



## AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : [ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr](mailto:ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr)

## LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

[http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg\\_droi.php](http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php)

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

**ACADÉMIE DE NANCY-METZ**  
**UNIVERSITÉ NANCY I - HENRY POINCARÉ**  
**FACULTÉ DE CHIRURGIE DENTAIRE**

Année 2010

N° 3282

---

**THÈSE**

pour le

**DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN  
CHIRURGIE DENTAIRE**

par

**Jérémie BOISSEAU**

Né le 12 mars 1984 à Dijon (Côte d'Or)

**LES IRRIGANTS EN ENDODONTIE :  
DONNÉES ACTUELLES**

Thèse présentée et soutenue publiquement le 18 juin 2010

**Examineurs de la thèse :**

Pr. LOUIS Jean-Paul

Dr. MORTIER Éric

Dr. MARTRETTE Jean-Marc

Dr. SIMON Yorick

Professeur des universités

Maître de conférences universitaire

Maître de conférences universitaire

Docteur en chirurgie dentaire

Président

Directeur

Juge

Juge

<p><b>Sous-section 56-01</b>  <i>Odontologie pédiatrique</i></p>	<p><b>DROZ Dominique (Desprez)</b>                  PREVOST Jacques                  BOCQUEL Julien                  PHULPIN Bérange                  SABATIER Antoine</p>	<p>Maître de conférences                  Maître de conférences                  Assistant                  Assistante                  Assistant</p>
<p><b>Sous-section 56-02</b>  <i>Orthopédie dento-faciale</i></p>	<p><b>FILLEUL Marie Pierryle</b>                  BOLENDER Yves                  REDON Nicolas                  PY Catherine</p>	<p>Professeur des universités                  Maître de conférences                  Assistant                  Assistante</p>
<p><b>Sous-section 56-03</b>  <i>Prévention, Epidémiologie, Economie de la santé, Odontologie légale</i></p>	<p><i>Par intérim : ARTIS Jean-Paul</i>                  JANTZEN-OSSOLA Caroline</p>	<p>Professeur 1<sup>er</sup> Grade                  Assistante</p>
<p><b>Sous-section 57-01</b>  <i>Parodontologie</i></p>	<p><b>AMBROSINI Pascal</b>                  BOUTELLIEZ Catherine (Bisson)                  MILLER Neal                  PENAUD Jacques                  GALLINA Sébastien                  JOSEPH David</p>	<p>Professeur des universités                  Maître de conférences                  Maître de conférences                  Maître de conférences                  Assistant                  Assistant</p>
<p><b>Sous-section 57-02</b>  <i>Chirurgie buccale,                  Pathologie et thérapeutique                  Anesthésiologie et réanimation</i></p>	<p><b>BRAVETTI Pierre</b>                  ARTIS Jean-Paul                  VIENNET Daniel                  WANG Christian                  BALLY Julien                  CURIEN Rémi                  SOURDOT Alexandra</p>	<p>Maître de conférences                  Professeur 1<sup>er</sup> Grade                  Maître de conférences                  Maître de conférences                  Assistant                  Assistant                  Assistante</p>
<p><b>Sous-section 57-03</b>  <i>Sciences biologiques (Biochimie,                  Immunologie, Histologie, Embryologie,                  Génétique, Anatomie pathologique,                  Bactériologie, Pharmacologie)</i></p>	<p><b>WESTPHAL Alain</b>                  MARTRETTE Jean-Marc                  ERBRECH Aude</p>	<p>Maître de conférences                  Maître de conférences                  Assistante associée</p>
<p><b>Sous-section 58-01</b>  <i>Odontologie conservatrice, Endodontie</i></p>	<p><b>ENGELS-DEUTSCH Marc</b>                  AMORY Christophe                  MORTIER Éric                  CUNY Pierre                  HESS Stephan                  PECHOUX Sophie</p>	<p>Maître de conférences                  Maître de conférences                  Maître de conférences                  Assistant                  Assistant                  Assistante</p>
<p><b>Sous-section 58-02</b>  <i>Prothèses (Prothèse conjointe,                  Prothèse adjointe partielle, Prothèse                  complète, Prothèse maxillo-faciale)</i></p>	<p><b>SCHOUVER Jacques</b>                  LOUIS Jean-Paul                  ARCHIEN Claude                  DE MARCH Pascal                  BARONE Serge                  BEMER Julie                  RIFFAULT Amélie                  MONDON Hélène                  SIMON Franck</p>	<p>Maître de conférences                  Professeur des universités                  Maître de conférences                  Maître de conférences                  Assistant                  Assistante                  Assistante                  Assistante                  Assistant</p>
<p><b>Sous-section 58-03</b>  <i>Sciences anatomiques et                  physiologiques Occlusodontiques,                  Biomatériaux, Biophysique, Radiologie</i></p>	<p><b>STRAZIELLE Catherine</b>                  RAPIN Christophe (Section 33)                  MOBY Vanessa (Stutzmann)                  SALOMON Jean-Pierre                  JAVELOT Cécile</p>	<p>Professeur des universités                  Professeur des universités                  Maître de conférences                  Maître de conférences                  Assistante associée</p>

*Par délibération en date du 11 décembre 1972,  
la Faculté de Chirurgie Dentaire a arrêté que  
les opinions émises dans les dissertations  
qui lui seront présentées  
doivent être considérées comme propres à  
leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner  
aucune approbation ni improbation.*

## **REMERCIEMENTS**

**A NOTRE PRÉSIDENT ET JUGE,**

**Monsieur le Professeur Jean-Paul LOUIS,**

Officier des Palmes Académiques

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur en Sciences Odontologiques

Docteur d'État en Odontologie

Professeur des Universités

Membre de l'Académie Nationale de Chirurgie Dentaire

Sous-section : Prothèses

*Vous nous avez fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury de thèse, nous tenions à vous assurer ici de notre sincère gratitude.*

*Tout au long de nos études, vous nous avez appris la rigueur dans le travail, grâce à votre grand sens de la pédagogie et de la qualité de vos enseignements, nous avons pu apprécier votre disponibilité et vos précieux conseils.*

*Veillez trouver ici le témoignage de notre vive reconnaissance et de notre profond respect.*

**A NOTRE DIRECTEUR ET JUGE,**

**Monsieur le Docteur Éric MORTIER,**

Docteur en Chirurgie Dentaire

Maître de Conférences des Universités

Sous-section : Odontologie Conservatrice - Endodontie

*Nous vous remercions d'avoir accepté de diriger notre travail.*

*Vous avez su donner à chacun de vos enseignements un grand attrait, une dimension clinique très appréciable et vos conseils ont toujours été d'une grande pertinence.*

*Permettez-nous de vous exprimer aujourd'hui toute notre admiration et notre gratitude.*

**A NOTRE JUGE,**

**Monsieur le Docteur Jean-Marc MARTRETTE,**

Docteur en Chirurgie Dentaire

Vice Doyen à la pédagogie

Docteur en Sciences Pharmacologiques

Maître de Conférences des Universités

Sous-section : Sciences biologiques : Biochimie, Immunologie, Histologie, Embryologie, Génétique, Anatomie pathologique, Bactériologie, Pharmacologie

*Nous sommes très sensible à votre présence au sein de ce jury.*

*Nous sommes heureux d'avoir pu apprécier votre grande implication dans le développement de notre faculté. Nous garderons en mémoire votre disponibilité et votre pédagogie, que nous avons appréciées pendant toutes ces années.*

*Veillez trouver dans ce travail l'expression de notre reconnaissance et de notre profonde considération.*

**A NOTRE JUGE,**

**Monsieur le Docteur Yorick SIMON,**

Docteur en Chirurgie Dentaire  
Ancien Assistant Hospitalier Universitaire  
Attaché Universitaire

*Vous nous avez fait l'honneur de bien vouloir prendre part à notre jury.*

*Nous vous remercions pour la qualité de votre enseignement et l'intérêt que vous portez aux étudiants. Nous avons apprécié votre dévouement, votre sympathie et votre pédagogie tout au long de nos études.*

*Veillez trouver ici le témoignage de notre estime et de notre sincère reconnaissance.*

## **A ma mère,**

Merci pour tout l'amour que tu m'a apporté, je ne serai pas là aujourd'hui sans toi. Merci pour tous les sacrifices effectués afin de me soutenir dans l'ensemble de mes projets, même si je ne le dis pas forcément, je sais les efforts accomplis pour mon bonheur.

## **A mon père,**

Qui aurait été très fier de moi.

## **A ma soeur,**

A qui j'ai rendu la vie difficile par moment, pas facile que d'avoir un frère de mon espèce... Mais tous les bons moments passés ensemble resteront gravés et ils ont été très nombreux. Je suis très fier de ta réussite.

## **A Sophie,**

Merci pour toutes ces années à partager mon quotidien et de tout l'amour dont tu m'as fait part pendant mes années d'études.

## **A Gauthier,**

Merci pour tous ces moments passés sur les bancs de l'école et à l'extérieur. Je me souviendrai toujours de nos bavardages au collège et lycée, mais surtout de tous les week-end et soirées entre les Briles, Auvillars et Dijon, que de bons souvenirs... Mais le mieux reste encore à venir!

## **A Xave,**

Par ton parcours atypique, et mon attrait particulier pour ce métier, nos chemins, si différents, nous ont pourtant amené à nous rencontrer et j'en suis très heureux. Tous ces moments, plus ou moins studieux, ont été un grand plaisir. Cette sixième année restera quand même l'une des meilleures entre nos exploits à Brabois et Toul, nos discussions interminables sur l'avenir, le RU et tous ceux que j'oublie...

## **A Guigui,**

On se connaît depuis fort longtemps mais notre véritable amitié n'est venue qu'après. Nous avons passés de nombreux moments ensemble, souvent tard le soir... J'ai hâte d'avoir, moi aussi, mon petit coin de verdure et de quoi remplir ma cave!

## **A Florent,**

Merci pour toute la stabilité et le sérieux que tu offres généreusement aux personnes qui t'entourent. C'est grâce à toi que j'ai découvert la plongée, il faut d'ailleurs qu'on s'organise une sortie ensemble.

## **A Mimi, LN, Guigui et Pupu,**

Ces deux années de P1 ont été un vrai régal, que de bons moments passés ensemble entre l'amphi et la Salle Mod., à se demander pourquoi vouloir réussir du premier coup... Je me souviendrai de la corsa, des brownies d'LN, des soirées Epoisses (avec le brevet déposé du «pétouillon saisissoir»), de mon anniversaire surprise, des rives de l'Ouche, d'Europaparc, etc. Tous ces moments resteront associés à cette équipe du tonnerre qu'on formait.

## **A Philippe,**

Qui a été à l'origine de ma première immersion dans le milieu de l'art dentaire, et ce terme n'est pas anodin lorsqu'on est à tes côtés.

## **A Totor,**

J'ai passé d'excellents moments avec toi. Ton premier appartement à Nancy m'a marqué à jamais... Tu es quelqu'un de formidable et je suis très heureux de t'avoir rencontré, et ne change surtout pas, c'est comme ça qu'on t'apprécie!

## **A Polo,**

On aura bien plaisanté pendant toutes ces années, en tout cas j'espère sincèrement qu'on continuera à se voir sur Besançon.

## **A M \_ \_ \_ \_ \_ ,**

Qui se reconnaîtra certainement et qui sait à quel point je l'apprécie. On se raconte beaucoup de conneries, mais qu'est-ce que ça fait du bien... Merci pour ton attention et ton écoute à mon égard!

## **Aux Bisontins, aux Dijonnais, et à tous les autres**

Aux Bisontins qui m'ont accueillis à bras ouverts, et je leur en suis très reconnaissant! Aux Dijonnais qui sont restés fidèles même éloignés. A tous ceux présents à mes côtés! Merci

# **LES IRRIGANTS EN ENDODONTIE : DONNÉES ACTUELLES**

# SOMMAIRE

<b>ABRÉVIATIONS .....</b>	<b>8</b>
<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>9</b>
<b>PARTIE I JUSTIFICATION DE L'IRRIGATION EN ENDODONTIE .....</b>	<b>12</b>
<b>L'endodontie .....</b>	<b>13</b>
Historique .....	13
Place de l'irrigation dans le traitement endodontique .....	14
<b>Caractéristiques de l'endodonte et des structures dentaires .....</b>	<b>15</b>
Structure anatomique .....	15
Structure histologique .....	16
Complexité canalaire .....	18
<b>Incidence des pathologies pulpaires sur la colonisation bactérienne .....</b>	<b>22</b>
Historique .....	22
Types d'infections endodontiques .....	22
Composition de la flore bactérienne endodontique .....	24
<i>Infection endodontique primaire .....</i>	<i>24</i>
<i>Infection endodontique secondaire .....</i>	<i>25</i>
<i>Infection endodontique persistante .....</i>	<i>26</i>
<b>La smear-layer .....</b>	<b>28</b>
Formation .....	28
Justification de son élimination .....	29
<i>Présence bactérienne au sein de la smear-layer .....</i>	<i>29</i>
<i>Présence bactérienne dans les tubulis dentinaires .....</i>	<i>29</i>
<i>Interférences avec l'obturation endodontique .....</i>	<i>31</i>
Élimination de la smear-layer .....	32

<b>Biofilm et endodontie.....</b>	<b>32</b>
Formation.....	32
Mécanismes d'adaptation des bactéries.....	33
<i>Biofilms</i> .....	34
<i>Formation de sous-populations</i> .....	34
<i>Changement morphologique</i> .....	34
Élimination des biofilms.....	34
<b>PARTIE II LES AGENTS D'IRRIGATION .....</b>	<b>36</b>
<b>Propriétés requises .....</b>	<b>37</b>
<b>Hypochlorite de sodium (NaClO) .....</b>	<b>38</b>
Formation et mécanisme d'action .....	38
Avantages .....	40
<i>Activité antibactérienne</i> .....	40
<i>Action solvante sur les substrats organiques</i> .....	40
<i>Action sur les biofilms</i> .....	40
<i>Coût</i> .....	41
Inconvénients.....	41
<i>Cytotoxicité</i> .....	41
<i>Stabilité de la solution</i> .....	43
Place dans l'irrigation.....	44
<b>Ethylen diamine tetraacetic acid (EDTA) .....</b>	<b>45</b>
Présentation et principe d'action .....	45
Avantages .....	46
<i>Biocompatibilité</i> .....	46
<i>EDTA et smear-layer</i> .....	47
<i>EDTA et tubulis dentinaires</i> .....	48
<i>Action lubrifiante</i> .....	49

<i>Action effervescente</i> .....	49
Inconvénients.....	50
<i>Pas d'action solvante sur les substrats organiques</i> .....	50
<i>Action sur la structure dentinaire</i> .....	50
<i>Interaction avec NaClO</i> .....	51
<i>Action antibactérienne</i> .....	51
<i>Coût</i> .....	52
Place dans l'irrigation.....	52
<b>Les autres composés acides</b> .....	<b>52</b>
Présentation.....	52
Avantages .....	53
<i>Cytotoxicité</i> .....	53
<i>Acide citrique et smear-layer</i> .....	53
<i>Action antibactérienne</i> .....	53
Inconvénients.....	53
Place dans l'irrigation.....	53
<b>Gluconate de chlorhexidine (CHX)</b> .....	<b>54</b>
Structure et mécanisme d'action.....	54
Avantages .....	55
<i>Activité antibactérienne</i> .....	55
<i>Activité anti-fongique</i> .....	55
<i>Chlorhexidine et biofilm</i> .....	55
<i>Chlorhexidine et rémanence</i> .....	56
<i>CHX et médication intra-canaulaire</i> .....	56
Inconvénients.....	57
<i>Non solvante sur les tissus</i> .....	57
<i>Interactions avec NaClO</i> .....	57

<i>Cytotoxicité - Allergie</i> .....	59
Place dans l'irrigation.....	59
<b>Peroxyde d'hydrogène (Eau oxygénée - H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)</b> .....	<b>60</b>
Généralités.....	60
Avantages .....	60
<i>Réaction avec NaClO</i> .....	60
<i>Action blanchissante</i> .....	61
Inconvénients.....	61
<i>Activité antibactérienne</i> .....	61
<i>Irritant pour les tissus péri-dentaires</i> .....	61
Place dans l'irrigation.....	62
<b>MTAD</b> .....	<b>62</b>
Principe.....	62
Avantages .....	63
<i>Élimination de la smear-layer</i> .....	63
<i>Activité antibactérienne</i> .....	63
<i>Rémanence de son activité antibactérienne</i> .....	64
Inconvénients.....	64
<i>Utilisation indispensable de NaClO</i> .....	64
<i>Coût - Disponibilité</i> .....	64
Place dans l'irrigation.....	64
<b>Dichloroisocyanurate de sodium (DCCNa)</b> .....	<b>64</b>
Propriétés.....	65
Avantages .....	65
<i>Action antibactérienne</i> .....	65
Inconvénients.....	65
<i>Action solvante sur les tissus</i> .....	65

<i>Stabilité de la solution</i> .....	66
Place dans l'irrigation .....	66
<b>Partie III OPTIMISATION DES AGENTS D'IRRIGATION</b> .....	<b>67</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>68</b>
<b>Quantité</b> .....	<b>68</b>
<b>Influence de la préparation canalaire</b> .....	<b>69</b>
<b>Agitation</b> .....	<b>71</b>
Techniques d'agitation manuelle .....	71
<i>Agitation manuelle de la seringue d'irrigation</i> .....	71
<i>Utilisation de brosses</i> .....	72
<i>Agitation manuelle d'un cône de Gutta-Percha</i> .....	73
Techniques d'agitation automatisées .....	73
<i>Agitation sonore</i> .....	73
<i>Agitation ultrasonique</i> .....	74
<b>Chauffage</b> .....	<b>77</b>
<b>PARTIE IV ÉLABORATION D'UNE SÉQUENCE IDÉALE</b> .....	<b>78</b>
<b>Avant la mise en forme canalaire</b> .....	<b>79</b>
Problématique .....	79
Moyens disponibles .....	79
<b>Pendant la mise en forme canalaire</b> .....	<b>79</b>
Problématique .....	79
Moyens disponibles .....	80
<b>À la fin de la mise en forme canalaire</b> .....	<b>80</b>
Problématiques .....	80
Moyens disponibles .....	81
<b>Irrigation pré-obturation</b> .....	<b>82</b>
Problématique .....	82

Moyens disponibles.....	82
<b>Schéma d'une irrigation idéale .....</b>	<b>83</b>
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>85</b>
<b>LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX .....</b>	<b>87</b>
<b>Liste des tableaux .....</b>	<b>88</b>
<b>Liste des figures .....</b>	<b>88</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>90</b>

# ABRÉVIATIONS

**ADN** : Acide désoxyribonucléique

**Ca(OH)<sub>2</sub>** : Hydroxyde de calcium

**CHX** : Chlorhexidine

**CRA** : Chlorine-releasing agent

**DCCNa** : Dichloroisocyanurate de sodium

**DTPA** : Diethylene triamine pentaacetic acid

**DTPAC** : Diethylene triamine pentaacetic acid + Cetavlon®

**EDTA** : Ethyl diamine tetraacetic acid

**EDTAC** : Ethyl diamine tetraacetic acid + Cetavlon®

**H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>** : Eau oxygénée ou peroxyde d'hydrogène

**LIPOE** : Lésion inflammatoire péri-apicale d'origine endodontique

**MTA** : Mineral Trioxyde Agregate

**MTAD** : Mixture of Tetracycline isomer, acid and detergent

**NaClO ou NaOCl** : Hypochlorite de sodium

**NiTi** : Nickel-Titane

**PAA** : Parodontite apicale aiguë

**PAC** : Parodontite apicale chronique

**PCA** : Para-chloroaniline

**PUI** : Passive ultrasonic irrigation

**UI** : Ultrasonic irrigation

# **INTRODUCTION**

L'endodontie est un des domaines de la dentisterie qui a évolué le plus ces dernières années. L'approfondissement des connaissances théoriques associé aux avancées techniques, comme l'introduction des instruments rotatifs en nickel-titane ou les appareils de mesure électronique de la longueur de travail entre autres, permettent de réaliser des traitements endodontiques plus fiables, plus sécurisés et plus rapides. Cependant les échecs relativement fréquents rencontrés en endodontie ont poussé certains auteurs à en diagnostiquer les origines pour apporter des réponses adaptées. Le rôle des bactéries et de leurs métabolites dans la pathogénèse des parodontites apicales n'est plus à démontrer aujourd'hui. La lutte antibactérienne s'impose donc comme un des éléments critiques dans le succès du traitement endodontique. Cette lutte passe par l'utilisation d'agents d'irrigation nommés «irrigants» garantissant une antiseptie efficace des canaux radiculaires.

Le traitement endodontique est à considérer comme un des actes clés de la dentisterie. Les traitements actuels visent à conserver par différents moyens de prévention et thérapeutiques la vitalité pulpaire. Mais lorsque les techniques et les outils mis à notre disposition sont dépassés, ou bien lors de la présence de lésions périapicales existantes, le traitement endodontique associé à une restauration de la partie coronaire restent encore les seules solutions permettant de conserver les dents sur les arcades et de préserver l'intégrité des tissus et structures périodontaires.

Le concept de «triade endodontique» a été introduit par Schilder en 1974 où le parage canalaire, l'irrigation et l'obturation garantissent la pérennité du traitement endodontique (Schilder, 1974). Les irrigants ont un rôle important à jouer, mais tous ces éléments sont intimement liés et ne peuvent être séparés les uns des autres : ainsi une bonne préparation canalaire conditionne une meilleure efficacité des différents agents d'irrigation qui eux-mêmes vont favoriser une obturation optimale tridimensionnelle du système canalaire.

C'est donc dans ce contexte que s'est développé un grand nombre de solutions d'irrigation, à défaut d'une solution unique répondant aux nombreux objectifs requis. Il semble donc important d'insister sur l'acte d'irrigation au cours de la préparation endodontique et d'expliquer comment potentialiser l'action de ces solutions antibactériennes.

Nous aborderons donc dans un premier temps le traitement endodontique dans sa globalité, pour mieux situer l'irrigation au sein de cette séquence thérapeutique. Dans cette partie, nous justifierons son intérêt dans le traitement endodontique et nous nous attarderons sur certaines considérations anatomiques, biologiques et mécaniques contribuant à une meilleure compréhension du défi à relever.

Dans une seconde partie, nous étudierons chacun des irrigants actuels utilisés en endodontie. Nous essaierons de comprendre leur mécanisme d'action, leurs avantages, leurs inconvénients et leur intérêt comme irrigant endodontique. Nous ne nous attarderons pas sur les irrigants n'ayant pas fait encore leurs preuves scientifiques.

Ensuite nous verrons qu'il est important d'optimiser les agents d'irrigation et que différentes techniques nous permettent aujourd'hui de potentialiser leur action.

Enfin, nous reprendrons étape par étape le traitement endodontique, nous évaluerons pour chacune d'elle les objectifs à atteindre ainsi que les problématiques rencontrées. Nous pourrions ainsi essayer d'établir une séquence d'irrigation idéale.

**PARTIE I**  
**JUSTIFICATION DE L'IRRIGATION**  
**EN ENDODONTIE**

## 1. L'endodontie

### 1.1. Historique

Le traitement endodontique consiste à préparer, décontaminer et obturer dans les trois dimensions le système canalaire afin de prévenir ou de traiter une parodontite apicale. Ce sont les trois piliers de l'endodontie actuelle décrit par Schilder en 1974 (Schilder, 1974).

L'évolution des concepts et des techniques s'est appuyée sur l'analyse des échecs, l'étude des parois dentinaires après l'instrumentation, l'étude de l'interface entre obturation et tissus dentinaires, la réflexion sur les étapes du traitement ainsi que sur la mécanisation de l'instrumentation. Tous ces paramètres ont modifié la démarche thérapeutique, ainsi l'objectif du traitement endodontique fixé par la Société Européenne d'Endodontie est de maintenir l'asepsie du système endo-canalaire ou de le désinfecter le cas échéant (Endodontology, 1994).

Les avancées techniques des dernières décennies permettent de réaliser des traitements endodontiques plus facilement, plus rapidement et de manière plus fiable. On compte parmi les avancées majeures :

- L'introduction des instruments endodontiques en NiTi (Nickel-Titane) pour accompagner ou remplacer les instruments en acier inoxydable. Ils permettent un meilleur respect de l'anatomie radiculaire, notamment au niveau du centrage canalaire et du redressement des courbures canalaires (Esposito et Cunningham, 1995 ; Schafer et Lau, 1999)
- Les instruments de mesure électronique ont apporté une autre source que la radiographie pour la déterminer la longueur de travail, car l'apex anatomique n'est souvent pas à l'apex radiologique.
- La radiographie numérique est maintenant assez évoluée pour être suffisante en endodontie pour remplacer la radiographie argentique. Elle permet un certain confort à la fois pour le patient et le praticien.
- Les inserts ultrasonores dédiés au traitement endodontique.
- Les aides visuelles, telles que les loupes mais surtout le microscope opératoire.
- Les dispositifs d'obturation dans les trois dimensions grâce aux différentes techniques de gutta percha réchauffée. Depuis la mise en évidence de la complexité de l'anatomie canalaire par Vertucci en 1984 (Vertucci, 1984), nous sommes conscients que la mise en forme mécanique ne traite pas l'ensemble du

complexe endo-canalair et donc qu'une obturation calibrée sur la mise en forme possède les mêmes limites que la préparation.

### **1.2. Place de l'irrigation dans le traitement endodontique**

L'objectif du traitement endodontique actuel est d'éliminer l'ensemble des micro-organismes et leurs toxines présents dans le système canalair et d'empêcher toute recolonisation ultérieure (European Society of Endodontology, 1994).

Seule l'irrigation, dont les objectifs sont l'élimination des micro-organismes, la lubrification des instruments canaux et la dissolution des débris organiques et minéraux (European Society of Endodontology, 1994), permet de désinfecter l'ensemble de ce système, mais la préparation mécanique (parage canalair) est indispensable pour réaliser une irrigation optimale, et elle n'est pérenne que par l'obturation tridimensionnelle du système canalair.

L'instrumentation du système canalair est nécessaire, mais des études montrent qu'environ le tiers des parois radiculaires ne sont pas préparées (Peters *et al.*, 2001), il faut donc impérativement palier ce manque de désinfection mécanique par une désinfection chimique.

L'analyse des échecs en endodontie a permis d'établir que la principale cause d'échec était une cause bactérienne (Young *et al.*, 2007) et que l'étiologie primaire de la persistance de lésions périapicales était attribuée aux bactéries restantes dans les zones non nettoyées du système canalair (Nair, 2006). De nombreuses études ont été menées pour isoler les micro-organismes persistants après traitement, ils ont été répertoriés dans une revue de littérature en 2008 et synthétisés dans le tableau 1 page 27 (Siqueira et Rocas, 2008). C'est dans l'optique de ces recherches que de nombreuses solutions d'irrigation ont été étudiées sous différentes concentrations et associations notamment par Bystrom (Bystrom et Sundqvist, 1985).

Le tissu pulpaire qui peut subsister après le traitement endodontique est une source potentielle de nutriments pour les bactéries, donc les irrigants doivent supprimer l'ensemble des micro-organismes présents, et le cas échéant supprimer tout substrat potentiel.

L'objectif principal de l'irrigation étant de supprimer l'ensemble des micro-organismes présents, il est donc impératif de ne pas contaminer l'endodonte pendant son traitement.

La digue ou champ opératoire s'impose. De plus, pour pouvoir mettre en place ce dispositif, il convient de reconstituer une cavité d'accès à quatre parois, le réservoir ainsi formé permet une meilleure irrigation et un meilleur renouvellement de l'irrigant. En France, la pose du champ opératoire est recommandée (HAS, 2008).

## 2. Caractéristiques de l'endodonte et des structures dentaires

### 2.1. Structure anatomique

La cavité pulpaire est délimitée par la dentine sur tout son pourtour et ouverte apicalement par le foramen, elle renferme le système pulpaire. Cet espace est inextensible et est divisé en deux entités distinctes :

- la pulpe camérale (ou chambre pulpaire), délimitée coronairement par le plafond pulpaire et apicalement par le plancher pulpaire et/ou les entrées canalaire.
- La pulpe radiculaire (ou canal radiculaire), délimitée coronairement par le plancher pulpaire et/ou les entrées canalaire et apicalement par le foramen apical.

Dans sa portion apicale, le canal radiculaire se rétrécit jusqu'à la jonction cémento-dentinaire (constriction apicale) qui marque la frontière entre l'endodonte et le parodonte. Cette limite se situe à une distance de 0,5 à 3 mm de l'extrémité radiculaire anatomique créant ainsi un espace décrit comme un cône à sommet pulpaire et à base desmodontale, appelé cône cémentaire de Kutler.

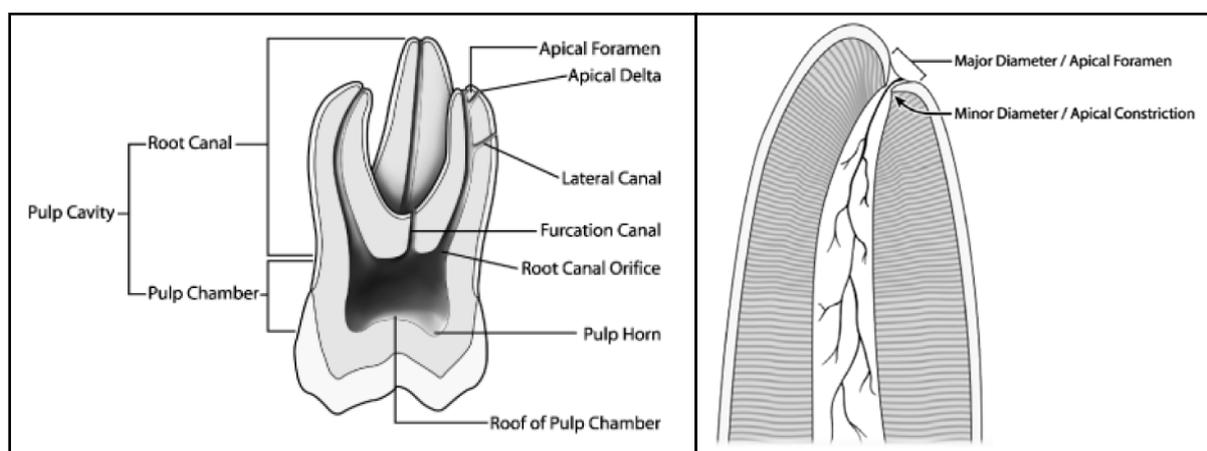


Figure 1 : structure anatomique du système canalaire (Vertucci, 2005)

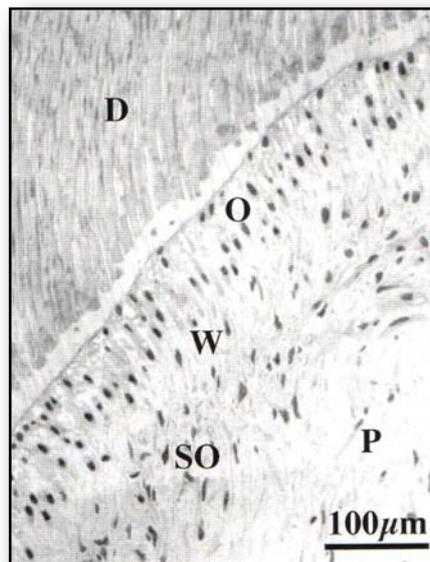
## 2.2. Structure histologique

Comme tous les tissus conjonctifs lâches, la pulpe est composée de cellules dispersées dans une matrice extracellulaire. La répartition des cellules n'est pas uniforme, on distingue une partie périphérique dite "dentinogénétique" et une région centrale (Piette et Goldberg, 2001).

