et coll. (127) tout comme Zehnder et coll. (128) si la quantité initiale de chlore actif libérée est faible, les chélatants peuvent éliminer l'efficacité anti-microbienne du NaOCl tandis que les performances de l'EDTA ne semblent pas être affectées par l'interaction avec l'hypochlorite de sodium.

Zehnder et coll. ont indiqué que le mélange du NaOCl avec l'EDTA nécessite entre 1 et 60 minutes pour l'élimination de chlore actif. Clarkson et coll. ont confirmé les résultats de Zehnder et coll. et ont conclu que le chlore actif pouvait être éliminé jusqu'à 80% (128).

Utilisant la spectroscopie, Girard et coll. ont évalué les interactions d'un gel chélatant type préparation contenant 15% d'EDTA et 10% de peroxyde d'urée avec 1% de NaOCl. Les résultats ont révélé que l'ensemble des composants ont épuisé la solution de sa composition en chlore après 5 minutes (129).

2.5.2.3. Capacité chélatante de l'EDTA

Le NaOCl ne va pas avoir d'effets sur les capacités d'élimination de la « smear layer » ou les capacités chélatantes de l'EDTA.

En utilisant des échantillons standardisés de dentine, Saquy et coll. ont évalué la capacité de chélation des ions calciums en comparant une solution de 17% d'EDTA - eau distillée et un mélange de 17% d'EDTA et de 0,5% de NaOCl. Ils ont conclu que la chélation du calcium était meilleure avec une solution contenant du NaOCl.

L'addition de NaOCl à l'EDTA n'affecte donc pas la capacité de l'EDTA à décalcifier la dentine humaine (125).

2.5.2.4. Conclusions

Les conséquences des interactions chimiques entre agents chélatants et hypochlorite de sodium provoquent une diminution du pH de la solution qui va avoir un impact direct sur la quantité d'hypochlorite libéré. Cette forte diminution d'hypochlorite OCl^- va réduire les capacités de dissolution de l'hypochlorite de sodium ainsi que ses propriétés anti-microbiennes. L'EDTA peut même annuler les capacités de l'hypochlorite de sodium si la quantité d'hypochlorite de sodium est initialement faible.

Cependant l'hypochlorite de sodium ne va pas affecter les propriétés chélatantes et les capacités d'élimination de la « smear layer » de l'EDTA. De plus, ses faibles propriétés anti-microbiennes vont être améliorées par l'ajout d'une petite quantité de NaOCl.

Toutefois, la combinaison de l'hypochlorite de sodium et de l'EDTA est fortement déconseillée. En effet, les faibles effets bénéfiques du NaOCl sur l'EDTA ne contrebalancent pas la forte diminution des propriétés anti-microbiennes et dissolvantes de l'hypochlorite de sodium. Il est donc préférable de les utiliser séparément tout en relativisant leur mise en contact qui ne va pas créer de risques ou de difficultés supplémentaires dans la réalisation du traitement endodontique.

2.5.3. Interaction chlorhexidine-EDTA

Le mélange de la chlorhexidine avec l'EDTA ne permet pas d'obtenir une solution homogène. En effet, les deux solutions vont former un précipité rose poudré fortement insoluble (130).

En utilisant la chromatographie liquide de haute performance (HPLC) en phase inverse, Rasimick et coll. ont analysé le précipité qui s'est formé après la combinaison de 17% d'EDTA avec 2% et 20% de chlorhexidine dans des volumes égaux et en utilisant trois conditions différentes de mélanges. Les résultats ont indiqué que plus de 90% de la masse du précipité était de la chlorhexidine ou de l'EDTA avec un ratio molaire respectivement de 1,6 mol de chlorhexidine pour 1 mol d'EDTA (131) .

Gonzalez-Lopez et coll ont suggéré que le précipité ressemblait plus à un sel formé par la neutralisation des cations de la chlorhexidine par les anions de l'EDTA(130).

Il est donc difficile d'obtenir une solution homogène lorsque ces deux solutions sont mélangées car le précipité se compose principalement d'un des composants de la solution original.

Aucun précipité ne se forme lorsque la chlorhexidine est utilisée avec de l'eau distillée, de l'acide citrique ou de l'acide phosphorique.

2.5.4. Interactions de l'acide citrique

2.5.4.1. Avec l'hypochlorite de sodium

L'acide citrique va avoir des effets semblables à l'EDTA sur l'hypochlorite de sodium.

L'acide citrique va également réduire le pH de la solution lorsqu'il est mélangé avec le NaOCl mais de manière plus importante que l'EDTA. Selon Zehnder et coll., l'addition de 10% d'acide citrique à 1% d'hypochlorite de sodium dans les mêmes rapports donnait lieu à

des valeurs de pH comprises entre 1,8 et 4,3.

Zehnder et coll. ont indiqué que lorsque le NaOCl était mélangé avec l'acide citrique, la quantité d'hypochlorite diminue jusqu'à être nul en moins d'une minute. Baumgartner et Ibay ont confirmé ces résultats en signifiant que le dégagement de chlore gazeux était bien plus important que lors de l'interaction EDTA - NaOCl (125).

L'acide citrique quant à lui ne semble pas être affecté par son interaction avec l'hypochlorite de sodium.

