

**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITÉ SAAD DAHLAB-BLIDA



**FACULTÉ DE MÉDECINE DE BLIDA
DÉPARTEMENT DE MÉDECINE DENTAIRE**

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du

DIPLÔME de DOCTEUR EN MÉDECINE DENTAIRE

INTITULÉ

L'IRRIGATION EN ENDODONTIE

Présenté et soutenu publiquement le :

17/09/2017

Par

**Boukhatalla nadjib
Boualili sidali**

et

**Othmani abdelkrim
Yamnaine hakim**

Promotrice: Dr . CHARIF

Jury composé de :

Président : Pr . HADJI

Examineur : Dr .SAHI

REMERCIEMENTS

Nous tenons a remercier tout d'abord ALLAH qui nous a donné la force et la connaissance , puis nos parents et nos familles .

Nos remerciements les plus sincères et notre reconnaissance éternelle ont «dr charif» qui a bien voulu promouvoir et diriger notre travail elle nous a orienté guidé et conseillé .

Ainsi que le «pr boukais» chef de service de médecine dentaire de blida

Nous remercions également le «Dr zaggar » chef de département de médecine dentaire de la faculté de medecine de l'université de blida .

Nous tenons aussi à exprimer nos remerciements à l'ensemble des maitres assistants , assistants ,qui ont mis a notre disposition leur savoir ,connaissances et expérience ainsi que leur temps .

Nos remerciements également à tout le reste de l'équipe paramédicale et administrative .

Dédicace

- Nous dédions ce travail à nos très chers parents qui nous ont sacrifié leur vie et qui nous ont couverts de leurs amour et tendresse et que nous espère jamais décevoir.
 - A la mémoire de ceux qui ne sont pas en vie.
 - A nos très chers sœurs et frères qui nous ont aidé à tout moment.
 - A nos grands-parents, nos tantes et nos oncles
- A toute la promotion de 6ème années d'étude et qui ont fait preuve de bonne amitié et à qui nous souhaitons tout le bonheur et la réussite possible.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
1) Les caractéristique structurale de l'endodonte	2
1-1 structure anatomique.....	2
1-2 structure histologique	3
1-3 la complexité canalaire	4
2) L'infection canalaire	6
2-1 l'infection endodontique	6
2-1-1) Définition	6
2-1-2) Les différents types d'infection	7
2-1-3) La composition de la flore bactérienne endodontique	9
2-2 le biofilme	12
2-2-1) Définition	12
2-2-2) Formation et composition.....	12
2-2-3) Les conséquences clinique de la présence du biofilme.....	14
2-2-4) Stratégie pour traiter le biofilme	15
2-3 la Smear Layer	17
2-3-1) Définition	17
2-3-2) Formation et Composition	18
2-3-3) Interférence avec l'obturation endodontique	18
2-3-4) Elimination	18
3) L'irrigation en endodontie	19
3-1 définition	19
3-2 les objectifs de l'irrigation.....	19

3-3 les différents types d'irrigation	20
4)Les propriétés requises d'une solution d'irrigation	21
5)Les solutions d'irrigation endodontique.....	21
5-1) l'hypochlorite de sodium :.....	21
5-1-1)Mécanisme d'action de l'hypochlorite	22
5-1-2)La concentration en chlore	22
5-1-3)Les avantages de l'hypochlorite.....	23
5-1-4)Les inconvénients de l'hypochlorite	24
5-2) La chlorhexidine (CHX)	26
5-2-3)Mécanisme d'action	27
5-2-4)Les avantages de (C H X)	28
5-2-5)Les inconvénients	28
5-3) Les chélateurs	29
5-3-1) Ethylen Diamine Tetraacetic Acide (E D T A)	29
5-3-1-1)Mode d'action	29
5-3-1-2)Les avantages.....	31
5-3-1-3)Les inconvénients	33
5-3-2)Acide Citrique	34
5-3-2-1)Mode d'action	34
5-3-2-3)Les avantages	34
5-3-2-4)Les Inconvénients	35
5-3-3) MTDA	35
5-3-4) Le QMIX	36
5-3-5) Les autres solutions	37

5-3-5-1)L'eau et le sérum physiologique	37
5-3-5-2)Le peroxyde d'hydrogène [H ₂ O ₂]	37
5-3-5-3)Les ammoniums quaternaires	38
5-3-5-4)L'ozone [O ₃]	38
6)Les Différents dispositif et techniques de l'irrigation	41
6-1)Définition.....	41
6-2)l'irrigation discontinue.....	41
6-2-1)les moyens d'activation mécanique	41
1- activation manuelle dynamique	41
- Le système seringue-aiguille	41
- Cônes de gutta	50
2- Le Système (ou activation Ultrasonore)	51
-Principes.....	51
- Les mécanismes.....	51
- Les effets	53
- Paramètres d'efficacité.....	53
-.Exemples de systèmes.....	54
3- Système (ou activation)sonore	55
-L'Endoactivator®	56
-Seringue Vibringe®	57
4- Les lasers (activation photonique)	57
6-3)L'irrigation continue.....	59
- L'aiguille irriguante développée de Carver et Nusstein	60
- Système SAF (Self-Adjusting File).....	60
6-4)L'effet "Vapor-Lock", piège de vapeur.....	64
- Le système EndoVac [®]	64
- Endovac pure.....	69
- Le système RinsEndo [®]	70

7)Le protocole opératoire de l'irrigation endodontique.....	72
8)Séquence d'irrigation idéal.....	74
Conclusion	75
Bibliographie.....	76

Introduction

Le traitement endodontique est à considérer comme un des actes clés de la dentisterie .

Ce traitement vise à conserver l'intégrité des tissu dentaire et des tissu périodentaire .

Pour cela 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.

L'irrigation endodontique a un rôle très 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 dans ce concept que s'est développé un grand nombre des solutions d'irrigation afin de potentialiser la lutte antibactérienne et garantir une antiseptie efficace des canaux radiculaires.

Dans un premier temps, 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.

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.

1-les caractéristiques de l'endodonte et des structures dentaires

1-1)Structure anatomique

La cavité pulpaire est délimitée par la dentine sur tout son pourtour ,et ouverte apicalement par le foramen . elle forme le système pulpaire ,cet espace est inextensible et est divisé en une portion coronaire (la chambre pulpaire) et une portion radiculaire (le canal radiculaire) ,d'autre entités anatomique sont présentes elles comprennent les cornes pulpaires ,les orifices d'entrée des canaux et les foramens apicaux . (17)

*** Chambre pulpaire**

La chambre pulpaire occupe le centre de la couronne et le tronc de la racine
Ses dimensions longitudinales et transversales sont dépendantes des contours de la couronne et du tronc radiculaire .

*** Canaux radiculaires**

Les canaux radiculaires s'étendent le long de la racine ils partent d'une entrée en entonnoir et débouchent à l'extrémité de la racine par le foramen apical

*** Canaux latéraux**

Les canaux latéraux (ou accessoires) sont des branches collatérales du canal principal qui font communiquer la pulpe avec le parodonte .ils contiennent du tissu conjonctif et des vaisseaux et peuvent être localisés à n'importe quel niveau de la région inter radiculaire jusqu'à l'apex .

*** Région apicale**

La configuration et la taille du foramen apical varient avec le degré de maturité de la racine ,avant l'achèvement de la formation de la racine ,le foramen est ouvert .il devient plus petit avec la formation de la racine et le dépôt de ciment .

1-2) La 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. (18)

- La région dentinogénétique est classiquement divisée en trois zones:
 - _ une zone périphérique constituée d'odontoblastes responsables de la formation et de la réparation de la dentine.
 - _ une zone sous_ odontoblastique dépourvue de cellules d'environ 40 µm d'épaisseur aussi appelée couche acellulaire de Weil.
 - _ Une zone de faible épaisseur riche en cellules nommée également couche sous odontoblastique de Höhl.

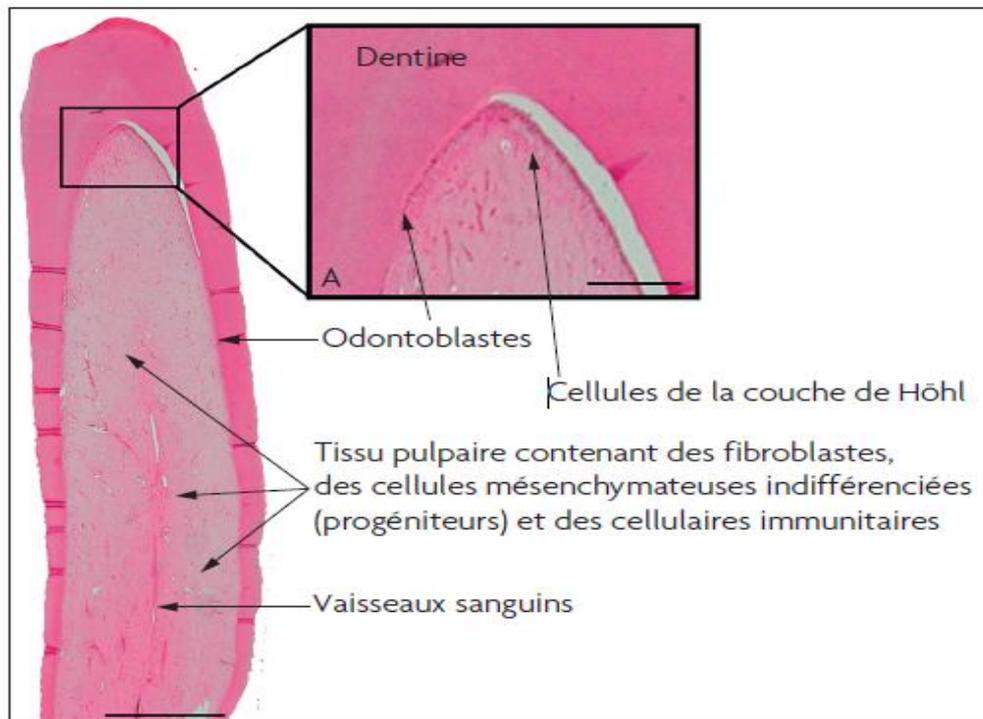


Figure1: différenciation terminale de l'odontoblaste (3)

La région centrale est, 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.

1-3)Complexité de l'anatomie endodontique

L'anatomie des racines dentaire varie significativement ainsi que celle de la cavité pulpaire radriculaire .

De telles variations et anomalies sont plus courantes dans les incisives latérales maxillaire ,dans les prémolaires maxillaires dans les prémolaires mandibulaires et dans les molaires maxillaires ,les anomalies morphologique radriculaires tendent à être bilatérales . (17)

-Dent invaginée (dens invaginatus):

La dent invaginée implique le plus souvent les incisives latérales supérieures . elle résulte d'une invagination de l'organe de l'email au cours du développement et constitue une erreur de morpho différenciation. il en résulte souvent une communication précoce entre la pulpe et la cavité buccale ,nécessitant le traitement de canal radriculaire .