La région dentinogénétique est classiquement divisée en trois zones :

- une zone périphérique constitués d'odontoblastes responsables de la formation et de la réparation de la dentine.
- Une zone sous-odontoblastique dépourvue de cellules d'environ 40µm d'épaisseur aussi appelée couche acellulaire de Weil.
- Une zone de faible épaisseur riche en cellules nommée également couche sous-odontoblastique de Höhl.

Le région centrale est elle, contrairement à la zone périphérique, beaucoup moins structurée. Elle contient majoritairement des fibroblastes, des cellules mésenchymateuses indifférenciées, des cellules immunitaires, des vaisseaux et des cellules nerveuses.



*Figure 2 : structure générale de la région pulpaire dentinogénétique. O : odontoblastes, SO : couche sous-odontoblastique, W : couche de Weil, D : dentine, P : pulpe (Piette et Goldberg, 2001)*

Les canalicules dentinaires vont être un des éléments important à prendre en compte pour le traitement endodontique. L'action des instruments ainsi que différentes solutions acides

vont ouvrir ces canalicules. Les différences structurales entre la dentine coronaire et la dentine radiculaire ont été démontrées par Symons (Symons, 1965).

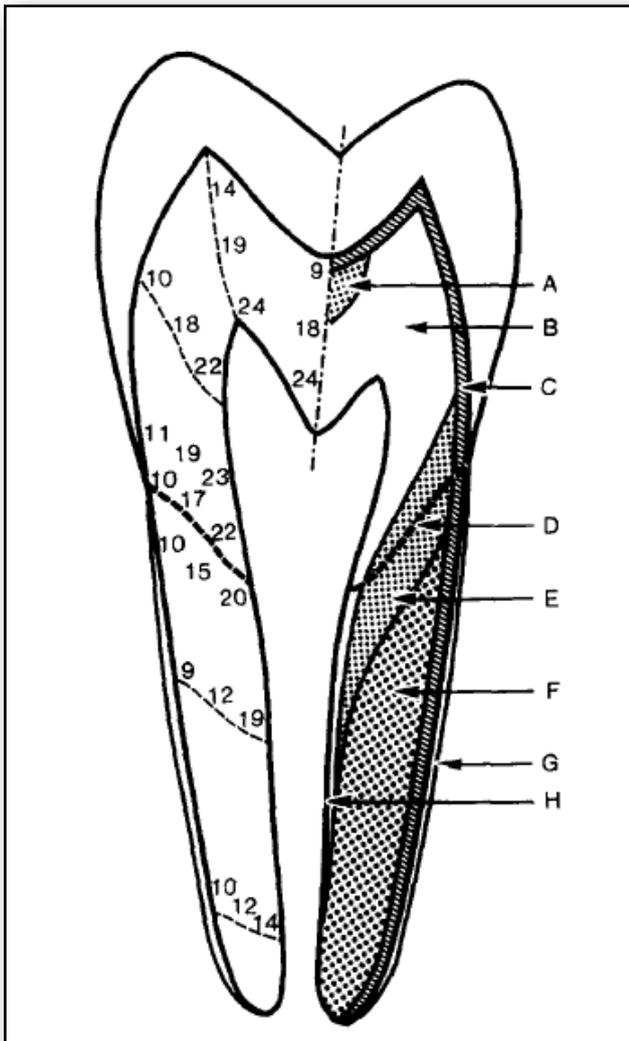


Figure 3 : diagramme montrant la densité des tubulis dentinaires (partie gauche) et leur distribution (partie droite) (Mjor et Nordahl, 1996) :

- A** : zone sous fissure occlusale.
- B** : partie principale de dentine coronaire.
- C** : les 250 derniers  $\mu\text{m}$  de la partie externe dentinaire (couronne et racine).
- D** : ligne séparant les tubulis rejoignant la jonction amélo-cémentaire.
- E** : zone transitoire de part et d'autre de D.
- F** : partie principale de dentine radiculaire.
- G** : ciment.
- H** : pré-dentine.

Dans l'analyse de Mjör, il est constaté qu'au niveau radiculaire, les tubulis dentinaires s'étendent de la jonction pulpe-pré-dentine jusqu'à la jonction dentino-cémentaire. Le trajet de ces tubulis radiculaires est relativement droit entre la pulpe et la périphérie contrairement à ceux rencontrés coronairement avec leur trajet en 'S' particulier. Leur diamètre est approximativement de 1 à  $3\mu\text{m}$ . Leur densité diminue en direction apicale ainsi qu'en direction de la jonction amélo-dentinaire (pour la partie coronaire) et de la jonction cémento-dentinaire (pour la partie radiculaire) (Garberoglio et Brannstrom, 1976 ; Mjor et Nordahl, 1996).

Mjör schématise les résultats obtenus sur le diagramme présenté figure 3.

### 2.3. Complexité canalaire

L'analyse du complexe endo-canalaire a été introduit par l'étude de Vertucci en 1984 (Vertucci, 1984). Cette recherche a permis de mettre en évidence la complexité canalaire et de classifier les différentes situations rencontrées.

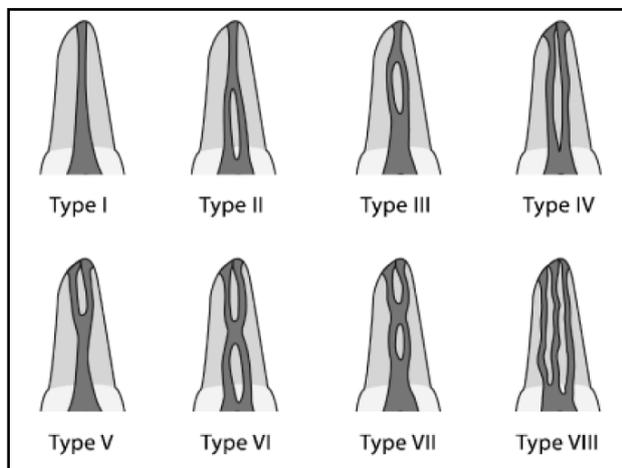


Figure 4 : configurations canales de Vertucci (Vertucci, 1984)

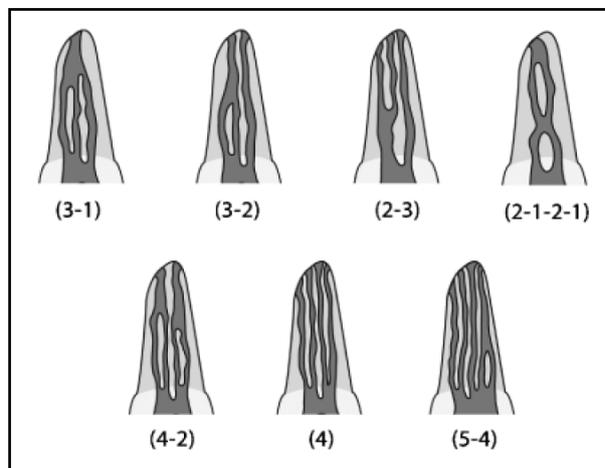


Figure 5 : configurations canales supplémentaires de Gulabivala et al. (Gulabivala et al., 2005)

Une connaissance complète de la morphologie dentaire et une exploration détaillée de l'endodonte sont des préalables essentiels au bon pronostic du traitement. Vertucci décrit et illustre la morphologie canalaire et discute de ses rapports avec les procédures endodontiques dans une revue de littérature (Vertucci, 2005). Cette analyse de la complexité du système canalaire est essentielle pour comprendre les principes et les problèmes posés pour la mise en forme et donc le nettoyage qui suit.

D'après sa classification, on comprend très bien que certaines configurations semblent très difficiles voir impossibles à préparer mécaniquement. Les irrigants doivent alors permettre de traiter chimiquement ces zones non préparées. (cf. figure 6).

Outre la configuration anatomique principale des canaux radiculaires, il existe des particularités telles que des anastomoses, des deltas apicaux, des canaux accessoires, des canaux latéraux, des connexions inter-canales, etc. Toutes ces particularités sont autant d'éléments qui ne peuvent être instrumentés, il faut donc une action différente qui est apportée potentiellement par les irrigants.

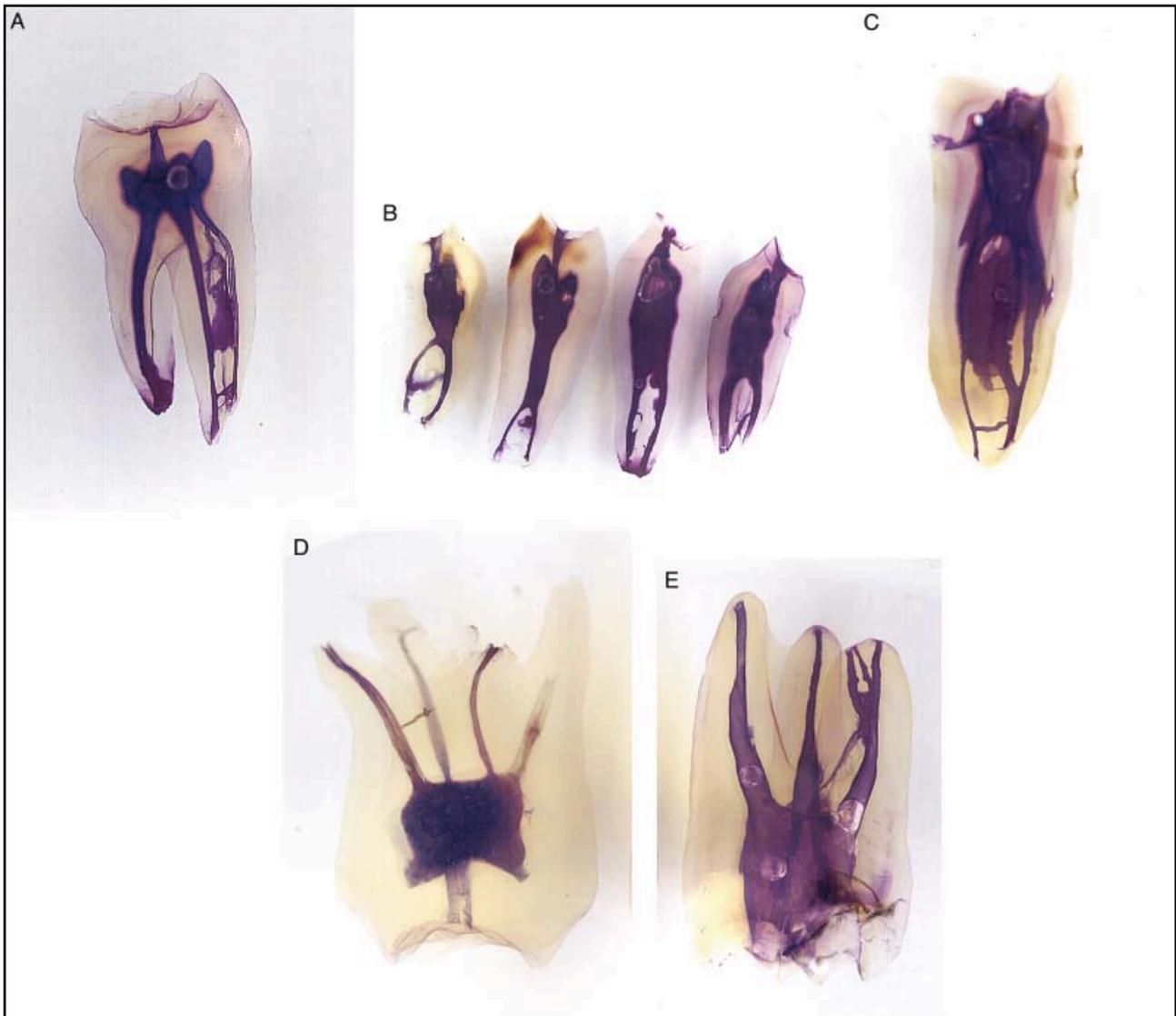


Figure 6 : exemples de variations canalaires anatomiques (Vertucci, 2005) :

**A** : molaire mandibulaire avec 3 canaux mésiaux.

**B** : prémolaires mandibulaires avec canaux de type V.

**C** : prémolaire mandibulaire avec 3 canaux et connections inter-canaliaires.

**D** : molaire maxillaire avec 2 canaux palatins.

**E** : molaire maxillaire avec 2 canaux mésio-vestibulaires se divisant en 3.

Certains échecs rencontrés en endodontie sont dus au non-traitement de certains canaux, c'est pourquoi Krasner et *al.* après avoir analysé 500 planchers pulpaire, ont proposé une série de lois pour aider les praticiens à localiser les entrées canalaires représentatives à 95% des situations analysées et ainsi faire baisser le taux d'échec du à un non-traitement d'un ou plusieurs canaux. Elles peuvent être traduites par les lois suivantes (Krasner et Rankow, 2004) :

- Loi de symétrie 1 : exceptées pour les molaires maxillaires, les entrées canalaires sont à équidistance de la ligne d'axe méso-distal dans le plan du plancher pulpaire (cf figures 7 et 10).

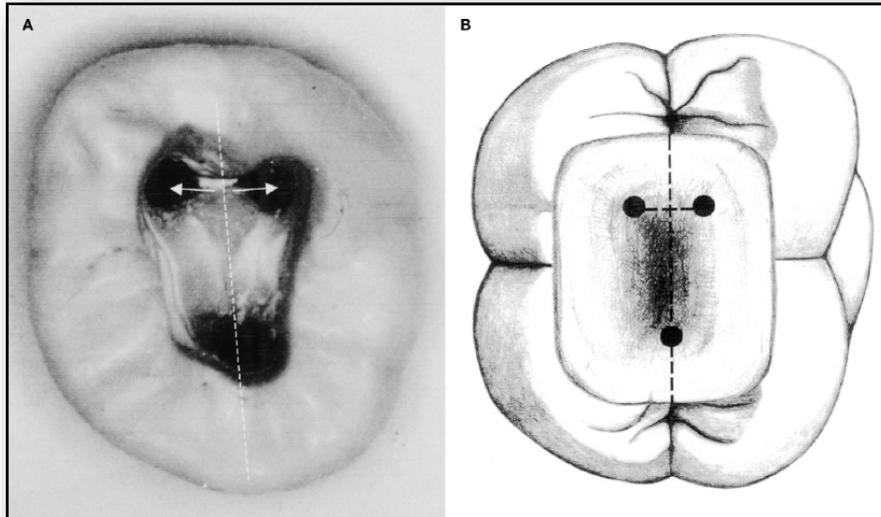


Figure 7 : loi de symétrie 1 (Krasner et Rankow, 2004)

- Loi de symétrie 2 : exceptées pour les molaires maxillaires, les entrées canalaires se situent perpendiculairement à une ligne d'axe méso-distale passant par le centre du plancher pulpaire (cf figures 8 et 10).

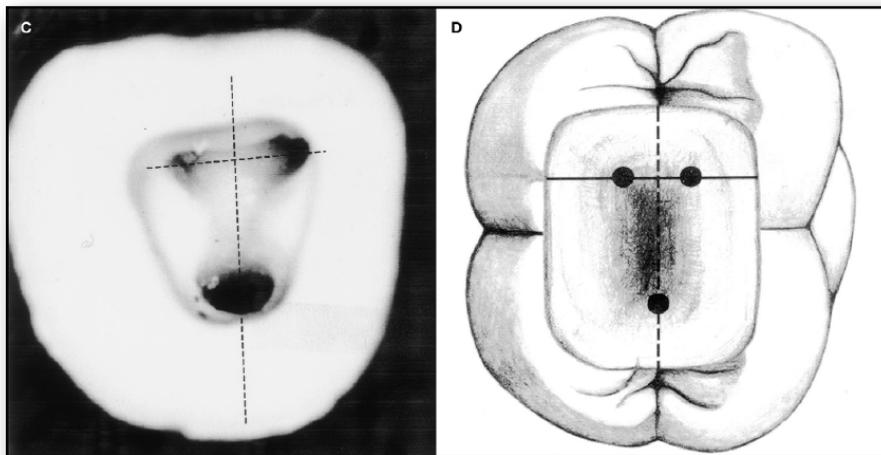


Figure 8 : loi de symétrie 2 (Krasner et Rankow, 2004)

- Loi du changement de couleur : la couleur du plancher pulpaire est toujours plus sombre que les parois de la chambre pulpaire.
- Loi de localisation 1 : les entrées canalaires sont toujours situées à la jonction entre le plancher pulpaire et les parois de la chambre pulpaire.

- Loi de localisation 2 : les entrées canalaire sont situées à l'angle formé par le plancher et les parois de la chambre pulpaire.
- Loi de localisation 3 : les entrées canalaire sont situées aux extrémités des lignes de fusion du développement radulaire (cf. Figures 9 et 10)

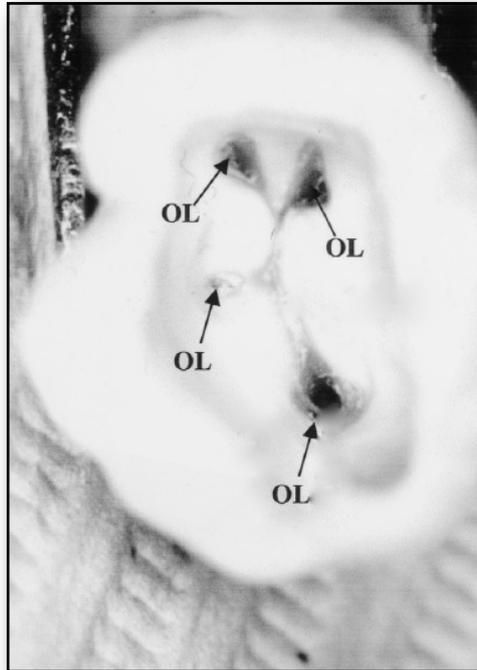


Figure 9 : loi de localisation 3 (Krasner et Rankow, 2004) OL : "Orifice location"

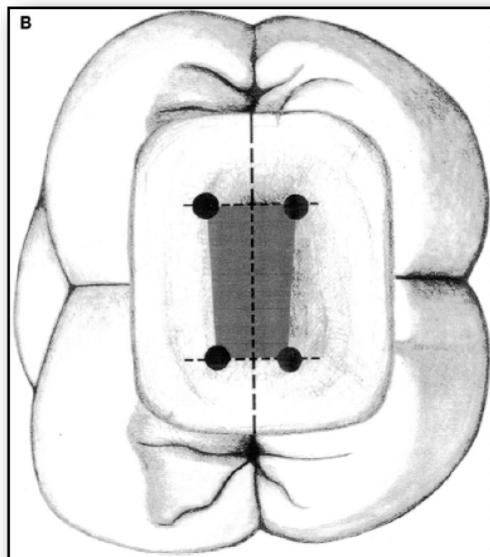


Figure 10 : schéma récapitulatif des lois de symétrie 1 et 2 et des lois de localisation 1, 2 et 3 (Krasner et Rankow, 2004)

### 3. Incidence des pathologies pulpaires sur la colonisation bactérienne

Pour bien comprendre l'utilité des agents d'irrigations en endodontie, il faut avoir à l'esprit que la colonisation bactérienne du système endo-canalair est différente selon la pathologie pulpaire rencontrée. C'est pour ces raisons que la différenciation des stades des pathologies pulpaires va avoir une incidence directe sur le pronostic du traitement endodontique.

#### 3.1. Historique

Les relations entre l'infection bactérienne endodontique et les lésions inflammatoires périapicales ont été établies par deux expériences qui font maintenant référence :

- Princeps de Kakehashi et al. en 1965 (Kakehashi *et al.*, 1965) : dans cette étude, les pulpes de molaires chez des rats sains et des rats axéniques («*germ free*») étaient exposés chirurgicalement et maintenue au contact de la flore buccale. Toutes les pulpes chez les rats sains se nécrosaient et développaient des lésions périapicales avec destruction osseuse ; contrairement à celles des rats axéniques où se formait un pont dentinaire en l'absence de contamination bactérienne.
- Expérience de Moller et al. en 1981 (Moller *et al.*, 1981) : dans cette étude, les pulpes de dents chez le singe sont dilacérées dans des conditions strictes d'asepsie puis scellées, il en résulte une nécrose, mais sans aucune réaction inflammatoire périapicale. Par la suite, l'implantation de bactéries au niveau de certaines pulpes provoque une destruction osseuse au niveau apical.

Ces deux expériences permettent de conclure que la présence bactérienne intra-canalair est une condition suffisante et nécessaire au développement des parodontites apicales. Il est donc impératif d'éliminer l'ensemble des micro-organismes présents dans le système canalair pour éviter tout échec du traitement.

#### 3.2. Types d'infections endodontiques

Il existe plusieurs classifications pour déterminer le stade de la pathologie pulpaire (Abbott et Yu, 2007) mais nous allons distinguer uniquement certaines situations qui vont impliquer une flore bactérienne spécifique :

- Les infections endodontiques dites primaires : ce sont les infections qui sont provoquées par des micro-organismes colonisant initialement le système

endodontique. Les infections endodontiques primaires peuvent entraîner des parodontites apicales qu'elles soient aiguës ou chroniques (PAA ou PAC). Dans la littérature française on parle de LIPOE : lésion inflammatoire péri-apicale d'origine endodontique.

- Les infections endodontiques dites secondaires : elles sont provoquées par des micro-organismes qui n'étaient pas présents au moment de l'infection primaire.
- Les infections persistantes : elles sont provoquées par les micro-organismes qui n'ont pas été éliminés par les procédures endodontiques.

Les bactéries peuvent coloniser directement le système radiculaire soit via des lésions carieuses, soit via une exposition pulpaire suite à un traumatisme. Cependant, beaucoup d'infections pulpaires résultent de la pénétration bactérienne supra- ou sous-gingivale suite à une dentine exposée, des fissures ou fractures amélares ou dentinaires et par infiltrations de certaines restaurations (Love, 2004).

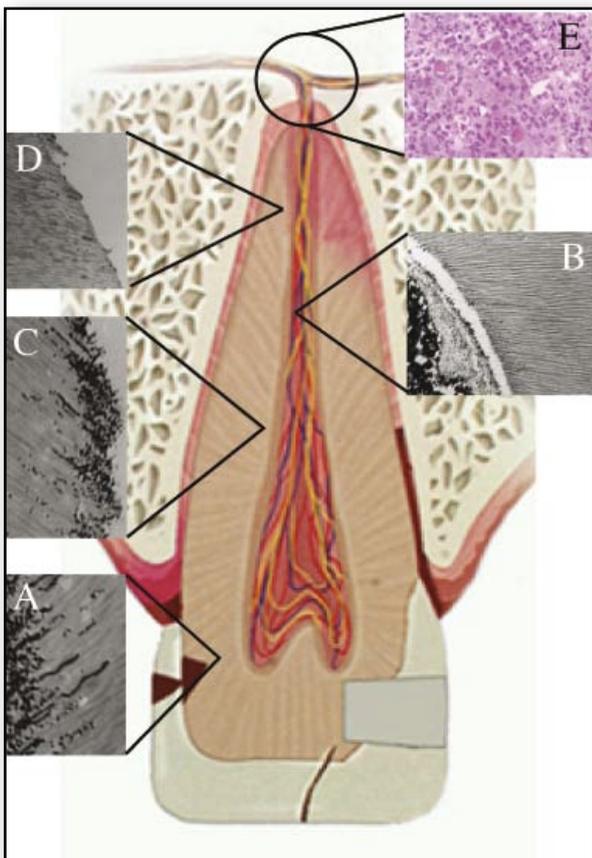


Figure 11 : diagramme représentant les origines potentielles de l'invasion bactérienne du complexe dentino-pulpaire et ses conséquences (Love, 2004) :

(A) invasion bactérienne des tubulis dentinaire par atteinte de l'intégrité amélaire ou cémentaire : carie, fêlure, fracture, restauration et atteinte parodontale

(B) biofilm bactérien présent dans un canal radiculaire infecté

(C) invasion bactérienne des tubulis dentinaires par les bactéries des canaux radiculaires dans les 2/3 coronaires

(D) invasion bactérienne des tubulis dentinaires par les bactéries des canaux radiculaires dans le tiers apical.

(E) coupe histologique montrant que des pathologies péri-apicales sont induites par les bactéries radiculaires

### 3.3. Composition de la flore bactérienne endodontique

Pour permettre une élimination des micro-organismes responsables des infections endodontiques, il est primordial de savoir quelles sont les espèces retrouvées pour ensuite pouvoir tester l'efficacité des irrigants contre ces agents pathogènes.

#### 3.3.1. Infection endodontique primaire

Bien que la cavité buccale renferme de nombreuses espèces bactériennes, seul un petit nombre arrive à coloniser, survivre et se développer au sein du système endo-canalair.

Malgré un facteur patient dépendant, où les espèces retrouvées et isolées peuvent être significativement différentes d'un individu à l'autre, les bactéries anaérobies obligatoires prédominent clairement. Cependant, la flore bactérienne ne se limite pas à une ou deux espèces, on parle alors d'infection polymicrobienne.

On va retrouver parmi les bactéries Gram négatif :

- les espèces de *Fusobacterium* : ce sont les bactéries Gram - les plus fréquemment retrouvées dans les infections endodontiques et notamment *Fusobacterium nucleatum* (Sundqvist, 1992 ; Fouad *et al.*, 2002 ; Baumgartner *et al.*, 2004 ; Siqueira *et al.*, 2005). Elles semblent jouer un rôle étiologique dans les différentes formes de LIPOE et en particulier les PAA (Rocas et Siqueira, 2005).
- les *Bacteroides* (nommées *Tannerella* maintenant). Elles sont très souvent retrouvées dans les différents types d'infection endodontique (Rocas *et al.*, 2001).
- les espèces de *Dialister* sont également identifiées dans les infections endodontiques primaires (Le Goff *et al.*, 1997).
- les espèces *Camphylobacter*, des spirochètes et des tréponèmes ont aussi été isolées dans les infections endodontiques primaires.

On retrouve également des bactéries Gram + dans la flore commune aux infections endodontiques primaires avec principalement *Pseudoramibacter alactolyticus* comme bâtonnet (Siqueira et Rocas, 2003) et les *peptostreptocoques* et *streptocoques* comme cocci (Sundqvist, 1992 ; Gomes *et al.*, 1996). En revanche *Enterococcus faecalis* est très rarement retrouvé dans les infections primaires (Rocas *et al.*, 2004).

### 3.3.1. Infection endodontique secondaire

La colonisation bactérienne est donc secondaire à l'infection initiale. Les micro-organismes retrouvés peuvent être introduits :

- pendant le traitement endodontique. Plusieurs causes peuvent permettre aux micro-organismes la colonisation de l'endodonte :
  - persistance de lésion carieuse, de tartre ou de plaque dentaire,
  - isolement de la dent perfectible, soit parce que la digue n'a pas été posée, soit parce qu'elle n'assure pas une bonne étanchéité,
  - contamination des instruments utilisés pendant le traitement,
  - contamination des solutions d'irrigation.
  
- entre plusieurs rendez-vous. Les micro-organismes peuvent pénétrer l'endodonte lors de :
  - percolation au travers des restaurations temporaires,
  - fracture ou perte de la restauration provisoire,
  - fracture dentaire.
  
- ou bien après le traitement dans les situations suivantes :
  - percolation ou infiltration de la restauration temporaire ou définitive
  - fracture, fissure,
  - récurrence carieuse exposant l'obturation radiculaire aux micro-organismes.

À la différence des infections endodontiques primaires, la flore bactérienne isolée est beaucoup plus restreinte en nombre d'espèces. C'est sans doute à cause des conditions extrêmes que seules quelques micro-organismes peuvent survivre et proliférer.

La plupart des études, qui ont essayé d'isoler les micro-organismes responsables des infections endodontiques, retrouvent essentiellement *Enterococcus faecalis* et *Candida albicans*. Il a été démontré que ces espèces étaient résistantes aux solutions d'irrigation généralement utilisées (Molander *et al.*, 1998 ; Waltimo *et al.*, 1999 ; Gomes *et al.*, 2003b ; Shabahang et Torabinejad, 2003 ; Radcliffe *et al.*, 2004 ; Siqueira et Sen, 2004 ; Portenier *et al.*, 2006 ; Arias-Moliz *et al.*, 2008).

### 3.3.1. Infection endodontique persistante

Les micro-organismes responsables des infections persistantes sont les «restes» d'une infection primaire ou secondaire. Par conséquent on va retrouver essentiellement les micro-organismes résistants aux procédures de nettoyage du système endodontique c'est à dire principalement *Enterococcus faecalis* (Molander *et al.*, 1998 ; Sundqvist *et al.*, 1998 ; Siqueira et Rocas, 2004) et *Candida albicans* (Siqueira et Rocas, 2005).

Ce sont les infections persistantes qui concentrent actuellement la majorité des recherches. En effet la persistance de bactéries dans le système endo-canalair est responsable d'une grande partie des échecs rencontrés en endodontie. Une meilleure connaissance de ces micro-organismes et de leur mécanisme d'action est primordial et permet d'une part d'identifier clairement les germes en cause et d'autre part d'orienter les recherches sur l'action bactéricide des solutions d'irrigation.

Récemment, Siqueira et Rocas ont publié une revue de littérature répertoriant l'ensemble des études qui ont identifiés les micro-organismes persistants après les procédures de désinfection du système endodontique. Ces études sont répertoriées dans le tableau 1 (Siqueira et Rocas, 2008).

Nous avons vu que selon le stade de l'infection pulpaire et le mécanisme de colonisation bactérienne de l'endodonte, les micro-organismes retrouvés peuvent être significativement différents.