2.5.4.2. Avec la chlorhexidine

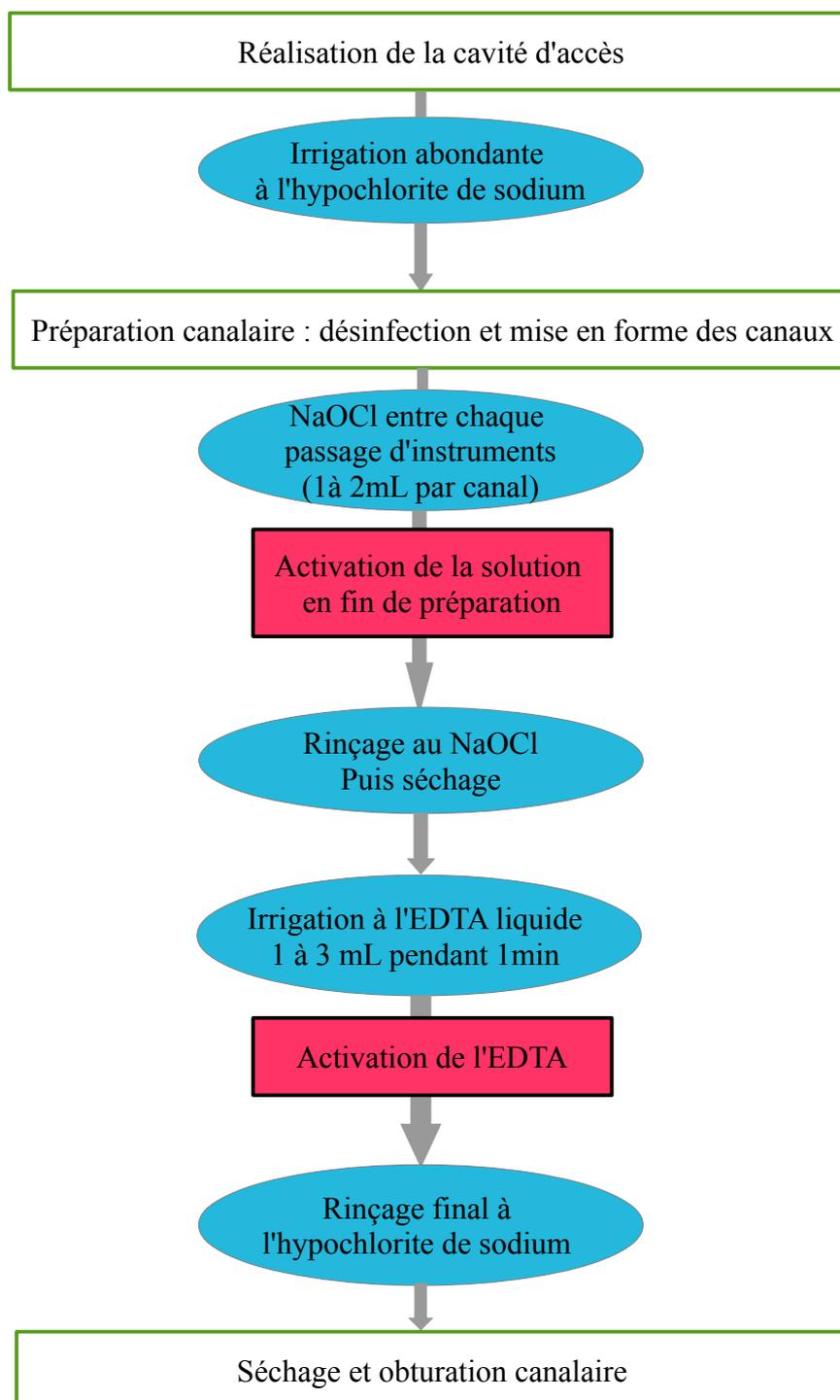
Akisque et coll. comme Gonzalez-lopez et coll. ont indiqué que la chlorhexidine est facilement mélangée avec l'acide citrique. Il se forme alors une solution de couleur blanc-lait suite à une réaction acido-basique entre ces deux solutions. Ce mélange peut facilement être éliminé par un rinçage à la chlorhexidine. Aucun précipité ne se forme (137, 146).

En utilisant la spectrophotométrie d'absorption atomique, Gonzalez-Lopez et coll. ont évalué la capacité déminéralisante de l'acide citrique concentré à 10% et 20% lorsqu'on y ajoutait 1% de chlorhexidine. Les résultats n'ont pas indiqué d'altération de l'effet décalcifiant de l'acide citrique (118).

2.6. Protocoles cliniques d'irrigation

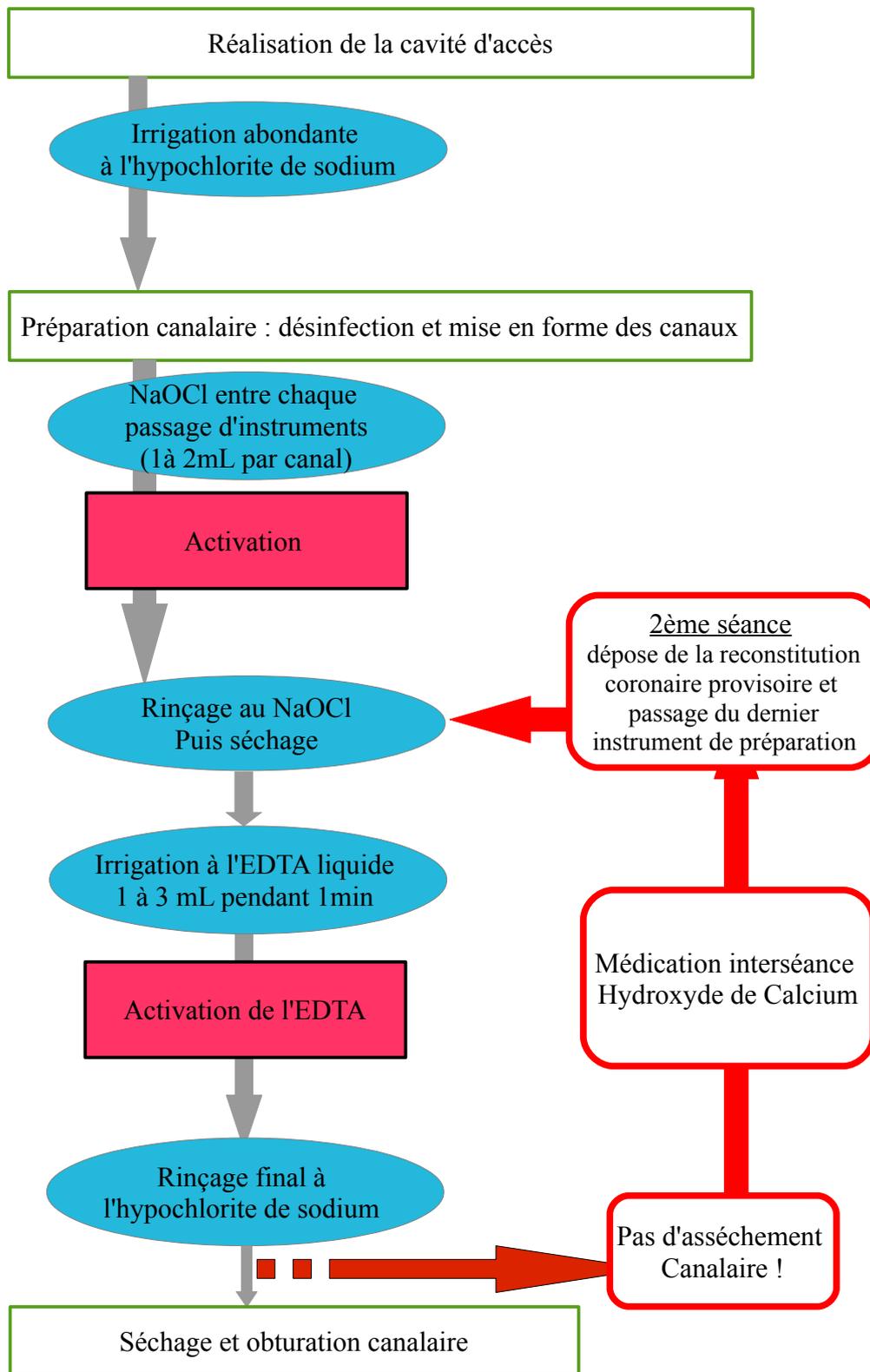
Il n'est pas possible de mettre en place un protocole d'irrigation qui s'appliquerait à tous les cas rencontrés. Les procédures suivantes doivent être adaptées au cours du traitement en fonction des difficultés rencontrées.