-Dent évaginée (dens evaginatus) :

La couche épithéliale interne de l'organe de l'email suit un processus de prolifération inverse à celui de l'invagination.

Cette anomalie affecte presque exclusivement les prémolaire de la population asiatique et leur descendant.

Cliniquement, l'évagination dentaire se présente sous la forme d'un petit tubercule "bosse" sur la surface occlusale mais qui n'est pas nettement identifiable radio graphiquement.

Ces tubercules contiennent souvent une extension de la pulpe dentaire, lorsque ces tubercules fragiles se fracturent sur une dent immature ,la pulpe est exposée et se nécrose .

-Cornes pulpaire étirées :

Une corne pulpaire s'étend parfois profondément dans la cuspide rendant la pulpe plus précocement exposée à la carie et aux accidents de préparation des cavités, ces cornes pulpaire allongées sont souvent invisibles à la radiographie ,sont plus fréquentes au niveau des cuspides mésio vestibulaires des premières molaires .

-Sillon lingual :

Généralement observé sur les incisives latérales maxillaires un sillon lingual apparait comme une surface invaginée de la dentine, s'étendant de la région cervicale en direction apicale .

Ce sillon induit fréquemment une poche parodontale profonde et étroite qui peut parfois communiquer avec la pulpe et être a l'origine d'une lésion endo_parodontale vraie et combinée .

-Déformation sévère de la racine :

Pendant la formation radiculaire les structures comme l'os cortical du sinus maxillaire ou du canal mandibulaire ou encore de la fosse nasale peuvent détourner le diaphragme épithélial ,, ce qui entraîne la courbure de la racine pendant sa formation .

De nombreuses courbures se développent dans le plan vestibulo lingual, et sont invisibles sur les projection radiographiques normales .

-D'autre variations :

De nombreuses autre anomalies des racines et de la cavité pulpaire peuvent se produire, certaines sont le résultat de trouble génétique comme les anomalies de nombre des canaux radiculaires ou de racines .

Des dents comprenant des configurations inhabituelles de la chambre pulpaire et des canaux radiculaire affecte le traitement endodontique :

- Une anomalie bien connue est le canal radiculaire en forme de C ,celui-ci est généralement présent dans les deuxièmes molaires mandibulaires et est encore plus fréquent au sein des population asiatique .

_ D'autre morphologie inhabituelle de la chambre et des racines sont les deuxièmes Molaires maxillaires à quatre canaux et les prémolaires à trois racines .

A cela s'ajoute la troisième racine disto linguale des premières molaires mandibulaires.

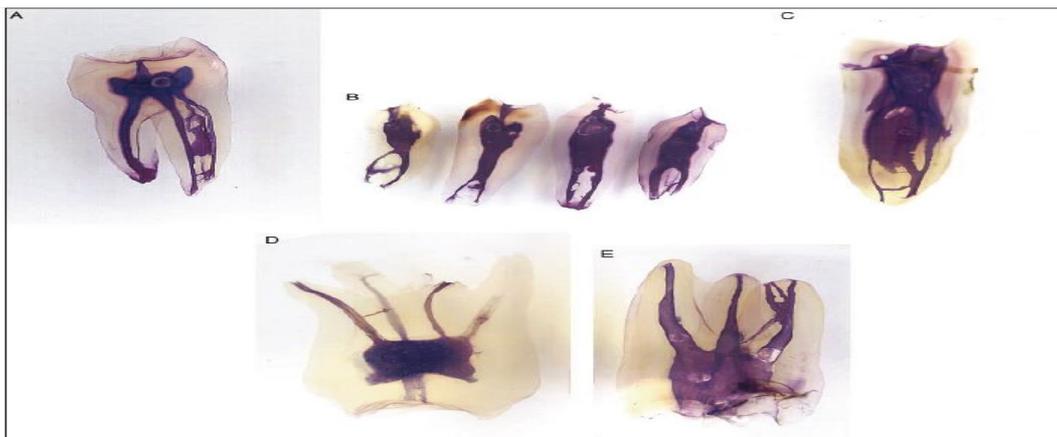


Figure 6 : exemples de variations canalaires anatomiques (Vertucci, 2005) :

2) L'infection canalaire

2-1) Infection endodontique

2-1-1) Définition

La colonisation est l'établissement des microorganismes dans un hôte. Les conditions biochimiques et physiques appropriées sont disponibles pour leurs croissances. La flore buccale est le résultat d'une colonisation microbienne permanente dans une relation symbiotique avec l'hôte. Bien que les bactéries présentes dans la flore buccale participent dans de nombreuses relations bénéfiques, elles sont opportunistes et par conséquent pathogènes s'ils ont accès à une zone stérile du corps humain tel que la pulpe dentaire et les tissus péri-apicaux. (20)

En 1894 déjà, W.D. Miller est le premier à mettre en évidence que le tissu pulpaire nécrosé peut contenir plusieurs types de bactéries. Pourtant, leur rôle dans l'étiopathogénie des lésions péri-apicales restera longtemps obscur. (21)

W. D. Miller est considéré comme le père de la microbiologie orale. Il est l'auteur d'un livre, *Microorganismes of the Human Mouth*, qui est devenu la base de la microbiologie dans les États-Unis. (20)

Une signification réelle du rôle des bactéries dans les infections endodontiques a été montrée dans les études classiques de Kakehashi et Al en 1965 sur les rats sains et les rats axéniques («*germ free rats*»). Les pulpes des rats sains se nécrosaient et développaient des lésions péri-apicales avec destruction osseuse seulement après l'inoculation bactérienne contrairement à celles des rats axéniques ou la pulpe a été exposée au milieu oral en absence de contamination bactérienne les dents ne développent pas de lésion péri-apicale. (22)

Des observations similaires ont été établies par les expériences de Moller et al. en 1981 (Moller *et al.*, 1981) : dans cette étude, les pulpes de dents chez un singe sont dilacérées dans des conditions strictes d'asepsie puis scellées, il en résulte une nécrose, mais sans aucune réaction inflammatoire péri-apicale. Par la suite, l'implantation de bactéries au niveau de certaines pulpes provoque une destruction osseuse au niveau apical. (22)

En d'autres termes, tant que la pulpe nécrosée reste stérile, rien ne se passe.

Il est donc actuellement irréfutable que les bactéries sont responsables de la plupart des lésions inflammatoires pulpaires et péri-apicales. (6)

Les portes d'entrée des germes dans le système endo-canalaires sont multiples. La carie, les fractures franches ou les fêlures plus discrètes, ainsi que le manque

d'herméticité des obturations coronaires peuvent entraîner l'infection puis la nécrose de la pulpe .

Donc on peut conclure que l'infection endodontique est le résultat des bactéries opportunistes pathogènes de la flore buccale qui infectent la pulpe et les tissus péri-apicaux.(21)

A priori, le traitement endodontique d'une dent vitale ou infectée est similaire puisque, dans les deux situations, il faut éliminer le contenu canalaire en réduisant au mieux le nombre de bactéries situés dans tout l'endodonte (21)

2-1-2)LES DIFFÉRENTS TYPES D'INFECTION ENDODONTIQUE

Les infections endodontiques peuvent être classées selon leur site anatomique (infection intra ou extra radiculaire) et la séquence temporelle de colonisation par les micro-organismes (infection primaire, secondaire, ou persistante). La composition de la flore microbienne peut varier selon les différents types d'infection et les différentes formes de parodontite apicale. L'individualisation des divers types d'infections endodontiques favorise la compréhension des processus pathologiques à l'œuvre dans les différentes situations cliniques et peut aider à établir des mesures thérapeutiques appropriées. (23)

1)Infection intra radiculaire

Comme son nom l'indique, cette infection est provoquée par des micro-organismes colonisant le réseau canalaire radiculaire. Elle peut être subdivisée en trois catégories selon le moment où les micro-organismes ont pénétré l'endodonte.(23)

1-1)L'infection intra radiculaire primaire

Elle est provoquée par les microorganismes qui envahissent et colonisent initialement le tissu pulpaire nécrotique. Elle est également désignée sous le nom d'infection initiale ou d'infection "vierge". Les infections primaires sont caractérisées par un consortium mixte composé en moyenne de 10 à 30 espèces par canal .

La flore microbienne impliquée est clairement dominée par les bactéries anaérobies, en particulier les espèces gram négatif appartenant aux genres

Tannerella, Dialister, Porphyromonas,Prevotella, Fusobacterium, Campylo -bacter et Tréponema.

Cependant, des anaérobies gram positif des genres Peptostreptococcus, Eubacterium, et Pseudoramibacter, ainsi que les streptocoques facultatif ou micro aérophiiles sont fréquemment retrouvés dans ces infections intra radiculaires primaires.(2)

1-2) Infections intra radiculaires secondaires

Les infections intra radiculaires secondaires sont provoquées par des micro-organismes qui n'étaient pas présents au moment de l'infection primaire, mais qui ont été introduits dans l'endodonte à l'occasion d'une intervention professionnelle. Cela a pu survenir pendant le traitement, entre deux rendez-vous, ou même après la fin du traitement endodontique. Quelque soit le cas, si ces micro-organismes réussissent à survivre et à coloniser l'endodonte, une infection secondaire s'établit. Les espèces généralement associées aux infections secondaires sont *Pseudomonasaeruginosa*, des staphylocoques, des batonnets entériques, des variétés de *Candida* et *Enterococcusfaecalis*, que l'on retrouve habituellement pas dans les infections primaires.

Les principales causes de la pénétration microbienne dans le canal en cours de traitement sont :

- la présence de restes de plaque dentaire, de tartre ou de tissus cariés sur la couronne dentaire.
- une digue non étanche.
- la contamination des instruments endodontiques.
- la contamination des solutions d'irrigation ou d'autres solutions intra canalaire (telles que le sérum physiologique, l'eau distillée, l'acide citrique, etc..).

Les micro-organismes peuvent pénétrer l'endodonte entre les séances de soin lors de :

- percolations à travers le matériel de restauration temporaire.
- fracture ou perte de la restauration provisoire.
- fracture dentaire.
- et dans les dents laissées ouvertes pour assurer un drainage.