TABLE 3. Studies that Identified Bacteria Persisting after Intracanal Disinfection Procedures

Study	N*	Species per Case	Irrigant	Sample Taken after	Identification Method	Most Frequent Taxa (Number of Cases)	Gram-positive bacteria
Byström & Sundqvist (115)	7/15†	4.3	Saline	Chemomechanical preparation	Culture	<i>Peptostreptococcus anaerobius</i> (3) <i>Parvimonas micra</i> (3) <i>Lactobacillus</i> spp. (3) <i>Bacteroides</i> spp. (3)	21/30 (70%)
Byström & Sundqvist (43)	8/20	2.8	0.5% NaOCl	Chemomechanical preparation	Culture	<i>Fusobacterium</i> spp. (6) <i>Streptococcus</i> spp. (3) <i>Eubacterium brachy</i> (2) <i>Lactobacillus</i> spp. (2) <i>Porphyromonas gingivalis</i> (2) <i>Prevotella intermedia</i> (2)	10/22 (45%)
Byström & Sundqvist (43)	6/20	2.3	5% NaOCl	Chemomechanical preparation	Culture	<i>Streptococcus intermedius</i> (2) <i>Fusobacterium nucleatum</i> (2)	7/14 (50%)
Byström & Sundqvist (43)	3/20	2.7	5% NaOCl + EDTA	Chemomechanical preparation	Culture	<i>Streptococcus</i> spp. (2)	6/8 (75%)
Sjogren & Sundqvist (116)	7/31†	1.7	0.5% NaOCl	Chemomechanical preparation	Culture	<i>Fusobacterium nucleatum</i> (4) <i>Parvimonas micra</i> (2)	8/12 (67%)
Sjogren et al. (44)	6/12	2.3	0.5% NaOCl	Chemomechanical preparation + 10 min of Ca(OH) <sub>2</sub>	Culture	<i>Fusobacterium nucleatum</i> (3)	6/14 (43%)
Gomes et al. (90)	31	3.7	2.5% NaOCl	Chemomechanical preparation	Culture	<i>Streptococcus anginosus</i> group (14) <i>Parvimonas micra</i> (10) <i>Lactobacillus acidophilus</i> (4) <i>Pseudoramibacter alactolyticus</i> (5) <i>Fusobacterium nucleatum</i> (5) <i>Campylobacter rectus</i> (4) <i>Parvimonas micra</i> (4)	92/115 (80%)
Sjogren et al. (11)	22/55	2.3	0.5% NaOCl	Chemomechanical preparation	Culture	<i>Actinomyces odontolyticus</i> (7) <i>Prevotella intermedia</i> (5) <i>Parvimonas micra</i> (5) <i>Eggerthella lenta</i> (3) <i>Prevotella oralis</i> (3)	28/45 (62%)
Peters et al. (89)	10/42	3.6	2% NaOCl	Chemomechanical preparation	Culture	<i>Propionibacterium acnes</i> (3) <i>Parvimonas micra</i> (2) <i>Veillonella</i> spp. (2) <i>Bifidobacterium</i> spp. (2) <i>Capnocytophaga</i> spp. (2) <i>Lactobacillus</i> spp. (40)	21/36 (58%)
Peters et al. (89)	15/21	1.5	2% NaOCl	Intracanal medication–Ca(OH) <sub>2</sub>	Culture	<i>Streptococcus</i> spp. (37) <i>Enterococcus</i> spp. (26) <i>Propionibacterium</i> spp. (13) <i>Streptococcus</i> spp. (20) <i>Peptostreptococcus</i> spp. (17) <i>Prevotella</i> spp. (15)	14/23 (61%)
Chavez de Paz et al. (94)	74	2.4	0.5% NaOCl	Intracanal medication–Ca(OH) <sub>2</sub>	Culture	<i>Staphylococcus</i> spp. (7) <i>Streptococcus</i> spp. (6) <i>Neisseria</i> spp. (4) <i>Staphylococcus</i> spp. (4) <i>Capnocytophaga</i> spp. (2) <i>Actinomyces</i> spp. (2)	156/177 (88%)
Kvist et al. (117)	58/94	2.1	0.5% NaOCl	Chemomechanical preparation	Culture	<i>Propionibacterium acnes</i> (2) <i>Propionibacterium propionicum</i> (2)	84/119 (71%)
Kvist et al. (117)	16/43	1.9	0.5% NaOCl	Intracanal medication–Ca(OH) <sub>2</sub>	Culture	<i>Gemmella morbillorum</i> (2) <i>Clostridium argentinense</i> (2) <i>Gemmella morbillorum</i> (2)	27/30 (90%)
Chu et al. (63)	11/35	2.3	0.5% NaOCl	Intracanal medication–Ca(OH) <sub>2</sub>	Culture	<i>Streptococcus mitis</i> (3)	15/25 (60%)
Vianna et al. (64)	8/24	1.4	2% CHX (gel)	Chemomechanical preparation	Culture	<i>Streptococcus mitis</i> (3)	9/11 (82%)
Vianna et al. (64)	5/8	2	2% CHX (gel)	Intracanal medication–Ca(OH) <sub>2</sub>	Culture	<i>Streptococcus mitis</i> (3) <i>Streptococcus sanguinis</i> (2) <i>Streptococcus</i> spp. (3)	8/10 (80%)
Vianna et al. (64)	4/8	2.8	2% CHX (gel)	Intracanal medication–2% CHX (gel)	Culture	<i>Streptococcus mitis</i> (3)	10/11 (91%)
Vianna et al. (64)	4/8	2.3	2% CHX (gel)	Intracanal medication–Ca(OH) <sub>2</sub> /2% CHX	Culture	<i>Streptococcus mitis</i> (3)	7/9 (78%)
Sakamoto et al. (62)	3‡	3.7	2.5% NaOCl	Chemomechanical preparation	DNA sequencing	<i>Streptococcus mitis</i> (3)	8/11 (73%)
Sakamoto et al. (62)	3‡	5	2.5% NaOCl	Intracanal medication–Ca(OH) <sub>2</sub> /CPMC	DNA sequencing	<i>Streptococcus mitis</i> (3) <i>Streptococcus sanguinis</i> (2)	10/15 (67%)
Siqueira et al. (46)	5/11	1.4	2.5% NaOCl	Chemomechanical preparation	Culture/DNA sequencing	<i>Streptococcus mitis</i> (3)	5/7 (71%)
Siqueira et al. (46)	2/11	1	2.5% NaOCl	Intracanal medication–Ca(OH) <sub>2</sub>	Culture/DNA sequencing	<i>Fusobacterium nucleatum</i> (1) <i>Lactococcus garvieae</i> (1)	1/2 (50%)
Siqueira et al. (47)	6/11	1.8	2.5% NaOCl	Chemomechanical preparation	Culture/DNA sequencing	<i>Streptococcus oralis</i> (2)	10/11 (91%)
Siqueira et al. (47)	1/11	1	2.5% NaOCl	Intracanal medication–Ca(OH) <sub>2</sub> /CPMC	Culture/DNA sequencing	<i>Propionibacterium acnes</i> (1)	1/1 (100%)
Siqueira et al. (50)	7/13	1.7	0.12% CHX	Chemomechanical preparation	Culture/DNA sequencing	<i>Streptococcus mitis</i> biovar 2 (2)	10/12 (83%)
Siqueira et al. (50)	1/13	2	0.12% CHX	Intracanal medication–Ca(OH) <sub>2</sub> /0.12% CHX	Culture/DNA sequencing	<i>Streptococcus mitis</i> biovar 2 (1) <i>Propionibacterium acnes</i> (1)	2/2 (100%)

CPMC, camphorated paramonochlorophenol; CHX, chlorhexidine.

\*The Number of samples showing growth/number of samples examined.

†The number of samples showing growth after successive appointments.

‡Three samples were randomly chosen from 10 positive samples out of 15 cases treated.

Tableau 1 : études ayant identifié les bactéries persistantes après les procédures de désinfection endo-canales. Extrait du Journal of Endodontics (Siqueira et Rocas, 2008)

## 4. La smear-layer

### 4.1. Formation

On retrouve le terme «smear-layer» dans la littérature française sous le nom de «boue dentinaire», mais il est préférable de conserver le terme anglo-saxon compte tenu de sa composition non-exclusive ou son autre traduction : «enduit pariétal».

La smear-layer est un enduit créé par les instruments, qu'ils soient manuels ou mécanisés, sur les parois canalaires lors de la mise en forme selon les méthodes actuelles. Ce film est composé de substances organiques et inorganiques qui incluent : des débris dentinaires et prédentinaires, des débris nécrotiques ou de pulpe vitale (comme par exemple des fragments de prolongements odontoblastiques), des micro-organismes et leurs toxines et d'un mélange d'irrigants utilisés pendant la phase de mise en forme (McComb et Smith, 1975 ; Mader *et al.*, 1984).

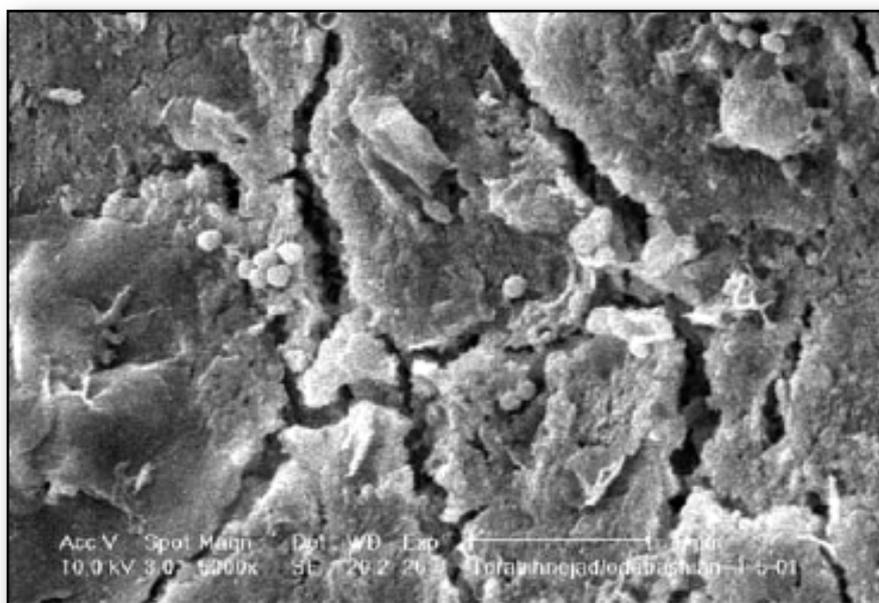


Figure 12 : présence de smear-layer sur les parois canalaires après instrumentation.  
MEB X5000 (Torabinejad *et al.*, 2002)

La smear-layer est donc considérée comme un film superficiel qui recouvre la surface des parois canalaires d'une épaisseur de 1 à 5  $\mu\text{m}$  et d'une couche plus profonde contenue dans les tubulis dentinaires jusqu'à une profondeur pouvant atteindre les 40 $\mu\text{m}$  (Goldman *et al.*, 1981 ; Mader *et al.*, 1984 ; Torabinejad *et al.*, 2002).

Sa formation est facile à mettre en évidence lors du travail des instruments (qui en sont recouverts) et lors de l'irrigation où on peut visualiser la remontée de nombreux débris.

## 4.2. Justification de son élimination

### 4.2.1. Présence bactérienne au sein de la smear-layer

De nombreuses études ont montré que les pathologies pulpaire et péri-radicaire ne peuvent pas se développer en l'absence de bactéries (Takehashi *et al.*, 1965 ; Moller *et al.*, 1981). La colonisation bactérienne du système canalaire est donc systématique.

Ces micro-organismes présents avant toute intervention, vont être incorporés aux différents débris pendant toute la phase de mise en forme. La smear-layer va donc comporter un certain nombre de bactéries. Sa suppression est primordiale afin de supprimer les micro-organismes qu'elle contient.

### 4.2.2. Présence bactérienne dans les tubulis dentinaires

Les tubulis dentinaires sont très facilement mis en évidence par l'imagerie en microscopie électronique et s'étendent de la jonction pulpe-prédentine à la jonction dentine-cément. Il est prouvé que les bactéries ayant un diamètre plus petit que ces tubulis, peuvent s'y infiltrer et se développer. Sen *et al.* ont examinés 10 dents extraites suite à des nécroses pulpaire et ont mis en évidence une pénétration bactérienne à travers les tubulis dentinaires jusqu'à une distance de 150µm dans les deux tiers apicaux des racines (Sen *et al.*, 1995). Horiba *et al.* ont trouvé la présence d'endotoxines dans les parois dentinaires de racines infectées (Horiba *et al.*, 1990). Lors de la contamination bactérienne du système canalaire suite à une infection pulpaire, les micro-organismes présents ne rencontrent aucune barrière physique ou chimique qui empêcherait leur progression au travers de ces tubulis.

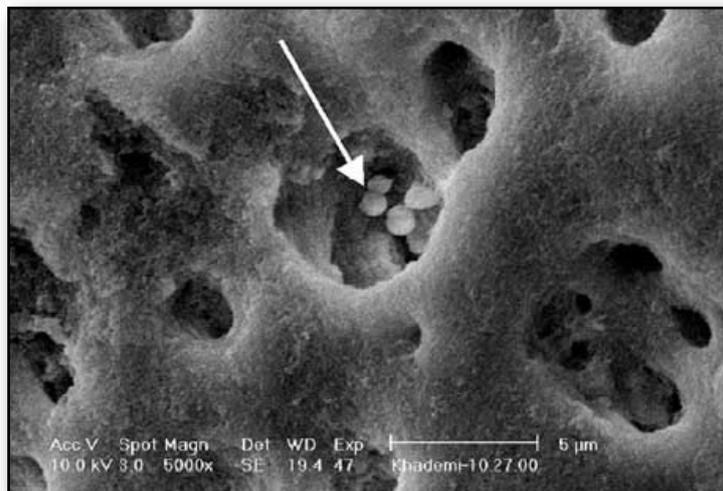


Figure 13 : mise en évidence de bactéries dans les tubulis dentinaires. MEB X5000 (Torabinejad *et al.*, 2002)

Les facteurs tels que le nombre et le type de bactéries, associés à la durée d'exposition et à l'absence ou présence de smear-layer, peuvent influencer sur la profondeur de pénétration bactérienne dans les tubulis dentinaires. À cause de la difficulté d'analyse, la composition exacte de la flore bactérienne des tubulis dentinaires est inconnue à ce jour (Torabinejad *et al.*, 2002).

L'action des instruments pendant la mise en forme va permettre la formation de smear-layer qui s'accumule contre les parois radiculaires. L'élimination de la prédentine par les instruments a pour conséquence d'ouvrir les tubulis dentinaires dans un premier temps. Dans un second temps, la smear-layer peut alors s'y infiltrer grâce à la pression exercée contre les parois par les instruments de mise en forme (*cf.* figures 14 et 15).

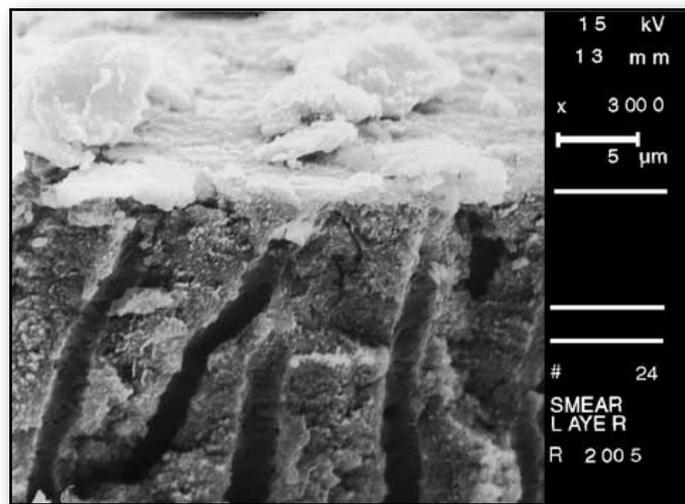


Figure 14 : après instrumentation canalaire : parois canalaire recouvertes de smear-layer. MEB X3000 (Hulsmann *et al.*, 2003)

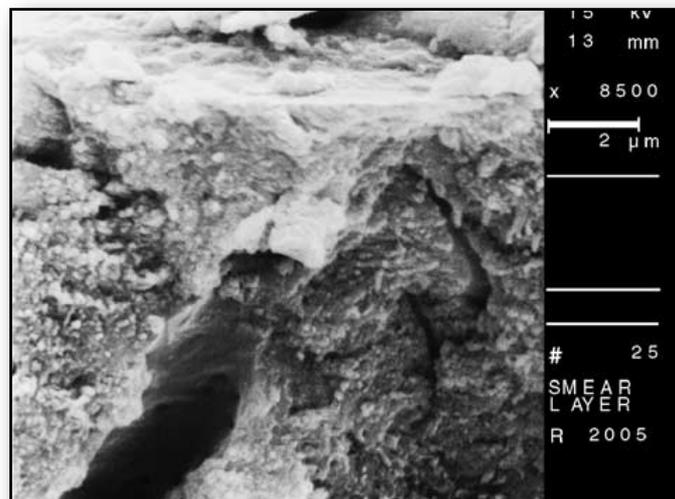


Figure 15 : la smear-layer pénètre dans les tubulis dentinaires. MEB X8500 (Hulsmann *et al.*, 2003)

L'obturation de ces tubulis par la smear-layer empêche les irrigants d'agir dans ces anfractuosités, il en résulte une persistance bactérienne au sein du système canalaire qui peut être responsable d'un échec du traitement endodontique. De plus cette couche de débris est un véritable obstacle à la désinfection car elle peut obturer de façon importante certains canaux accessoires ou latéraux, empêchant ainsi une désinfection optimale du système endo-canalaire.

#### **4.2.3. Interférences avec l'obturation endodontique**

Pendant de nombreuses années, la question de la conservation ou de l'élimination de la smear-layer a fait débat. En parallèle de son implication dans les procédures adhésives pour les reconstitutions coronaires, sa présence dans les phases d'obturation endodontique soulevait les mêmes questions. Il existe une réelle controverse sur ce sujet concernant l'efficacité des ciments de scellement et l'adaptation de la gutta percha aux parois dentinaires avec ou sans smear-layer.

Plusieurs études ont montré que l'adhésion entre les parois dentinaires et les matériaux d'obturation était meilleure après avoir éliminé la smear-layer pour certains ciments (Gettleman *et al.*, 1991 ; Economides *et al.*, 1999). Une fois la smear-layer éliminée, les ciments endodontiques vont pénétrer dans les tubulis dentinaires, augmentant ainsi la surface de contact et l'adhésion de ces ciments .

D'autres, au contraire, n'ont pas trouvé de différence significative d'adaptation entre le matériau d'obturation et les parois dentinaires avec ou sans smear-layer (Kennedy *et al.*, 1986 ; Cergneux *et al.*, 1987).

Ces différences manifestes dans les résultats sont vraisemblablement dues à des protocoles différents, utilisant des ciments différents et des techniques d'obturation différentes. Ce débat n'a plus lieu d'être aujourd'hui compte tenu du fait que son élimination n'est plus à remettre en cause. En effet, la persistance de micro-organismes dans le système canalaire est l'une des étiologies principales des échecs endodontiques (Young *et al.*, 2007). La simple constatation que la smear-layer peut comporter des micro-organismes suffit au consensus qui vise à supprimer la smear-layer (Torabinejad *et al.*, 2002).

### 4.3. Élimination de la smear-layer

Nous avons vu précédemment toutes les caractéristiques de la smear-layer et de son implication dans le traitement endodontique. Pour toutes les raisons suivantes, il est justifié de s'assurer de son élimination complète avant de procéder à l'obturation du réseau canalaire :

- Présence bactérienne dans sa composition.
- Obturation des tubulis dentinaires.
- Présence bactérienne dans les tubulis dentinaires.

Du fait de sa composition à la fois organique et minérale, une seule solution d'irrigation n'est pas suffisante pour éliminer complètement la smear-layer. Les solutions les plus couramment utilisées comprennent différentes concentrations de NaClO (Baumgartner et Cuenin, 1992) et d'EDTA (Hottel *et al.*, 1999 ; O'Connell *et al.*, 2000). Nous reviendrons plus en détail sur ces solutions dans la seconde partie.

## 5. Biofilm et endodontie

Récemment le terme de biofilm en endodontie est apparu. Le biofilm n'est pas nouveau en dentisterie, mais son application en endodontie est aujourd'hui l'un des axes de recherche important pour comprendre les sources d'échecs du traitement endodontique.

### 5.1. Formation

Le terme de biofilm a été introduit pour désigner l'agrégation de micro-organismes pouvant se produire sur diverses structures induite par la présence de bactéries en suspension dans une solution aqueuse. Le biofilm peut donc se développer sur n'importe quelle structure, qu'elle soit organique ou inorganique, du moment que des micro-organismes sont présents en solution aqueuse (Bowden et Hamilton, 1998).

Appliqué au milieu dentaire, le biofilm est bien connu pour le processus de formation de la plaque dentaire. En effet, les bactéries présentes dans la salive sont à l'initiative de la formation du biofilm. Ce biofilm est présent sur toutes les surfaces dentaires en contact avec le milieu salivaire et sert de substrat primaire pour l'installation de la plaque bactérienne.

Bien que l'organisation structurelle des biofilms, leur composition et leur activité dans différents environnements puisse être différentes, l'établissement de ces micro-colonisations suivent les mêmes étapes de développement (*cf.* figure 16). Elles incluent dans un premier temps le dépôt d'une couche initiatrice, ensuite l'adhésion et la colonisation de micro-organismes au sein d'une matrice de polymères, puis la co-adhésion d'autres organismes et enfin le détachement de micro-organismes des biofilms dans l'environnement (Svensater et Bergenholtz, 2004).

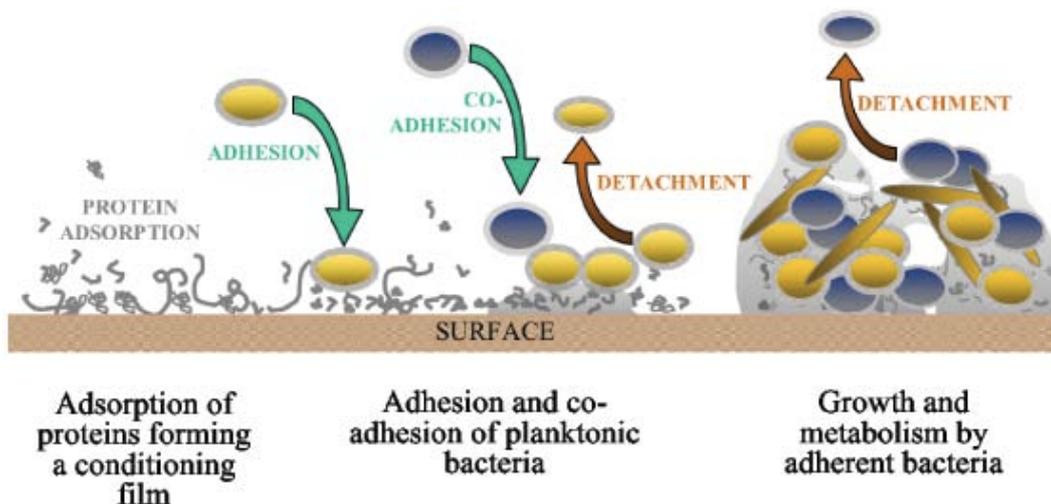


Figure 16 : étapes de formation d'un biofilm (Svensater et Bergenholtz, 2004)

## 5.2. Mécanismes d'adaptation des bactéries

On sait que la persistance bactérienne est l'une des causes principales des échecs rencontrés (Young *et al.*, 2007). Cependant, la théorie selon laquelle certaines espèces bactériennes spécifiques seraient résistantes aux traitements conventionnels est fortement remise en cause. C'est sur la capacité d'adaptation physiologique des bactéries sur les nouvelles conditions environnementales induites par le traitement endodontique, que les recherches s'orientent aujourd'hui pour expliquer les échecs rencontrés en endodontie (Chavez de Paz, 2007).

En endodontie, le concept de biofilm a été principalement cité pour les cas de pulpes nécrosées ou infectées. Les bactéries possèdent différents mécanismes pour s'adapter à leur environnement comme la formation d'un biofilm (Costerton *et al.*, 1987), les modifications d'ordre physiologique (Drenkard et Ausubel, 2002), les réactions face à un

stress (Svensater *et al.*, 2000) et la création de sous-populations résistantes (Lewis, 2005).

### **5.2.1. Biofilms**

Il existe plusieurs mécanismes d'adaptation, mais la capacité des micro-organismes à former un biofilm peut être vu comme le meilleur mécanisme d'adaptation des bactéries pour survivre aux changements environnementaux provoqués par le traitement endodontique lui-même (Chavez de Paz, 2007). Le biofilm est une réorganisation complète des relations entre différentes populations bactériennes.

### **5.2.2. Formation de sous-populations**

L'adaptation bactérienne inclut également la création de sous-populations cellulaires. Cette nouvelle génération cellulaire se produit par mutation génétique ou par modification du phénotype bactérien. Ces sous-populations bactériennes sont en général plus résistantes, ce qui les rend moins sensibles aux solutions anti-bactériennes (Chavez de Paz, 2007).

### **5.2.3. Changement morphologique**

Il est clairement établi, que les bactéries ont, pour certaines, la capacité de modifier leur structure morphologique et en particulier en réponse à un stress environnemental. On comprend bien que ce mécanisme d'adaptation peut induire des interactions différentes avec le milieu environnant et leur susceptibilité aux agents anti-bactériens (Chavez de Paz, 2007).

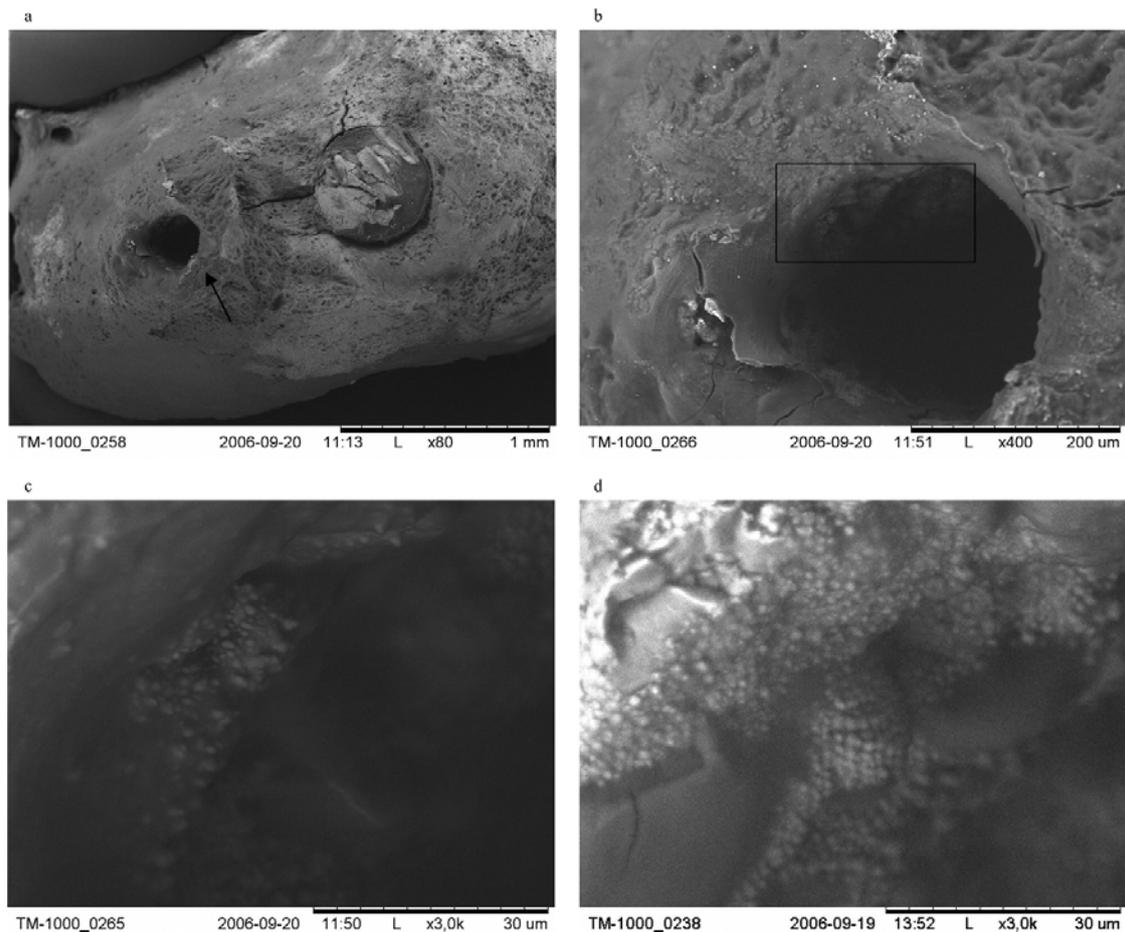
## **5.3. Élimination des biofilms**

Pour des raisons évidentes, l'élimination des biofilms est un pré-requis essentiel pour assurer un bon pronostic au traitement endodontique entrepris. Cependant, les auteurs étudiant l'action des agents d'irrigation sur ces biofilms bactériens, ont révélé qu'il était très difficile de les supprimer du fait de leur nature d'une part et de leur localisation d'autre part. En effet les biofilms sont principalement rencontrés au niveau apical là où la désinfection est la moins efficace.

La résistance des biofilms face aux solutions antiseptiques peut être attribuée à différents mécanismes. La structure et l'organisation dense des biofilms empêcheraient la pénétration des agents anti-bactériens et laisseraient intacts les micro-organismes les plus profonds. Ces agents pourraient être inactivés au sein même du biofilm, en effet le taux de

croissance des micro-organismes est relativement faible lorsque ceux-ci sont organisés en biofilm, or, la division cellulaire est une phase de vulnérabilité pour les micro-organismes. De plus les bactéries organisées en biofilms peuvent présenter des phénotypes distincts beaucoup plus résistants aux solutions anti-bactériennes (Gilbert *et al.*, 1997 ; Stewart et Costerton, 2001).

À l'heure actuelle, seul l'hypochlorite de sodium serait capable de perturber cet agrégat bactérien (Mohammadi et Abbott, 2009).



*Figure 17 : mise en évidence d'un biofilm bactérien en microscopie électronique (Dr. Olle Henningsson, 2008) :*

- A : vue générale d'un canal accessoire X80*
- B : parois canalaire avec mise en évidence d'un biofilm bactérien X400*
- C et D : zoom sur le biofilm bactérien X3000*

**PARTIE II**  
**LES AGENTS D'IRRIGATION**

## 1. Propriétés requises

Afin d'obtenir les résultats escomptés par les irrigants, il est important de connaître ce qu'on attend d'eux. Si on doit définir les propriétés physiques et chimiques de la solution idéale, elle serait :

- Antiseptique : avec un un spectre d'action qui permettrait d'éliminer la totalité des micro-organismes présents dans le système endo-canalair.
- Solvante sur les substrats organiques : pour supprimer les résidus tissulaires.
- Solvante sur les substrats minéraux : elle permettrait d'empêcher la formation de smear-layer pendant l'instrumentation ou de supprimer celle-ci une fois formée.
- Lubrifiante : pour faciliter le travail des instruments et soulager ces derniers pendant toute la phase de mise en forme.
- Effervescente : afin d'autoriser la remontée des débris.
- Eclaircissante : afin d'empêcher ou de prévenir la coloration de la racine après traitement.

Un seul et même irrigant ne peut répondre à l'ensemble de ces critères. Les irrigants utilisés et testés en endodontie sont répertoriés dans le tableau suivant :

Type of chemical	Generic and brand examples
Chelating agents (EDTA containing)	EDTA, EDTAC, REDTA, Salvizol, Tublicid, RCPrep; Glyde; EGTA
Halide complexes	Sodium hypochlorite, tincture of iodine, povidone-iodine, iodine potassium iodide, oxidative potential water (electrochemically activated water)
Acids (organic and inorganic)	Phosphoric acid, citric acid, lactic acid, polyacrylic acid, tannic acid, DMSA (dimercaptosuccinic acid)
Antibiotics	Tetracycline hydrochloride, doxycycline hydrochloride
Oxidizing agents	Hydrogen peroxide
Others	Cetrimide, bardac-22 (quaternary ammonium compound), tergenol (0.2% lauryl sodium sulfate), chlorhexidine, MTAD (tetracycline isomer, an acid, detergent), ethylenediamine, methylene blue dye, titanium tetrafluoride, trientine hydrochloride (Syprine), Succimer (Chemet)
Organic solvents	Chloroform, halothane, xylene, eucalyptus oil, orange oil

*Tableau 2 : classification des agents chimiques utilisés en endodontie d'après Gulabivala (Gulabivala et al., 2005)*

Comme le montre le tableau 2, il existe une multitude d'irrigants qui ont été testés avec plus ou moins de réussite pour atteindre les objectifs définis. Nous nous consacrerons essentiellement à quelques irrigants qui ont fait leur preuve et qui apportent une utilité réelle dans le traitement endodontique.