2.6.1. TEI sur dent vivante



2.6.2. TEI sur dent nécrosée

Le canal doit pouvoir être séché avant d'être obturé. Or, dans le cas d'un canal nécrosé, l'infection peut entraîner la formation d'une lésion péri-apicale avec un écoulement purulent dans le canal et l'assèchement peut être plus difficile à obtenir. Dans ce cas, une médication inter-séance à l'hypochlorite de sodium peut s'avérer nécessaire.



2.7. En conclusion

L'irrigation est une étape incontournable qui va conditionner la réussite du traitement endodontique. Elle doit être effectuée consciencieusement et doit permettre le nettoyage et la désinfection de l'ensemble du réseau canalaire. En effet, l'anatomie du système endodontique étant complexe et dotée d'une grande variabilité, la simple préparation mécanique ne suffit pas à évacuer l'ensemble des débris organiques pulpaire, des copeaux dentinaires et de la « smear layer » générés par le travail de mise en forme. Elle ne permet pas non plus l'élimination des bactéries.

Pour atteindre ces objectifs, de nombreuses solutions d'irrigation sont proposées au chirurgien dentiste. Les plus utilisées sont l'hypochlorite de sodium, la chlorhexidine et l'EDTA. Ils comportent chacun leurs avantages et leurs inconvénients mais aucune de ces solutions ne permet de remplir à elle seule les propriétés de la solution idéale.

De manière conventionnelle, l'irrigation est réalisée au moyen d'une seringue contenant la solution et d'une aiguille qui se visse sur le corps de la seringue. Cette dernière d'un diamètre de 27G doit pouvoir se pré-courber pour se conformer à l'anatomie canalaire et atteindre la zone apicale. Elle doit être réalisée avec précaution afin d'éviter tout accident (risque d'extrusion dans le péri-apex, projections sur le patient).

D'autres moyens d'irrigation plus modernes ont été mis en œuvre pour l'irrigation : il s'agit de systèmes d'irrigation activés. En effet, ces systèmes, en plus d'amener la solution dans le système endocanalaire, ont l'avantage d'activer l'irrigation dans un but de potentialiser les effets de ces solutions.

Le chirurgien-dentiste a le choix dans le moyen d'activation et le système employé. Il peut utiliser :

- un système d'irrigation dynamique au moyen de la pression apicale négative.
- L'irrigation passive ultra-sonique en combinant une irrigation intermittente avec l'utilisation de limes ultra-soniques.
- L'irrigation sonique à l'aide d'une pièce à main spécifique.

Si le praticien a opté pour irrigation manuelle à la seringue, il peut réaliser une activation manuelle mécanique de la solution en agitant un maître cône de gutta-percha dans un canal rempli de solution d'irrigation.

D'autres systèmes plus élaborés encore arrivent sur le marché tel que le Self Adjusting File qui combine la préparation et l'irrigation.

L'activation chimique est également possible en chauffant l'hypochlorite de sodium, ou en utilisant le laser pour la désinfection photo-activée.

Une autre piste explorée par les chercheurs est de mélanger des solutions qui combindraient leurs avantages respectifs. En effet, la possibilité d'obtenir une solution qui élimineraient l'ensemble des bactéries et micro-organismes du canal en mélangeant l'hypochlorite de sodium et la chlorhexidine, ou de combiner les propriétés chélatantes de l'EDTA et anti-microbiennes de la chlorhexidine ou de l'hypochlorite de sodium a été émise et testée. Mais jusqu'à aujourd'hui, ces expériences n'ont apporté aucun avantage pour le traitement endocanalaire car les solutions ont tendance à précipiter lorsqu'elles sont mélangées. La mise en contact de l'hypochlorite de sodium et de la chlorhexidine s'est même révélée contre-indiquée pour la réussite du traitement endodontique car ce mélange va produire un composé potentiellement carcinogénique : la Para-chloroaniline.

En conclusion, la solution de choix lors de l'irrigation reste l'hypochlorite de sodium. L'EDTA peut être utilisée en rinçage finale ou dans le cas de canaux étroits et calcifiés. La chlorhexidine présente un avantage lorsqu'elle est utilisée sur des dents immatures ou des racines présentant un apex ouvert car elle est biocompatible. Pour éviter toutes interactions entre les différentes solutions, il est important de rincer le canal avec du sérum physiologique et de n'utiliser qu'un système d'irrigation par solution.

Le praticien a le choix dans le système d'irrigation utilisé mais l'activation des solutions est fortement recommandée car elle a largement prouvée son efficacité.