Les micro-organismes peuvent également pénétrer l'endodonte après la fin du traitement canalaire dans les situations suivantes :

- fuite par le matériel de restauration provisoire ou permanent .
- fracture ou perte de la restauration temporaire/permanente .
- fracture des tissus dentaires .
- récidive carieuse exposant l'obturation radiculaire .
- ou retard dans la pose d'une restauration permanente. (23)

1.3) Infections intra radiculaires persistantes

Les infections intra radiculaires persistantes sont provoquées par les microorganismes qui ont d'une certaine façon résisté aux procédures antimicrobiennes intra canalaire et qui sont capables de supporter des périodes de privation nutritionnelle dans les canaux traités. On les appelle également infections récurrentes. Les micro-organismes impliqués sont les "restes" d'une infection primaire ou secondaire.

La flore microbienne, associée aux infections persistantes, se compose habituellement d'un nombre d'espèces inférieur à des infections primaires où prédominent les bactéries facultatives gram positives, en particulier *Enterococcusfaecalis*. Des

champignons peuvent également être identifiés, avec une fréquence sensiblement supérieure à celle des infections primaires. Les infections persistantes et secondaires ne peuvent pas la plupart du temps être distinguées cliniquement.

Elle peuvent être responsables de plusieurs problèmes cliniques, dont l'exsudation persistante, la persistance de la symptomatologie, des exacerbations entre les sessions de soins et l'échec du traitement endodontique.(2)

2.L'infection extra radiculaire

L'infection extra radiculaire est caractérisée par l'invasion microbienne des tissus péri radiculaires enflammés. C'est une séquelle de l'infection intra radiculaire. Elle peut être dépendante ou indépendante de l'infection intra radiculaire. La forme la plus commune d'infection extra radiculaire dépendante de l'infection intra radiculaire est l'abcès apical aigu. La forme la plus commune d'infection extra radiculaire qui peut être indépendante de l'infection intra radiculaire est l'actinomyose apicale, provoquée par des espèces d'Actinomyces ou par Propionibacteriumpropionicum . La question de savoir si l'infection extra radiculaire dépend ou non de l'infection intra radiculaire a une implication thérapeutique directe puisque l'une (l'infection intra radiculaire) peut être traitée avec succès par un traitement endodontique orthograde tandis que la seconde ne peut être traitée que par chirurgie.(23)

2-1-3)COMPOSITION DE LA FLORE MICROBIENNE ENDODONTIQUE

Bien que la cavité buccale renferme de nombreuses espèces bactériennes, celles qui arrivent à coloniser, croître et survivre dans l'endodonte contenant du tissu pulpaire nécrotique sont en nombre limité.

Les données de la littérature scientifique, basées tant sur la fréquence de détection des germes que sur leur potentiel pathogène, utilisant des approches d'identification culture dépendantes ou culture-indépendantes, ont suggéré que les candidats au "titre" de microbes pathogènes endodontiques appartiennent à un groupe restreint d'espèces.(3)

1-Infections endodontiques primaires :

Les infections endodontiques sont de nature polymicrobienne. Les bactéries anaérobies obligatoires dominent clairement la flore microbienne des infections primaires. En outre, la flore microbienne endodontique présente une variation interindividuelle élevée, c'est-à-dire qu'elle peut changer de manière significative en diversité d'espèces constitutives et en abondance d'un individu à l'autre, ce qui indique que la parodontite apicale a une étiologie hétérogène, où les combinaisons bactériennes multiples peuvent jouer un rôle. Les groupes bactériens principaux, considérés comme pathogènes endodontiques, sont les suivants :

1-1)Bactéries gram négatif :

Les espèces de Fusobacterium sont parmi les bactéries gram négatif les plus fréquentes dans les infections endodontiques. Fusobacterium

nucleatum est la plus fréquente lors d'infections primaires abcédantes. Les bâtonnets anaérobies à pigments noirs (*Porphyromonas* et *Prevotella*) et certaines *Prevotella* non pigmentées sont des membres habituels de la flore endodontique microbienne des infections primaires.

Tannerella forsythia au paravant nommé *Bacteroides forsythus*. Elles sont très souvent retrouvées dans les différents types d'infection endodontique (Rocas *et al.*, 2001).

Les espèces de *Dialister* sont un autre exemple de bactéries régulièrement présentes dans les infections endodontiques mais détectées seulement depuis la mise au point des techniques de biologie moléculaire.

Les espèces de *Campylobacter*, comprenant *C. Rectus* et *C. gracilis*, des spirochètes et des tréponèmes telle que *Treponemadenticola* et *Treponemasocranski* ont été détectées dans des infections endodontiques primaires. (23)

1-2) Bactéries gram positif :

Les bâtonnets gram positif sont également communs dans la flore microbienne associée aux infections endodontiques primaires. principalement, *Pseudomonas aeruginosa*. Les cocci gram-positif, et particulièrement les peptostreptocoques et streptocoques, sont fréquemment présents dans des infections endodontiques primaires.

Enterococcus faecalis, qui a été observé en association étroite avec les dents obturées (infections persistantes/secondaires), est peu fréquent dans les infections primaires. (23)

1-3) Bactéries causant une symptomatologie :

Alors que la cause microbienne des parodontites apicales est bien établie, il n'existe par contre pas de preuves solides associant une forme particulière de maladie endodontique avec une espèce microbienne particulière. (23)

2- Infections endodontiques persistantes/secondaires :

A la différence des infections primaires, les infections intra radiculaires persistantes ou secondaires sont associées à un groupe plus restreint d'espèces microbiennes.

Enterococcus faecalis et *Candida albicans* ont été détectés plus fréquemment dans les infections persistantes ou secondaires associées à des échecs du traitement endodontique.

Les espèces de streptocoques ont également été identifiées régulièrement dans les infections intra radiculaires persistantes/secondaires.

Des infections persistantes/secondaires par *Pseudomonas aeruginosa*, des bâtonnets entériques et des staphylocoques entraînant des traitements endodontiques prolongés. Ces bactéries sont très probablement des envahisseurs secondaires pouvant pénétrer le canal lors d'une rupture de la chaîne d'asepsie survenant au cours d'une intervention intra canalaire. (23)

TABLEAU I - GENRE DES PATHOGENES ENDODONTIQUES PUTATIFS HABITUELLEMENT ASSOCIÉS AUX DIFFÉRENTS TYPES D'INFECTIONS ENDODONTIQUES

INFECTION PRIMAIRE		INFECTION INTRARADICULAIRE SECONDAIRE/PERSISTANTE	INFECTION EXTRARADICULAIRE
Parodontite apicale chronique	Abcès apical aigu		
Gram-négatifs			
<i>Porphyromonas</i>	<i>Porphyromonas</i>	<i>Pseudomonas</i>	<i>Porphyromonas</i>
<i>Tannerella</i>	<i>Fusobacterium</i>	<i>Tannerella</i>	<i>Tannerella</i>
<i>Prevotella</i>	<i>Tannerella</i>		<i>Treponema</i>
<i>Dialister</i>	<i>Prevotella</i>		<i>Fusobacterium</i>
<i>Fusobacterium</i>	<i>Treponema</i>		
<i>Campylobacter</i>			
<i>Treponema</i>			
Gram-positifs			
<i>Filifactor</i>	<i>Streptococcus</i>	<i>Enterococcus</i>	<i>Actinomyces</i>
<i>Eubacterium</i>	<i>Peptostreptococcus</i>	<i>Actinomyces</i>	<i>Propionibacterium</i>
<i>Actinomyces</i>		<i>Streptococcus</i>	
<i>Peptostreptococcus</i>		<i>Propionibacterium</i>	
<i>Streptococcus</i>		<i>Staphylococcus</i>	
<i>Pseudoramibacter</i>			
Fungi			
		<i>Candida</i>	

Genre des pathogènes endodontique putatifs habituellement associées aux différents types d'infections endodontique.(23)

2-2) Le biofilm

2-2-1) Définition

Le biofilm est un mode de croissance microbienne où des cellules sessiles organisées en communauté sont attachées à un substrat solide, ainsi que l'un à l'autre, et sont incorporées dans une matrice auto-faite de substances polymériques extracellulaires (EPS). Un biofilm microbien est considéré comme une communauté qui doit répondre aux quatre critères suivants: Les micro-organismes vivant dans la communauté doivent posséder les capacités d'auto-organisation (Autopoïèse); résister aux perturbations environnementales (homéostasie); doivent être plus performants en association que dans l'isolement (synergie); Et répondre aux changements en tant qu'unité plutôt que des individus (Communauté). La plaque dentaire est l'exemple typique d'un biofilm.(20) Les biofilms dentaires sont des écosystèmes multi-espèces excessivement complexes où les bactéries buccales peuvent agir en coopérant ou en s'opposant, c'est-à-dire de façon synergique ou antagoniste.(3)

2-2-2) Formation et composition de biofilm

De façon caractéristique, le plus connu des biofilms bactériens de la cavité buccale est la plaque dentaire qui se forme à partir du dépôt de la pellicule exogène composée de protéines salivaires.(3)

La formation d'un biofilm, par exemple la plaque dentaire, se fait en quatre étapes :

1)attachement initiale (formation d'une pellicule exogène acquise)

- adhésion, dans un premier temps réversible, par des interactions faibles entre la surface cellulaire et la pellicule, puis attachement fort véhiculé par les récepteurs de l'adhésion ; Ce sont souvent les *Streptococcus viridans* qui ont la capacité de se lier aux protéines comme l'alpha-amylase et les protéines et glycoprotéines riches en proline.

2)attachement irréversible (coadhésion)

par attachement des colonisateurs secondaires aux cellules déjà attachées ; c'est la coagrégation entre les bactéries buccales. Les bactéries qui ne peuvent pas coloniser directement la surface dentaire peuvent le faire par l'intermédiaire de récepteurs situés sur les colonisateurs initiaux *Fusobacterium nucleatum* peut se lier avec beaucoup de bactéries orales telles que les streptocoques ou des bactéries anaérobies strictes ; c'est donc une espèce indispensable pour la formation du biofilm car il permet la liaison entre colonisateurs initiaux et secondaires. Le processus est alors hautement spécifique et diffère selon que la coagrégation se produit avec des bactéries à Gram positif ou négatif.