L'ensemble des irrigants étant des solutions irritantes voire toxiques pour l'organisme, il est impératif d'isoler la dent à traiter du reste du milieu buccal. La pose de la digue (ou champ opératoire) est donc fortement recommandée par la Haute Autorité de la Santé (HAS, 2008).

## 2. Hypochlorite de sodium (NaClO)

La première solution d'hypochlorite a été mise au point par Berthollet vers la fin du VIII<sup>e</sup> siècle en France, cette solution a été ensuite commercialisée sous le nom d'eau de Javel en 1789 dans une blanchisserie de la ville inspirant son nom (Zehnder, 2006).

L'hypochlorite de sodium est utilisé en endodontie depuis près de 90 ans, il a été introduit comme irrigant en 1920 (Crane, 1920). L'hypochlorite, de manière générale, est un puissant agent oxydant et est commercialisé principalement pour la désinfection domestique.

Du fait de son large spectre d'action dans le domaine de la désinfection et de son ancienneté, l'hypochlorite de sodium est très largement étudié. C'est l'irrigant pour lequel il existe le plus de références bibliographiques avec une méthodologie fiable.

### 2.1. Formation et mécanisme d'action

L'hypochlorite de sodium est traditionnellement formée en portant à ébullition du chlore sous forme gazeuse (Cl<sub>2</sub>) au travers d'une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH), pour obtenir de l'hypochlorite de sodium (NaClO), du chlorure de sodium (NaCl) et de l'eau (H<sub>2</sub>O).



Dans l'eau, l'hypochlorite de sodium s'ionise pour produire des ions Na<sup>+</sup> et OCl<sup>-</sup> qui forment un équilibre avec l'acide hypochloreux (HClO) (Haapasalo *et al.*, 2005b). L'activité de l'hypochlorite est d'autant plus efficace que la proportion d'HClO est grande (McDonnell et Russell, 1999).

L'hypochlorite de sodium, sous sa forme commerciale, est une solution fortement alcaline, hypertonique et variant pour des concentrations de chlore entre 10 et 14% . L'excès de chlore mène à une solution acide et instable qui en fait un de ses inconvénient. Les solutions concentrées à plus de 5% requièrent un conditionnement spécifique pour empêcher la formation d'oxygène. Ces changements chimiques sont synthétisés par deux équations :



C'est pourquoi, l'hypochlorite de sodium est utilisé à des concentrations variant de 0,5% à 5,25% en endodontie, il est cependant recommandé de l'utiliser à des concentrations supérieures à 1% (Pashley *et al.*, 1985).

Toutes les solutions d'hypochlorite de sodium commercialisées contiennent d'autres substances que l'hypochlorite de sodium lui-même, ces substances pouvant être (Clarkson et Moule, 1998) :

- des produits de dégradation de l'hypochlorite de sodium comme le chlorate de sodium ( $\text{NaClO}_3$ ) et le chlorure de sodium ( $\text{NaCl}$ ).
- de l'hydroxyde de sodium ( $\text{NaOH}$ ) : qui permet de maintenir un pH élevé et donc sa stabilité.
- des ions métalliques : qui proviennent de la chaîne fabrication ou de son conditionnement pendant sa commercialisation.
- des amines chlorés : qui proviennent de la réaction avec des substrats organiques qui peuvent contaminer la solution.
- des parfums : pour celles qui sont destinées à un usage domestique.
- des surfactants : pour abaisser la tension superficielle et permettre un meilleur nettoyage.
- des acides gras : qui entraînent une saponification avec l'excès d'hydroxyde de sodium.

## **2.2. Avantages**

### **2.2.1. Activité antibactérienne**

L'hypochlorite de sodium est un puissant antiseptique. C'est un agent anti-bactérien à large spectre qui s'est avéré efficace contre les bactéries, spores, levures et virus (Bystrom et Sundqvist, 1983). Il agit très rapidement et à de faibles concentrations ce qui le place au premier rang des irrigants endodontiques.

Toutes les études *in vitro* montrent une meilleure action des solutions concentrées à 5,25% que celles ayant des concentrations plus faibles (Waltimo *et al.*, 1999 ; Gomes *et al.*, 2001 ; Radcliffe *et al.*, 2004 ; Vianna *et al.*, 2004). Cependant, les études *in vivo* ont échoué dans ce sens et n'ont pas trouvé de différence significative entre les solutions variant de 0,5 à 5,25% (Bystrom et Sundqvist, 1983 et 1985). Les trois grandes différences entre les études *in vitro* et *in vivo* sont donc le volume de principe actif disponible, l'accès à tous les micro-organismes et l'absence d'autres matériaux dans les études *in vitro* (Haapasalo *et al.*, 2005a).

### **2.2.2. Action solvante sur les substrats organiques**

L'un des avantages majeurs de l'hypochlorite de sodium sur les autres irrigants est son action solvante sur les tissus, il agit efficacement sur la dissolution des résidus pulpaire, des protéines et des composants organiques dentinaires. Il agit rapidement en s'attaquant directement à l'activité des membranes cellulaires (Barrette *et al.*, 1989).

L'hypochlorite de sodium est le seul irrigant possédant la capacité de dissoudre les résidus de pulpes nécrotiques (Naenni *et al.*, 2004) et les composants organiques de la smear-layer (Baumgartner et Mader, 1987).

### **2.2.3. Action sur les biofilms**

Dunavant *et al.* ont testé en laboratoire plusieurs solutions d'irrigation sur un biofilm d'*Enterococcus faecalis*. Ils ont conclu que parmi tous les irrigants, 1% de NaClO et 6% de NaClO étaient les plus efficaces pour éliminer le biofilm présent (Dunavant *et al.*, 2006). Une autre étude conclut que les solutions de NaClO à 3 et 6% perturbent le biofilm apical, mais n'éliminent pas les bactéries et que la CHX est incapable d'agir sur ce biofilm (Clegg *et al.*, 2006).

En conclusion, il semble que seule l'hypochlorite de sodium soit capable de perturber et de détruire les biofilms dentinaires (Mohammadi et Abbott, 2009).

#### **2.2.4. Coût**

L'hypochlorite de sodium est une solution ancienne avec de très nombreux champs d'applications, c'est donc un produit très bon marché. Même si les solutions commercialisées comportent des surfactants, acides gras ou autres composés, celles-ci restent très abordables.

L'hypochlorite de sodium est la solution la plus économique des produits à usage dentaire. Le coût de préparation et de conditionnement est plus important que le coût de la solution elle-même (Clarkson et Moule, 1998).

### **2.3. Inconvénients**

#### **2.3.1. Cytotoxicité**

Au vu de la composition de l'hypochlorite de sodium, il est évident que cette solution est toxique sur les tissus vivants. Ses effets biologiques ont cependant été étudiés par Pashley *et al.* à différentes concentrations et concluent que les effets biologiques sont beaucoup plus importants avec des concentrations de 5,25% que des solutions concentrées à 0,5 ou 1% (Pashley *et al.*, 1985). Cette relation entre la concentration et la cytotoxicité a été montrée également dans une étude plus récente (Chang *et al.*, 2001).

Malgré ces précautions, des complications au cours de l'utilisation de l'hypochlorite de sodium sont recensés dans la littérature. Elles ont été répertoriées dans une revue de littérature en 2000 (Hulsmann et Hahn, 2000) :

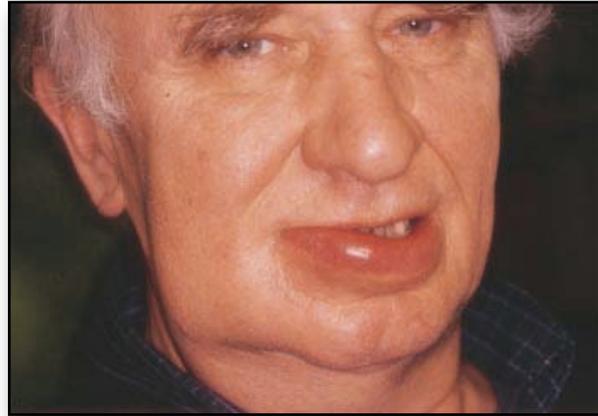
- Dommages occasionnés sur les vêtements : c'est probablement l'incident le plus commun. L'hypochlorite étant un agent blanchissant puissant, les dégâts peuvent être importants.
- Contact avec les yeux : cette réaction entraîne une douleur immédiate accompagnée d'intenses brûlures et d'érythème. Il peut en résulter une destruction de cellules épithéliales de la cornée (Ingram, 1990).
- Injection d'hypochlorite de sodium au-delà du foramen apical. Par inadvertance, elle est rencontrée principalement sur les dents avec un apex non fermé ou lors

de la destruction de la constriction apicale par une sur-instrumentation ou une résorption. Elle peut être accidentelle en cas de pression d'injection excessive.

- Réaction allergique à l'hypochlorite de sodium : ces réactions restent rares et deux cas sont référencés (Kaufman et Keila, 1989 ; Caliskan *et al.*, 1994).

Des cas sévères sont rapportés dans la littérature endodontique et décrivent les symptômes d'une injection d'hypochlorite de sodium dans les tissus péri-apicaux .

- Après une irrigation en pression excessive sur une dent maxillaire, le patient a tout de suite ressenti de violentes douleurs et en quelques secondes, a développé un hématome et une ecchymose en regard de la dent. C'est seulement un mois après que la situation était revenue à la normale (Becker *et al.*, 1974).
- Herrmann et Heicht ont décrit un cas de trismus et d'œdème important consécutif à l'utilisation d'hypochlorite de sodium concentré à 5,25% sur une dent mandibulaire (Herrmann et Heicht, 1979).
- D'autres cas ont été rapportés dans la littérature, tous décrivant relativement les mêmes symptômes, à savoir de violentes douleurs, un œdème réactionnel et des sensations de brûlures (Reeh et Messer, 1989 ; Sabala et Powell, 1989 ; Becking, 1991 ; Gatot *et al.*, 1991 ; Joffe, 1991 ; Ehrich *et al.*, 1993 ; Kavanagh et Taylor, 1998).



*Figures 18 et 19 : ecchymose et œdème provoqués par extrusion accidentelle d'hypochlorite de sodium à travers le foramen apical (Hulsmann et Hahn, 2000)*

### **2.3.2. Stabilité de la solution**

L'un des inconvénient de l'hypochlorite de sodium est son manque de stabilité dans le temps. Il possède une demie-vie raisonnable mais beaucoup de facteurs peuvent influencer sa dégradation. L'hypochlorite se détériore en fonction (Clarkson et Moule, 1998) :

- du temps,
- de la température,
- de l'exposition à la lumière,
- de sa contamination avec des ions métalliques.

Des solutions dites "stabilisées" sont commercialisées, mais leur stockage et leur conservation demandent tout de même certaines précautions. Il est impératif de respecter certaines règles :

- La conservation doit se faire dans un flacon ou récipient teinté ou opaque (en verre ou polyéthylène), hermétique et placé dans un endroit frais et sombre.
- Si la solution est diluée, elle doit être utilisée le plus rapidement possible car une solution diluée se détériore plus rapidement qu'une solution concentrée.
- L'hypochlorite de sodium domestique se détériore plus vite car elle ne contient pas de sels pour augmenter sa stabilité.
- L'utilisation de récipients métalliques est à proscrire, car l'hypochlorite réagit avec les métaux.
- La nature corrosive de l'hypochlorite de sodium implique un rinçage abondant de tout le matériel utilisé et de tous les matériaux exposés. Il est extrêmement corrosif sur les métaux excepté sur le titane et quelques formes d'aciers inoxydables (Selinger, 1989).

### **2.3.1. Place dans l'irrigation**

En raison de son spectre d'action important, son action solvante sur les substrats organiques et son action sur les biofilms, l'hypochlorite de sodium fait l'unanimité comme irrigant de choix par tous les auteurs et toutes les institutions. Cependant, il existe une réelle controverse quand à la concentration d'usage. En effet toutes les études *in vivo* ne montrent aucune différence significative sur la réduction de la flore bactérienne que ce soit des solutions concentrées à 0,5% ou à 5,25%. Malgré ces études, les auteurs préconisent tout de même des concentrations supérieures ou égales à 1% pour assurer une action optimale en minimisant les risques de toxicité. Quant à la HAS, elle recommande d'utiliser une solution d'hypochlorite de sodium concentrée à 2,5% (HAS, 2008).

Il est recommandé de démarrer l'irrigation à l'hypochlorite de sodium dès l'ouverture de la cavité d'accès endodontique. L'utilisation d'instruments NiTi en rotation continue crée beaucoup de débris. L'utilisation d'hypochlorite de sodium après chaque passage instrumental permet d'une part de lubrifier les instruments, d'autre part de faciliter la remontée de ces débris. Par ailleurs, son renouvellement favorise l'action solvante et antibactérienne de l'hypochlorite de sodium.

Un rinçage final avec une solution d'hypochlorite de sodium est préconisé afin d'éliminer le maximum de débris présents et permettre une action prolongée sur les micro-organismes

juste avant de passer à la phase d'obturation. Cette irrigation pré-obturation est essentielle pour désinfecter les derniers millimètres des canaux radiculaires.

En conclusion, l'hypochlorite de sodium semble être une solution incontournable car son action est essentielle durant toute les phases du traitement endodontique : de l'accès aux canaux radiculaires, jusqu'à la fin de la mise en forme.

### 3. Ethylen diamine tetraacetic acid (EDTA)

Bien que l'hypochlorite de sodium apparaisse comme une solution d'irrigation incontournable, il n'en demeure pas moins qu'elle est inefficace sur la dissolution des matières inorganiques et sur la prévention de la formation de smear-layer pendant l'instrumentation (Lester et Boyde, 1977).

En 1951, les premières études montrant l'effet déminéralisant de l'EDTA sur les tissus dentaires étaient publiées (Hahn et Reygadas, 1951 ; Sreebny et Nikiforuk, 1951). Sa première utilisation en endodontie a été introduite quelques années plus tard pour négocier et faciliter le travail des canaux fins et calcifiés (Nygaard-Östby, 1957).

L'EDTA est assimilé aux agents chélatants, c'est le composé principal de ces solutions, mais il existe d'autres solutions comme le DTPA (Diethylene triamine pentaacetic acid), l'EDTAC et le DTPAC (solutions d'EDTA ou de DTPA auxquelles est ajouté un surfactant : le Cetavlon®).

#### 3.1. Présentation et principe d'action

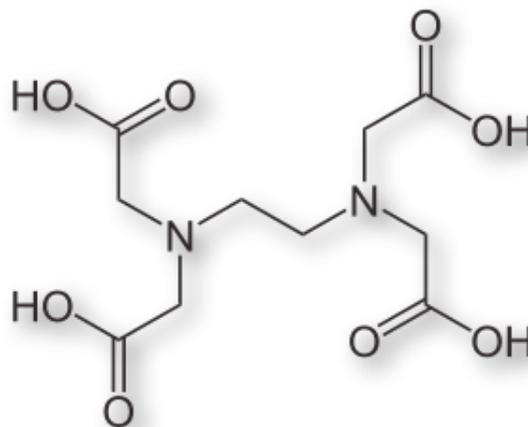


Figure 20 : molécule d'EDTA (Ethylen Diamine TetraAcetate)

L'EDTA à usage dentaire est commercialisée sous deux formes : d'une part sous forme de solutions (elles contiennent toutes essentiellement de l'EDTA concentré entre 15 et 17% avec un pH relativement neutre), d'autre part sous forme de pâtes ou de gels (où l'EDTA est couplé ou non à un agent blanchissant comme le peroxyde de carbamide notamment).

La déminéralisation produite par les solutions à base d'EDTA est complexe et fait appel à un type de réaction particulière : la chélation (cf. figure 20). Cette liaison entre l'EDTA et les ions calcium constituant les tissus minéralisés dentaires (nommé chélate) désorganise la structure minérale dentaire.

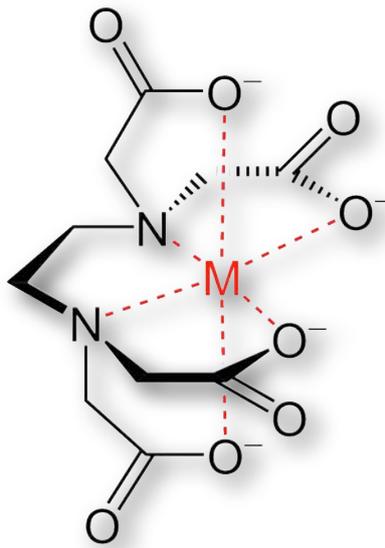
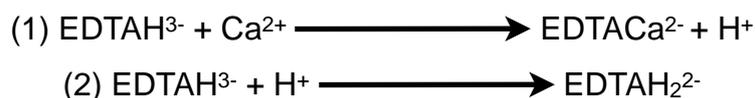


Figure 21 : formation d'un complexe de chélation entre l'EDTA et un cation

Chimiquement, deux réactions co-existent et peuvent être distinguées : d'une part la formation d'un complexe (1), c'est la chélation, et d'autre part une protonation (2) (Perez *et al.*, 1989) :



Malgré ces connaissances, le mécanisme réel d'action des solutions d'EDTA n'est pas connu.

## 3.2. Avantages

### 3.2.1. Biocompatibilité

Il existe beaucoup de discussions pour savoir si le passage d'EDTA à travers le foramen peut provoquer une inflammation des tissus. Certaines études ne détectent aucuns

dommages créés par l'EDTA sur les tissus péri-apicaux (Nygaard-Östby, 1957 ; Patterson, 1963 ; Lindemann *et al.*, 1985).

À l'opposé, certains auteurs concluent que les solutions à base d'EDTA ont des effets délétères sur les tissus péri-apicaux et peuvent même induire des modifications de la réponse immunologique dans la zone apicale (Masillamoni *et al.*, 1981 ; Segura *et al.*, 1996 ; Segura *et al.*, 1997).

En analysant ces résultats contradictoires, il semble préférable d'éviter toute extrusion péri-apicale d'EDTA pendant la phase de mise en forme et de nettoyage du système endocanalaire (Hulsmann *et al.*, 2003).

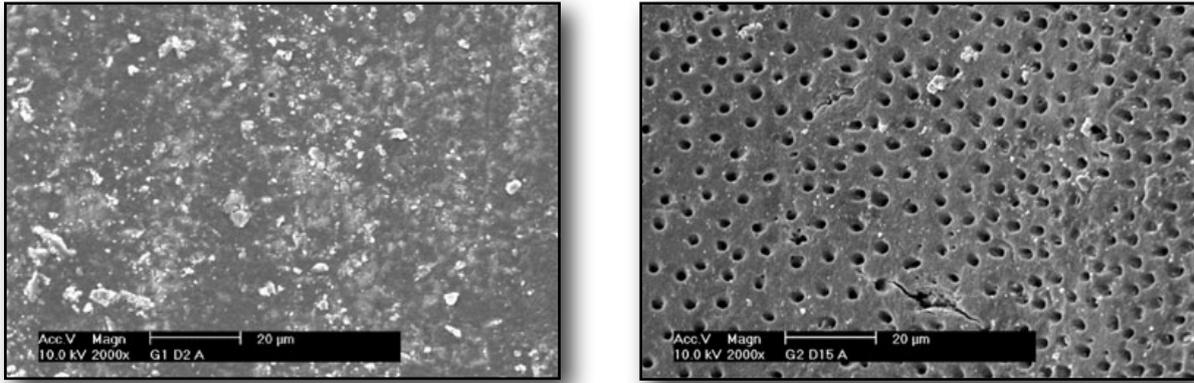
### **3.2.2. EDTA et smear-layer**

Pour deux raisons, l'élimination de la smear-layer est primordiale, d'un côté elle peut contenir elle-même des bactéries, et d'un autre côté, elle peut protéger les micro-organismes présents dans les tubulis dentinaires (Torabinejad *et al.*, 2002). La smear-layer étant soluble dans des solutions acides, l'EDTA semble être une solution adéquate (Pashley, 1992).

De nombreuses études ont rapporté que l'EDTA concentré à 17% est très efficace pour nettoyer les parois dentinaires (McComb et Smith, 1975 ; Baumgartner et Mader, 1987 ; Cergneux *et al.*, 1987 ; Hottel *et al.*, 1999 ; O'Connell *et al.*, 2000 ; Scelza *et al.*, 2000). En effet, l'EDTA a une action chélatante sur les composants inorganiques de la smear-layer, à savoir les débris dentinaires.

Cependant, les résidus organiques et les micro-organismes présents au sein de la smear-layer peuvent subsister, c'est pourquoi les auteurs préconisent une irrigation à l'hypochlorite de sodium en complément pour s'assurer de l'élimination complète de la smear-layer (Zehnder *et al.*, 2005 ; Mello *et al.*, 2008).

Pour conclure, la combinaison séparée d'hypochlorite de sodium et d'EDTA engendre une action synergique, permettant la suppression totale de la smear-layer intra-canalaire (Baumgartner et Ibay, 1987 ; Grawehr *et al.*, 2003).



Figures 22 et 23 : apparence typique de la smear-layer à gauche, et surface après élimination de la smear-layer avec une solution d'EDTA à 17% à droite (Dotto *et al.*, 2007)

### 3.2.3. EDTA et tubulis dentinaires

Le diamètre des tubulis dentinaires diminue de 1,2µm au niveau de jonction pulpo-dentinaire à 0,4µm à la jonction dentino-cémentaire (Pashley, 2002). Le nombre de tubulis est d'autant plus grand que l'on se rapproche de la pulpe (58000/mm<sup>2</sup>) contre 10000/mm<sup>2</sup> en direction de la jonction dentino-cémentaire (Mjor *et al.*, 2002). On peut conclure que la dentine radiculaire n'est pas minéralisée uniformément.

La perméabilité dentinaire est directement fonction de la surface de la lumière tubulaire et inversement proportionnelle à l'épaisseur de la paroi radiculaire (Reeder *et al.*, 1978). Après la préparation mécanique, il est évident que l'épaisseur des parois radiculaire est réduite tandis que la surface de la lumière tubulaire augmente (Pashley, 1984 ; Fogel et Pashley, 1990).

L'EDTA étant un acide, il agit sur la partie minérale de la dentine, et en particulier sur la dentine pérítubulaire. Il en résulte un élargissement de l'entrée de ces tubulis par déminéralisation (Goldberg et Abramovich, 1977 ; Hottel *et al.*, 1999) et une modification de la perméabilité dentinaire. Cette augmentation de la perméabilité peut paraître néfaste mais elle permet d'améliorer l'action des irrigants endodontiques utilisés en association à l'EDTA.

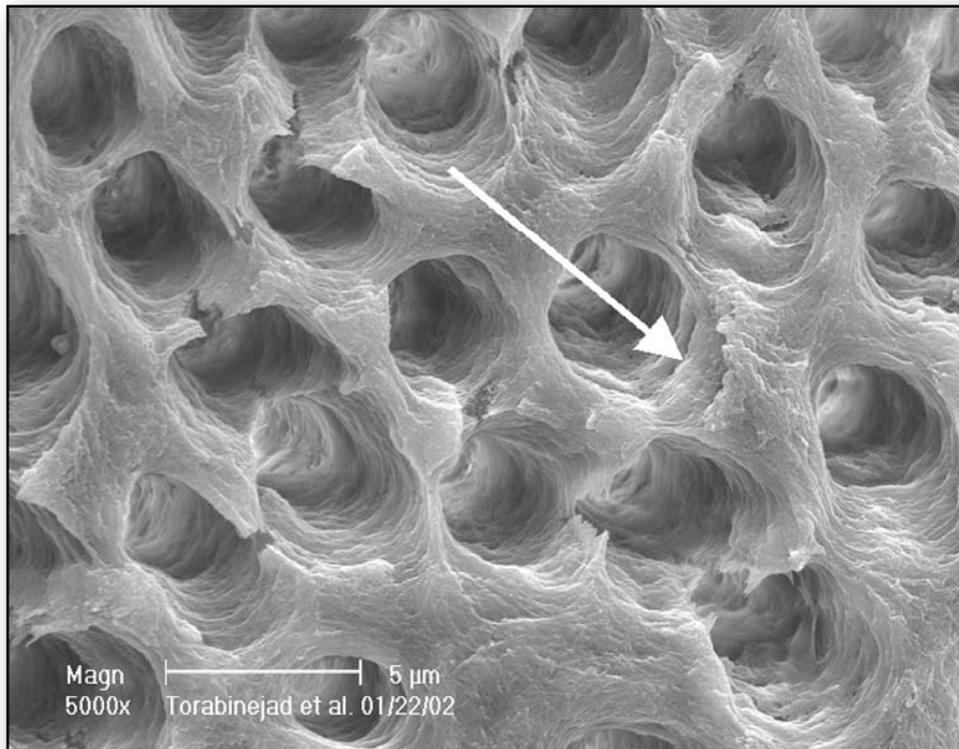


Figure 24 : déminéralisation des tubulis dentinaires après application d'une solution d'EDTA pendant 5 minutes x5000 MEB (Torabinejad et al., 2002)

#### 3.2.4. Action lubrifiante

Initialement, les solutions chélatantes étaient utilisées sous forme liquide pendant l'instrumentation du système endo-canalair, mais très rapidement, en 1969, Stewart *et al.* présentent la première solution en gel (RC-Prep®) pour aider à la lubrification des instruments.

Récemment, ces solutions en gel ont suscité un regain d'intérêt, étant donné que la majorité des fabricants d'instruments NiTi recommandent leur utilisation comme lubrifiant pendant le travail instrumental en présumant réduire le risque de fracture instrumentale. Cependant, aucune étude clinique n'a démontré l'efficacité de ces pâtes pour confirmer cette supposition (Hulsmann *et al.*, 2003). De plus les études montrent une interaction importante des solutions à base d'EDTA avec l'hypochlorite de sodium développée au paragraphe 3.3.3 de ce chapitre (Baumgartner et Ibay, 1987).

#### 3.2.5. Action effervescente

Dans sa formulation en gel, l'EDTA est couplé au peroxyde de carbamide pour certains conditionnements, c'est le cas du Glyde File Prep® (Dentsply-Maillefer®). Cette

association a pour avantage de créer une réaction effervescente lorsque de l'hypochlorite de sodium est ajouté (Hottel *et al.*, 1999).

Cette effervescence permet de faciliter la remontée des débris dentinaires créés par les instruments et ainsi de diminuer la formation de smear-layer tout au long de la préparation canalaire (Grandini *et al.*, 2002 ; Lim *et al.*, 2003).

Même si l'efficacité de cette effervescence est discutée, l'action blanchissante du peroxyde de carbamide n'est plus à démontrer (Matis *et al.*, 2000). Cet éclaircissement peut s'avérer utile dans les cas de reprise de traitement endodontique, où bien souvent les racines dentaires sont colorées.

### **3.3. Inconvénients**

#### **3.3.1. Pas d'action solvante sur les substrats organiques**

Depuis le développement des différentes solutions d'irrigation, l'un des objectifs est d'être solvant sur les substrats organiques. Or l'EDTA n'a aucune action solvante sur les résidus pulpaire (Naenni *et al.*, 2004), son utilisation en association avec l'hypochlorite de sodium est donc indispensable, mais doit nécessiter quelques précaution d'emploi du fait de l'interaction entre ces deux composés (*cf.* chapitre 3.3.3. Interaction avec le NaClO) (Zehnder *et al.*, 2005).

#### **3.3.2. Action sur la structure dentinaire**

La valeur de dureté de la dentine radiculaire varie entre 40 et 75 kg/mm<sup>2</sup> (dureté Vickers). Cette valeur augmente depuis la lumière canalaire vers la jonction dentino-cémentaire, et diffère selon la section radiculaire. On considère que la dureté dentinaire du tiers apical est moins importante que celle du tiers moyen et du tiers cervical (Patterson, 1963). A contrario, la dureté des parois radiculaires reste presque constante : de 88,78 kg/mm<sup>2</sup> à l'entrée du canal, à 94,68 kg/mm<sup>2</sup> au niveau de l'apex (Fromme *et al.*, 1970 ; Pawlicka *et al.*, 1981).

Pawlicka rapporte que les chélatants, en particulier l'EDTA, peuvent modifier la dureté de la dentine radiculaire en diminuant fortement sa valeur, ce phénomène est principalement remarqué au niveau de la dentine la plus proche de la lumière canalaire, là où les parois dentinaires sont le plus exposé aux irrigants. Par ailleurs, il ne note pas de différence significative dans les résultats obtenus entre les différents agents étudiés : EDTA, EDTAC, DTPA et DTPAC (Pawlicka, 1982).

Cette atteinte de la structure même de la dentine peut être liée à une action prolongée des solutions d'EDTA, dans une étude de 2003, il a été mis en évidence que cette action prolongée altérerait la structure dentinaire par déminéralisation excessive (Torabinejad *et al.*, 2003b).

### 3.3.3. Interaction avec NaClO

Un des aspects importants souvent cité par les auteurs, est que les solutions à base d'EDTA interagissent fortement avec l'hypochlorite de sodium (Baumgartner et Ibay, 1987). En effet, l'EDTA réduit immédiatement la concentration en chlore de la solution, rendant ainsi l'hypochlorite de sodium inefficace sur les bactéries et les résidus nécrotiques (Zehnder *et al.*, 2005). La concentration des solutions de NaClO est très rapidement réduite, passant d'une concentration de 0,5% à 0,06%, quand l'EDTA est ajouté à l'hypochlorite de sodium (Grawehr *et al.*, 2003).

Par conséquent, il serait préférable que l'EDTA ne soit pas associé (mêlé) à l'hypochlorite de sodium et il en va de même pour les gels à base d'EDTA sans précautions particulières (Hulsmann *et al.*, 2003 ; Zehnder, 2006) :

- les solutions d'EDTA et d'hypochlorite de sodium doivent être utilisées séparément après séchage des canaux à l'aide de pointes de papier afin d'éliminer toute trace d'irrigant.
- dans le cas où des gels à base d'EDTA sont utilisés notamment pendant la phase de mise en forme canalaire, un rinçage abondant au NaClO est indispensable après chaque passage instrumental jusqu'à obtention d'un liquide d'irrigation clair pour «rincer» l'EDTA qui pourrait subsister.

### 3.3.4. Action antibactérienne

Certaines études ont montré une action antibactérienne, certes très limitée, mais existante (Patterson, 1963). C'est vraisemblablement grâce au mode d'action de l'EDTA sur les cations qu'une activité antibactérienne se produit, en effet les parois externes des bactéries peuvent contenir des ions métalliques. L'EDTA se combinerait à ces cations pour détruire une partie des protéines composant ces parois et donc entraînerait la mort bactérienne. Le même processus pourrait expliquer sa légère action sur les biofilms bactériens.

En conclusion, l'action antibactérienne de l'EDTA est très limitée mais son utilisation combinée à celle de l'hypochlorite de sodium à 5% possède un effet antibactérien supérieur à celui de l'hypochlorite de sodium seul (Bystrom et Sundqvist, 1985).

### 3.3.5. Coût

Contrairement aux solutions d'hypochlorite de sodium, les solutions à base d'EDTA ne sont pas bon marché. De plus, en France, les conditionnements sont exclusivement de petits volumes, ce qui n'incite pas son utilisation en tant qu'irrigant à part entière.