Bibliographie

1. Baume LJ, Fiore-Donno G, Holz J. The clinical management of endodontic problems based on new histopathological evidence. *Quintessence Int Dent Dig.* 1974;5(4):27-35.
2. Zunzarren R, Dupuis V, UFR d'odontologie de Bordeaux Segalen. Guide clinique d'odontologie. Issy-les-Moulineaux, France: Elsevier-Masson, DL 2014; 2014. xx+313 p.
3. Kawashima N, Wadachi R, Suda H, Yeng T, Parashos P. Root canal medicaments. *Int Dent J.* 2009;59(1):5-11.
4. Raymond Greenfeld, Wayne Acheson, Normand Aubre. Les standards pour la pratique de l'endodontie. Canadian Acad Endod [Internet]. 2006 [cité 22 sept 2014]; Disponible sur: https://www.caendo.ca/about_cae/standards/standards_french.pdf
5. Schilder H. Filling Root Canals in Three Dimensions. *J Endod.* 2006;32(4):281-90.
6. Descamps M. Les urgences endodontiques pulpaire et périapicales: fiches cliniques pédagogiques [Thèse d'exercice]. [France]: Université du droit et de la santé (Lille). Faculté de chirurgie dentaire; 2013.
7. Simon S, Pertot W-J. Endodontie. Rueil Malmaison, France: Editions CdP; 2008. viii+132 p.
8. Saint-Pierre f. Traitement endodontique - Rapport d'évaluation [Internet]. Collège de la Haute Autorité de Santé; 2008 [cité 22 avr 2015] p. 66. Disponible sur: http://www.has-sante.fr/portail/jcms/c_736791/fr/traitement-endodontique
9. Pérard M, Le Clerc J, Gautier T, Perez F, Vulcain J-M, Dautel A, et al. Asepsie-antiseptie en endodontie. *EMC - Médecine Buccale.* 2013;8(2):1-11 [28-720 - X - 20].
10. Simon S, Ctorza-Perez C. Cavité d'accès en endodontie. *EMC Médecine Buccale* [Internet]. 2010 [cité 6 févr 2015];(Article 28-725-B-10). Disponible sur: <http://www.em-consulte.com/article/251428/cavite-d-acces-en-endodontie>
11. Perez F, Gaudin A. Comment rationaliser la mise en forme canalaire? [Internet]. Dentoréseau. [cité 25 nov 2014]. Disponible sur: <http://dentoreseau.com/posts/comment-rationaliser-la-mise-en-forme-canalaire>
12. Association dentaire française. Commission des dispositifs médicaux. Préparation canalaire. Paris, France: Association dentaire française, impr. 2014; 2014. 50 p.
13. Lasfargues J-J, éditeur. Concepts cliniques en endodontie: l'essentiel de « Réalités cliniques ». Paris, France: Éditions SNPMD; 2005. 168 p.
14. Obturation of root canal system [Internet]. [cité 2 déc 2014]. Disponible sur: https://www.aae.org/uploadedfiles/publications_and_research/endodontics_colleagues_for_excellence_newsletter/fall09ecfe.pdf
15. Harsh A, Vivek H. Microleakage: Apical Seal vs Coronal Seal. *World J Dent.* 2013;4(2):113-6.
16. Piette E, Goldberg M. La dent normale et pathologique. Bruxelles, Belgique: De Boeck

université; 2001. 392 p.

17. Fouad AF. Endodontic Microbiology. John Wiley & Sons; 2009. 365 p.
18. Badet C. Étude clinique de la carie. EMC - Médecine Buccale. 2011;Article 28-260-M-10:1-7.
19. Bjørndal L. The caries process and its effect on the pulp: the science is changing and so is our understanding. *J Endod.* 2008;34(7 Suppl):S2-5.
20. Tronstad L, Barnett F, Riso K, Slots J. Extraradicular endodontic infections. *Endod Dent Traumatol.* 1987;3(2):86-90.
21. Santos AL, Siqueira JF, Rôças IN, Jesus EC, Rosado AS, Tiedje JM. Comparing the bacterial diversity of acute and chronic dental root canal infections. *PloS One.* 2011;6(11):e28088.
22. Sixou M, Diouf A, Alvares D. Biofilm buccal et pathologies buccodentaires. EMC - Antibiot. 2007;9(3):pp. 181-8.
23. ter Steeg PF, Van der Hoeven JS, de Jong MH, van Munster PJ, Jansen MJ. Enrichment of subgingival microflora on human serum leading to accumulation of *Bacteroides* species, *Peptostreptococci* and *Fusobacteria*. *Antonie Van Leeuwenhoek.* 1987;53(4):261-72.
24. Peciuliene V, Maneliene R, Balcikonyte E, Drukteinis S, Rutkunas V. Microorganisms in root canal infections: a review. *Stomatol Issued Public Inst Odontol Stud Al.* 2008;10(1):4-9.
25. Keijser BJE, Zaura E, Huse SM, van der Vossen JMBM, Schuren FHJ, Montijn RC, et al. Pyrosequencing analysis of the oral microflora of healthy adults. *J Dent Res.* 2008;87(11):1016-20.
26. Paster BJ, Dewhirst FE. Molecular microbial diagnosis. *Periodontol* 2000. 2009;51:38-44.
27. Siqueira JF, Rôças IN. Exploiting molecular methods to explore endodontic infections: Part 2-Redefining the endodontic microbiota. *J Endod.* 2005;31(7):488-98.
28. Ramachandran Nair PN. Light and electron microscopic studies of root canal flora and periapical lesions. *J Endod.* 1987;13(1):29-39.
29. Jhajharia K, Parolia A, Shetty KV, Mehta LK. Biofilm in endodontics: A review. *J Int Soc Prev Community Dent.* 2015;5(1):1-12.
30. Saito D, Leonardo R de T, Rodrigues JLM, Tsai SM, Höfling JF, Gonçalves RB. Identification of bacteria in endodontic infections by sequence analysis of 16S rDNA clone libraries. *J Med Microbiol.* 2006;55(Pt 1):101-7.
31. Munson MA, Pitt-Ford T, Chong B, Weightman A, Wade WG. Molecular and cultural analysis of the microflora associated with endodontic infections. *J Dent Res.* 2002;81(11):761-6.
32. Siqueira JF, Rôças IN. Uncultivated phylotypes and newly named species associated