La coagrégation ne permet pas seulement la colonisation bactérienne par des mécanismes physico-chimiques mais aussi la communication métabolique et les échanges de matériel génétique (Hojoet *al.*, 2009)

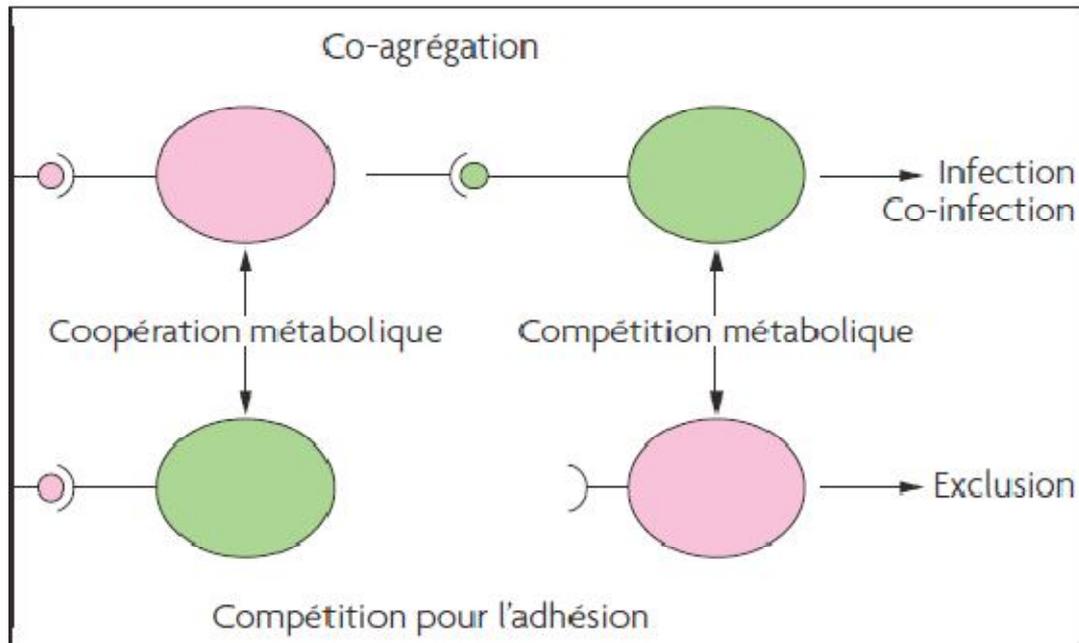


Schéma des interactions bactériennes (d'après Jenkinson et Lamont, 2005).(3)

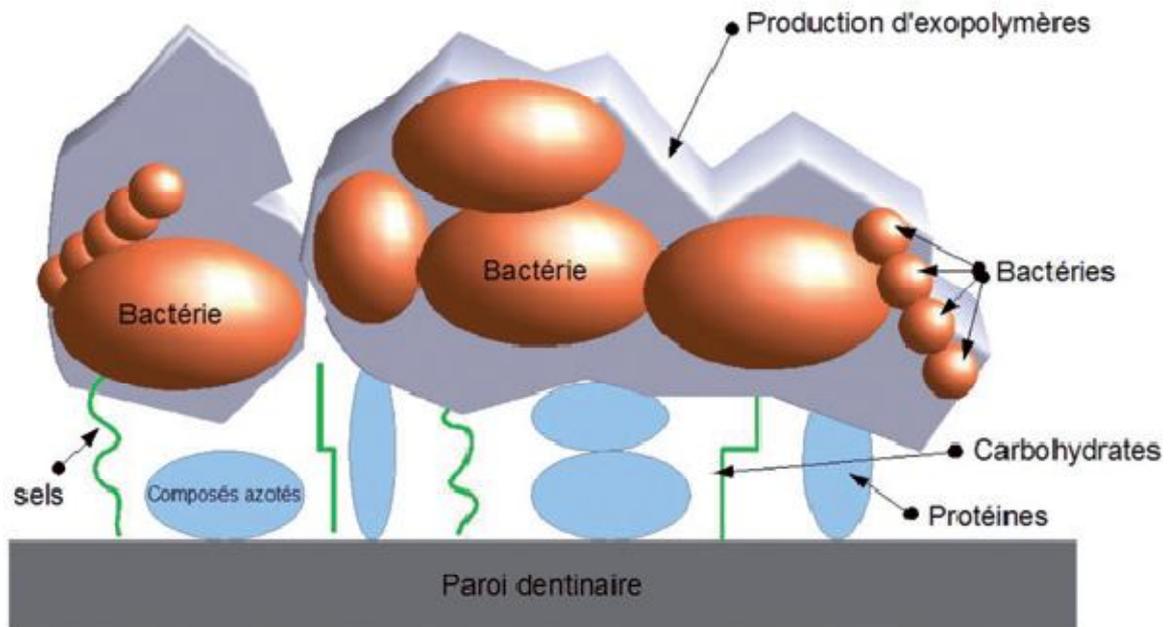
3) maturation 1 et 2 (multiplication cellulaire et formation du biofilm par synthèse d'exopolysaccharides) :

des interactions bactériennes par échanges métaboliques et génétiques conduisant à des interactions compétitives entre les bactéries. Dans les biofilms dentaires, les métabolites des bactéries orales sont par exemple utilisés comme source d'énergie pour d'autres bactéries du biofilm. L'acide lactique produit par *Veillonella* est un élément essentiel de la symbiose entre les streptocoques et cette espèce (Chalmers *et al.*, 2008). La vitamine K est un autre élément peut-être nécessaire à la croissance de souches de *Prevotella* et *Porphyromonas*. L'échange génétique par quorum sensing. C'est une régulation des gènes qui est à l'origine d'une communication biochimique entre les bactéries. Le quorum sensing est une fonction primordiale dans un biofilm, influence des fonctions essentielles comme la virulence, la tolérance aux acides ou la formation d'un biofilm.

4) la dispersion des bactéries :

Secondairement, certaines cellules se détachent. Ce détachement pourrait être une stratégie des bactéries qui colonisent de nouvelles niches avant que l'espace et les nutriments ne soient limités (Hall-Stoodley *et al.*, 2004 et 2005). Ce détachement peut se faire de trois façons :

- par dispersion ;
- par essaimage ;
- par agglomération ou dispersion de surface.(3)



D'après le schéma de l'IFREMER©
Schématisation d'un biofilm.(9)

2-2-3) Les conséquences cliniques

Le biofilm est une barrière contre les facteurs extérieurs. Dès l'instant où les bactéries orales constituent un biofilm, elles sont confrontées à l'oxygène, l'immunité de l'hôte ou les agents antimicrobiens qui forment une barrière unie. Leur comportement par rapport à des bactéries planctoniques dans un même environnement est alors complètement modifié.

La différence la plus notable est certainement une tolérance accrue aux agents antimicrobiens. Selon Sedlacek et Walker(2007), la concentration nécessaire d'un antibiotique pour inhiber la croissance de souches bactériennes dans un biofilm serait 250 fois plus importante que pour les mêmes souches à croissance planctonique.

Il existe trois mécanismes de résistance mis en place par les bactéries du biofilm qui sont les suivants :

- la matrice extracellulaire du biofilm limite la diffusion des agents antimicrobiens
- la croissance à l'intérieur du biofilm est plus lente, ce qui favorise la résistance
- le biofilm contient des facteurs de résistance comme les bêta-lactamases qui provoquent la dégradation des antibiotiques à cycle bêta-lactame.

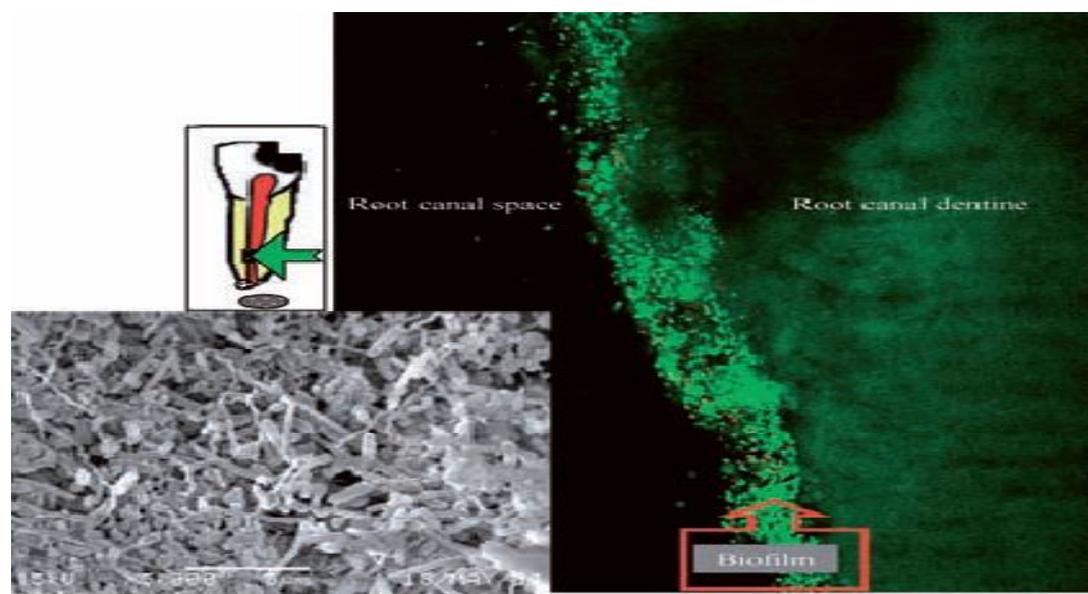
Des bactéries sensibles aux antibiotiques peuvent aussi acquérir une résistance à un antibiotique par un transfert horizontal de gènes ; l'échange d'ADN se fera alors par conjugaison, transduction ou transformation. Cela a été démontré sur un modèle dentaire ex vivo par échange d'un plasmide de conjugaison portant la résistance à l'érythromycine entre *S. gordonii* et *E. faecalis* (Sedgley et al., 2008) cette modifications du phénotype augmentent la résistance.

Par conséquent, la structure et le mode de fonctionnement du biofilm lui permettent d'établir un ensemble de stratégies pour résister aux antibactériens :

- par faible pénétration dans les couches du biofilm grâce au gradient de diffusion.
- par altération du micro-environnement qui laisse les bactéries en phase stationnaire.
- par induction de modifications génétiques et biochimiques en réponse au stress rencontré par la modification de l'environnement.
- par la présence de bactéries persistantes qui sont des cellules « dormantes ».(3)

2-2-4) Stratégie pour traiter le biofilm endodontique

Depuis que les biofilms endodontiques sont censés être responsables de la plupart des échecs thérapeutiques (Hall-Stoodley 2009) il est légitime de chercher à les éliminer lors de nos traitements ou retraitements. Différentes méthodes peuvent être employées de façon alternée ou concomitante. (24)



biofilm endodontique intracanalair

Biofilm intracanalair sur une dent avec lésion parodontale périradiculaire
A. image SEM montrant la nature multi espèce d'un biofilm intracanalair
B. image microscopique de laser scanning d'un biofilm intracanalair, les cellules vertes représentent les cellules vivantes de biofilm intracanalair.