### 3.4. Place dans l'irrigation

Les composés à base d'EDTA se présentent sous deux formes particulières, soit sous forme de solution, soit sous forme de gels. Ces deux conditionnements répondent à deux indications différentes, à savoir pour les gels une limitation de la formation de smear-layer pendant toute la phase de préparation, et pour les solutions une élimination totale de la smear-layer accumulée au cours de la mise en forme canalaire lorsqu'elles sont couplées au NaClO.

Les gels peuvent donc être utilisés en enduisant les instruments avant leur passage dans les canaux radiculaires. Les solutions à base d'EDTA permettent en irrigation finale une élimination complète de la smear-layer.

## 4. Les autres composés acides

Parmi les autres composés acides utilisés en endodontie, on peut citer l'acide citrique et l'acide phosphorique, l'acide acétique et l'acide maléique. L'acide citrique a été proposé comme irrigant endodontique dès les années 70 (Loel, 1975). Nous traiterons uniquement dans ce chapitre l'acide citrique qui a montré de meilleurs résultats que les autres composés.

### 4.1. Présentation

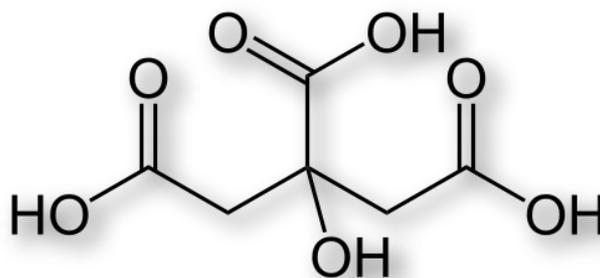


Figure 25 : structure moléculaire de l'acide citrique

L'acide citrique est utilisé en endodontie à des concentrations variant de 1 à 50% (Loel, 1975). Son mécanisme d'action est similaire à celui de l'EDTA en formant un complexe nommé chélate en captant les ions métalliques.

## **4.2. Avantages**

### **4.2.1. Cytotoxicité**

L'acide citrique est beaucoup moins toxique sur les tissus organiques que les autres chélatants comme l'EDTA principalement (Ando, 1985 ; Malheiros *et al.*, 2005).

### **4.2.2. Acide citrique et smear-layer**

L'acide citrique est proposé par certains auteurs pour supprimer la smear-layer (Loel, 1975 ; Baumgartner *et al.*, 1984 ; Czonstkowsky *et al.*, 1990). Les résultats de certaines études montrent même que l'acide citrique serait plus efficace ou du moins tout autant, que l'EDTA pour supprimer la smear-layer (Liolios *et al.*, 1997 ; Di Lenarda *et al.*, 2000 ; Machado-Silveiro *et al.*, 2004).

### **4.2.3. Action antibactérienne**

L'action antibactérienne de l'acide citrique peut être à la fois un avantage et un inconvénient selon la référence de comparaison. Parmi les agents chélatants, l'acide citrique possède une action bactéricide plus importante que l'EDTA pour lequel son action est restreinte (Yamaguchi *et al.*, 1996). De plus Yamaguchi rapporte que l'acide citrique est efficace contre les bactéries anaérobies qui sont très largement prédominantes dans les infections endodontiques.

Cependant, si on le compare à l'hypochlorite de sodium, son action reste très limitée. C'est pour cette raison que les auteurs préconisent son utilisation en alternance avec l'hypochlorite de sodium.

## **4.3. Inconvénients**

L'acide citrique n'a pas de réel inconvénient si ce n'est que les études se rapportant son utilisation en endodontie restent limitées.

## **4.4. Place dans l'irrigation**

L'action de l'acide citrique étant similaire à celle des solutions à base d'EDTA, son emploi en endodontie sera le même. L'acide citrique peut donc être utilisé pour supprimer la

smear-layer comme irrigant terminal en association avec le NaClO afin de potentialiser son action (Haapasalo *et al.*, 2005a ; Zehnder, 2006).

## 5. Gluconate de chlorhexidine (CHX)

Bien que l'hypochlorite de sodium soit très efficace sur les bactéries, il n'en demeure pas moins un produit toxique pouvant provoquer de graves accidents, c'est pourquoi les auteurs ont proposé la chlorhexidine comme irrigant endodontique, mais aussi comme médication intra-canaulaire (Haapasalo *et al.*, 2005a).

### 5.1. Structure et mécanisme d'action

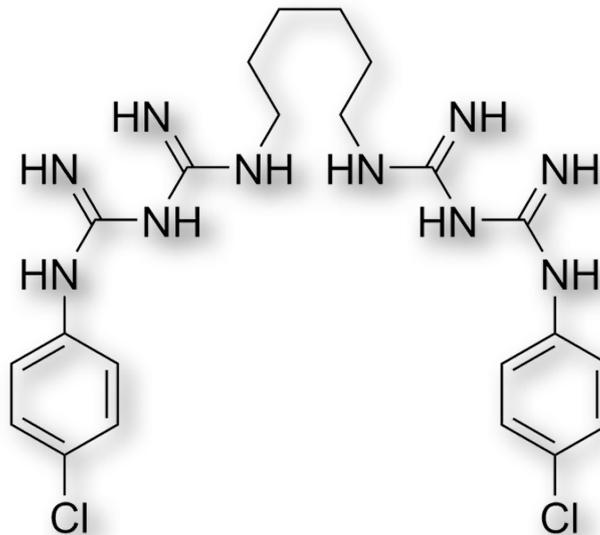


Figure 26 : structure moléculaire de la chlorhexidine

La chlorhexidine est une molécule synthétique, développée vers la fin des années 40, faisant partie de la famille des *bis*-guanides. Elle est chargée positivement et possède un caractère hydrophobe et lipophile. Cela lui confère la particularité de réagir directement avec les membranes (charge négative des groupes phosphates des parois bactériennes) et d'attaquer ainsi les membranes bactériennes et les membranes plasmiques des champignons (Gomes *et al.*, 2003a ; Gomes *et al.*, 2003b). De fortes concentrations en chlorhexidine entraîne la coagulation des constituants intra-cellulaires (McDonnell et Russell, 1999).

La chlorhexidine est utilisée depuis longtemps en dentisterie sous une forme particulière : le gluconate de chlorhexidine, grâce à ses propriétés anti-bactériennes, sa rémanence et sa faible toxicité relative (Haapasalo *et al.*, 2005a). Particulièrement utilisée pour la lutte contre la formation de plaque bactérienne à des concentrations aux alentours de 0,2%, on

retrouve plutôt facilement des concentrations de 2% dans la littérature pour l'irrigation endodontique (Zamany *et al.*, 2003).

## **5.2. Avantages**

### **5.2.1. Activité antibactérienne**

Le spectre anti-bactérien de la chlorhexidine est assez large puisqu'elle est active sur les bactéries Gram négatives et positives, avec une prédominance pour les Gram + (Russell et Day, 1993). Dans l'ensemble, bien que les études qui ont comparé l'action antibactérienne de l'hypochlorite de sodium et de la chlorhexidine aient des résultats légèrement différents, il semblerait qu'en utilisant les mêmes concentrations, leur effets *in vivo* soient semblables (Mohammadi et Abbott, 2009).

Par contre la chlorhexidine n'est pas considérée comme un antiviral efficace puisque son activité se limite à l'enveloppe lipidique des virus (Park et Park, 1989).

### **5.2.2. Activité anti-fongique**

Les champignons constituent une petite proportion de la flore bactérienne buccale, dont l'espèce *Candida* est la plus connue (Siqueira et Sen, 2004). Des champignons sont retrouvés occasionnellement dans des racines infectées non traitées endodontiquement, mais sont le plus souvent rencontrés sur des dents traitées avec une infection secondaire ou dans le cas d'un échec du traitement entrepris. La proportion de champignons retrouvés dans les canaux radiculaires varie entre 1 et 17% (Waltimo *et al.*, 2004). Ainsi, les irrigants qui ont une action antifongique peuvent aider dans la gestion des infections endodontiques secondaires persistantes (Siqueira et Sen, 2004 ; Waltimo *et al.*, 2004).

Plusieurs auteurs ont essayé de mettre en évidence l'activité fongicide de la chlorhexidine (Russell et Day, 1993 ; Sen *et al.*, 1999 ; Waltimo *et al.*, 1999). En conclusion, l'activité anti-fongique des solutions de gluconate de chlorhexidine est significativement moins importante que celle de l'hypochlorite de sodium (Mohammadi et Abbott, 2009) même si elle apparait très efficace contre *C. albicans*.

### **5.2.3. Chlorhexidine et biofilm**

Plusieurs études ont testé l'action de la chlorhexidine sur les biofilms bactériens, mais seules les associations avec des antibiotiques permettent une destruction du biofilm. Même si la CHX agit sur les biofilms, elle n'est pas assez efficace pour les détruire complètement (Mohammadi et Abbott, 2009).

#### 5.2.4. Chlorhexidine et rémanence

La dentine traitée avec la chlorhexidine acquiert une rémanence anti-bactérienne (Khademi *et al.*, 2006). Les ions positifs relargués par la CHX peuvent être absorbés par la dentine et prévenir la colonisation bactérienne pendant quelques temps au-delà du temps d'application (Athanassiadis *et al.*, 2007).

Dans une étude en laboratoire, il a été montré que la rémanence anti-bactérienne de la chlorhexidine concentrée à 2% et utilisée comme solution endodontique, perdure pendant 72h (White *et al.*, 1997). Une autre étude, *in vivo*, rapporte que l'activité rémanente de la chlorhexidine était constatée jusqu'à 48h après son application (Leonardo *et al.*, 1999). Après une application pendant 10 minutes de CHX à 2%, Rosenthal *et al.* rapportent que la CHX était retenue dans la dentine radiculaire pendant 14 semaines (Rosenthal *et al.*, 2004). En synthétisant ces études, les auteurs admettent que la rémanence de la chlorhexidine dans la dentine perdure jusqu'à 12 semaines.

L'effet rémanent de la chlorhexidine dépend en réalité du nombre de molécules de CHX disponibles pour interagir avec la dentine. En conséquence, le traitement des canaux radiculaires avec des concentrations plus importantes devrait augmenter la résistance à la colonisation bactérienne (Mohammadi et Abbott, 2009).

#### 5.2.5. CHX et médication intra-canalair

Lorsque le traitement endodontique ne peut pas être réalisé en une séance (manque de temps, suintement apical persistant ou dent symptomatique), il est recommandé de passer par une étape intermédiaire faisant appel à une médication intra-canalair. La CHX (sous forme de gel principalement) a été proposée comme produit inter-séance, tout comme l'hydroxyde de calcium ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) (Siqueira et de Uzeda, 1997 ; Ferguson *et al.*, 2003 ; Gomes *et al.*, 2003b). En raison de son activité antibactérienne et de sa rémanence décrites précédemment, la CHX apparait comme une médication intra-canalair très intéressante.

Plusieurs études ont montré que la chlorhexidine n'était pas significativement plus efficace que l'hydroxyde de calcium comme médication intra-canalair (Siqueira et de Uzeda, 1997 ; Lynne *et al.*, 2003) mais qu'elle possédait une action intéressante contre les bactéries Gram +. D'autres, au contraire, ont rapporté des différences entre ces deux médicaments en faveur de la chlorhexidine notamment pour son action sur *E. faecalis*

(Evans *et al.*, 2003 ; Ercan *et al.*, 2006). Ces résultats divergents peuvent être expliqués par une utilisation de la CHX à des concentrations différentes et faibles : 0,2% en général alors qu'elle est préconisée à 2% pour une utilisation en endodontie.

### **5.3. Inconvénients**

#### **5.3.1. Non solvante sur les tissus**

L'une des qualités requises pour les irrigants endodontiques est la capacité à dissoudre les matières organiques à l'intérieur du système canalaire. Dans une étude évaluant la dissolution des tissus organiques avec différentes solutions de NaClO, de CHX en solution ou en gel, il a été montré que les solutions à base de chlorhexidine n'ont eu aucune action solvante sur les tissus en 6h (Okino *et al.*, 2004). Parallèlement, d'autres solutions ont été comparées et les auteurs arrivent à la même conclusion : aucunes des solutions testées hormis l'hypochlorite de sodium n'ont d'action solvante sur les tissus organiques (Naenni *et al.*, 2004).

Dans l'ensemble, l'un des inconvénients majeurs de la chlorhexidine est qu'elle n'a aucune action solvante sur les tissus organiques (Mohammadi et Abbott, 2009).

#### **5.3.2. Interactions avec NaClO**

Un protocole clinique a été suggéré par Zehnder combinant une irrigation à l'hypochlorite de sodium, à l'EDTA et à la chlorhexidine. Bien que la combinaison des trois produits augmente le spectre d'action de l'irrigation, les interactions sont à considérer avec attention (Zehnder, 2006).

En l'occurrence, plusieurs études ont rapporté un changement de couleur et la formation d'un précipité lorsque la chlorhexidine était combinée avec l'hypochlorite de sodium (Vivacqua-Gomes *et al.*, 2002 ; Zehnder, 2006 ; Basrani *et al.*, 2007). Basrani *et al.* décrivent très précisément la nature du précipité et de la couleur obtenue dans leur étude.

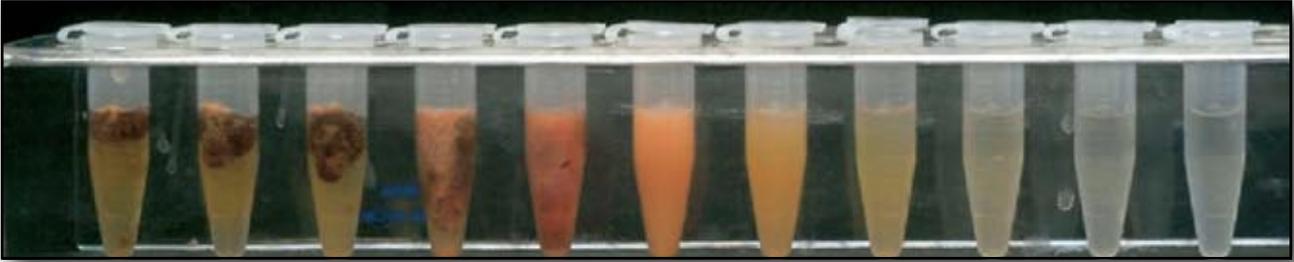


Figure 27 : tubes contenant des concentrations différentes de NaClO mélangée à de la CHX à 2% montrant la formation d'un précipité et un changement de couleur (Basrani et al., 2007)

Dans cette étude des solutions d'hypochlorite de sodium à différentes concentrations sont mélangées à une solution de CHX concentrée à 2% (représentées par les neuf tubes de droite sur la figure 26 avec respectivement de gauche à droite : 6%, 3%, 1,5%, 0,75%, 0,38%, 0,19%, 0,094%, 0,047% et 0,023% de NaClO). Le dixième et le onzième tube étant respectivement rempli de NaClO à 6% et de CHX à 2% pures et servent de témoins pour l'expérience.

Le changement de couleur est observé dans chacun des 9 tubes où est ajoutée la chlorhexidine, y compris celui avec la plus basse concentration en NaClO (0,023%). Avec l'augmentation de la concentration en NaClO, la couleur passe d'une coloration «pêche» à une coloration brune et le précipité est d'autant plus épais. Le changement de couleur est observé immédiatement après mélange des deux solutions et sans modification dans le temps.

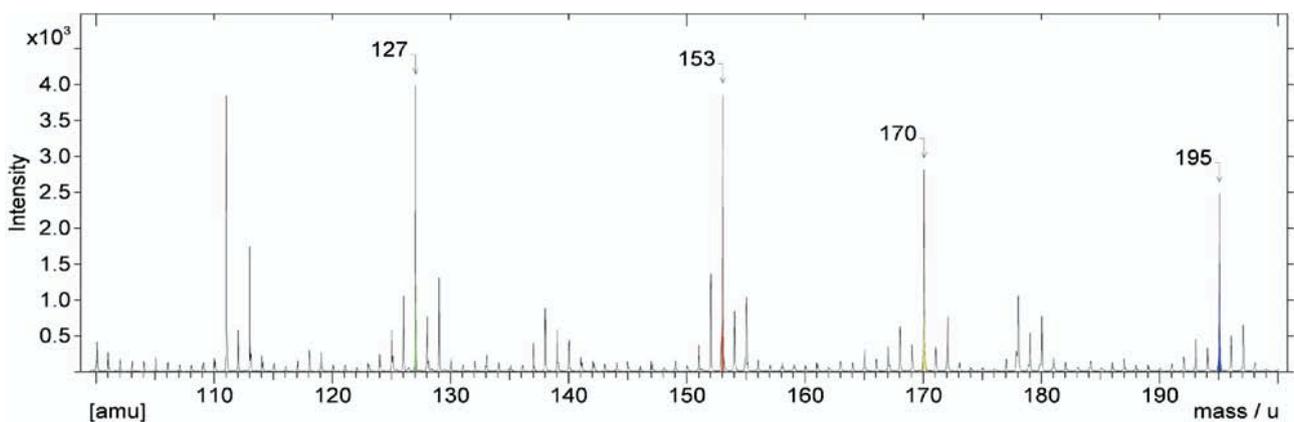


Figure 28 : spectre de masse du précipité (2% CHX et 3% NaClO) (Basrani et al., 2007)

L'analyse de la composition du précipité (cf. figure 27) montre la présence de pics correspondant aux masses atomiques de différentes molécules (111, 127, 153, 170 et 195 unités de masse atomique). La CHX s'hydrolyse lentement en solution aqueuse pour

former un composé nommé para-chloroaniline (PCA) de masse atomique 127. Les autres pics correspondraient alors à la fragmentation de la molécule de CHX (Basrani *et al.*, 2007) :

- 153 uma :  $\text{Cl}(\text{C}_6\text{H}_4)\text{CH}_2\text{N}_2$
- 170 uma :  $\text{Cl}(\text{C}_6\text{H}_4)\text{CH}_5\text{N}_3$
- 195 uma :  $\text{Cl}(\text{C}_6\text{H}_4)\text{C}_2\text{H}_4\text{N}_4$
- 127 uma : para-chloroaniline :  $\text{C}_6\text{H}_6\text{ClN}$

Cliniquement, outre le changement de couleur qui peut induire une coloration dentaire, la formation d'un précipité, quant à elle, peut interférer avec la qualité de scellement de l'obturation en obstruant les tubulis dentinaires (Vivacqua-Gomes *et al.*, 2002).

### 5.3.1. Cytotoxicité - Allergie

Dans une étude, Tatnall *et al.* ont montré que les fibroblastes et les kératinocytes en contact avec la chlorhexidine, aux concentrations recommandées en endodontie, sont tués dans 100% des cas (Tatnall *et al.*, 1990).

Malgré cela, la chlorhexidine est considérée comme l'agent antiseptique le moins toxique. Et dans l'ensemble, aux concentrations recommandées, la biocompatibilité de la chlorhexidine est acceptable (Mohammadi et Abbott, 2009).

L'hypersensibilité à la chlorhexidine est extrêmement rare, cependant certains symptômes sont répertoriés : desquamation gingivale, coloration des dents, de la langue et l'apparition de dysgueusie (altération du goût) (Krautheim *et al.*, 2004).

### 5.4. Place dans l'irrigation

La chlorhexidine a été proposée comme irrigant canalair en endodontie pour sa moindre toxicité par rapport à l'hypochlorite de sodium. Sa rémanence et son action supérieure notamment sur *C. albicans*, qui est fréquemment retrouvé dans certains échecs endodontiques, en ont fait une alternative intéressante face à l'hypochlorite de sodium.

Cependant, son interaction avec l'hypochlorite de sodium décrite précédemment l'empêche d'être utilisée sans précautions particulières. Afin d'éviter tout contact entre les deux solutions, il est impératif de sécher les canaux radiculaires avant l'utilisation de ces

produits. La chlorhexidine peut donc être utilisée comme irrigant surtout en irrigation terminale dans les cas d'échec du traitement initial.

De plus, sa commercialisation sous forme de gel, permet de l'utiliser comme médication intracanalair où une réelle efficacité a été montrée.

## 6. Peroxyde d'hydrogène (Eau oxygénée - H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)

Le peroxyde d'hydrogène (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) est très largement utilisé pour la désinfection, la stérilisation et l'antisepsie (McDonnell et Russell, 1999).

### 6.1. Généralités

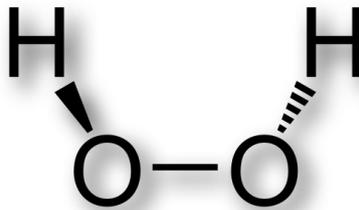


Figure 29 : molécule de peroxyde d'hydrogène

Bien que les solutions pures soient relativement stables, le peroxyde d'hydrogène est commercialisé à des concentrations allant de 1 à 90% avec des stabilisateurs. Mais il est utilisé en dentisterie à des concentrations variant de 1 à 30%.

L'eau oxygénée se présente sous la forme d'un liquide incolore. Du point de vue environnemental, l'eau oxygénée ne pose pas de problème, puisqu'elle est dégradée dans l'eau et l'oxygène qui sont deux produits inoffensifs.

L'eau oxygénée est un composé oxydant en produisant des radicaux libres (•OH), qui ont la possibilité d'attaquer des composants cellulaires essentiels comme les protéines, les lipides ou les chaînes d'ADN (McDonnell et Russell, 1999).

### 6.2. Avantages

#### 6.2.1. Réaction avec NaClO

L'action effervescente qui résulte du mélange des deux solutions peut être résumée par l'équation suivante, O<sub>2</sub> étant le gaz responsable de cette effervescence (Shiozawa, 2000) :



L'action effervescente qui résulte de l'association entre l'hypochlorite de sodium et le peroxyde d'hydrogène peut par effet de chasse faciliter l'élimination de débris créés pendant la phase de mise en forme canalaire (Svec et Harrison, 1977).

### **6.2.2. Action blanchissante**

Le peroxyde d'hydrogène est utilisé depuis longtemps comme agent blanchissant notamment en dentisterie pour éclaircir les dents (Walton et Torabinejad, 1989). Il est donc légitime de penser que l'utilisation d'eau oxygénée comme irrigant endodontique aura le même effet.

Cette action blanchissante sur l'organe dentaire est due à sa diffusion à travers les tubulis dentinaires. Les tubulis dentinaires n'étant pas restreints à la partie coronaire, cette action blanchissante peut être intéressante lorsque les dents à traiter endodontiquement présentent déjà certaines dyschromies ou pour prévenir l'apparition de ces changements.

## **6.3. Inconvénients**

### **6.3.1. Activité antibactérienne**

Le peroxyde d'hydrogène possède un spectre d'efficacité contre les virus, certaines bactéries, les levures et les spores. Il est plus efficace contre les bactéries Gram positives que les Gram négatives.

Cependant, dans une étude comparant la combinaison de plusieurs irrigants canalaire, Siqueira *et al.* n'ont pas montré de différence significative entre l'efficacité de l'association  $\text{NaClO-H}_2\text{O}_2$  et l'hypochlorite de sodium seul contre *E. faecalis* (Siqueira *et al.*, 1997). Une autre étude a conclu que la chlorhexidine avait un effet anti-bactérien supérieur à l'eau oxygénée (Heling et Chandler, 1998).

Toutes les études menées sur l'utilisation du peroxyde d'hydrogène comme irrigant canalaire, n'ont pas montré de réel intérêt car son spectre anti-bactérien est restreint et n'est complémentaire d'aucun autre irrigant.

### **6.3.2. Irritant pour les tissus péri-dentaires**

Le peroxyde d'hydrogène étant utilisé pour l'éclaircissement dentaire, beaucoup d'études ont été menées sur sa toxicité (Kinomoto *et al.*, 2001 ; Chng *et al.*, 2002). En effet plusieurs études montrent que le peroxyde d'hydrogène peut créer des inflammations

ligamentaires et même des résorptions externes (Harrington et Natkin, 1979 ; Cvek et Lindvall, 1985).

Le peroxyde d'hydrogène diffuse par les tubulis dentinaires, sa persistance intra-tubulaire est à l'origine de ces manifestations cliniques. C'est pourquoi son utilisation comme irrigant canalaire doit être combiné à un rinçage important pour éviter toute irritation des tissus, notamment le péri-apex.

#### **6.4. Place dans l'irrigation**

Bien que le peroxyde d'hydrogène ait été longtemps utilisé comme irrigant endodontique, la littérature actuelle disponible ne soutient plus son utilisation, au vu de ses caractéristiques insuffisantes par opposition à d'autres solutions d'irrigation (Moller, 1966).

### **7. MTAD**

MTAD, pour *Mixture of Tetracycline isomer, Acid, and Detergent* est un produit récemment mis sur le marché par Biopure®, Tulsa Dentsply®, Tulsa OK, USA. Cet irrigant a été proposé pour la première fois en 2003 par Torabinejad comme produit de recherche pour une meilleure irrigation canalaire (Torabinejad *et al.*, 2003b). Bien que les irrigants possèdent de nombreux avantages, ils ont également tous des inconvénients, et afin de maximiser leurs effets, l'utilisation de plusieurs irrigants est indispensable (Haapasalo *et al.*, 2005a). Pourquoi ne pas réunir l'action de ces solutions en un seul irrigant?

#### **7.1. Principe**

Le MTAD combine des tétracyclines (doxycycline), un agent déminéralisant (acide citrique) et un détergent (polysorbate 80), cette combinaison a pour objectif de désinfecter les surfaces dentinaires, supprimer la smear-layer, ouvrir les tubulis dentinaires et permettre aux agents bactéricides de pénétrer l'ensemble du système canalaire (Torabinejad *et al.*, 2003b).

La mise au point de cet irrigant s'est faite en plusieurs étapes. Dans un premier temps, les auteurs se sont concentrés sur la doxycycline et son action bactéricide qui semblait plus appropriée que celle des autres antibiotiques au vu de la composition de la flore bactérienne responsable des pathologies pulpaires.

Ensuite pour que cet antibiotique puisse pénétrer la dentine infectée, il a fallu ajouter un agent déminéralisant pour supprimer la smear-layer qui recouvre les parois dentinaires.

Plusieurs agents chimiques ont été proposés pour éliminer la smear-layer (Torabinejad *et al.*, 2002), ils ont donc été testés en association avec la doxycycline. Il s'avère qu'un mélange de 5 mL d'acide citrique combiné à la doxycycline est le plus efficace pour éliminer la smear-layer (Torabinejad *et al.*, 2003b).

Enfin, une fois le mélange identifié (5 mL d'acide citrique/doxycycline), afin d'améliorer la pénétration de la doxycycline dans les parois dentinaires, des abaisseurs de tensions superficielle ont été ajoutés. La «mixture» la plus efficace est donc une combinaison de doxycycline, d'acide citrique et de polysorbate 80 (Torabinejad *et al.*, 2003b).

## **7.2. Avantages**

### **7.2.1. Elimination de la smear-layer**

Les tétracyclines contenues dans le MTAD ont une propriété intéressante et particulière, c'est d'avoir un pH relativement bas, ce qui peut induire une action chélatante sur le calcium et ainsi déminéraliser les surfaces amélares et dentinaires.

Dans une étude comparant l'efficacité du MTAD par rapport à des solutions d'EDTA à différentes concentrations, il ressort que le MTAD en irrigation finale combiné à l'hypochlorite de sodium est plus efficace que l'EDTA pour éliminer la smear-layer notamment au niveau du tiers apical (Torabinejad *et al.*, 2003b). Une étude a montré également que le MTAD était moins érosif que l'EDTA sur la structure dentinaire

### **7.2.2. Activité antibactérienne**

D'autres solutions antibiotiques ont été proposées par le passé pour désinfecter le système endodontique comme les pénicillines, bacitracines, streptomycines, mais elles se sont révélées inefficaces contre la flore bactérienne endodontique.

Différentes concentrations de NaClO, d'EDTA et de MTAD ont été testées sur *E. faecalis*. Les résultats montrent que le MTAD est plus efficace que les autres solutions sur ce germe qui a été identifié sur des dents présentant un échec endodontique (Torabinejad *et al.*, 2003a). La combinaison de NaClO concentré à 1,3% avec le MTAD comme irrigation finale est plus efficace pour la suppression de *E. faecalis* (Shabahang et Torabinejad, 2003).

### 7.2.3. Rémanence de son activité antibactérienne

Comme la chlorhexidine, les tétracyclines possèdent une activité antibactérienne rémanente. La solution pénètre la dentine et le ciment qui libère progressivement leur contenu dans le temps (Baker *et al.*, 1983 ; Wikesjo *et al.*, 1986).

## 7.3. Inconvénients

### 7.3.1. Utilisation indispensable de NaClO

Dans une étude de 2003, les auteurs ont testé l'efficacité du MTAD avec différentes concentrations d'hypochlorite de sodium. Les résultats montrent qu'une irrigation préalable à l'hypochlorite de sodium permettait d'obtenir de meilleurs résultats sur l'élimination de la smear-layer et sur son action antibactérienne que le MTAD seul (Torabinejad *et al.*, 2003a).

L'objectif premier de cette solution était d'offrir une alternative réelle à l'utilisation du NaClO, or, il s'avère indispensable de combiner son utilisation à celle du NaClO.

### 7.3.2. Coût - Disponibilité

En plus de son coût élevé, comparé notamment à l'hypochlorite de sodium qui est très bon marché, le MTAD n'est pas disponible en France pour l'instant.

## 7.4. Place dans l'irrigation

L'objectif primaire de l'apparition de cette solution était d'être une alternative réelle face à l'hypochlorite de sodium, mais il s'est avéré que l'utilisation de NaClO combinée à une irrigation terminale au MTAD était plus efficace qu'une simple irrigation au MTAD (Torabinejad *et al.*, 2003a). Par conséquent, une irrigation terminale au MTAD est recommandée après l'utilisation de NaClO à 1,3% (Torabinejad *et al.*, 2003a ; Torabinejad *et al.*, 2003c)

## 8. Dichloroisocyanurate de sodium (DCCNa)

Le dichloroisocyanurate de sodium est un agent libérant du chlore, utilisé généralement pour la désinfection des surfaces contaminées et des solutions. Il a été commercialisé pour la première fois en 1971 sous le nom de Kirbychlor® (Kirby-Warrick Pharmaceutical Ltd.)

## 8.1. Propriétés

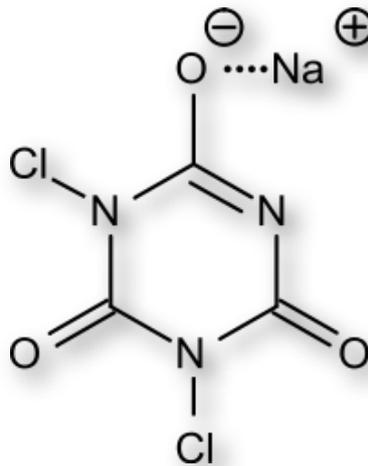


Figure 30 : molécule de dichloroisocyanurate de sodium

La plupart des études s'intéressant au dichloroisocyanurate de sodium le compare à l'hypochlorite de sodium pour deux raisons : d'une part parce que le NaClO reste la référence comme solution antiseptique et d'autre part par leur similitude de mécanisme d'action, en effet ce sont toutes deux des solutions libérant du chlore (CRA : Chlorine-Releasing Agent) (McDonnell et Russell, 1999).