- with primary and persistent endodontic infections. *J Clin Microbiol.* 2005;43(7):3314-9.
33. Medvedev AE, Sabroe I, Hasday JD, Vogel SN. Tolerance to microbial TLR ligands: molecular mechanisms and relevance to disease. *J Endotoxin Res.* 2006;12(3):133-50.
 34. Sedgley C, Nagel A, Dahlén G, Reit C, Molander A. Real-time quantitative polymerase chain reaction and culture analyses of *Enterococcus faecalis* in root canals. *J Endod.* 2006;32(3):173-7.
 35. Costerton JW, Stewart PS, Greenberg EP. Bacterial biofilms: a common cause of persistent infections. *Science.* 21 mai 1999;284(5418):1318-22.
 36. Sedgley CM, Molander A, Flannagan SE, Nagel AC, Appelbe OK, Clewell DB, et al. Virulence, phenotype and genotype characteristics of endodontic *Enterococcus* spp. *Oral Microbiol Immunol.* 2005;20(1):10-9.
 37. Chávez de Paz LE, Bergenholtz G, Svensäter G. The effects of antimicrobials on endodontic biofilm bacteria. *J Endod.* 2010;36(1):70-7.
 38. Vertucci FJ. Root canal morphology of mandibular premolars. *J Am Dent Assoc* 1939. 1978;97(1):47-50.
 39. Rajalbandi S, Shingte SN, Sundaresh KJ, Mallikarjuna R. Aberration in the palatal root of the maxillary first molar. *BMJ Case Rep.* 2013;
 40. Fava LR, Dummer PM. Periapical radiographic techniques during endodontic diagnosis and treatment. *Int Endod J.* 1997;30(4):250-61.
 41. Patel S, Dawood A, Whaites E, Pitt Ford T. New dimensions in endodontic imaging: part 1. Conventional and alternative radiographic systems. *Int Endod J.* 2009;42(6):447-62.
 42. Todd R. Cone beam computed tomography updated technology for endodontic diagnosis. *Dent Clin North Am.* 2014;58(3):523-43.
 43. Del Fabbro M, Taschieri S, Lodi G, Banfi G, Weinstein RL. Magnification devices for endodontic therapy. *Cochrane Database Syst Rev.* 2009;(3):CD005969.
 44. Friedman M, Mora AF, Schmidt R. Microscope-assisted precision dentistry. *Compend Contin Educ Dent Jamesburg NJ* 1995. 1999;20(8):723-8, 730-1, 735-6; quiz 737.
 45. Perrin P, Neuhaus KW, Lussi A. The impact of loupes and microscopes on vision in endodontics. *Int Endod J.* 2014;47(5):425-9.
 46. Perrin P, Jacky D, Hotz P. [The operating microscope in dental practice: minimally invasive restorations]. *Schweiz Monatsschrift Für Zahnmed Rev Mens Suisse Odontostomatol Riv Mens Svizzera Odontol E Stomatol SSO.* 2002;112(7):722-32.
 47. von Arx T, Hunenbart S, Buser D. Endoscope- and video-assisted endodontic surgery. *Quintessence Int Berl Ger* 1985. 2002;33(4):255-9.
 48. Wong R, Cho F. Microscopic management of procedural errors. *Dent Clin North Am.* 1997;41(3):455-79.
 49. Taschieri S, Del Fabbro M, Samaranayake L, Chang JWW, Corbella S. Microbial invasion of dentinal tubules: a literature review and a new perspective. *J Investig Clin*

- Dent. 2014;5(3):163-70.
50. Haapasalo M, Orstavik D. In vitro infection and disinfection of dentinal tubules. *J Dent Res.* 1987;66(8):1375-9.
 51. Kinney JH, Oliveira J, Haupt DL, Marshall GW, Marshall SJ. The spatial arrangement of tubules in human dentin. *J Mater Sci Mater Med.* août 2001;12(8):743-51.
 52. Ricucci D, Siqueira JF. Fate of the tissue in lateral canals and apical ramifications in response to pathologic conditions and treatment procedures. *J Endod.* 2010;36(1):1-15.
 53. Kakoli P, Nandakumar R, Romberg E, Arola D, Fouad AF. The effect of age on bacterial penetration of radicular dentin. *J Endod.* 2009;35(1):78-81.
 54. Tang L, Sun T, Gao X, Zhou X, Huang D. Tooth anatomy risk factors influencing root canal working length accessibility. *Int J Oral Sci.* juill 2011;3(3):135-40.
 55. Kokane VB, Patil SN, Gunwal MK, Kubde R, Atre S. Treatment of two canals in all mandibular incisor teeth in the same patient. *Case Rep Dent.* 2014;2014:893980.
 56. Nguy D, Sedgley C. The influence of canal curvature on the mechanical efficacy of root canal irrigation in vitro using real-time imaging of bioluminescent bacteria. *J Endod.* 2006;32(11):1077-80.
 57. Falk KW, Sedgley CM. The influence of preparation size on the mechanical efficacy of root canal irrigation in vitro. *J Endod.* 2005;31(10):742-5.
 58. Qing Y, Yang Y, Bei C. The technology of apical infection control. *Hua Xi Kou Qiang Yi Xue Za Zhi.* oct 2014;32(5):427-31.
 59. Clifford JR. Endodontic disinfection: Tsunami irrigation. *Saudi Endod J.* 2015;5(1):1-12.
 60. Arnold M, Ricucci D, Siqueira Jr. JF. Infection in a Complex Network of Apical Ramifications as the Cause of Persistent Apical Periodontitis: A Case Report. *J Endod.* 2013;39(9):1179-84.
 61. D'Arcangelo C, Varvara G, De Fazio P. An evaluation of the action of different root canal irrigants on facultative aerobic-anaerobic, obligate anaerobic, and microaerophilic bacteria. *J Endod.* 1999;25(5):351-3.
 62. Johnson W, Noblet W. Root Canal Irrigants and Disinfectants [Internet]. 2011 [cité 3 mars 2015]. 7 p. Disponible sur: <http://www.richmondinstitute.com/clinical-resources-endodontics/attachment/aae-root-canal-irrigants-and-disinfectants-2011-2012>
 63. Boisseau J. Les irrigants en endodontie: données actuelles [Internet] [Thèse d'exercice]. Nancy I; 2010 [cité 6 févr 2015]. Disponible sur: http://docnum.univ-lorraine.fr/public/SCDPHA_TD_2010_BOISSEAU_JEREMIE.pdf
 64. Kandaswamy D, Venkateshbabu N. Root canal irrigants. *J Conserv Dent JCD.* 2010;13(4):256-64.
 65. Association dentaire française. Commission des dispositifs médicaux. Irrigation en endodontie. Paris, France: Association dentaire française, impr. 2012; 2012. 52 p.
 66. AAE Root Canal Irrigants and Disinfectants (2011-2012) : Dental CE Courses: The