1-La préparation mécanique

Bien que très imparfaite, puisque plus de 35 % des parois ne sont pas instrumentées (Peters et coll., 2001 ; Peters et coll., 2001), elle n'en demeure pas moins indispensable dans l'élimination du biofilm. Son rôle principal est de permettre aux produits utilisés pour la désinfection chimique d'accéder au biofilm, notamment dans les zones les moins accessibles. La « philosophie scandinave » vise justement à exploiter au mieux ce premier moyen de lutte contre le biofilm en élargissant le diamètre apical. Techniquement, cela consiste à créer une boîte apicale à distance des tissus péri apicaux tout en espérant désinfecter les derniers millimètres du canal non instrumenté. L'approche américaine, quant à elle, consiste à maintenir le diamètre foraminaux le plus étroit possible, proche de son diamètre originel. Les objectifs sont ici plus mécanistes : favoriser et optimiser la circulation et le renouvellement de la solution d'irrigation dans le canal, et obtenir un bon contrôle de l'obturation grâce à la conicité apicale.

L'étude de l'anatomie endodontique montre cependant les limites de ces deux approches, puisque ni les isthmes, ni les deltas apicaux, ni les canaux latéraux ou accessoires ne seront réellement concernés par l'instrumentation elle-même.(24)

2-Les solutions d'irrigation

L'action de différentes solutions d'irrigation a été étudiée sur différents modèles de biofilms. A ce jour, ces études se basent sur des modèles de biofilms mono-espèce (souvent *E. faecalis*) ou à deux espèces dans le meilleur des cas (Bryce et coll., 2009). Il faut cependant 5 minutes de contact direct entre la solution d'irrigation et le biofilm pour venir à bout de 3 des 4 biofilms mono-espèce testés (Bryce et coll., 2009). En effet, les bactéries telles que *Streptococcus sanguis*, *Fusobacterium nucleatum*, *Porphyromonas gingivalis* résistent à un contact de seulement 1 minute avec du NaOCl. Dans une autre étude, l'hypochlorite de sodium à 5,25 % s'est avérée plus efficace que le BioPure MTAD (Dentsply – Tulsa– USA) et le Tetraclean (OgnaLaboratoriFarmaceutici - Milan - Italie). Ces derniers, à la différence du NaOCl, se sont avérés inefficaces pour désagréger et éliminer le biofilm mono-espèce de *E. faecalis* à tous les temps d'exposition testés (5, 30 et 60 minutes) (Giardino et coll.,2007). La concentration de l'hypochlorite de sodium semble jouer un rôle important dans sa capacité de destruction du biofilm puisque l'étude de Luis E. ChávezdePaz montre une action efficace, mais pas totale, d'une solution concentrée à 1 % seulement (Chavez de Paz et coll., 2010). L'hypochlorite reste donc actuellement la solution de choix en matière de lutte anti-biofilm, à une concentration comprise entre 2,5 et 5,25 %.

3-Les médicaments

L'hydroxyde de calcium (Ca(OH)_2) est efficace sur certaines espèces bactériennes, y compris *E. faecalis* sous forme isolée. Son efficacité est cependant diminuée sur cette dernière lorsque cette bactérie est organisée en biofilm (Chai et coll., 2007). Il en est de même sur d'autres bactéries capables de bloquer mécaniquement par leur surnombre l'entrée des tubuli et empêchant ainsi sa pénétration dans ces derniers (Behnen et

coll., 2001 ; Haapasalo et Orstavik, 1987 ; Orstavik et Haapalo, 1990 ; Siqueira et Uzeda, 1996).

Les bactéries organisées en biofilm peuvent être des centaines, voire des milliers de fois plus résistantes aux antibiotiques que les mêmes bactéries dispersées et organisées sous forme planctonique.

Il en va de même pour leur résistance face aux défenses de l'hôte et au stress environnemental (Behnen et coll., 2001). Il est important de se rappeler que les biofilms possèdent par leur nature même, une protection passive par la matrice qui les compose. Cette barrière physique empêche les agents anti-bactériens, détergents et antibiotiques de pénétrer en profondeur dans le biofilm.

Il existe également une protection métabolique liée au fait qu'une bactérie fixée dans un biofilm voit son métabolisme ralenti, ce qui la rend moins sensible aux changements environnementaux. *P. aeruginosa* est résistant aux antibiotiques, en partie à cause des pompes de flux du biofilm expulsant activement les composants antimicrobiens. Il s'agit là, d'une protection active des biofilms.

Enfin, une protection génétique pourrait dans certains cas démultiplier la résistance de certains biofilms. Il existe une modification de l'expression génétique des bactéries lors de leur fixation dans la matrice extra cellulaire. La proximité des bactéries leur permet également d'échanger plus facilement du matériel génétique et d'acquérir des caractéristiques nouvelles. Ainsi, en plus d'une action limitée dans des conditions optimales, les médications intra-canalaires ont un défi supplémentaire à relever : tout comme pour le laser ou la préparation mécanique, elles trouvent leurs limites dans le contact réel qu'elles peuvent avoir avec le biofilm. Dans les conditions cliniques, nous pouvons donc douter de leur réelle efficacité.(24)

2.3)La Smear Layer

2-3-1)Définition

the smear-layer ou boue dentinaire en français est un enduit créé par les instruments, qu'ils soient manuels ou mécanisés, ces instruments détachent des copeaux de dentine et les mélange au débris pulpaire et a la solution d'irrigation formant ainsi une couche amorphe irrégulière et d'aspect granuleux sur les parois canalaires.

2-3-2)Composition de smear layer

Cet enduit organo pariétale est composé de substances organiques et inorganiques qui incluent : des débris dentinaires et pré dentinaires, 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).

La smear-layer est donc considérée comme un film superficiel qui recouvre la surface des parois canalaires d'une épaisseur de 1 à 5 μm et d'une couche plus profonde

contenue dans les tubulis dentinaires jusqu'à une profondeur pouvant atteindre les 40µm (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. (18)

2-3-3) Interférence 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 boue dentinaire sous-jacente aux matériaux de restaurations se dissout progressivement par hydrolyse et permet la pénétration des bactéries .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 microorganismes suffit au consensus qui vise à supprimer la smear-layer (Torabinejad et al., 2002). (18)

2-3-4) élimination de smear layer

L'élimination de smear layer est une procédure importante dans le traitement endodontique et plusieurs méthode peuvent être utilisé

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). Aujourd'hui le ND :yag laser est aussi utilisé pour éliminer le boue dentinaire avec plus d'efficacité mais il nécessite un équipement spéciale. (16)

3) L'irrigation en endodontie

Malgré les avancées technologiques qui ont permis d'améliorer significativement la qualité des soins dentaires, les échecs endodontiques constituent toujours un problème.

Ces échecs ont souvent pour origine le non-respect des objectifs et des principes du traitement endodontique. Dès 1974 Schilder a établi une corrélation entre l'action mécanique des instruments et l'action chimique des solutions d'irrigation, depuis il a été clairement prouvé que les manœuvres instrumentales ne peuvent nettoyer le système endodontique avec, son arborescence.

En effet, la complexité du réseau canalaire est représentée par la présence des canaux latéraux, les anastomoses, les ramifications apicales, etc. De plus la structure histologique de la dentine contribue à cette complexité anatomique, pour la dentine radiculaire, Garberoglio Et Brannstrom ont estimé que le nombre des tubules allait de 20000 à 40000 par mm².

Ces tubules créent un système de communication tridimensionnel et peuvent abriter des bactéries provenant de l'endodonte. Au niveau de ces zones inaccessibles, les limites des instruments endodontiques sont palliées par les solutions d'irrigation. De ce fait l'irrigation endo canalaire doit figurer d'une façon permanente durant toute la séquence opératoire de mise en forme, afin d'obtenir un état d'assainissement indispensable à la prévention ou à la guérison des parodontites apicales, cependant malgré les recommandations de base dictées par les organisations l'approche clinique de l'irrigation est décrite afin d'augmenter les chances de réussite du traitement endodontique (19)

3-1) Objectifs de l'irrigation

1-1) Les objectifs physiques

- _ la lubrification des instruments de mise en forme.
- _ la mise en suspension et l'élimination par le flux des débris organique et minéraux ainsi que des débris en suspension, des bactéries

1-2) Les objectifs chimiques

- _ Action solvante des tissus organiques
- _ Elimination des micro_organismes
- _ Innocuité pour les tissus du péri apex

Son rôle est d'autant plus important que nous savons aujourd'hui que les instruments n'entrent en contact qu'avec 45% des parois canalaires. Le rôle de l'irrigation est donc d'atteindre les zones non instrumentées afin de compléter la désinfection.

3-2) les différents types d'irrigation

3- 2-1) L'irrigation passive

- La solution est dispensée dans le canal à l'aide d'une seringue
- Sa pénétration dans l'endodonte est directement liée à la mise en forme du canal. La meilleure désinfection passive sera celle réalisée en fin de mise en forme, plus la mise en forme canalair progresse, plus il est possible d'insérer l'aiguille profondément dans le canal.
- Les facteurs qui améliorent la pénétration passive de la solution lors de l'irrigation à la seringue sont : l'augmentation de la conicité apical, le volume de la solution utilisée, le positionnement de l'extrémité de l'aiguille.
- Elle est responsable de l'action physique de la solution d'irrigation (activité de lavage et d'élimination des débris). L'action physique est fonction du volume de solution et du débit (eux-mêmes dépendants du dispositif seringue + aiguille). Plus le diamètre de l'aiguille est fin, plus la pression d'éjection est importante (pour un même volume de solution) et plus elle progressera apicalement pour un même niveau de placement de l'aiguille dans le canal.
- Actuellement, le dispositif le plus adapté est une aiguille de 27 G associée à une seringue de 5 ml ou une aiguille de 30 G associée à une seringue de 3ml
- Les aiguilles à extrémité droite, biseautée ou avec encoche donnent de meilleurs résultats en terme de pénétration par rapport au système à extrémité mousse et sortie latérale, la solution sort au niveau de l'extrémité de l'aiguille : la solution d'irrigation est donc délivrée uniquement dans la zone où est insérée l'aiguille.