## 8.2. Avantages

### 8.2.1. Action antibactérienne

L'activité bactéricide du dichloroisocyanurate de sodium a été étudiée par de nombreuses études (Bloomfield et Uso, 1985 ; Coates, 1985 ; Heling *et al.*, 2001). Ainsi, Coates rapporte que les solutions de DCCNa contenant 4000 ppm de chlore disponible montrent un effet bactéricide équivalent aux solutions de NaClO en contenant 17000 (Coates, 1985). Dans une autre étude plus récente, l'effet bactéricide du DCCNa a été comparé à celui du NaClO sur certains micro-organismes (*S. sobrinus*, *E. faecalis*, *S. salivarius* et *S. mutans*). Les résultats montrent que les valeurs des concentrations inhibitrices et bactéricides sont sensiblement identiques pour les deux solutions, ce qui semble valider l'utilisation du DCCNa comme alternative au NaClO (Heling *et al.*, 2001).

## 8.3. Inconvénients

### 8.3.1. Action solvante sur les tissus

L'un des objectifs d'un irrigant en endodontie est sa capacité à dissoudre les tissus vivants formant le complexe pulpaire. Dans une étude de 2004, les auteurs rapportent une action solvante significativement plus importante qu'une solution de chlorure de sodium, mais

que 90% de la masse du tissu de départ est toujours présente (Naenni *et al.*, 2004). Cette étude place le DCCNa au même rang que la CHX sur son action solvante.

Cette faible action solvante est surprenante, en effet on pensait que l'action solvante des solutions chlorées était en relation direct avec la quantité de chlore «disponible» (OCI-/HClO) (Zehnder *et al.*, 2002). Théoriquement, le DCCNa devrait contenir plus de chlore disponible que le NaClO, mais l'hypochlorite est lié à l'isocyanate permettant de stabiliser la solution à pH neutre. Pour une même concentration en chlore «disponible», le DCCNa est moins solvant que le NaClO (Naenni *et al.*, 2004).

### 8.3.2. Stabilité de la solution

Le DCCNa est principalement commercialisé sous forme de comprimés à diluer, ce qui rend son utilisation simple et permet un stockage des plus aisés. Dans une étude menée par Coates, il utilise des comprimés de DCCNa ayant été stockés pendant 9 mois et ne remarque pas de différence dans la concentration en chlore disponible par rapport à des solutions préparées avec des comprimés récents. Cependant, même si son stockage semble intéressant, une fois dilué, le DCCNa apparait moins stable que le NaClO (Coates, 1985).

Cette instabilité de la solution nécessite une utilisation immédiate de la solution préparée. Il n'est donc pas possible de stocker une solution de DCCNa prête à l'emploi ce qui rend son utilisation plus contraignante que celle de l'hypochlorite de sodium.

### 8.4. Place dans l'irrigation

Le dichloroisocyanurate de sodium apparait comme une alternative intéressante face à l'hypochlorite de sodium. Son activité bactéricide est presque équivalente au NaClO, voire même supérieure sur certains germes comme *E. faecalis*, qui a été identifié comme micro-organisme responsable de certains échecs en endodontie (Heling *et al.*, 2001).

Cependant, son incapacité à dissoudre les tissus organiques est un inconvénient majeur. À ce jour, seul l'hypochlorite de sodium conserve cette activité incontournable pour l'irrigation en endodontie.

**PARTIE III**  
**OPTIMISATION DES AGENTS D'IRRIGATION**

## 1. Introduction

Nous avons vu dans le chapitre précédent les différents agents d'irrigation que nous avons à notre disposition pour permettre le nettoyage du système endodontique. Outre leurs caractéristiques physico-chimiques, leurs avantages et leurs inconvénients, il est possible de potentialiser l'action de ces substances par différents moyens que nous allons essayer de synthétiser dans ce chapitre.

## 2. Quantité

Il a été établi que ce n'est pas tant la quantité d'irrigant délivrée en elle-même qui est importante, mais son renouvellement même si ces paramètres sont intimement liés. En effet, dans une étude relativement récente, les auteurs ont testé l'action bactéricide de différents irrigants en présence de débris dentinaires (pour simuler en laboratoire la mise en forme canalaire). Il s'est avéré que les débris dentinaires ont une action inhibitrice sur l'action bactéricide du NaClO et de la CHX qui diminue fortement. L'amplitude de cette interaction est dépendante de la concentration des irrigants et le temps de contact (Haapasalo *et al.*, 2000).

Pendant toute la phase de mise en forme canalaire, les instruments créent de nombreux débris qu'il faut éliminer pour assurer un bon nettoyage du système endodontique. Le renouvellement permanent de l'irrigant entre les passages instrumentaux permet d'éliminer d'une part les débris créés mais aussi une action optimale des solutions utilisées.

Il n'y a pas de consensus réel sur la quantité d'irrigant à utiliser, en revanche tout le monde s'accorde sur le fait de renouveler très fréquemment les solutions afin d'optimiser leur action et de les utiliser du début à la fin du traitement (European Society of Endodontology, 2006 ; HAS, 2008).

Parallèlement, le temps d'action des irrigants est un facteur important à prendre en considération. Heling rapporte qu'il est impératif que la durée d'action de l'hypochlorite de sodium ne doit pas être inférieure à 10 minutes pour éliminer efficacement les micro-organismes, y compris les plus résistants (Heling *et al.*, 2001).

### 3. Influence de la préparation canalaire

La pénétration d'un irrigant dans un canal instrumenté est directement fonction du diamètre de l'aiguille utilisée et de la taille de la préparation canalaire. Le but de l'instrumentation et de l'irrigation est de (Haapasalo *et al.*, 2005a) :

- Supprimer les débris tissulaires et les tissus infectés.
- Faciliter l'irrigation canalaire.
- Créer un espace suffisant pour pouvoir obturer les canaux radiculaires, où le cas échéant, mettre en place une médication intra-canalaire.

Bien que l'objectif technique de l'instrumentation soit bien défini, il n'est pas possible de déterminer une recommandation sur la taille de la préparation apicale, cependant quelques éléments sont indispensables à respecter (Quality guidelines for endodontic treatment, 2006) :(2006)

- Conserver la constriction apicale : celle-ci permet d'éviter au maximum le passage accidentel d'irrigants au travers du foramen et d'assurer un bon maintien lors de l'obturation.
- Une conicité importante au niveau apical est essentielle afin de permettre une irrigation efficace jusqu'à l'apex.

Le deuxième point mérite quelques explications supplémentaires, en effet les aiguilles utilisées en endodontie pour délivrer les irrigants sont d'assez gros diamètre. Plusieurs travaux ont montré qu'une solution d'irrigation ne peut pas descendre au delà d'un ou deux millimètres de l'extrémité de l'aiguille de la seringue d'irrigation (Chow, 1983). Il serait donc tentant d'augmenter le diamètre de la préparation pour permettre le passage de l'aiguille d'irrigation jusqu'à la longueur de travail, mais la conservation de la constriction apicale serait alors remise en question. La seule possibilité d'allier les deux paramètres est de conserver un petit diamètre apical mais avec une conicité importante dans les trois derniers millimètres. Cette technique permet de délivrer l'irrigant jusqu'à la zone apicale sans bloquer l'aiguille (Schilder, 1974).

Cette augmentation de la conicité apicale en respectant le foramen apical avec un diamètre le plus petit possible est discutée par l'école scandinave principalement. En

revanche d'autres études montrent que si une conicité minimale de 5 à 6% est donnée à la préparation, il n'est pas nécessaire d'augmenter le diamètre apical pour assurer un bon nettoyage du système endodontique ; l'essentiel étant de pouvoir amener l'aiguille de la seringue d'irrigation à 2 millimètres de la longueur de travail (Coldero *et al.*, 2002).

Par conséquent, le choix de l'aiguille de la seringue d'irrigation est primordial pour assurer un bon nettoyage :

- Elle doit être assez longue pour pouvoir être amenée au plus proche de la longueur de travail.
- Elle doit avoir un diamètre de 30 à 40/100 de millimètre pour que son extrémité puisse atteindre la zone apicale
- Pour éviter une propulsion d'irrigant dans le périapex, des aiguilles à fenêtre d'éjection latérales sont recommandées. De plus cette caractéristique augmente la distribution d'irrigant autour de l'aiguille et permet un meilleur renouvellement de la solution (*cf.* figure 30).

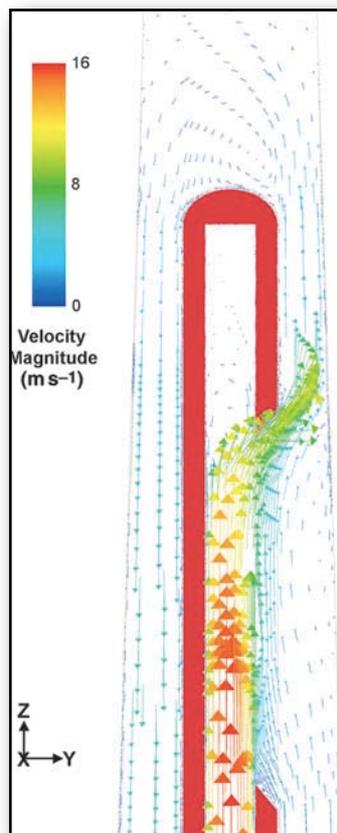


Figure 31 : schématisation du flux hydraulique généré par les aiguilles à fenêtre d'éjection latérale (Boutsioukis *et al.*, 2009)

## 4. Agitation

La suppression des résidus pulpaire, des débris dentinaires, des micro-organismes et des toxines bactériennes du système endo-canalair est essentielle pour obtenir un succès du traitement endodontique (Siqueira, 2001 ; Siqueira et Rocas, 2008). C'est un idéal à atteindre mais il est quasiment impossible de préparer et de nettoyer l'ensemble du réseau canalair essentiellement du fait de la complexité anatomique du système endodontique.

Des efforts ont été menés, depuis le début de l'endodontie, que ce soit dans le développement des irrigants, ou dans les systèmes d'agitation de ces irrigants. Ces systèmes peuvent être divisés en deux catégories : les techniques d'agitation manuelle et les dispositifs d'agitation automatisés (Gu *et al.*, 2009).

### 4.1. Techniques d'agitation manuelle

#### 4.1.1. Agitation manuelle de la seringue d'irrigation

L'irrigation dite "conventionnelle" avec une seringue a été préconisée comme méthode efficace avant l'introduction de l'activation ultrasonique (van der Sluis *et al.*, 2006). Cette technique est encore largement acceptée par beaucoup d'endodontistes.

Cette technique consiste à délivrer les irrigants au travers d'aiguilles d'irrigations (ou canules) de diamètres variables, passivement ou en agitation en déplaçant l'aiguille de bas en haut dans la lumière canalair. Certaines aiguilles sont ouvertes apicalement tandis que d'autres délivrent l'irrigant par des fenêtres d'éjection latérales (Kahn *et al.*, 1995).

Les aiguilles à ouvertures latérales ont été proposées afin d'améliorer l'activation hydrodynamique des irrigants et d'éviter les extrusions péri-apicales des solutions d'irrigation. Il est crucial que l'aiguille (ou canule) reste libre dans le canal radiculaire pendant l'irrigation. Cela permet à l'irrigant de remonter plus de débris coronairement tout en évitant une extrusion potentielle.

L'un des avantages de cette technique est de permettre un meilleur contrôle de la longueur de pénétration de l'aiguille dans le canal radiculaire et le volume d'irrigant ainsi utilisé (van der Sluis *et al.*, 2006).

Néanmoins, l'action mécanique créée par l'irrigation conventionnelle est relativement limitée. Après celle-ci, les extensions canalaires inaccessibles et les irrégularités rencontrées sont susceptibles d'héberger des débris et des bactéries persistants, rendant le débridement canalaire complet difficile (Wu *et al.*, 2006).

Une étude a montré que lorsque cette technique était utilisée, la solution d'irrigation n'était délivrée qu'un mm au-delà de l'extrémité de l'aiguille (Ram, 1977). Une conséquence directe, est que la proximité entre l'apex et l'extrémité de l'aiguille est un facteur important dans l'efficacité de cette technique (Chow, 1983). Une irrigation lente, en combinaison avec un mouvement continu dans l'agitation permet de minimaliser les accidents dus à l'extrusion des solutions dans le péri-apex.

Avec une utilisation contrôlée, les bénéfices de cette irrigation seraient supérieurs aux risques (Abou-Rass et Piccinino, 1982). Cependant, il est difficile de standardiser et de contrôler le débit de solution pendant ce type d'agitation (Boutsioukis *et al.*, 2007).

#### **4.1.2. Utilisation de brosses**

Dans les années 90, l'utilisation d'une brosse spécifiquement dessinée pour l'endodontie a été mentionnée. Cette "brosse" permettait un nettoyage plus complet en fin d'instrumentation en délogeant une partie des débris qui étaient inaccessibles avec les instruments (Keir *et al.*, 1990).

Dans cette étude, les résultats indiquaient un meilleur nettoyage des canaux radiculaires avec ce système, mais que cet instrument ne pouvait pas être utilisé sur toute la longueur de travail en raison de sa taille et du fait qu'il avait tendance à pousser les débris vers le tiers apical (Keir *et al.*, 1990).

Récemment, des systèmes d'irrigation ont repris ce concept en l'intégrant directement sur les aiguilles des seringues d'irrigation. Une étude a néanmoins montré que ce système n'était pas significativement plus efficace dans les deux premiers tiers radiculaires. Les résultats obtenus auraient pu être meilleurs si l'irrigation était combinée à une agitation manuelle de l'aiguille afin de potentialiser l'action des irrigants (Al-Hadlaq *et al.*, 2006).

De plus, la friction créée entre la brosse et les parois dentinaires qui pourrait avoir comme conséquence le délogement de certains débris, n'a pas été facilement identifié par les

cliniciens ayant testé ce système même sous microscope opératoire (Al-Hadlaq *et al.*, 2006).

#### **4.1.3. Agitation manuelle d'un cône de Gutta-Percha**

Un irrigant doit être en contact direct avec les parois canalaire pour être efficace, mais il est souvent difficile qu'il atteigne la portion apicale du canal. Des recherches ont montré que le déplacement d'un maître-cône de gutta-percha avec des mouvements de va-et-vient sur 2 ou 3mm produit un effet hydrodynamique efficace et peut améliorer significativement le déplacement et l'échange d'un réactif (Machtou, 1980).

Cette technique a été récemment confirmée par plusieurs études (Huang *et al.*, 2008 ; McGill *et al.*, 2008). Ces études ont démontré que l'irrigation dynamique manuelle (avec un cône de gutta-percha) était plus efficace que d'autres systèmes d'irrigation dynamique automatisés et que l'irrigation statique. Plusieurs facteurs sont avancés pour expliquer ces résultats :

- Le va-et-vient du cône de gutta-percha peut générer des changements de pression intra-canalair, permettant une meilleure distribution de l'irrigant.
- Une fréquence de va-et-vient plus élevée peut engendrer des turbulences plus importantes et donc un meilleur renouvellement de l'irrigant.
- Le mouvement de va-et-vient agit physiquement sur l'irrigant en mélangeant de façon optimale la fraction n'ayant pas encore réagi de l'irrigant avec celle qui n'est plus efficace une fois réagit.

Bien que cette irrigation dynamique manuelle soit préconisée en raison de sa simplicité et de son faible coût, sa mise en oeuvre manuelle est décrite comme contraignante par certains auteurs. Par conséquent de nombreux dispositifs mécanisés sont proposés par les fabricants (Gu *et al.*, 2009).

## **4.2. Techniques d'agitation automatisées**

### **4.2.1. Agitation sonore**

C'est en 1985, que les premiers auteurs ont rapporté l'utilisation d'un instrument sonore en endodontie (Tronstad *et al.*, 1985). L'irrigation sonore est différente de l'irrigation ultrasonore du fait des fréquences inférieures utilisées (1 à 6kHz).

L'activation sonore est une méthode efficace pour désinfecter le système canalaire et agit particulièrement sur les biofilms (Pitt, 2005). Certaines études ont montré que l'activation ultrasonique était plus efficace que l'activation sonore pour supprimer les débris dentinaires (Stamos *et al.*, 1987 ; Sabins *et al.*, 2003), d'autres n'ont pas trouvé de différence significative entre les deux systèmes (Jensen *et al.*, 1999). Mais il serait raisonnable de penser que lorsque l'activation sonore est appliquée pendant un certain temps, il n'y aurait pas de différences entre ces deux techniques (Gu *et al.*, 2009).

Traditionnellement, l'irrigation sonore utilise un instrument endodontique sur lequel est fixée une pièce à main sonore. L'inconvénient principal de cette technique est que l'instrument peut endommager les parois canalaire pendant son agitation et donc la préparation canalaire préalable. C'est pourquoi, le système EndoActivator® (Dentsply) est apparu plus récemment en utilisant des embouts jetables en polymère afin de pallier ce problème. Une étude a montré qu'il était efficace sur le nettoyage des canaux latéraux, sur la suppression de la smear-layer et sur la suppression des biofilms. La vibration de cet embout, combinée à un mouvement de va-et-vient dans le sens vertical produit un effet hydrodynamique puissant (Caron, 2007).

En conclusion, une fréquence de 10000 cycles par minute permet d'optimiser le nettoyage et provoque la dislocation de la smear-layer et des biofilms (Gu *et al.*, 2009).

#### **4.2.2. Agitation ultrasonique**

L'utilisation des ultrasons en endodontie a été introduit en 1957 pour le nettoyage des canaux radiculaires et les resections apicales (Richman, 1957). En comparaison avec l'agitation sonore, l'agitation ultrasonique utilise de plus hautes fréquences mais avec des amplitudes plus basses. On distingue deux méthodes d'agitation ultrasonique décrites dans la littérature :

- L'irrigation ultrasonique (UI : Ultrasonic Irrigation) : c'est une combinaison d'instrumentation ultrasonique et d'irrigation simultanée.
- L'irrigation passive ultrasonique (PUI : Passive Ultrasonic Irrigation) qui fonctionne sans instrumentation simultanée.

#### **4.2.1.1. Irrigation ultrasonique**

Certaines études montrent que le nettoyage des dents préparées avec ce système est sensiblement meilleur qu'avec des techniques conventionnelles (Martin *et al.*, 1980 ; Cunningham et Martin, 1982 ; Cunningham *et al.*, 1982a ; Cunningham *et al.*, 1982b ; Martin et Cunningham, 1982 ; Goodman *et al.*, 1985 ; Lev *et al.*, 1987 ; Stamos *et al.*, 1987 ; Haidet *et al.*, 1989 ; Archer *et al.*, 1992 ; Lee *et al.*, 2004a et b). D'autres, au contraire n'ont pas réussi à établir une différence significative entre ces deux techniques (Ahmad *et al.*, 1987a ; Ahmad *et al.*, 1987b ; Ahmad *et al.*, 1988 ; Pugh *et al.*, 1989 ; Walker et del Rio, 1989 et 1991).

Ces résultats contradictoires pourraient être attribués à l'efficacité toute relative des vibrations et des contraintes que subit l'instrument dans un canal pas suffisamment évasé (Ahmad *et al.*, 1987b). De plus, le contrôle du travail instrumental est difficile à apprécier, beaucoup de perforation latérales par stripping et d'irrégularités dans la préparation canalaire ont été retrouvées (Walmsley *et al.*, 1991 ; Lumley *et al.*, 1992).

Par conséquent, l'irrigation ultrasonique, n'est pas considérée comme une alternative fiable aux techniques de préparation conventionnelle. Au contraire la littérature endodontique soutient qu'il est plus avantageux d'appliquer les ultrasons une fois la préparation terminée (Zehnder, 2006).

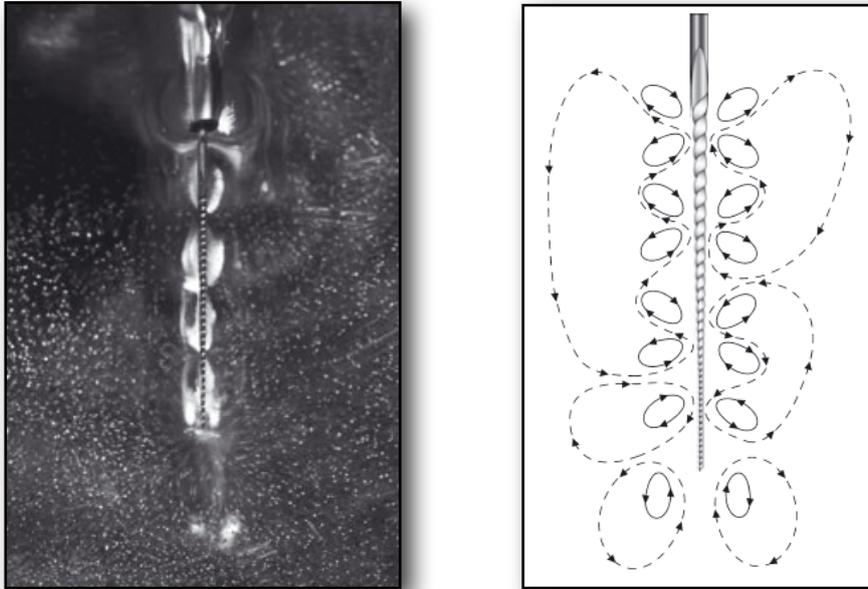
#### **4.2.1.2. Irrigation passive ultrasonique**

Le terme d'irrigation passive ultrasonique a été utilisé pour la première fois en 1980 (Weller *et al.*, 1980), mais il ne reflète pas exactement le procédé d'irrigation utilisé puisqu'il est bel et bien actif, mais lorsqu'il a été présenté, il faisait référence au fait que l'instrument n'agit pas de façon active sur les parois canalaire comme l'irrigation ultrasonique.

L'irrigation passive ultrasonique se fonde sur la transmission de l'énergie acoustique (ondes ultrasoniques) d'un instrument en oscillation à l'irrigant dans le canal radiculaire et peut ainsi induire un "flux" et des "cavitations acoustiques".

Le flux acoustique est un mouvement rapide d'un fluide autour d'un instrument en oscillation. Le flux qui se crée dans un canal radiculaire pendant l'irrigation ultrasonique a été décrit comme un micro-flux acoustique (Leighton, 1994).

La cavitation acoustique peut être définie par la création de nouvelles bulles par expansion, contraction et/ou distorsion de bulles préexistantes dans un liquide (Leighton, 1994).



*Figures 32 et 33 : flux acoustique autour d'un instrument dans un liquide (à gauche) et son tracé schématique (à droite) (van der Sluis et al., 2007)*

L'hypochlorite de sodium est l'irrigant permettant la dissolution des tissus pulpaire et son action anti-bactérienne est importante. Mais la solution devient vite inefficace et son renouvellement est donc primordial pour optimiser son action. Deux méthodes d'utilisation sont décrites pour l'irrigation passive ultrasonique (Gu et al., 2009):

- Une irrigation intermittente : l'utilisation d'une seringue d'irrigation est alors indispensable pour injecter l'irrigant. Il est ensuite activé avec l'utilisation d'un instrument ultrasonique. Le canal radiculaire est alors irrigué une nouvelle fois pour faire remonter les débris dissouts et délogés.
- Une irrigation continue : l'irrigant est alors délivré directement par la pièce à main ultrasonique. Cette technique permet de délivrer un irrigant directement vers la zone apicale et autorise un renouvellement constant de la solution d'irrigation.

Les auteurs admettent par un certain consensus que la PUI est efficace pour supprimer les résidus pulpaire, les débris dentinaires et la smear-layer (Goodman et al., 1985 ; Sabins et al., 2003 ; Lee et al., 2004a et b). En effet, les oscillations de l'instrument vont

forcer l'irrigant dans les zones non accessibles, comme les canaux latéraux, les delta apicaux ou toute autre irrégularité dans les canaux radiculaires (Lumley *et al.*, 1992 ; Lee *et al.*, 2004a).

De nombreuses investigations ont démontré que l'utilisation de la PUI après la mise en forme canalaire réduisait significativement le nombre de bactéries et était plus efficace que les techniques d'agitation manuelle. Ces résultats peuvent être expliqués par deux principaux facteurs : d'une part le flux acoustique peut déstructurer les biofilms rendant donc les bactéries plus sensibles aux irrigants, et d'autre part les cavitations acoustiques pourraient entraîner un affaiblissement temporaire des membranes cellulaires, rendant les bactéries plus perméables à l'hypochlorite de sodium (van der Sluis *et al.*, 2007 ; Gu *et al.*, 2009).

## **5. Chauffage**

L'augmentation de la température crée une agitation moléculaire. On comprend donc facilement que cette agitation peut permettre un renouvellement continu de la solution d'irrigation, un peu comme l'agitation mécanique.

Berutti préconise même d'utiliser des solutions réchauffées à 40°C environ, soit quasiment la température corporelle (Berutti *et al.*, 1997). Cependant peu d'études se sont penchées sur le sujet, et l'irrigation ultrasonique reste, semble-t-il, le moyen le plus efficace pour optimiser les agents d'irrigation qui crée elle-même une augmentation de la température par agitation moléculaire.

**PARTIE IV**  
**ÉLABORATION D'UNE SÉQUENCE IDÉALE**

## **1. Avant la mise en forme canalaire**

### **1.1. Problématique**

La cavité d'accès endodontique est un élément essentiel avant tout traitement radiculaire, elle conditionne tout le travail qui suivra. Dans les cas de nécroses pulpaires, de pulpites ou de retraitements endodontiques, le système canalaire est déjà pour une partie ou complètement infecté.

L'une des règles importantes en endodontie est l'asepsie : ce sont tous les moyens mis en oeuvre pour empêcher la contamination bactérienne. Il est donc préférable d'éliminer les micro-organismes présents dans la chambre pulpaire afin d'éviter de les propulser dans les canaux radiculaires où la désinfection est plus compliquée.

### **1.2. Moyens disponibles**

L'utilisation d'une solution antiseptique comme l'hypochlorite de sodium permet d'emblée de supprimer les résidus pulpaires de la chambre pulpaire et de baisser fortement la charge bactérienne à l'entrée des canaux radiculaires.

L'élimination des résidus et le nettoyage de la chambre pulpaire permet de mieux visualiser le plancher pulpaire guidant ainsi l'opérateur afin de trouver les entrées des canaux radiculaires.

De plus le temps d'action de l'hypochlorite de sodium est allongé, permettant une action optimisée de l'irrigant.

C'est pour toutes ces raisons que l'irrigation avec une solution d'hypochlorite de sodium, dès la cavité d'accès préparée, est essentielle au bon nettoyage du système canalaire.

## **2. Pendant la mise en forme canalaire**

### **2.1. Problématique**

L'objectif principal de l'irrigation étant de supprimer les microorganismes présents au sein du système canalaire, l'utilisation d'une solution antiseptique est essentielle.

La mise en forme canalaire, qu'elle soit manuelle ou mécanisée, produit une grande quantité de débris organiques et inorganiques. Ces débris sont responsables de la formation de smear-layer pendant la préparation canalaire et doivent être éliminés pour assurer un nettoyage optimal du réseau canalaire.

Afin de faciliter le travail des instruments endodontiques et réduire ainsi potentiellement le risque de fracture, l'utilisation d'une solution pour lubrifier ces instruments est nécessaire.

## **2.2. Moyens disponibles**

L'hypochlorite de sodium, grâce à son action anti-bactérienne importante semble être la solution d'irrigation de choix pendant la mise en forme canalaire. Son renouvellement régulier permet de diminuer la formation de smear-layer pendant la préparation canalaire, d'augmenter son temps de contact avec les bactéries et donc son efficacité, afin de potentialiser son action bactéricide.

Entre chaque passage instrumental, les canaux radiculaires doivent être copieusement irrigués avec de l'hypochlorite de sodium. Nous avons vu précédemment que l'utilisation de gels à base d'EDTA était discutée, d'une part à cause de son interaction avec l'hypochlorite de sodium qui entraîne une inefficacité de ce dernier et d'autre part du fait du pouvoir lubrifiant qu'on veut bien leur attribuer mais qui n'est prouvé par aucune étude scientifique. Cependant, si un gel d'EDTA est employé pendant cette étape, alors une irrigation importante avec de l'hypochlorite de sodium est indispensable afin d'éliminer toute trace d'EDTA résiduelle.

En revanche, l'utilisation d'hypochlorite de sodium pendant la mise en forme canalaire permet une meilleure action mécanique des instruments endodontiques (Yguel-Henry *et al.*, 1990), une diminution de l'effet de torsion des instruments NiTi (Peters *et al.*, 2005), comparée à des conditions d'utilisation sans irrigant. C'est pourquoi tout instrument introduit dans un canal doit se faire dans un environnement humide (Zehnder, 2006).

## **3. À la fin de la mise en forme canalaire**

### **3.1. Problématiques**

Une fois la mise en forme canalaire réalisée, bien que le renouvellement d'hypochlorite de sodium pendant la phase de préparation diminue fortement la formation de smear-layer et élimine une grande partie des débris, les parois canalaire en sont tout de même recouvertes.

Nous avons vu précédemment que la smear-layer pouvait contenir des microorganismes et qu'elle obturait les tubulis dentinaires eux-mêmes source potentielle de réservoir bactérien. Sa suppression est une importante étape pour faciliter la désinfection du système canalaire (Haapasalo *et al.*, 2005a).

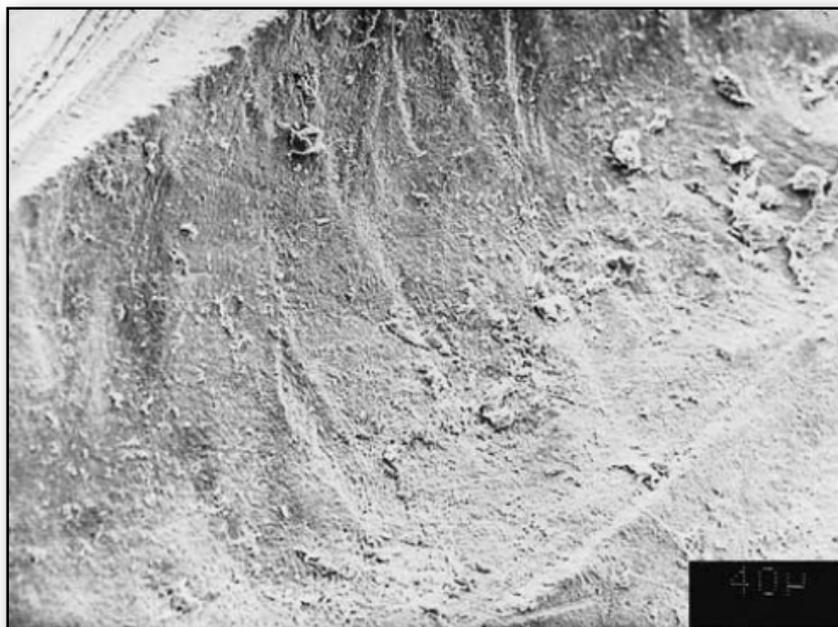


Figure 34 : après instrumentation, les parois canalaires sont recouvertes de débris et smear-layer, MEB x250 (Hulsmann *et al.*, 2003)

### 3.2. Moyens disponibles

La suppression de la smear-layer requiert l'utilisation d'irrigants qui peuvent dissoudre à la fois les éléments organiques et les éléments inorganiques qui la composent. Différents irrigants ont été recommandés pour supprimer la fraction inorganique de la smear-layer, comme les solutions à base d'EDTA concentrées à 17% environ et avec un pH neutre (Garberoglio et Becce, 1994 ; O'Connell *et al.*, 2000 ; Calt et Serper, 2002), mais aussi l'acide citrique à des concentrations variant de 5 à 50% (Garberoglio et Becce, 1994 ; Di Lenarda *et al.*, 2000 ; Haznedaroglu, 2003), ou encore l'acide phosphorique concentré à 5 ou 24% (Garberoglio et Becce, 1994 ; Perez-Heredia *et al.*, 2006).