- Richmond Institute [Internet]. [cité 29 juin 2014]. Disponible sur: <http://www.richmondinstitute.com/clinical-resources-endodontics/attachment/aae-root-canal-irrigants-and-disinfectants-2011-2012>
67. Claisse-Crinquette A. Pharmacologie endodontique (I). Les irrigants. EMC - Médecine Buccale. 2011;1-8 [Article 28-720 - X - 10].
 68. Haapasalo M, Shen Y, Qian W, Gao Y. Irrigation in Endodontics. *Dent Clin North Am.* 2010;54(2):291-312.
 69. Plotino G, Pameijer CH, Maria Grande N, Somma F. Ultrasonics in Endodontics: A Review of the Literature. *J Endod.* 1 2007;33(2):81-95.
 70. Moorer WR, Wesselink PR. Factors promoting the tissue dissolving capability of sodium hypochlorite. *Int Endod J.* 1 1982;15(4):187-96.
 71. Retamozo B, Shabahang S, Johnson N, Aprecio RM, Torabinejad M. Minimum Contact Time and Concentration of Sodium Hypochlorite Required to Eliminate *Enterococcus faecalis*. *J Endod.* 1 2010;36(3):520-3.
 72. Del Carpio-Perochena A, Bramante CM, de Andrade FB, Maliza AGA, Cavenago BC, Marciano MA, et al. Antibacterial and dissolution ability of sodium hypochlorite in different pHs on multi-species biofilms. *Clin Oral Investig.* 2015;
 73. Bolles JA, He J, Svoboda KKH, Schneiderman E, Glickman GN. Comparison of Vibringe, EndoActivator, and Needle Irrigation on Sealer Penetration in Extracted Human Teeth. *J Endod.* 1 2013;39(5):708-11.
 74. Hülsmann M, Hahn W. Complications during root canal irrigation--literature review and case reports. *Int Endod J.* 2000;33(3):186-93.
 75. Başer Can ED, Karapınar Kazandağ M, Kaptan RF. Inadvertent Apical Extrusion of Sodium Hypochlorite with Evaluation by Dental Volumetric Tomography. *Case Rep Dent* [Internet]. 2015 [cité 15 juill 2015];2015. Disponible sur: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4390169/>
 76. Gomes BPF, Vianna ME, Zaia AA, Almeida JFA, Souza-Filho FJ, Ferraz CCR. Chlorhexidine in endodontics. *Braz Dent J.* 2013;24(2):89-102.
 77. Lussi AD de la publication, Schaffner MD de la publication, Zimmerli B, Neuhaus K, Strub M. Évolution en odontologie restauratrice. Paris, France; 2013. viii+264 p.
 78. Chlorhexidine digluconate | 18472-51-0 [Internet]. [cité 18 juill 2015]. Disponible sur: http://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_EN_CB9702888.htm
 79. Basson NJ, Tait CM. Effectiveness of three root canal medicaments to eliminate *Actinomyces israelii* from infected dentinal tubules in vitro. *SADJ J South Afr Dent Assoc Tydskr Van Suid-Afr Tandheelkd Ver.* nov 2001;56(11):499-501.
 80. Siqueira JF, Paiva SSM, Rôças IN. Reduction in the cultivable bacterial populations in infected root canals by a chlorhexidine-based antimicrobial protocol. *J Endod.* 2007;33(5):541-7.
 81. Rahimi S, Janani M, Lotfi M, Shahi S, Aghbali A, Vahid Pakdel M, et al. A review of

- antibacterial agents in endodontic treatment. *Iran Endod J.* 2014;9(3):161-8.
82. Koursoumis AD, Kerezoudis NP, Kakaboura A. In vitro assessment of tooth color alteration by two different types of endodontic irrigants. *J Contemp Dent Pract.* 2014;15(5):529-33.
 83. Mohammadi Z, Shalavi S, Jafarzadeh H. Ethylenediaminetetraacetic acid in endodontics. *Eur J Dent.* 2013;7(Suppl 1):S135-42.
 84. Bystrom A, Sundqvist G. The antibacterial action of sodium hypochlorite and EDTA in 60 cases of endodontic therapy. *Int Endod J.* 1985;18(1):35-40.
 85. Kaushik N, Rehani U, Agarwal A, Kaushik M, Adlakha V. Antimicrobial Efficacy of Endodontic Irrigants against *Enterococcus Faecalis* and *Escherichia Coli*: An in vitro study. *Int J Clin Pediatr Dent.* 2013;6(3):178-82.
 86. Tartari T, de Almeida Rodrigues Silva E Souza P, Vila Nova de Almeida B, Carrera Silva Júnior JO, Facíola Pessoa O, Silva E Souza Junior MH. A new weak chelator in endodontics: effects of different irrigation regimens with etidronate on root dentin microhardness. *Int J Dent.* 2013;2013:743018.
 87. Gulabivala K, Ng Y-L, Gilbertson M, Eames I. The fluid mechanics of root canal irrigation. *Physiol Meas.* 2010;31(12):R49-84.
 88. Boutsoukis C, Verhaagen B, Versluis M, Kastrinakis E, Wesselink PR, van der Sluis LWM. Evaluation of Irrigant Flow in the Root Canal Using Different Needle Types by an Unsteady Computational Fluid Dynamics Model. *J Endod.* 2010;36(5):875-9.
 89. Chen JE, Nurbakhsh B, Layton G, Bussmann M, Kishen A. Irrigation dynamics associated with positive pressure, apical negative pressure and passive ultrasonic irrigations: A computational fluid dynamics analysis. *Aust Endod J.* 2014;40(2):54-60.
 90. 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.* 2010;36(10):1664-8.
 91. Shen Y, Gao Y, Qian W, Ruse ND, Zhou X, Wu H, et al. Three-dimensional Numeric Simulation of Root Canal Irrigant Flow with Different Irrigation Needles. *J Endod.* 2010;36(5):884-9.
 92. Machtou P. [Irrigation in endodontics]. *Actual Odonto-Stomatol.* 1980;34(131):387-94.
 93. Rinsendo-A Unique Instrument for Root Canal Debridement - - dentalAEGIS.com [Internet]. [cité 25 août 2015]. Disponible sur: <https://www.dentalaegis.com/id/2007/05/rinsendo-a-unique-instrument-for-root-canal-debridement>
 94. Vivian RR, Bortolo MV, Duarte MAH, Moraes IG de, Tanomaru-Filho M, Bramante CM. Scanning electron microscopy analysis of RinsEndo system and conventional irrigation for debris removal. *Braz Dent J.* 2010;21(4):305-9.
 95. The EndoVac Method of Endodontic Irrigation, Part 2-Efficacy [Internet]. [cité 25 août 2015]. Disponible sur: <http://www.dentistrytoday.com/endodontics/999--sp-380646679>