3- 2-2) L'irrigation active

- Activation mécanique de la solution par l'utilisation d'instruments qui la mettent en mouvement.
- Il existe plusieurs types d'activation :
 - ✓ L'agitation avec la lime de perméabilité (la solution progresse au retrait de l'instrument et non lors de son insertion)
 - ✓ L'agitation avec le cône de gutta percha ajusté « maitre cone »
 - ✓ L'utilisation d'un instrument sonore
 - ✓ L'utilisation d'un instrument ultrasonore

- Lors de la mise en forme canalaire une boue dentinaire (smear layer) est créée . celle-ci est constituée de débris organiques et minéraux ,bactéries et leurs toxines cette boue est plaquée sur les parois canalaire elle va empêcher le contact étroit entre le ciment d'obturation et la paroi dentinaires et peut servir de substrat pour les bactéries canalaire non éliminées .
- Un rinçage final est donc nécessaire il est réalisé avec une solution d'éthyle diamine tétra acetic acide disodium (EDTA) à 17% pendant une minute (élimination de la partie minérale de la boue dentinaire). Ce rinçage est suivi d'une irrigation finale a l'hypochlorite de sodium (élimination de la partie organique de la boue dentinaire)

4)Propriétés requises d'une solution d'irrigation

La solution d'irrigation idéale devra avoir un pouvoir mouillant qui lui permettra de pénétrer la totalité du réseau canalaire et agir par une action :

- ❖ physique, qui facilite la progression des instruments endodontiques grâce à son pouvoir lubrifiant permettant une mise en suspension des débris accumulés au cours de la mise en forme canalaire;
- ❖ chimique, en ayant un pouvoir solvant sur les substances organiques, voir minérales. L'action antiseptique à large spectre permettra d'assainir le système endodontique et d'éviter la persistance des microorganismes. Par ailleurs, la solution d'irrigation devra être biocompatible, sans odeur et de conservation aisée. À l'heure actuelle, aucun des produits disponibles ne peut réunir toutes les qualités recherchées Ceci impose l'association de plusieurs solutions aux propriétés complémentaires .(14)

5)Les solutions d'irrigation endodontique

5-1)l'hypochlorite de sodium

L'hypochlorite de sodium est considéré comme la solution d'irrigation de choix ; son aptitude à détruire les agents bactériens d'une part et à dissoudre les composants organiques issus des tissus nécrotiques, des résidus pulpaire ou des biofilms d'autre part, est à l'origine de ce choix consensuel. C'est en 1774 que le chimiste suédois Scheele découvre le chlore. Claude Louis Berthollet étudie, quelques années après, les propriétés décolorantes du chlore et en tire un procédé de blanchiment des toiles

utilisant une solution de chlorure et d'hypochlorite de potassium. Il vient d'inventer la « lessive de Berthollet », bientôt dénommée eau de Javel par suite de la localisation de son premier site de production : la manufacture de produits chimiques construite en 1777 dans le village de Javel, à l'ouest de Paris, qui donnera son nom au produit. En 1820, le pharmacien Antoine Germain Labarraque étudie les qualités désinfectantes des dérivés chlorés et des hypochlorites de potassium et de sodium. Il met au point une solution de chlorure et d'hypochlorite de sodium qu'il appelle « liqueur de Labarraque ». En 1900, on appelait eau de Javel l'hypochlorite de potassium et eau de Labarraque l'hypochlorite de sodium. Plus tard, le procédé de fabrication a remplacé le potassium par le sodium, sans changement de nom. Une version tamponnée par du bicarbonate de soude et concentrée à 0,5 % (à pH 9) a plus tard été proposée par Dakin comme désinfectant médical au cours de la première guerre mondiale. En 1919, Coolidge introduira son utilisation en endodontie (16)

5-1-1) Mécanisme d'action de l'hypochlorite

En solution aqueuse, l'hypochlorite (NaOCl) se dissocie en acide hypochloreux (HOCl). En milieu basique, cet acide hypochloreux se dissocie à son tour en ion hypochlorite (OCl⁻). Ces deux composants sont en équilibre et le niveau de chlore actif est directement lié au pH de la solution. Ce sont ces deux formes actives qui sont responsables des effets antimicrobien et solvant de la solution.

Au fur et à mesure de leur consommation par l'effet oxydant sur les tissus, la quantité d'agents actifs diminue et l'activité de la solution décroît. Seul le renouvellement continu de solution d'hypochlorite de sodium permet d'avoir en permanence de la solution active in situ et d'optimiser la désinfection endocanalaire (16)

$\text{NaOCl} + \text{H}_2\text{O} \dots\dots\dots \text{NaOH} + \text{HOCl}$ (Acide hypochloreux)

En milieu basique : $\text{HOCl} \dots\dots \text{H}^+ + \text{OCl}^-$ (Ion hypochlorite)

5-1-2) La concentration en chlore

L'efficacité antibactérienne de ce type de solution au sein du canal est attendue en fonction de la concentration employée et du temps de contact. Par le passé, plusieurs auteurs ont rapporté qu'une concentration de 1 %, avec un pH proche de la neutralité, permettait d'assurer une efficacité antimicrobienne optimale avec des effets tissulaires minimaux. Les nouvelles instrumentations rotatives en alliage nickel-titane ont réduit le temps de mise en forme. Afin de conserver une efficacité identique, le moyen de contrebalancer cette diminution du temps consiste à augmenter le volume apporté de solution ; ce qui permet de maintenir le même effet nettoyant et désinfectant tout en alliant une faible toxicité. À des concentrations supérieures à 6 %, l'hypochlorite de sodium révèle un caractère hautement toxique. Aujourd'hui, un choix logique se porte sur une solution d'hypochlorite de sodium concentrée de 2,5 % à 5,25 % sous irrigation constante. Une action nettoyante optimale nécessite un temps de contact minimum de 30 minutes.

Plusieurs solutions dites « prêtes à l'emploi » sont commercialisées à différentes concentrations: solution de parcan^(R) à 3% (FR) (septodont) et chlorax^(R) à 5.25% (VSA). (25)

5-1-3) Les avantages de l'hypochlorite

Le but est de repérer en quoi les solutions de NaOCl répondent au cahier des charges d'une bonne solution d'irrigation.

-Action anti bactérien

L'hypochlorite de sodium est un puissant antiseptique, un agent antibactérien à large spectre efficace contre les bactéries, les virus, les levures et les spores. Il agit rapidement même à de faibles concentrations .

In vitro, *Candida albicans* (microorganisme résistant) est détruit en 30 secondes par des solutions à 5%, en 15 secondes dans d'autres études. De même pour *E.faecalis*, détruit en moins de 30 secondes à 5,25% et en 10mins à 2,5%. *E.faecalis* étant l'une des bactéries les plus résistantes des infections, secondaires/persistantes .

Son élimination est primordiale et semble efficace avec le NaOCl .

Bien sûr, toutes ces études sont in vitro, et comme vu précédemment, les études in vivo n'obtiennent pas d'aussi bons résultats (3)

Dans tous les cas, le pouvoir antibactérien du NaOCl n'est plus à prouver. Ces solutions ont le pouvoir d'oxyder et d'hydrolyser les protéines cellulaires et le chlore est un élément bactéricide très actif. Ainsi, le NaOCl est un antibactérien qui a besoin, pour garder toute son efficacité, d'avoir un contact direct avec les bactéries (au moins 10mins) et d'être renouvelé fréquemment. Plusieurs études ont même montré que seul l'hypochlorite de sodium (à partir de 2,25%) serait capable de perturber et de détruire les biofilms dentinaires (3)

-Action protéolytique

L'hypochlorite de sodium possède une vraie action solvant sur les matières organiques, ce qui lui donne une place de choix dans les solutions d'irrigation. On obtient donc grâce à lui une dissolution rapide (dès les premières minutes) des protéines, des résidus pulpaire, des composants organiques dentinaires et de la trame organique de la smear layer .

La supériorité de ce pouvoir solvant sur les acides, les bases fortes et les dérivés oxygénés a pu être démontrée .

Autres propriétés

C'est une solution ancienne, très développée par ses nombreux champs d'applications. c'est donc un produit à faible coût, très bon marché. Il faudra quand même faire attention aux solutions commercialisées qui peuvent contenir surfactants, acides gras,...

C'est une solution de manipulation simple, à action éclaircissante évitant ainsi les dyschromies postopératoires (3)

5-1-4)Inconvénients

Cytotoxicité

Comme on a pu le voir précédemment, une réelle toxicité existe avec cette solution, d'autant plus forte que la concentration en chlore est importante. Il est donc nécessaire de prendre toutes les précautions d'usage pour éviter l'extrusion apicale du produit, le contact avec les tissus de la cavité buccale du patient...

Malgré tout, des complications ont été répertoriées dans la littérature, il est bon de les connaître pour pouvoir mieux les appréhender :

- Contact oculaire : un contact de la solution avec les yeux du patient, ou du praticien (lors de l'activation de la solution par exemple) se traduit immédiatement par une douleur accompagnée d'intenses brûlures et d'un érythème. On peut même observer la perte de cellules épithéliales de la cornée. Il faudra rapidement rincer l'œil avec des solutions salines et consulter un ophtalmologiste.

- Extrusion apicale du produit : c'est le risque le plus craint par le praticien. Elle survient souvent sur des dents avec des apex ouverts ou des constrictions apicales involontairement détruites. Il faut également faire attention à la méthode d'irrigation L'aiguille et la force d'injection.

Immédiatement après l'extrusion, le patient va ressentir de violentes douleurs, des sensations de brûlure et développe après quelques secondes un hématome et une ecchymose en regard de la dent traitée. La situation peut perdurer et mettre un mois à redevenir normale. On retrouve dans la littérature certains cas de trismus et d'œdèmes importants. La prise en charge se fait avec des antalgiques puissants et des compresses froides pour réduire le gonflement. L'utilisation d'AIS est assez controversée dans la littérature.

- Réactions allergiques : ces réactions sont rares.



Figure : Dépassement de NaOCl provoquant Gonflement (à droite) et ecchymose (à gauche) extra-orale



Figure : Large ecchymose intra-orale suite à une extrusion apicale de NaOCl

Dommmages sur les vêtements

C'est l'incident le plus courant. On a vu que l'hypochlorite de sodium est utilisé comme agent blanchisseur, ainsi même de petites gouttes vont décolorer les vêtements du patient pouvant entraîner un litige. Il faudra toujours protéger le patient pendant les soins .

Il faut également prendre toutes les précautions possibles concernant le goût et l'odeur désagréable de la solution pour le patient.

L'instabilité de la solution

L'hypochlorite de sodium ne présente pas une grande stabilité dans le temps. Même si sa demi-vie est raisonnable, plusieurs facteurs peuvent entraîner sa détérioration : le temps, la température, l'exposition à la lumière, la contamination par des ions métalliques .

Les solutions commercialisées (comme Prolabo, Parcan Septodont, Abel Biodica) sont dites « stabilisées » mais leurs stockages et leurs conservations doivent être vigilants.

Le flacon doit être teinté ou opaque, hermétique et stocké dans un endroit sombre et frais.

Les récipients en métal sont proscrits du fait de la réaction du NaOCl avec les métaux .

Absence d'action chélatante

Le NaOCl ne présente qu'une action négligeable sur les débris minéraux et les calcosphérites. Ainsi, il n'a pas d'action solvant sur la matière minérale. Il ne parvient donc pas à dissoudre la smear layer et doit être couplé avec un produit à action chélatante comme l'EDTA .

Le NaOCl répond à de nombreux critères du cahier des charges de la solution d'irrigation.