Au vu des résultats des études, les solutions à base d'EDTA semblent idéales pour déstructurer et désorganiser la smear-layer et ainsi la rendre plus soluble, même si les autres solutions acides comme l'acide citrique permettent également de déminéraliser et d'élargir ainsi l'ouverture des tubulis dentinaires.

Cependant aucune recommandation n'existe pour définir le temps et le procédé utilisé pour cette irrigation (Hulsmann *et al.*, 2003). Il est généralement convenu que chaque canal doit être rincé pendant environ une minute avec 5 à 10mL d'une solution d'EDTA concentrée à 17% à un pH égal à 7 (Zehnder, 2006).

Il est important d'avertir qu'une irrigation prolongée avec des concentrations importantes d'EDTA peut induire des modifications dentinaires (Calt et Serper, 2002). La résistance mécanique et le module d'élasticité dentinaires sont affectés, car directement fonction de la teneur minérale de la dentine (Angker *et al.*, 2005).

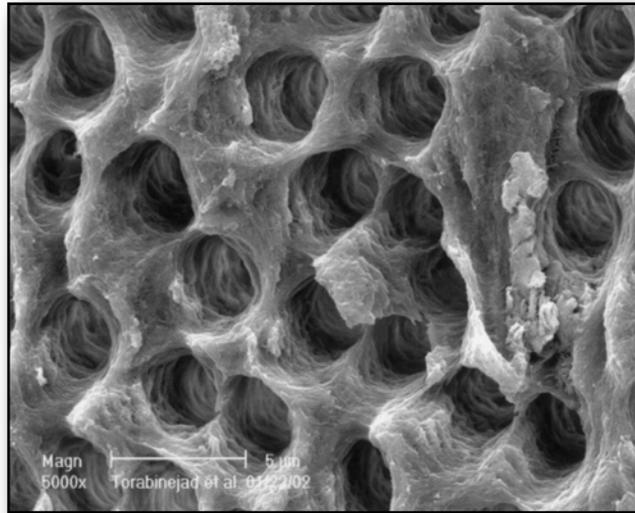


Figure 35 : altération de la structure dentinaire par irrigation prolongée à l'EDTA, MEB x5000 (Torabinejad *et al.*, 2003b)

## 4. Irrigation pré-obturation

### 4.1. Problématique

L'irrigation avec une solution d'EDTA, permet d'ouvrir les tubulis dentinaires et d'éliminer la smear-layer, mais l'EDTA n'étant pas une solution antiseptique, les bactéries ainsi exposées ne sont pas éliminées.

Il faut donc irriguer une dernière fois avec une solution antiseptique puissante pour éliminer le maximum de micro-organismes présents dans les anfractuosités du réseau canalaire ainsi exposées.

### 4.2. Moyens disponibles

Une fois, la smear-layer supprimée et les tubulis dentinaires élargis, une irrigation terminale avec une solution antiseptique apparait bénéfique (Yamada *et al.*, 1983). Cependant le choix de cet irrigant final dépend du traitement effectué auparavant.

En effet, si une séance intermédiaire a été réalisée, et que la mise en place d'un hydroxyde de calcium dans les canaux a été choisi, il semble approprié d'utiliser

l'hypochlorite de sodium comme irrigant final. Les propriétés chimiques de ces deux produits étant parfaitement complémentaires (Zehnder *et al.*, 2003).

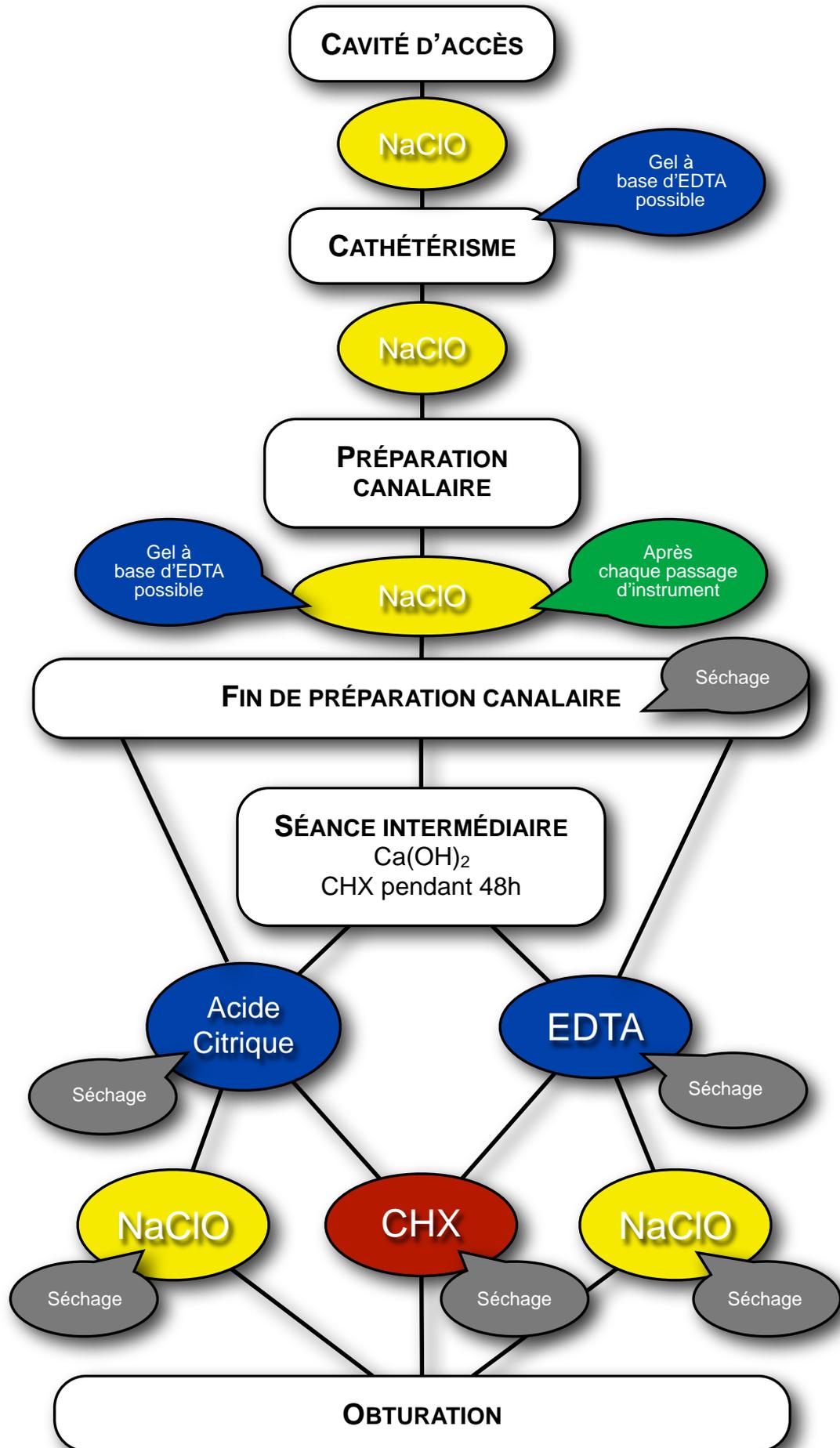
Dans le cas de pulpectomies, l'ouverture du réseau canalaire avec des solutions d'EDTA, peut révéler des résidus pulpaire qui n'étaient pas en contact avec les irrigants pendant la phase de mise en forme canalaire. C'est pourquoi il paraît évident d'utiliser une solution d'hypochlorite de sodium qui est la seule solution ayant une action solvante sur les tissus pulpaire.

Dans le cas où la dissolution des résidus pulpaire n'est pas un objectif de la séance endodontique, d'autres agents chimiques autres que l'hypochlorite de sodium peuvent être employés. La chlorhexidine semble être l'agent le plus prometteur comme irrigant final dans cette situation. En effet, la chlorhexidine possède une affinité particulière pour les tissus durs dentaires, et une fois liée à une surface, une prolongation de son activité antibactérienne appelée rémanence particulièrement efficace sur les bactéries Gram +. Une irrigation finale utilisant une solution de chlorhexidine semble avantageuse, particulièrement dans des cas de retraitements endodontiques, où des proportions élevées de bactéries Gram + sont retrouvées.

Toutefois, il est important de préciser que si de l'hypochlorite de sodium est présent dans le système canalaire, l'utilisation de CHX est à proscrire compte tenu de leur interaction importante : formation de précipité et coloration. Une alternative est d'utiliser des pointes papiers afin d'éliminer toute traces d'irrigants avant cette irrigation finale.

## **5. Schéma d'une irrigation idéale**

Il semble impossible de décrire une séquence d'irrigation idéale qui serait universelle, c'est pourquoi un schéma récapitulatif des différentes possibilités à disposition paraît plus judicieux.



## **CONCLUSION**

Nous avons vu que le traitement endodontique fait appel à de nombreuses notions qu'elles soient physiologiques, bactériologiques, chimiques et mécaniques et qu'on ne peut le limiter à quelques idées reçues. Bien que l'irrigation soit un des éléments clé du succès thérapeutique en endodontie, il serait utopique de vouloir l'isoler des autres étapes, à savoir la préparation canalaire et l'obturation tridimensionnelle du réseau endodontique. La préparation canalaire permet une action optimale des irrigants, tandis que l'obturation tridimensionnelle la pérennise.

Il faut admettre qu'à l'heure actuelle un nettoyage endodontique parfait est impossible à obtenir en raison de la complexité anatomique du système canalaire et des antécédents pathologiques pulpaire. L'action solvante et désinfectante des irrigants est en effet réduite dans les zones étroites (isthmes, anastomoses...). Tout le paradoxe du traitement endodontique est là, nous savons que la colonisation bactérienne est présente, mais nous sommes incapables de l'éliminer totalement.

À travers ce travail et d'après la littérature actuelle, nous pouvons affirmer qu'il n'existe, à ce jour, pas d'irrigant idéal. Même si l'hypochlorite de sodium paraît incontournable et fait l'unanimité depuis des décennies d'une part par son action solvante sur les tissus organiques et d'autre part par son action antibactérienne, il n'en demeure pas moins imparfait. L'élimination de la smear-layer est impératif et seul un agent chélatant (acide citrique ou EDTA) associé au NaClO peut aujourd'hui la supprimer de façon optimale.

La découverte récente des biofilms endodontiques apporte de nouvelles connaissances et remet en cause certains principes de la colonisation et de la persistance bactérienne au sein du système endo-canalaire. À défaut de trouver un irrigant idéal, certaines recherches s'orientent vers l'optimisation des agents d'irrigation afin de potentialiser leur action. C'est dans cette optique que le laser a été introduit en endodontie qui connaît un essor considérable outre-atlantique.

Le jour où l'irrigant idéal, couplé à une préparation et une obturation idéales sera découvert, la notion d'échec endodontique ne sera plus d'actualité. Cependant, à ce jour, ce n'est que pure fiction et nous ne pouvons pas nous passer de l'hypochlorite de sodium et des solutions chélatantes pour assurer un nettoyage optimal d'après les moyens à notre disposition.

## **LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX**

## Liste des tableaux

- **Tableau 1** : études ayant identifié les bactéries persistantes après les procédures de désinfection endo-canalaires. Extrait du Journal of Endodontics (Siqueira et Rocas, 2008)
- **Tableau 2** : classification des agents chimiques utilisés en endodontie d'après Gulabivala (Gulabivala *et al.*, 2005)

## Liste des figures

- **Figure 1** : structure anatomique du système canalaire (Vertucci, 2005)
- **Figure 2** : *structure générale de la région pulpaire dentinogénétique* (Piette et Goldberg, 2001)
- **Figure 3** : diagramme montrant la densité des tubulis dentinaires (partie gauche) et leur distribution (partie droite) (Mjor et Nordahl, 1996)
- **Figure 4** : configurations canalaires de Vertucci (Vertucci, 1984)
- **Figure 5** : configurations canalaires supplémentaires de Gulabivala et al. (Gulabivala *et al.*, 2005)
- **Figure 6** : exemples de variations canalaires anatomiques (Vertucci, 2005)
- **Figure 7** : loi de symétrie 1 (Krasner et Rankow, 2004)
- **Figure 8** : loi de symétrie 2 (Krasner et Rankow, 2004)
- **Figure 9** : loi de localisation 3 (Krasner et Rankow, 2004)
- **Figure 10** : schéma récapitulatif des lois de symétrie 1 et 2 et des lois de localisation 1, 2 et 3 (Krasner et Rankow, 2004)
- **Figure 11** : diagramme représentant les origines potentielles de l'invasion bactérienne du complexe dentino-pulpaire et ses conséquences (Love, 2004)
- **Figure 12** : présence de smear-layer sur les parois canalaires après instrumentation, MEB X5000 (Torabinejad *et al.*, 2002)
- **Figure 13** : mise en évidence de bactéries dans les tubulis dentinaires, MEB X5000 (Torabinejad *et al.*, 2002)
- **Figure 14** : après instrumentation canalaire : parois canalaires recouvertes de smear-layer. MEB X3000 (Hulsmann *et al.*, 2003)

- **Figure 15** : la smear-layer pénètre dans les tubulis dentinaires, MEB X8500 (Hulsmann *et al.*, 2003)
- **Figure 16** : étapes de formation d'un biofilm (Svensater et Bergenholtz, 2004)
- **Figure 17** : mise en évidence d'un biofilm bactérien en microscopie électronique (Dr. Olle Henningsson)
- **Figures 18 et 19** : ecchymose et œdème provoqués par extrusion accidentelle d'hypochlorite de sodium à travers le foramen apical (Hulsmann et Hahn, 2000)
- **Figure 20** : molécule d'EDTA (Ethylen Diamine TetraAcetate)
- **Figure 21** : formation d'un complexe de chélation entre l'EDTA et un cation
- **Figures 22 et 23** : apparence typique de la smear-layer à gauche, et surface après élimination de la smear-layer avec une solution d'EDTA à 17% à droite (Dotto *et al.*, 2007)
- **Figure 24** : déminéralisation des tubulis dentinaires après application d'une solution d'EDTA pendant 5 minutes, MEB x5000 (Torabinejad *et al.*, 2002)
- **Figure 25** : structure moléculaire de l'acide citrique
- **Figure 26** : structure moléculaire de la chlorhexidine
- **Figure 27** : tubes contenant des concentrations différentes de NaClO mélangée à de la CHX à 2% montrant la formation d'un précipité et un changement de couleur (Basrani *et al.*, 2007)
- **Figure 28** : spectre de masse du précipité (2% CHX et 3% NaClO) (Basrani *et al.*, 2007)
- **Figure 29** : molécule de peroxyde d'hydrogène
- **Figure 30** : molécule de dichloroisocyanurate de sodium
- **Figure 31** : schématisation du flux hydraulique généré par les aiguilles à fenêtre d'éjection latérale (Boutsioukis *et al.*, 2009)
- **Figures 32 et 33** : flux acoustique autour d'un instrument dans un liquide (Gauche) et son tracé schématique (Droite) (van der Sluis *et al.*, 2007)
- **Figure 34** : après instrumentation, les parois canalaires sont recouvertes de débris et smear-layer, MEB x250 (Hulsmann *et al.*, 2003)
- **Figure 35** : altération de la structure dentinaire par irrigation prolongée à l'EDTA, MEB x5000 (Torabinejad *et al.*, 2003b)

## **BIBLIOGRAPHIE**

1. Consensus report of the European Society of Endodontology on quality guidelines for endodontic treatment. *Int. Endod. J.*, 1994: **27**, 3, 115-24.
2. Quality guidelines for endodontic treatment: consensus report of the European Society of Endodontology. *Int. Endod. J.*, 2006: **39**, 12, 921-30.
3. Abbott P V and Yu C, A clinical classification of the status of the pulp and the root canal system. *Aust. Dent. J.*, 2007: **52**, 1 Suppl, S17-31.
4. Abou-Rass M and Piccinino M V, The effectiveness of four clinical irrigation methods on the removal of root canal debris. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.*, 1982: **54**, 3, 323-8.
5. Ahmad M, Pitt Ford T J and Crum L A, Ultrasonic debridement of root canals: acoustic streaming and its possible role. *J. Endod.*, 1987a: **13**, 10, 490-9.
6. Ahmad M, Pitt Ford T R and Crum L A, Ultrasonic debridement of root canals: an insight into the mechanisms involved. *J. Endod.*, 1987b: **13**, 3, 93-101.
7. Ahmad M, Pitt Ford T R, Crum L A and Walton A J, Ultrasonic debridement of root canals: acoustic cavitation and its relevance. *J. Endod.*, 1988: **14**, 10, 486-93.
8. Al-Hadlaq S M, Al-Turaiki S A, Al-Sulami U and Saad A Y, Efficacy of a new brush-covered irrigation needle in removing root canal debris: a scanning electron microscopic study. *J. Endod.*, 2006: **32**, 12, 1181-4.
9. Ando F, [Chemical preparation in endodontic therapy. 2. Various properties of EDTA, phenolsulfonic acid and citric acid]. *Aichi Gakuin Daigaku Shigakkai Shi.*, 1985: **23**, 2, 455-66.
10. Angker L, Swain M V and Kilpatrick N, Characterising the micro-mechanical behaviour of the carious dentine of primary teeth using nano-indentation. *J. Biomech.*, 2005: **38**, 7, 1535-42.
11. Archer R, Reader A, Nist R, Beck M and Meyers W J, An in vivo evaluation of the efficacy of ultrasound after step-back preparation in mandibular molars. *J. Endod.*, 1992: **18**, 11, 549-52.
12. Arias-Moliz M T, Espigares-Rodriguez E and Espigares-Garcia M, Bactericidal activity of phosphoric acid, citric acid, and EDTA solutions against *Enterococcus faecalis*. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.*, 2008: **106**, 2, e84-e9.
13. Athanassiadis B, Abbott P V and Walsh L J, The use of calcium hydroxide, antibiotics and biocides as antimicrobial medicaments in endodontics. *Aust. Dent. J.*, 2007: **52**, 1 Suppl, S64-82.
14. Baker P J, Evans R T, Coburn R A and Genco R J, Tetracycline and its derivatives strongly bind to and are released from the tooth surface in active form. *J. Periodontol.*, 1983: **54**, 10, 580-5.
15. Barrette W C, Jr., Hannum D M, Wheeler W D and Hurst J K, General mechanism for the bacterial toxicity of hypochlorous acid: abolition of ATP production. *Biochemistry*, 1989: **28**, 23, 9172-8.

16. Basrani B R, Manek S, Sodhi R N, Fillery E and Manzur A, Interaction between sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate. *J. Endod.*, 2007: **33**, 8, 966-9.
17. Baumgartner J C, Brown C M, Mader C L, Peters D D and Shulman J D, A scanning electron microscopic evaluation of root canal debridement using saline, sodium hypochlorite, and citric acid. *J. Endod.*, 1984: **10**, 11, 525-31.
18. Baumgartner J C and Cuenin P R, Efficacy of several concentrations of sodium hypochlorite for root canal irrigation. *J. Endod.*, 1992: **18**, 12, 605-12.
19. Baumgartner J C and Ibay A C, The chemical reactions of irrigants used for root canal debridement. *J. Endod.*, 1987: **13**, 2, 47-51.
20. Baumgartner J C and Mader C L, A scanning electron microscopic evaluation of four root canal irrigation regimens. *J. Endod.*, 1987: **13**, 4, 147-57.
21. Baumgartner J C, Siqueira J F, Jr., Xia T and Rocas I N, Geographical differences in bacteria detected in endodontic infections using polymerase chain reaction. *J. Endod.*, 2004: **30**, 3, 141-4.
22. Becker G L, Cohen S and Borer R, The sequelae of accidentally injecting sodium hypochlorite beyond the root apex. Report of a case. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.*, 1974: **38**, 4, 633-8.
23. Becking A G, Complications in the use of sodium hypochlorite during endodontic treatment. Report of three cases. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.*, 1991: **71**, 3, 346-8.
24. Berutti E, Marini R and Angeretti A, Penetration ability of different irrigants into dentinal tubules. *J. Endod.*, 1997: **23**, 12, 725-7.
25. Bloomfield S F and Uso E E, The antibacterial properties of sodium hypochlorite and sodium dichloroisocyanurate as hospital disinfectants. *J. Hosp. Infect.*, 1985: **6**, 1, 20-30.
26. Boutsoukias C, Lambrianidis T and Kastrinakis E, Irrigant flow within a prepared root canal using various flow rates: a Computational Fluid Dynamics study. *Int. Endod. J.*, 2009: **42**, 2, 144-55.
27. Boutsoukias C, Lambrianidis T, Kastrinakis E and Bekiaroglou P, Measurement of pressure and flow rates during irrigation of a root canal ex vivo with three endodontic needles. *Int. Endod. J.*, 2007: **40**, 7, 504-13.
28. Bowden G H and Hamilton I R, Survival of oral bacteria. *Crit. Rev. Oral Biol. Med.*, 1998: **9**, 1, 54-85.
29. Bystrom A and Sundqvist G, The antibacterial action of sodium hypochlorite and EDTA in 60 cases of endodontic therapy. *Int. Endod. J.*, 1985: **18**, 1, 35-40.
30. Bystrom A and Sundqvist G, Bacteriologic evaluation of the effect of 0.5 percent sodium hypochlorite in endodontic therapy. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.*, 1983: **55**, 3, 307-12.

31. Caliskan M K, Turkun M and Alper S, Allergy to sodium hypochlorite during root canal therapy: a case report. *Int. Endod. J.*, 1994: **27**, 3, 163-7.
32. Calt S and Serper A, Time-dependent effects of EDTA on dentin structures. *J. Endod.*, 2002: **28**, 1, 17-9.
33. Caron G, *Cleaning efficiency of the apical millimeters of curved canals using three different modalities of irrigant activation : an SEM study*. 2007, Paris VII University: Paris.
34. Cergneux M, Ciucchi B, Dietschi J M and Holz J, The influence of the smear layer on the sealing ability of canal obturation. *Int. Endod. J.*, 1987: **20**, 5, 228-32.
35. Chang Y C, Huang F M, Tai K W and Chou M Y, The effect of sodium hypochlorite and chlorhexidine on cultured human periodontal ligament cells. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.*, 2001: **92**, 4, 446-50.
36. Chavez de Paz L E, Redefining the persistent infection in root canals: possible role of biofilm communities. *J. Endod.*, 2007: **33**, 6, 652-62.
37. Chng H K, Palamara J E and Messer H H, Effect of hydrogen peroxide and sodium perborate on biomechanical properties of human dentin. *J. Endod.*, 2002: **28**, 2, 62-7.
38. Chow T W, Mechanical effectiveness of root canal irrigation. *J. Endod.*, 1983: **9**, 11, 475-9.
39. Clarkson R M and Moule A J, Sodium hypochlorite and its use as an endodontic irrigant. *Aust. Dent. J.*, 1998: **43**, 4, 250-6.
40. Clegg M S, Vertucci F J, Walker C, Belanger M and Britto L R, The effect of exposure to irrigant solutions on apical dentin biofilms in vitro. *J. Endod.*, 2006: **32**, 5, 434-7.
41. Coates D, A comparison of sodium hypochlorite and sodium dichloroisocyanurate products. *J. Hosp. Infect.*, 1985: **6**, 1, 31-40.
42. Coldero L G, McHugh S, MacKenzie D and Saunders W P, Reduction in intracanal bacteria during root canal preparation with and without apical enlargement. *Int. Endod. J.*, 2002: **35**, 5, 437-46.
43. Costerton J W et al., Bacterial biofilms in nature and disease. *Annu. Rev. Microbiol.*, 1987: **41**, 435-64.
44. Crane A B, *A practicable root canal technic*. Lea & Febiger ed. 1920.
45. Cunningham W T and Martin H, A scanning electron microscope evaluation of root canal debridement with the endosonic ultrasonic synergistic system. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.*, 1982: **53**, 5, 527-31.
46. Cunningham W T, Martin H and Forrest W R, Evaluation of root canal debridement by the endosonic ultrasonic synergistic system. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.*, 1982a: **53**, 4, 401-4.

47. Cunningham W T, Martin H, Pelleu G B, Jr. and Stoops D E, A comparison of antimicrobial effectiveness of endosonic and hand root canal therapy. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.*, 1982b: **54**, 2, 238-41.
48. Cvek M and Lindvall A M, External root resorption following bleaching of pulpless teeth with oxygen peroxide. *Endod. Dent. Traumatol.*, 1985: **1**, 2, 56-60.
49. Czonstkowsky M, Wilson E G and Holstein F A, The smear layer in endodontics. *Dent. Clin. North Am.*, 1990: **34**, 1, 13-25.
50. Di Lenarda R, Cadenaro M and Sbaizero O, Effectiveness of 1 mol L<sup>-1</sup> citric acid and 15% EDTA irrigation on smear layer removal. *Int. Endod. J.*, 2000: **33**, 1, 46-52.
51. Dotto S R, Travassos R M, de Oliveira E P, Machado M E and Martins J L, Evaluation of ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) solution and gel for smear layer removal. *Aust. Endod. J.*, 2007: **33**, 2, 62-5.
52. Drenkard E and Ausubel F M, Pseudomonas biofilm formation and antibiotic resistance are linked to phenotypic variation. *Nature*, 2002: **416**, 6882, 740-3.
53. Dunavant T R, Regan J D, Glickman G N, Solomon E S and Honeyman A L, Comparative evaluation of endodontic irrigants against *Enterococcus faecalis* biofilms. *J. Endod.*, 2006: **32**, 6, 527-31.
54. Economides N, Liolios E, Kolokuris I and Beltes P, Long-term evaluation of the influence of smear layer removal on the sealing ability of different sealers. *J. Endod.*, 1999: **25**, 2, 123-5.
55. Ehrich D G, Brian J D, Jr. and Walker W A, Sodium hypochlorite accident: inadvertent injection into the maxillary sinus. *J. Endod.*, 1993: **19**, 4, 180-2.
56. Endodontology E S o, Consensus report of the European Society of Endodontology on quality guidelines for endodontic treatment. *Int. Endod. J.*, 1994: **27**, 3, 115-24.
57. Ercan E, Dalli M and Dulgergil C T, In vitro assessment of the effectiveness of chlorhexidine gel and calcium hydroxide paste with chlorhexidine against *Enterococcus faecalis* and *Candida albicans*. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.*, 2006: **102**, 2, e27-31.
58. Esposito P T and Cunningham C J, A comparison of canal preparation with nickel-titanium and stainless steel instruments. *J. Endod.*, 1995: **21**, 4, 173-6.
59. Evans M D, Baumgartner J C, Khemaleelakul S U and Xia T, Efficacy of calcium hydroxide: chlorhexidine paste as an intracanal medication in bovine dentin. *J. Endod.*, 2003: **29**, 5, 338-9.
60. Ferguson D B, Marley J T and Hartwell G R, The effect of chlorhexidine gluconate as an endodontic irrigant on the apical seal: long-term results. *J. Endod.*, 2003: **29**, 2, 91-4.
61. Fogel H M and Pashley D H, Dentin permeability: effects of endodontic procedures on root slabs. *J. Endod.*, 1990: **16**, 9, 442-5.

62. Fouad A F et al., PCR-based identification of bacteria associated with endodontic infections. *J. Clin. Microbiol.*, 2002: **40**, 9, 3223-31.
63. Fromme H G, Guttzeit R and Riedel H, [Experimental studies on the question of mechanical and chemical root canal preparation and on the adhesiveness of root canal filling materials]. *Dtsch. Zahnarztl. Z.*, 1970: **25**, 9, 865-76.
64. Garberoglio R and Becce C, Smear layer removal by root canal irrigants. A comparative scanning electron microscopic study. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.*, 1994: **78**, 3, 359-67.
65. Garberoglio R and Brannstrom M, Scanning electron microscopic investigation of human dentinal tubules. *Arch. Oral Biol.*, 1976: **21**, 6, 355-62.
66. Gatot A, Arbelle J, Leiberman A and Yanai-Inbar I, Effects of sodium hypochlorite on soft tissues after its inadvertent injection beyond the root apex. *J. Endod.*, 1991: **17**, 11, 573-4.
67. Gettleman B H, Messer H H and ElDeeb M E, Adhesion of sealer cements to dentin with and without the smear layer. *J. Endod.*, 1991: **17**, 1, 15-20.
68. Gilbert P, Das J and Foley I, Biofilm susceptibility to antimicrobials. *Adv. Dent. Res.*, 1997: **11**, 1, 160-7.
69. Goldberg F and Abramovich A, Analysis of the effect of EDTAC on the dentinal walls of the root canal. *J. Endod.*, 1977: **3**, 3, 101-5.
70. Goldman L B, Goldman M, Kronman J H and Lin P S, The efficacy of several irrigating solutions for endodontics: a scanning electron microscopic study. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.*, 1981: **52**, 2, 197-204.
71. Gomes B P et al., In vitro antimicrobial activity of several concentrations of sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate in the elimination of *Enterococcus faecalis*. *Int. Endod. J.*, 2001: **34**, 6, 424-8.
72. Gomes B P, Lilley J D and Drucker D B, Clinical significance of dental root canal microflora. *J. Dent.*, 1996: **24**, 1-2, 47-55.
73. Gomes B P et al., Evaluation of time required for recontamination of coronally sealed canals medicated with calcium hydroxide and chlorhexidine. *Int. Endod. J.*, 2003a: **36**, 9, 604-9.
74. Gomes B P et al., Effectiveness of 2% chlorhexidine gel and calcium hydroxide against *Enterococcus faecalis* in bovine root dentine in vitro. *Int. Endod. J.*, 2003b: **36**, 4, 267-75.
75. Goodman A, Reader A, Beck M, Melfi R and Meyers W, An in vitro comparison of the efficacy of the step-back technique versus a step-back/ultrasonic technique in human mandibular molars. *J. Endod.*, 1985: **11**, 6, 249-56.
76. Grandini S, Balleri P and Ferrari M, Evaluation of Glyde File Prep in combination with sodium hypochlorite as a root canal irrigant. *J. Endod.*, 2002: **28**, 4, 300-3.