96. Gondim E, Setzer FC, Dos Carmo CB, Kim S. Postoperative pain after the application of two different irrigation devices in a prospective randomized clinical trial. *J Endod.* 2010;36(8):1295-301.
97. Vinhorte MC, Suzuki EH, de Carvalho MS, Marques AAF, Sponchiado Júnior EC, Garcia L da FR. Effect of passive ultrasonic agitation during final irrigation on cleaning capacity of hybrid instrumentation. *Restor Dent Endod.* mai 2014;39(2):104-8.
98. Tambe VH, Vishwas J, Ghonmode WN, Nagmode P, Agrawal GP, Balsaraf O. Scanning electron microscopic analysis to compare the cleaning efficiency of three different irrigation systems at different root canal levels: an in vitro study. *J Contemp Dent Pract.* août 2014;15(4):433-7.
99. Peeters HH, Iskandar B, Suardita K, Suharto D. Visualization of removal of trapped air from the apical region of the straight root canal models generating 2-phase intermittent counter flow during ultrasonically activated irrigation. *J Endod.* 2014;40(6):857-61.
100. Curtis TO, Sedgley CM. Comparison of a continuous ultrasonic irrigation device and conventional needle irrigation in the removal of root canal debris. *J Endod.* 2012;38(9):1261-4.
101. IRRISAFE™ Passive Ultrasonic Irrigation | Acteon Australia New Zealand [Internet]. [cité 25 août 2015]. Disponible sur: <http://www.acteongroup.com.au/products-page/endodontics/irr-2021mm-tip/>
102. Ciucchi B, Khettabi M, Holz J. The effectiveness of different endodontic irrigation procedures on the removal of the smear layer: a scanning electron microscopic study. *Int Endod J.* 1989;22(1):21-8.
103. Llana C, Cuesta C, Forner L, Mozo S, Segura J-J. The effect of passive ultrasonic activation of 2% chlorhexidine or 3% sodium hypochlorite in canal wall cleaning. *J Clin Exp Dent.* 2015;7(1):e69-73.
104. EndoActivator | Irrigation & Activation | Endodontics | DENTSPLY Tulsa Dental Specialties [Internet]. [cité 25 août 2015]. Disponible sur: <http://www.tulsadentalspecialties.com/default/endodontics/activation/EndoActivator.aspx>
105. Çapar İD, Ari Aydinbelge H. Effectiveness of various irrigation activation protocols and the self-adjusting file system on smear layer and debris removal. *Scanning.* 2014;36(6):640-7.
106. Yeung W, Raldi DP, Cunha RS, Mello I. Assessment of smear layer removal protocols in curved root canals. *Aust Endod J J Aust Soc Endodontology Inc.* 2014;40(2):66-71.
107. Çapar İD, Aydinbelge HA. Effectiveness of various irrigation activation protocols and the self-adjusting file system on smear layer and debris removal. *Scanning.* 2014;36(6):640-7.
108. Pasqualini D, Cuffini AM, Scotti N, Mandras N, Scalas D, Pera F, et al. Comparative evaluation of the antimicrobial efficacy of a 5% sodium hypochlorite subsonic-activated solution. *J Endod.* 2010;36(8):1358-60.
109. Metzger Z. The self-adjusting file (SAF) system: An evidence-based update. *J Conserv*

Dent JCD. 2014;17(5):401-19.