Il fait l'unanimité comme irrigant de choix dans la littérature et les institutions compétentes. Il faut tout de même prendre en compte ses inconvénients pour y pallier.

Une controverse existe au sujet de la concentration idéale entre efficacité et cytotoxicité, on retiendra que l'HAS (haute sécurité de santé) préconise une solution concentrée à 2,5% (3)

5-2) 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-canalair (Haapasalo *et al.*, 2005a) (18)

5-2-1) Structure et mécanisme d'action

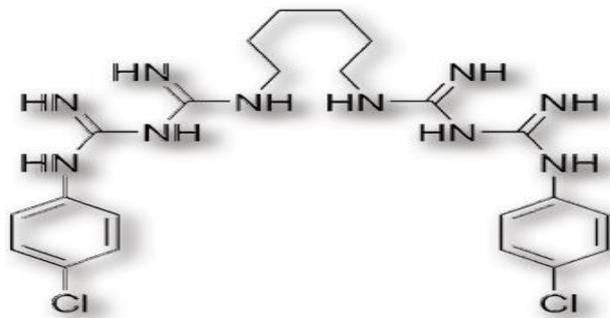


figure : structure moléculaire de la chlorhexidine(18)

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 intracellulaires (McDonnell et Russell, 1999).

La chlorhexidine est utilisée depuis longtemps en dentisterie sous une forme particulière : le gluconate de chlorhexidine, grâce à ses propriétés antibactériennes, 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) (18)

5-2-2) Avantages

1) Action antibactérienne

Le spectre antibactérien de la CHX est intéressant car assez large avec une prédominance pour les Gram +. De nombreuses études ont été menées sur l'efficacité de cette solution, on peut en conclure que la CHX est efficace contre les bactéries endodontiques et notamment *E.faecalis* (qu'elle élimine en quelques secondes ou quelques minutes selon les études). Il a été prouvé qu'une irrigation à la CHX pendant un traitement endodontique réduit significativement la charge bactérienne canalaire. Elle peut être également combinée à de l'hydroxyde de calcium pour augmenter encore plus son efficacité même si certaines études ne parviennent pas à des résultats concluants .

La CHX et le NaOCl semblent être aussi efficaces aux mêmes concentrations, par contre la CHX ne doit pas être considérée comme un antiviral efficace car son activité se limite à l'enveloppe lipidique des virus (3)

2) Action antifongique

Les champignons sont présents dans 1 à 17% des canaux infectés, et l'espèce *Candida* est la plus connue. Ainsi il est important d'avoir un irrigant avec une action antifongique importante pour éviter l'apparition d'infections secondaires et/ou persistantes.

Plusieurs études ont démontrées l'efficacité de la CHX sur *C.albicans* en quelques minutes d'action. Mais en conclusion à toutes ces études, l'action antifongique de la CHX reste significativement moins importante que celle de l'hypochlorite de sodium (3)

3) Son effet sur le biofilm

Même si la CHX agit sur les biofilms, elle ne peut pas les détruire complètement. Seul son association avec des antibiotiques permet une réelle destruction du biofilm endodontique.

Il a donc été démontré que son efficacité était moins importante que le NaOCl, notamment sur les biofilms d'*E.faecalis* (qu'elle ne peut éradiquer à n'importe quelle concentration) (3)

4) Chlorhexidine et rémanence

La dentine traitée avec la chlorhexidine acquiert une rémanence antibactérienne (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 antibactérienne 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) (18)

5-2-3) Inconvénients

1) Pas d'action protéolytique

On a vu qu'il était essentiel que la solution d'irrigation possède une action solvant sur les tissus organiques et minéraux du canal à traiter pour éviter les infections secondaires.

Or, les études ont montré que la CHX n'avait aucune action solvant sur les tissus, elle n'a donc pas d'action sur la smear layer (comme le NaOCl, que l'on peut supplanter par un passage de produit chélatant) mais elle n'a pas non plus d'action de dissolution du tissu pulpaire. C'est l'un de ses inconvénients majeurs à l'inverse de l'hypochlorite de sodium

2) Allergie

Comme pour l'hypochlorite de sodium, ces réactions sont rares et des études ont montré un taux de sensibilité de seulement 2%. Malgré tout, certains symptômes ont été répertoriés comme des desquamations gingivales, des colorations dentaires ou linguales et l'apparition de dysgueusie. Ces effets n'apparaissent généralement qu'après un contact prolongé et répété du produit. Ainsi, même si les réactions sont rares, il est bon de garder en tête la possibilité de leur apparition lors de l'usage de CHX.

3) Interaction avec le NaOCl

On a vu que la CHX possédait un spectre antibactérien intéressant et une cytotoxicité moindre par rapport au NaOCl, mais ne possédait pas d'action protéolytique. Certaines études ont alors proposé l'idée de coupler l'action de la CHX, du NaOCl et d'un chélatant (EDTA) afin d'augmenter le spectre d'action de l'irrigation. On a dû alors se pencher sur les interactions entre ces produits.

Plusieurs études ont démontré un changement de couleur ainsi que la formation d'un

précipité lorsque l'on combine la CHX avec le NaOCl. Ce changement de couleur apparaît même au plus basse concentration en NaOCl. Si l'on augmente cette concentration, la coloration évolue de « orange-pêche » à « brun » avec un précipité de plus en plus important et épais .



Figure : Tubes contenant des concentrations décroissantes de NaOCl de gauche à droite (6%, 3%, 1,5%, 0,75%, 0,38%, 0,19%, 0,094%, 0,047% et 0,023%) mélangées à de la CHX à 2%. Les deux derniers tubes sont respectivement du NaOCl seul à 6% et de la CHX seule à 2

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.

5-3)les chélateurs

5-3-1)Ethylen Diamine Tétracetic acid (EDTA)

1)Présentation et mode d'action

Les instruments coupants utilisés génèrent la formation de copeaux de dentine composés à 70% de phase minérale [hydroxy_apatite] .Ces copeaux sont en général compactés sur les parois latérales du canal à cause du mouvement de pompage impliqué aux instruments et forment ainsi une boue dentinaire .cette boue est un mélange de débris dentinaires , de copeaux ,de bactéries ,etc. .et sa composition varie en fonction de la situation clinique. uniquement constituée de débris organiques d'origine pulpaire et minéraux sur une dent vivante, elle contient également des bactéries [planctonique ou organisées en biofilm] sur la dent infectée, et des résidus de matériaux d'obturation en cas de retraitement .si l'hypochlorite de sodium a une action

solvant sur les composants organiques , cette solution est totalement inactive sur les composants minéraux .pour rendre accessible à la solution d'hypochlorite de sodium les micro-organismes contenus dans cette boue dentinaire ,la phase minérale doit préalablement être éliminée .C'est le rôle des solutions chélatantes utilisées dans la phase d'irrigation finale .la solution la plus connue est l'EDTA de sodium introduite en endodontie par nygard ostby en 1957 .(16)

L'EDTA est obtenu par dissolution de sels di _ ou tri _ sodiques d'acide éthylène diamine tétra acétique dans l'eau .il se présente 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). l'efficacité des solutions d'EDTA dépend essentiellement de leur ph . elle est optimale à un ph compris entre 6 et 10 .il a tendance à la cristallisation au contact de l'air [il est recommandé de refermer le flacon immédiatement après usage] .il est utilisé au cours de la phase finale de l'irrigation sous la forme liquide à une concentration de 17% et à ph physiologique . (18)

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

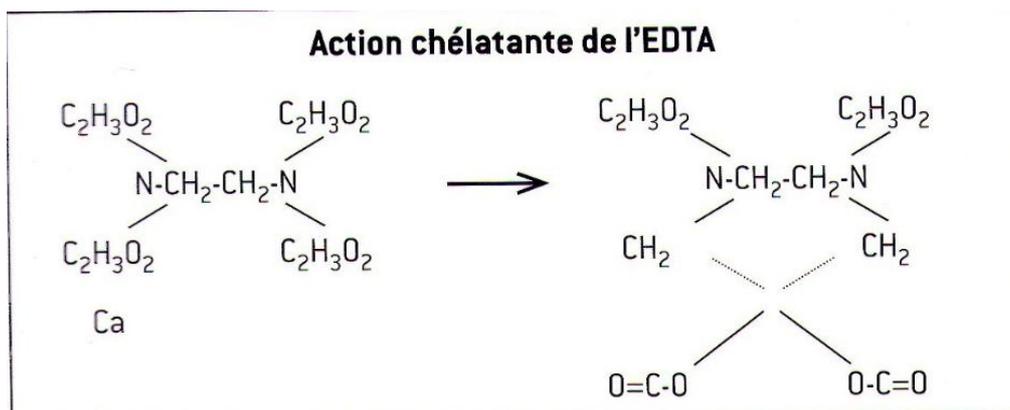


Figure :action chélatante de l'EDTA

2) Avantages

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 modification de la réponse immunologique dans la zone apicale (Masillamoni et al., 1981 ; Segura et al., 1996 ; Segura et al., 1997).

En analysant ces résultats contradictoire, 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).(18)

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 microorganismes 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 intracanaulaire (Baumgartner et Ibay, 1987 ; Grawehr et al., 2003). élimination de la smear-layer avec une solution d'EDTA à 17% à droite (Dotto et al., 2007) (18)

3) EDTA et tubulis dentinaires :

Le diamètre des tubulis dentinaires diminue de $1,2\mu\text{m}$ au niveau de jonction pulpodentinaire à $0,4\mu\text{m}$ à la jonction dentino-cémentaire (Pashley, 2002). Le nombre de tubulis est d'autant plus grand que l'on se rapproche de la pulpe ($58000/\text{mm}^2$) par contre $10000/\text{mm}^2$ 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 ; Fogelet Pashley, 1990).

L'EDTA étant un acide, il agit sur la partie minérale de la dentine, et en particulier sur la Dentine péri tubulaire. 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. (18)

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. (18)

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 canalair (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) Inconvénients

1) Pas d'action solvant 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 (Zehnder et al., 2005). (18)

2). Action sur la structure dentinaire

La valeur de dureté de la dentine radiculaire varie entre 40 et 75 kg/mm² (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). Au contraire, la dureté des parois radiculaires reste presque constante : de 88,78 kg/mm² à l'entrée du canal, à 94,68 kg/mm² 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. (18)

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.

4) Action antibactérienne

Certaines études ont montré une action antibactérienne, certes très limitée, mais existant (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).

5-3-2) L'acide citrique

L'acide citrique est présent en endodontie depuis les années 1970, sous la forme d'un liquide transparent de concentration variable de 6 à 40%. Plus sa concentration augmente, plus la solution sera visqueuse

1) Mode d'action

C'est un acide organique faible présent dans l'alimentation (agrumes) et donc non toxique pour l'homme. C'est un chélateur des ions calcium dont le mécanisme d'action est similaire à celui de l'EDTA.