77. Grawehr M, Sener B, Waltimo T and Zehnder M, Interactions of ethylenediamine tetraacetic acid with sodium hypochlorite in aqueous solutions. *Int. Endod. J.*, 2003: **36**, 6, 411-7.
78. Gu L S et al., Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices. *J. Endod.*, 2009: **35**, 6, 791-804.
79. Gulabivala K, Patel B, Evans G and Ng Y-L, Effects of mechanical and chemical procedures on root canal surfaces. *Endodontic Topics*, 2005: **10**, 1, 103-22.
80. Haapasalo H K, Siren E K, Waltimo T M, Orstavik D and Haapasalo M P, Inactivation of local root canal medicaments by dentine: an in vitro study. *Int. Endod. J.*, 2000: **33**, 2, 126-31.
81. Haapasalo M, Endal U, Zandi H and M-Coil J, Eradication of endodontic infection by instrumentation and irrigation solutions. *Endodontics Topics*, 2005a: **10**, 77-102.
82. Haapasalo M, Endal U, Zandi H and M.Coil J, Eradication of endodontic infection by instrumentation and irrigation solutions. *Endodontic Topics*, 2005b: **10**, 1, 77-102.
83. Hahn F L and Reygadas F, Demineralization of hard tissues. *Science*, 1951: **114**, 2966, 462-3.
84. Haidet J, Reader A, Beck M and Meyers W, An in vivo comparison of the step-back technique versus a step-back/ultrasonic technique in human mandibular molars. *J. Endod.*, 1989: **15**, 5, 195-9.
85. Harrington G W and Natkin E, External resorption associated with bleaching of pulpless teeth. *J. Endod.*, 1979: **5**, 11, 344-8.
86. HAS, *Traitement endodontique - Rapport d'évaluation technologique*. 2008.
87. Haznedaroglu F, Efficacy of various concentrations of citric acid at different pH values for smear layer removal. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.*, 2003: **96**, 3, 340-4.
88. Heling I and Chandler N P, Antimicrobial effect of irrigant combinations within dentinal tubules. *Int. Endod. J.*, 1998: **31**, 1, 8-14.
89. Heling I, Rotstein I, Dinur T, Szwec-Levine Y and Steinberg D, Bactericidal and cytotoxic effects of sodium hypochlorite and sodium dichloroisocyanurate solutions in vitro. *J. Endod.*, 2001: **27**, 4, 278-80.
90. Herrmann J W and Heicht R C, Complications in therapeutic use of sodium hypochlorite. *J. Endod.*, 1979: **5**, 5, 160.
91. Horiba N, Maekawa Y, Matsumoto T and Nakamura H, A study of the distribution of endotoxin in the dentinal wall of infected root canals. *J. Endod.*, 1990: **16**, 7, 331-4.
92. Hottel T L, el-Refai N Y and Jones J J, A comparison of the effects of three chelating agents on the root canals of extracted human teeth. *J. Endod.*, 1999: **25**, 11, 716-7.

93. Huang T Y, Gulabivala K and Ng Y L, A bio-molecular film ex-vivo model to evaluate the influence of canal dimensions and irrigation variables on the efficacy of irrigation. *Int. Endod. J.*, 2008: **41**, 1, 60-71.
94. Hulsmann M and Hahn W, Complications during root canal irrigation--literature review and case reports. *Int. Endod. J.*, 2000: **33**, 3, 186-93.
95. Hulsmann M, Heckendorff M and Lennon A, Chelating agents in root canal treatment: mode of action and indications for their use. *Int. Endod. J.*, 2003: **36**, 12, 810-30.
96. Ingram T A, 3rd, Response of the human eye to accidental exposure to sodium hypochlorite. *J. Endod.*, 1990: **16**, 5, 235-8.
97. Jensen S A, Walker T L, Hutter J W and Nicoll B K, Comparison of the cleaning efficacy of passive sonic activation and passive ultrasonic activation after hand instrumentation in molar root canals. *J. Endod.*, 1999: **25**, 11, 735-8.
98. Joffe E, Complication during root canal therapy following accidental extrusion of sodium hypochlorite through the apical foramen. *Gen. Dent.*, 1991: **39**, 6, 460-1.
99. Kahn F H, Rosenberg P A and Gliksberg J, An in vitro evaluation of the irrigating characteristics of ultrasonic and subsonic handpieces and irrigating needles and probes. *J. Endod.*, 1995: **21**, 5, 277-80.
100. Kakehashi S, Stanley H R and Fitzgerald R J, The Effects of Surgical Exposures of Dental Pulps in Germ-Free and Conventional Laboratory Rats. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.*, 1965: **20**, 340-9.
101. Kaufman A Y and Keila S, Hypersensitivity to sodium hypochlorite. *J. Endod.*, 1989: **15**, 5, 224-6.
102. Kavanagh C P and Taylor J, Inadvertent injection of sodium hypochlorite into the maxillary sinus. *Br. Dent. J.*, 1998: **185**, 7, 336-7.
103. Keir D M, Senia E S and Montgomery S, Effectiveness of a brush in removing postinstrumentation canal debris. *J. Endod.*, 1990: **16**, 7, 323-7.
104. Kennedy W A, Walker W A, 3rd and Gough R W, Smear layer removal effects on apical leakage. *J. Endod.*, 1986: **12**, 1, 21-7.
105. Khademi A A, Mohammadi Z and Havaee A, Evaluation of the antibacterial substantivity of several intra-canal agents. *Aust. Endod. J.*, 2006: **32**, 3, 112-5.
106. Kinomoto Y, Carnes D L, Jr. and Ebisu S, Cytotoxicity of intracanal bleaching agents on periodontal ligament cells in vitro. *J Endod*, 2001: **27**, 9, 574-7.
107. Krasner P and Rankow H J, Anatomy of the pulp-chamber floor. *J. Endod.*, 2004: **30**, 1, 5-16.
108. Krautheim A B, Jermann T H and Bircher A J, Chlorhexidine anaphylaxis: case report and review of the literature. *Contact Dermatitis*, 2004: **50**, 3, 113-6.

109. Le Goff A, Bunetel L, Mouton C and Bonnaure-Mallet M, Evaluation of root canal bacteria and their antimicrobial susceptibility in teeth with necrotic pulp. *Oral Microbiol. Immunol.*, 1997: **12**, 5, 318-22.
110. Lee S J, Wu M K and Wesselink P R, The effectiveness of syringe irrigation and ultrasonics to remove debris from simulated irregularities within prepared root canal walls. *Int. Endod. J.*, 2004a: **37**, 10, 672-8.
111. Lee S J, Wu M K and Wesselink P R, The efficacy of ultrasonic irrigation to remove artificially placed dentine debris from different-sized simulated plastic root canals. *Int. Endod. J.*, 2004b: **37**, 9, 607-12.
112. Leighton T G, *The Acoustic Bubble*. 1994: New York.
113. Leonardo M R et al., In vivo antimicrobial activity of 2% chlorhexidine used as a root canal irrigating solution. *J. Endod.*, 1999: **25**, 3, 167-71.
114. Lester K S and Boyde A, Scanning electron microscopy of instrumented, irrigated and filled root canals. *Br. Dent. J.*, 1977: **143**, 11, 359-67.
115. Lev R, Reader A, Beck M and Meyers W, An in vitro comparison of the step-back technique versus a step-back/ultrasonic technique for 1 and 3 minutes. *J. Endod.*, 1987: **13**, 11, 523-30.
116. Lewis K, Persister cells and the riddle of biofilm survival. *Biochemistry (Mosc)*. 2005: **70**, 2, 267-74.
117. Lim T S, Wee T Y, Choi M Y, Koh W C and Sae-Lim V, Light and scanning electron microscopic evaluation of Glyde File Prep in smear layer removal. *Int. Endod. J.*, 2003: **36**, 5, 336-43.
118. Lindemann R A, Hume W R and Wolcott R B, Dentin permeability and pulpal response to EDTA. *J. Prosthet. Dent.*, 1985: **53**, 3, 341-3.
119. Liolios E, Economides N, Parissis-Messimeris S and Boutsoukis A, The effectiveness of three irrigating solutions on root canal cleaning after hand and mechanical preparation. *Int. Endod. J.*, 1997: **30**, 1, 51-7.
120. Loel D A, Use of acid cleanser in endodontic therapy. *J Am Dent Assoc*, 1975: **90**, 1, 148-51.
121. Love R M, Invasion of dentinal tubules by root canal bacteria. *Endodontic Topics*, 2004: **9**, 1, 52-65.
122. Lumley P J, Walmsley A D, Walton R E and Rippin J W, Effect of precurving endosonic files on the amount of debris and smear layer remaining in curved root canals. *J. Endod.*, 1992: **18**, 12, 616-9.
123. Lynne R E et al., In vitro antimicrobial activity of various medication preparations on *E. faecalis* in root canal dentin. *J. Endod.*, 2003: **29**, 3, 187-90.
124. Machado-Silveiro L F, Gonzalez-Lopez S and Gonzalez-Rodriguez M P, Decalcification of root canal dentine by citric acid, EDTA and sodium citrate. *Int. Endod. J.*, 2004: **37**, 6, 365-9.

125. Machtou P, [Irrigation in endodontics]. *Actual. Odontostomatol. (Paris)*. 1980: **34**, 131, 387-94.
126. Mader C L, Baumgartner J C and Peters D D, Scanning electron microscopic investigation of the smeared layer on root canal walls. *J. Endod.*, 1984: **10**, 10, 477-83.
127. Malheiros C F, Marques M M and Gavini G, In vitro evaluation of the cytotoxic effects of acid solutions used as canal irrigants. *J. Endod.*, 2005: **31**, 10, 746-8.
128. Martin H and Cunningham W T, An evaluation of postoperative pain incidence following endosonic and conventional root canal therapy. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.*, 1982: **54**, 1, 74-6.
129. Martin H, Cunningham W T, Norris J P and Cotton W R, Ultrasonic versus hand filing of dentin: a quantitative study. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.*, 1980: **49**, 1, 79-81.
130. Masillamoni C R, Kettering J D and Torabinejad M, The biocompatibility of some root canal medicaments and irrigants. *Int. Endod. J.*, 1981: **14**, 2, 115-20.
131. Matis B A, Mousa H N, Cochran M A and Eckert G J, Clinical evaluation of bleaching agents of different concentrations. *Quintessence Int.*, 2000: **31**, 5, 303-10.
132. McComb D and Smith D C, A preliminary scanning electron microscopic study of root canals after endodontic procedures. *J. Endod.*, 1975: **1**, 7, 238-42.
133. McDonnell G and Russell A D, Antiseptics and disinfectants: activity, action, and resistance. *Clin. Microbiol. Rev.*, 1999: **12**, 1, 147-79.
134. McGill S, Gulabivala K, Mordan N and Ng Y L, The efficacy of dynamic irrigation using a commercially available system (RinsEndo) determined by removal of a collagen 'bio-molecular film' from an ex vivo model. *Int. Endod. J.*, 2008: **41**, 7, 602-8.
135. Mello I, Robazza C R, Antoniazzi J H and Coil J, Influence of different volumes of EDTA for final rinse on smear layer removal. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.*, 2008: **106**, 5, e40-e3.
136. Mjor I A and Nordahl I, The density and branching of dentinal tubules in human teeth. *Arch. Oral Biol.*, 1996: **41**, 5, 401-12.
137. Mjor I A, Sveen O and Heyeraas K, *Normal structure and physiology*, in *Pulp-dentin Biology in Restorative Dentistry*, I.A. Mjor, Editor. 2002: Chicago, USA. p. 1-22.
138. Mohammadi Z and Abbott P V, The properties and applications of chlorhexidine in endodontics. *Int. Endod. J.*, 2009: **42**, 4, 288-302.
139. Molander A, Reit C, Dahlen G and Kvist T, Microbiological status of root-filled teeth with apical periodontitis. *Int. Endod. J.*, 1998: **31**, 1, 1-7.
140. Moller A J, Microbiological examination of root canals and periapical tissues of human teeth. Methodological studies. *Odontol. Tidskr.*, 1966: **74**, 5, Suppl:1-380.

141. Moller A J, Fabricius L, Dahlen G, Ohman A E and Heyden G, Influence on periapical tissues of indigenous oral bacteria and necrotic pulp tissue in monkeys. *Scand. J. Dent. Res.*, 1981: **89**, 6, 475-84.
142. Naenni N, Thoma K and Zehnder M, Soft tissue dissolution capacity of currently used and potential endodontic irrigants. *J. Endod.*, 2004: **30**, 11, 785-7.
143. Nair P N, On the causes of persistent apical periodontitis: a review. *Int. Endod. J.*, 2006: **39**, 4, 249-81.
144. Nygaard-Östby B, Chelation in root canal therapy. *Odontol. Tidskr.*, 1957: **65**, 3-11.
145. O'Connell M S, Morgan L A, Beeler W J and Baumgartner J C, A comparative study of smear layer removal using different salts of EDTA. *J. Endod.*, 2000: **26**, 12, 739-43.
146. Okino L A, Siqueira E L, Santos M, Bombana A C and Figueiredo J A, Dissolution of pulp tissue by aqueous solution of chlorhexidine digluconate and chlorhexidine digluconate gel. *Int. Endod. J.*, 2004: **37**, 1, 38-41.
147. Park J B and Park N H, Effect of chlorhexidine on the in vitro and in vivo herpes simplex virus infection. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.*, 1989: **67**, 2, 149-53.
148. Pashley D H, *Pulpodentin Complex*, in *Seltzer and Bender's Dental Pulp*, K. Hargreavers and E. Goodis, Editors. 2002: Chicago, USA. p. 63-94.
149. Pashley D H, Smear layer: overview of structure and function. *Proc. Finn. Dent. Soc.*, 1992: **88 Suppl 1**, 215-24.
150. Pashley D H, Smear layer: physiological considerations. *Oper. Dent. Suppl.*, 1984: **3**, 13-29.
151. Pashley E L, Birdsong N L, Bowman K and Pashley D H, Cytotoxic effects of NaOCl on vital tissue. *J. Endod.*, 1985: **11**, 12, 525-8.
152. Patterson S S, In vivo and in vitro studies of the effect of the disodium salt of ethylenediamine tetra-acetate on human dentine and its endodontic implications. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.*, 1963: **16**, 83-103.
153. Pawlicka H, [The use of chelating agents for widening of the root canals. Determination of microhardness]. *Stomatol. DDR*, 1982: **32**, 5, 355-61.
154. Pawlicka H, Piatkowska D and Hajdukiewicz G, [Effectiveness of cleansing agents in root canal preparation. A scanning electron microscopy study]. *Stomatol. DDR*, 1981: **31**, 9, 684-8.
155. Perez V, Cardenas M and Planells U, The possible role of pH changes during EDTA demineralization of teeth. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.*, 1989: **68**, 220-2.
156. Perez-Heredia M, Ferrer-Luque C M and Gonzalez-Rodriguez M P, The effectiveness of different acid irrigating solutions in root canal cleaning after hand and rotary instrumentation. *J. Endod.*, 2006: **32**, 10, 993-7.

157. Peters O A, Boessler C and Zehnder M, Effect of liquid and paste-type lubricants on torque values during simulated rotary root canal instrumentation. *Int. Endod. J.*, 2005: **38**, 4, 223-9.
158. Peters O A, Schonenberger K and Laib A, Effects of four Ni-Ti preparation techniques on root canal geometry assessed by micro computed tomography. *Int. Endod. J.*, 2001: **34**, 3, 221-30.
159. Piette E and Goldberg M, *La dent normale et pathologique*, ed. D. Boeck. 2001.
160. Pitt W G, Removal of oral biofilm by sonic phenomena. *Am. J. Dent.*, 2005: **18**, 5, 345-52.
161. Portenier I, Waltimo T, Orstavik D and Haapasalo M, Killing of *Enterococcus faecalis* by MTAD and chlorhexidine digluconate with or without cetrimide in the presence or absence of dentine powder or BSA. *J Endod*, 2006: **32**, 2, 138-41.
162. Pugh R J, Goerig A C, Glaser C G and Luciano W J, A comparison of four endodontic vibratory systems. *Gen. Dent.*, 1989: **37**, 4, 296-301.
163. Radcliffe C E et al., Antimicrobial activity of varying concentrations of sodium hypochlorite on the endodontic microorganisms *Actinomyces israelii*, *A. naeslundii*, *Candida albicans* and *Enterococcus faecalis*. *Int. Endod. J.*, 2004: **37**, 7, 438-46.
164. Ram Z, Effectiveness of root canal irrigation. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.*, 1977: **44**, 2, 306-12.
165. Reeder O W, Jr., Walton R E, Livingston M J and Pashley D H, Dentin permeability: determinants of hydraulic conductance. *J. Dent. Res.*, 1978: **57**, 2, 187-93.
166. Reeh E S and Messer H H, Long-term paresthesia following inadvertent forcing of sodium hypochlorite through perforation in maxillary incisor. *Endod. Dent. Traumatol.*, 1989: **5**, 4, 200-3.
167. Richman M J, The use of ultrasonics in root canal therapy and root resection. *J. Med.*, 1957: **12**, 12-8.
168. Rocas I N and Siqueira J F, Jr., Detection of novel oral species and phylotypes in symptomatic endodontic infections including abscesses. *FEMS Microbiol Lett*, 2005: **250**, 2, 279-85.
169. Rocas I N, Siqueira J F, Jr. and Santos K R, Association of *Enterococcus faecalis* with different forms of periradicular diseases. *J. Endod.*, 2004: **30**, 5, 315-20.
170. Rocas I N, Siqueira J F, Jr., Santos K R and Coelho A M, "Red complex" (*Bacteroides forsythus*, *Porphyromonas gingivalis*, and *Treponema denticola*) in endodontic infections: a molecular approach. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.*, 2001: **91**, 4, 468-71.
171. Rosenthal S, Spangberg L and Safavi K, Chlorhexidine substantivity in root canal dentin. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.*, 2004: **98**, 4, 488-92.
172. Russell A D and Day M J, Antibacterial activity of chlorhexidine. *J. Hosp. Infect.*, 1993: **25**, 4, 229-38.

173. Sabala C L and Powell S E, Sodium hypochlorite injection into periapical tissues. *J. Endod.*, 1989: **15**, 10, 490-2.
174. Sabins R A, Johnson J D and Hellstein J W, A comparison of the cleaning efficacy of short-term sonic and ultrasonic passive irrigation after hand instrumentation in molar root canals. *J. Endod.*, 2003: **29**, 10, 674-8.
175. Scelza M F, Antoniazzi J H and Scelza P, Efficacy of final irrigation--a scanning electron microscopic evaluation. *J. Endod.*, 2000: **26**, 6, 355-8.
176. Schafer E and Lau R, Comparison of cutting efficiency and instrumentation of curved canals with nickel-titanium and stainless-steel instruments. *J. Endod.*, 1999: **25**, 6, 427-30.
177. Schilder H, Cleaning and shaping the root canal. *Dent. Clin. North Am.*, 1974: **18**, 2, 269-96.
178. Segura J J et al., EDTA inhibits in vitro substrate adherence capacity of macrophages: endodontic implications. *J. Endod.*, 1997: **23**, 4, 205-8.
179. Segura J J et al., The disodium salt of EDTA inhibits the binding of vasoactive intestinal peptide to macrophage membranes: endodontic implications. *J. Endod.*, 1996: **22**, 7, 337-40.
180. Selinger B, *Chemistry in the marketplace*. 1989, Harcourt Brace Jovanich: Sydney. p. 55-6.
181. Sen B H, Piskin B and Demirci T, Observation of bacteria and fungi in infected root canals and dentinal tubules by SEM. *Endod. Dent. Traumatol.*, 1995: **11**, 1, 6-9.
182. Sen B H, Safavi K E and Spangberg L S, Antifungal effects of sodium hypochlorite and chlorhexidine in root canals. *J. Endod.*, 1999: **25**, 4, 235-8.
183. Shabahang S and Torabinejad M, Effect of MTAD on Enterococcus faecalis-contaminated root canals of extracted human teeth. *J. Endod.*, 2003: **29**, 9, 576-9.
184. Shiozawa A, Characterization of reactive oxygen species generated from the mixture of NaClO and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> used as root canal irrigants. *J. Endod.*, 2000: **26**, 1, 11-5.
185. Siqueira J F, Jr., Aetiology of root canal treatment failure: why well-treated teeth can fail. *Int. Endod. J.*, 2001: **34**, 1, 1-10.
186. Siqueira J F, Jr. and de Uzeda M, Intracanal medicaments: evaluation of the antibacterial effects of chlorhexidine, metronidazole, and calcium hydroxide associated with three vehicles. *J. Endod.*, 1997: **23**, 3, 167-9.
187. Siqueira J F, Jr. and Rocas I N, Clinical implications and microbiology of bacterial persistence after treatment procedures. *J. Endod.*, 2008: **34**, 11, 1291-301 e3.
188. Siqueira J F, Jr. and Rocas I N, Pseudoramibacter alactolyticus in primary endodontic infections. *J. Endod.*, 2003: **29**, 11, 735-8.

189. Siqueira J F, Jr. and Rocas I N, Treponema species associated with abscesses of endodontic origin. *Oral Microbiol. Immunol.*, 2004: **19**, 5, 336-9.
190. Siqueira J F, Jr. and Rocas I N, Uncultivated phylotypes and newly named species associated with primary and persistent endodontic infections. *J. Clin. Microbiol.*, 2005: **43**, 7, 3314-9.
191. Siqueira J F, Jr. and Sen B H, Fungi in endodontic infections. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.*, 2004: **97**, 5, 632-41.
192. Siqueira J F, Jung I Y, Rocas I N and Lee C Y, Differences in prevalence of selected bacterial species in primary endodontic infections from two distinct geographic locations. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2005: **99**, 5, 641-7.
193. Siqueira J F, Machado A G, Silveira R M, Lopes H P and Uzeda M, Evaluation of the effectiveness of sodium hypochlorite used with tree irrigation methods in the elimination of *Enterococcus faecalis* from the root canal, in vitro. *Int. Endod. J.*, 1997: **30**, 4, 279-82.
194. Sreebny L M and Nikiforuk G, Demineralization of hard tissues by organic chelating agents. *Science*, 1951: **113**, 2941, 560.
195. Stamos D E, Sadeghi E M, Haasch G C and Gerstein H, An in vitro comparison study to quantitate the debridement ability of hand, sonic, and ultrasonic instrumentation. *J. Endod.*, 1987: **13**, 9, 434-40.
196. Stewart P S and Costerton J W, Antibiotic resistance of bacteria in biofilms. *Lancet*, 2001: **358**, 9276, 135-8.
197. Sundqvist G, Associations between microbial species in dental root canal infections. *Oral Microbiol. Immunol.*, 1992: **7**, 5, 257-62.
198. Sundqvist G, Figdor D, Persson S and Sjogren U, Microbiologic analysis of teeth with failed endodontic treatment and the outcome of conservative re-treatment. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.*, 1998: **85**, 1, 86-93.
199. Svec T A and Harrison J W, Chemomechanical removal of pulpal and dentinal debris with sodium hypochlorite and hydrogen peroxide vs normal saline solution. *J. Endod.*, 1977: **3**, 2, 49-53.
200. Svensater G and Bergenholtz G, Biofilms in endodontic infections. *Endodontic Topics*, 2004: **9**, 1, 27-36.
201. Svensater G, Sjogreen B and Hamilton I R, Multiple stress responses in *Streptococcus mutans* and the induction of general and stress-specific proteins. *Microbiology*, 2000: **146 ( Pt 1)**, 107-17.
202. Symons N B, A histochemical study of the secondary cartilage of the mandibular condyle in the rat. *Arch. Oral Biol.*, 1965: **10**, 4, 579-84.
203. Tatnall F M, Leigh I M and Gibson J R, Comparative study of antiseptic toxicity on basal keratinocytes, transformed human keratinocytes and fibroblasts. *Skin Pharmacol.*, 1990: **3**, 3, 157-63.

204. Torabinejad M, Cho Y, Khademi A A, Bakland L K and Shabahang S, The effect of various concentrations of sodium hypochlorite on the ability of MTAD to remove the smear layer. *J. Endod.*, 2003a: **29**, 4, 233-9.
205. Torabinejad M, Handysides R, Khademi A A and Bakland L K, Clinical implications of the smear layer in endodontics: a review. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.*, 2002: **94**, 6, 658-66.
206. Torabinejad M et al., A new solution for the removal of the smear layer. *J. Endod.*, 2003b: **29**, 3, 170-5.
207. Torabinejad M, Shabahang S, Apreccio R M and Kettering J D, The antimicrobial effect of MTAD: an in vitro investigation. *J. Endod.*, 2003c: **29**, 6, 400-3.
208. Tronstad L, Barnett F, Schwartzben L and Frasca P, Effectiveness and safety of a sonic vibratory endodontic instrument. *Endod. Dent. Traumatol.*, 1985: **1**, 2, 69-76.
209. van der Sluis L W, Gambarini G, Wu M K and Wesselink P R, The influence of volume, type of irrigant and flushing method on removing artificially placed dentine debris from the apical root canal during passive ultrasonic irrigation. *Int. Endod. J.*, 2006: **39**, 6, 472-6.
210. van der Sluis L W, Versluis M, Wu M K and Wesselink P R, Passive ultrasonic irrigation of the root canal: a review of the literature. *Int. Endod. J.*, 2007: **40**, 6, 415-26.
211. Vertucci F J, Root canal anatomy of the human permanent teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 1984: **58**, 5, 589-99.
212. Vertucci F J, Root canal morphology and its relationship to endodontic procedures. *Endodontic Topics*, 2005: **10**, 1, 3-29.
213. Vianna M E et al., In vitro evaluation of the antimicrobial activity of chlorhexidine and sodium hypochlorite. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.*, 2004: **97**, 1, 79-84.
214. Vivacqua-Gomes N et al., Influence of irrigants on the coronal microleakage of laterally condensed gutta-percha root fillings. *Int. Endod. J.*, 2002: **35**, 9, 791-5.
215. Walker T L and del Rio C E, Histological evaluation of ultrasonic and sonic instrumentation of curved root canals. *J. Endod.*, 1989: **15**, 2, 49-59.
216. Walker T L and del Rio C E, Histological evaluation of ultrasonic debridement comparing sodium hypochlorite and water. *J. Endod.*, 1991: **17**, 2, 66-71.
217. Walmsley A D, Murgel C and Krell K V, Canal markings produced by endosonic instruments. *Endod. Dent. Traumatol.*, 1991: **7**, 2, 84-9.
218. Waltimo T M, Haapasalo M, Zehnder M and Meyer J, Clinical aspects related to endodontic yeast infections. *Endodontic Topics*, 2004: **9**, 66-78.
219. Waltimo T M, Orstavik D, Siren E K and Haapasalo M P, In vitro susceptibility of *Candida albicans* to four disinfectants and their combinations. *Int. Endod. J.*, 1999: **32**, 6, 421-9.

220. Walton R E and Torabinejad M, *Principles and practice of endodontics*, W. Saunders, Editor. 1989: Philadelphia. p. 385-97.
221. Weller R N, Brady J M and Bernier W E, Efficacy of ultrasonic cleaning. *J. Endod.*, 1980: **6**, 9, 740-3.
222. White R R, Hays G L and Janer L R, Residual antimicrobial activity after canal irrigation with chlorhexidine. *J. Endod.*, 1997: **23**, 4, 229-31.
223. Wikesjo U M et al., A biochemical approach to periodontal regeneration: tetracycline treatment conditions dentin surfaces. *J. Periodontal Res.*, 1986: **21**, 4, 322-9.
224. Wu M K, Dummer P M and Wesselink P R, Consequences of and strategies to deal with residual post-treatment root canal infection. *Int. Endod. J.*, 2006: **39**, 5, 343-56.
225. Yamada R S, Armas A, Goldman M and Lin P S, A scanning electron microscopic comparison of a high volume final flush with several irrigating solutions: Part 3. *J. Endod.*, 1983: **9**, 4, 137-42.
226. Yamaguchi M, Yoshida K, Suzuki R and Nakamura H, Root canal irrigation with citric acid solution. *J. Endod.*, 1996: **22**, 1, 27-9.
227. Yguel-Henry S, Vannesson H and von Stebut J, High precision, simulated cutting efficiency measurement of endodontic root canal instruments: influence of file configuration and lubrication. *J. Endod.*, 1990: **16**, 9, 418-22.
228. Young G, Parashos P and Messer H, The principles of techniques for cleaning root canals. *Aust. Dent. J.*, 2007: **52**, 1 Suppl, S52-S63.
229. Zamany A, Safavi K and Spangberg L S, The effect of chlorhexidine as an endodontic disinfectant. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.*, 2003: **96**, 5, 578-81.
230. Zehnder M, Root canal irrigants. *J. Endod.*, 2006: **32**, 5, 389-98.
231. Zehnder M, Grawehr M, Hasselgren G and Waltimo T, Tissue-dissolution capacity and dentin-disinfecting potential of calcium hydroxide mixed with irrigating solutions. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.*, 2003: **96**, 5, 608-13.
232. Zehnder M, Kosicki D, Luder H, Sener B and Waltimo T, Tissue-dissolving capacity and antibacterial effect of buffered and unbuffered hypochlorite solutions. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.*, 2002: **94**, 6, 756-62.
233. Zehnder M, Schmidlin P, Sener B and Waltimo T, Chelation in root canal therapy reconsidered. *J. Endod.*, 2005: **31**, 11, 817-20.

Jury : Président : J.P. LOUIS – Professeur des Universités  
Juges : E. MORTIER – Maître de Conférence des Universités  
J.M.MARTRETTE – Maître de Conférence des Universités  
Y.SIMON – Docteur en Chirurgie Dentaire

Thèse pour obtenir le diplôme D'Etat de Docteur en Chirurgie Dentaire

Présentée par: **Monsieur BOISSEAU Jérémie**

né(e) à: **DIJON (Côte-d'Or)**

le **12 mars 1984**

et ayant pour titre : « **Les irrigants en Endodontie : Données actuelles.** »

Le Président du jury,



J.P. LOUIS

Le Doyen,  
de la Faculté d'Odontologie



Autorise à soutenir et imprimer la thèse 3282

NANCY, le 11.05.2010

Le Président de l'Université Henri Poincaré, Nancy-1



J-P. FINANCE

**BOISSEAU Jérémie : LES IRRIGANTS EN ENDODONTIE : DONNÉES ACTUELLES**

Nancy 2010 : 105f : 35ill

Th. Chir-Dent : NANCY-1 : 2010

**Mots clés :**

- Endodontie
- Irrigation
- Hypochlorite de sodium
- EDTA (Ethyl Diamine Tetraacetic Acid)
- Chlorhexidine
- Acide citrique

**BOISSEAU Jérémie : LES IRRIGANTS EN ENDODONTIE : DONNÉES ACTUELLES**

Nancy 2010 : 105f : 35ill

Th. Chir-Dent. : NANCY-1 : 2010

L'endodontie a connu des avancées majeures ces dernières années aussi bien dans les connaissances théoriques que dans son application clinique. Même si les principes généraux restent inchangés et connus depuis longtemps, ces nouveaux éléments ont conduit à une multiplication des agents d'irrigation ces dernières décennies.

Après avoir rappelé l'intérêt de l'irrigation au sein du traitement endodontique, ce travail vise à synthétiser l'ensemble des irrigants utilisés actuellement en endodontie en développant leurs caractéristiques, avantages, inconvénients et indications. Une partie s'attarde sur l'optimisation de ces irrigants.

Dans une démarche clinique, nous identifions les problématiques rencontrées au cours du traitement endodontique et essayons d'y remédier en établissant une séquence d'irrigation idéale. Un schéma récapitulatif synthétise l'ensemble de ce travail.

**Jury :**

Pr. LOUIS Jean-Paul

Dr. MORTIER Éric

Dr. MARTRETTE Jean-Marc

Dr. SIMON Yorick

Professeur des universités

Maître de conférences universitaire

Maître de conférences universitaire

Docteur en chirurgie dentaire

Président

Directeur

Juge

Juge

Adresse de l'auteur :

Jérémie BOISSEAU  
109 route de Dijon  
21250 AUVILLARS SUR SAÔNE