110. Metzger Z, Teperovich E, Zary R, Cohen R, Hof R. The self-adjusting file (SAF). Part 1: respecting the root canal anatomy--a new concept of endodontic files and its implementation. *J Endod.* 2010;36(4):679-90.
111. Siqueira JF, Alves FRF, Almeida BM, de Oliveira JCM, Rôças IN. Ability of chemomechanical preparation with either rotary instruments or self-adjusting file to disinfect oval-shaped root canals. *J Endod.* 2010;36(11):1860-5.
112. Koçak S, Koçak MM, Sağlam BC, Türker SA, Sağsen B, Er Ö. Apical extrusion of debris using self-adjusting file, reciprocating single-file, and 2 rotary instrumentation systems. *J Endod.* 2013;39(10):1278-80.
113. Pawar AM, Pawar MG, Kokate SR. Meant to make a difference, the clinical experience of minimally invasive endodontics with the self-adjusting file system in India. *Indian J Dent Res Off Publ Indian Soc Dent Res.* 2014;25(4):509-12.
114. Garcez AS, Nuñez SC, Hamblin MR, Ribeiro MS. Antimicrobial Effects of Photodynamic Therapy on Patients with Necrotic Pulps and Periapical Lesion. *J Endod.* 2008;34(2):138-42.
115. George R, Meyers IA, Walsh LJ. Laser activation of endodontic irrigants with improved conical laser fiber tips for removing smear layer in the apical third of the root canal. *J Endod.* 2008;34(12):1524-7.
116. admin. AdminEquipements | Pro-Tech-Dent [Internet]. [cité 27 août 2015]. Disponible sur: http://www.protechdent.com/firm_display/cig2y5/
117. Denfotex Research UK [Internet]. [cité 27 août 2015]. Disponible sur: <http://www.denfotexresearch.com/index3.htm>
118. Mohammadi Z, Giardino L, Palazzi F, Asgary S. Agonistic and Antagonistic Interactions between Chlorhexidine and Other Endodontic Agents: A Critical Review. *Iran Endod J.* 2015;10(1):1-5.
119. Luddin N, Ahmed HMA. The antibacterial activity of sodium hypochlorite and chlorhexidine against *Enterococcus faecalis*: A review on agar diffusion and direct contact methods. *J Conserv Dent JCD.* 2013;16(1):9-16.
120. Homayouni H, Majd NM, Zohrehei H, Mosavari B, Adel M, Dajmar R, et al. The Effect of Root Canal Irrigation with Combination of Sodium Hypochlorite and Chlorhexidine Gluconate on the Sealing Ability of Obturation Materials. *Open Dent J.* 2014;8:184-7.
121. Anil R, Vathsalya S, Sandeep KP, Pravin P, Ashish M, Santosh K. Evaluation of the interaction between sodium hypochlorite and chlorhexidine used as root canal irrigants: an in-vitro stereomicroscopic study. *Int J Sci Study [Internet].* mai 2015 [cité 19 juill 2015];3(2). Disponible sur: http://www.ijss-sn.com/uploads/2/0/1/5/20153321/ijss_may_oa34.pdf
122. Basrani BR, Manek S, Sodhi RNS, Fillery E, Manzur A. Interaction between Sodium Hypochlorite and Chlorhexidine Gluconate. *J Endod.* 2007;33(8):966-9.
123. Prado M, Santos Júnior HM, Rezende CM, Pinto AC, Faria RB, Simão RA, et al.

Interactions between irrigants commonly used in endodontic practice: a chemical analysis. *J Endod.* 2013;39(4):505-10.

124. Mortenson D, Sadilek M, Flake NM, Paranjpe A, Heling I, Johnson JD, et al. The effect of using an alternative irrigant between sodium hypochlorite and chlorhexidine to prevent the formation of para-chloroaniline within the root canal system. *Int Endod J.* 2012;45(9):878-82.
125. Mohammadi Z, Shalavi S, Jafarzadeh H. Ethylenediaminetetraacetic acid in endodontics. *Eur J Dent.* 2013;7(Suppl 1):S135-42.
126. Rossi-Fedele G, Dođramacı EJ, Guastalli AR, Steier L, Poli de Figueiredo JA. Antagonistic Interactions between Sodium Hypochlorite, Chlorhexidine, EDTA, and Citric Acid. *J Endod.* 2012;38(4):426-31.
127. Grawehr M, Sener B, Waltimo T, Zehnder M. Interactions of ethylenediamine tetraacetic acid with sodium hypochlorite in aqueous solutions. *Int Endod J.* 2003;36(6):411-7.
128. Zehnder M, Schmidlin P, Sener B, Waltimo T. Chelation in root canal therapy reconsidered. *J Endod.* 2005;31(11):817-20.
129. Girard S, Paqué F, Badertscher M, Sener B, Zehnder M. Assessment of a gel-type chelating preparation containing 1-hydroxyethylidene-1, 1-bisphosphonate. *Int Endod J.* 2005;38(11):810-6.
130. González-López S, Camejo-Aguilar D, Sanchez-Sanchez P, Bolaños-Carmona V. Effect of CHX on the decalcifying effect of 10% citric acid, 20% citric acid, or 17% EDTA. *J Endod.* 2006;32(8):781-4.
131. Rasimick BJ, Nekich M, Hladek MM, Musikant BL, Deutsch AS. Interaction between chlorhexidine digluconate and EDTA. *J Endod.* 2008;34(12):1521-3.
132. Akisue E, Tomita VS, Gavini G, Poli de Figueiredo JA. Effect of the combination of sodium hypochlorite and chlorhexidine on dentinal permeability and scanning electron microscopy precipitate observation. *J Endod.* 2010;36(5):847-50.

PLACE DE L'IRRIGATION EN ENDODONTIE / **DELLACHERIE Cléo.**-
p. (80); ill. (16); réf. (132).

Domaines : Endodontie

Mots clés Rameau : hypochlorite de sodium – Emploi en thérapeutique

Mots clés FmeSH : liquides d'irrigation endocanalaire

Mots clés libres : l'irrigation endodontique, activation de l'irrigation, systèmes d'irrigation

Au cours de son exercice, le chirurgien dentiste est fréquemment amené à dépulper une dent. Or l'endodontie est une discipline complexe qui nécessite de la rigueur et de la précision de la part du praticien. C'est pourquoi le praticien doit suivre un protocole précis lorsqu'il réalise le traitement endodontique.

Au cours de ce traitement, les canaux nécessitent une préparation chémo-mécanique. La préparation mécanique seule, permettant la mise en forme des canaux, est insuffisante et doit impérativement être complétée par une préparation chimique: l'irrigation. C'est une étape incontournable qui va conditionner la réussite du traitement endodontique Elle doit permettre le nettoyage et la désinfection de l'ensemble du réseau canalaire. De nombreuses solutions d'irrigation sont ainsi proposées au chirurgien dentiste. Elles comportent chacune leurs avantages et inconvénients car aucune ne permet de remplir à elle seule les propriétés de la solution idéale.

De plus, la complexité anatomique du système endocanalaire et la multiplicité des espèces bactériennes en présence complique cette étape. Divers systèmes ont ainsi été mis au point pour faciliter et optimiser cette irrigation. Certains d'entre eux permettent également d'activer la solution dans le but de potentialiser ses effets.

L'objectif de ce travail est de rappeler l'importance de l'irrigation en endodontie en précisant le rôle des différentes solutions d'irrigation mises à notre disposition. Il détaille également les différents systèmes et méthodes mises en œuvre pour rendre cette irrigation la plus efficace et ainsi réaliser le traitement endodontique dans les meilleures conditions.

JURY :

Président : Monsieur le Professeur Etienne DEVEAUX

Assesseurs : Monsieur le Docteur Alain GAMBIEZ

Monsieur le Docteur Thibault BÉCAVIN

Madame le Docteur Claire FURLANI