2) Avantages

1) Biocompatibilité

Comme on a pu le voir, l'acide citrique est beaucoup moins toxique que les autres chélateurs et notamment l'EDTA et est en plus biodégradable (18).

2) Élimination de la smearlayer

C'est ce que l'on recherche chez un chélateur. Si on synthétise les différentes études à ce sujet, on peut dire que l'acide citrique est aussi efficace que l'EDTA à concentration équivalente pour dissoudre la trame minérale et ainsi libérer les tubulis dentinaires (18)

3) Action antibactérienne

Elle est plus importante que l'EDTA. L'acide citrique apparaît même assez efficace contre les bactéries anaérobies. Mais cette efficacité reste mineure par rapport à ce qui est nécessaire et ne suppléante en rien celle du NaOCl. L'acide citrique ne peut donc pas être utilisé seul et, comme l'EDTA, il doit agir en synergie avec la solution d'irrigation principale .

3) Inconvénients

Les inconvénients ne sont pas flagrants, dans la littérature, notamment, car peu d'études se sont intéressées à l'acide citrique. On peut néanmoins remarquer qu'il a tendance à se cristalliser lors de son action de déminéralisation et qu'il sera plus érosif sur les parois dentinaires que l'EDTA. Il faudra donc mettre en place un bon protocole de rinçage après son utilisation. De plus, au contact des débris organiques, il va se désactiver très rapidement .(18)

5-3-4) MTAD

Le MTAD (Mixture of Tetracycline isomer, Acid and Detergent) est une solution associant de l'acide citrique avec de la doxycycline et un détergent (le Tween 80). Le but étant, en couplant plusieurs molécules, d'obtenir une solution « idéale » répondant à tous les critères essentiels de l'irrigation canalaire. Ici on souhaite donc désinfecter les surfaces dentinaires, supprimer la smear layer et ouvrir les tubulis. Au vu de la flore bactérienne endodontique, le choix de la doxycycline semble judicieux. Pour supprimer la smear layer, l'acide citrique a été choisi car il ne présente pas d'interaction avec l'antibiotique. Enfin, pour augmenter la pénétration de la doxycycline dans les parois dentinaires, un abaisseur de la tension superficielle a été rajouté : le Tween

1) Avantages

1) Action antibactérienne

La doxycycline, de part son spectre d'action, est clairement adaptée à la flore endodontique. Le MTAD apparaît plus efficace que le NaOCl sur *E. faecalis*. L'efficacité est encore plus accrue quand on fait agir en synergie le MTAD et le NaOCl

2) Élimination de la smear layer

On a vu que l'acide citrique possédait de bonnes propriétés chélatantes sur la trame inorganique et permettait une élimination efficace de la smear layer. Mais la présence de la doxycycline rend cette solution encore plus intéressante. Effectivement, les tétracyclines ont un pH assez bas, ce qui peut provoquer une action chélatante sur le calcium et ainsi, comme les chélateurs, déminéraliser les surfaces dentinaires. Le MTAD, en irrigation finale, apparaît ainsi encore plus efficace que l'EDTA sur

l'élimination de la smear layer, surtout au niveau du tiers apical en étant moins érosif pour la dentine .

3)Effet de rémanence

Comme la CHX, le MTAD (grâce à la présence de la doxycycline) nous permet d'avoir une action antibactérienne rémanente. La solution, qui a pénétré dans la dentine, continue de libérer son contenu dans le temps et ainsi augmente son efficacité contre les infections secondaires .(18)

2)Inconvénients

1)Non indépendant

Comme tous les chélateurs cités jusqu'ici, le MTAD ne peut être utilisé seul. Même si son activité antibactérienne peut, dans certaines études, apparaître plus efficace que celle du NaOCl pour E.faecalis, l'activité antimicrobienne du NaOCl reste de meilleure qualité dans sa globalité. Or le but premier de cette solution est de coupler plusieurs molécules afin d'offrir une réelle alternative à la combinaison NaOCl-EDTA. Cela semble malheureusement impossible à l'heure actuelle

2)Allergies-intolérances

La présence de la doxycycline n'est pas anodine et doit être prise en compte dans l'utilisation du MTAD. Effectivement elle peut entraîner des allergies, des intolérances, des interactions et des dyschromies dentaires. Elle empêche également l'utilisation de ce produit chez tous les patients

3)Disponibilité

Le MTAD n'a pas encore, à l'heure actuelle, obtenu son autorisation de mise sur le marché en France. S'il obtient son autorisation, son coût devrait être largement supérieur au NaOCl, ce qui risque de grandement freiner son utilisation dans la pratique courante .

5-3-5) LE QMIX

Le QMIX[®] est la dernière solution proposée sur le marché par la société dentsply. Développée par l'équipe du D^r haapasalo (vancouver). Elle est censé associer les deux phases d'irrigation à savoir désinfection et élimination de la boue dentinaire .

La composition de cette solution reste protégé par le fabricant mais les résultats publiés par l'équipe semblent particulièrement prometteurs il est a noter que contrairement au MTAD[®] cette solution ne contient pas d'antibiotique .

5-3-6) Les autres solutions :

1) L'eau et le sérum physiologique

Ces solutions sont évidemment les plus biocompatibles. Elles ne présentent aucun effet toxique et n'entraînent pas d'effets secondaires. En contre partie, ce sont des solutions sans aucune propriété antibactérienne ou solvante. Elle n'ont pas d'action antiseptique et n'agissent pas sur la smear layer.

Leur seule action est purement mécanique en créant un flux de liquide avec mise en suspension et évacuation des débris. (1)

2) Le peroxyde d'hydrogène (H₂O₂)

C'est un liquide incolore utilisé, en dentisterie, à des concentrations de 1 à 30%. L'eau oxygénée est un composé oxydant grâce à sa production de radicaux libres ("OH) qui vont attaquer des composants cellulaires essentiels : les protéines, les lipides et les chaînes d'ADN. (1)

Son activité est accrue à pH acide mais resterait brève et limitée par la présence de matière organique. La concentration à usage antiseptique majoritairement utilisée en endodontie est de 3%, c'est à dire que la solution contient 3% en poids de peroxyde d'hydrogène et dégage 10 fois son volume en oxygène gazeux Cette solution présente certains avantages dans la pratique endodontique

- Action antimicrobienne : elle est efficace contre les virus, les levures, les spores et certaines bactéries. Son spectre antibactérien n'est pas négligeable notamment sur les bactéries anaérobies par libération d'oxygène. H₂O₂ est plus efficace sur les bactéries à Gram- que sur les Gram +. Cette activité doit être relativisée. Effectivement, de nombreuses études montrent qu'une association NaOCl-H₂O₂ et NaOCl seul ne présentent pas de différences significatives sur l'efficacité antiseptique. De plus, la CHX et l'hypochlorite de sodium ont une activité antimicrobienne plus importante que l'eau oxygénée, rendant donc son utilisation obsolète.

- Interaction avec NaOCl : le mélange entre ces deux solutions produit du NaCl, de l'eau et de l'oxygène. La formation du gaz O₂ est intéressante car responsable d'un phénomène d'effervescence qui facilite l'évacuation des débris canalaires.

- Action blanchissante : c'est une des grandes propriétés de l'eau oxygénée. Le peroxyde d'hydrogène est souvent utilisé comme agent blanchissant dans plusieurs domaines et notamment en dentisterie pour l'éclaircissement dentaire. On pourra donc, grâce à lui, traiter ou prévenir les dyschromies.

A ces avantages se rajoute un inconvénient majeur : son caractère irritant pour le péri-apex.

Le peroxyde d'hydrogène crée des inflammations ligamentaires et même des résorptions externes. Il peut entraîner des douleurs et des emphysèmes gazeux post-opératoires, il est donc essentiel de bien rincer le canal à l'eau distillée avant son obturation. A l'heure actuelle, l'utilisation du peroxyde d'hydrogène n'est plus recommandée car son action antibactérienne est moins efficace que les solutions vu précédemment et il ne possède aucun pouvoir solvant.(1)

3) Les Ammoniums quaternaires

Ce sont des cations polyatomiques de structure générale NR_4^+ , R pouvant être un groupe alkyle ou aryle. Ils sont caractérisés par leur bipolarité et leur caractère tensioactif.

En endodontie, on utilise le chlorure de benzalkonium et le cétridine. Ils seront toujours associés à d'autres composants (comme l'EDTA) pour ajuster le pH à 7,4. Ils créent des lésions irréversibles des membranes cellulaires des micro-organismes et ainsi être bactéricides et bactériostatiques selon leur concentration (surtout sur les Gram +). Ils sont également fongicides.(1)

Par contre, leur spectre antibactérien reste étroit et ils vont être à l'origine de résistance, surtout sur les Gram – et les staphylocoques. En présence de matière organique leur efficacité est inhibée, ce qui rend leur utilisation complexe en endodontie. Ils ne sont pas sporicides et leur activité est faible sur les virus. Leur toxicité est également à prendre en compte, ils sont responsables de sensibilisation et leur pouvoir détergent peut être à l'origine de nécroses épithéliales.

En résumé, malgré quelques points positifs, leur utilisation ne semble pas justifiée dans la pratique endodontique en comparaison aux solutions déjà présentées. Les dérivés iodés. Ils sont utilisés depuis des décennies pour la désinfection des surfaces, de la peau et des champs opératoires. Ces solutions sont actives rapidement sur les bactéries, les spores, les champignons et les virus même à faible concentration. Mais les solutions aqueuses d'iode sont plutôt instables d'où le développement d'iodophores (« transporteurs d'iodes »). Ce sont des complexes de molécules d'iode et d'agents de solubilisation, comme la povidone iodée.

En endodontie, on utilise l'iodure de potassium qui présente de bon résultat antibactérien mais ne semble pas apporter un plus par rapport aux dérivés chlorés. Le risque allergique et le phénomène de coloration brune inhérent à l'utilisation d'iode n'encourage pas l'utilisation de ces solutions.(1)

4) L'ozone (O3)

L'ozone est une forme gazeuse de l'oxygène, énergétique et instable, qui se dissocie en oxygène (O_2) et en oxygène singulet très réactif (O_1). L'oxygène singulet a un pouvoir oxydant important sur les cellules, ce qui donne à ces solutions leur pouvoir

antimicrobien.

Malheureusement, les résultats des études qui se sont penchées sur l'ozone en endodontie, et surtout sur son efficacité contre les bactéries endodontiques, sont assez incohérents. Cette incohérence est en partie due au manque d'information sur la concentration et le temps d'action efficace de l'ozone dans les canaux. On retiendra que la concentration de l'ozone utilisé en endodontie est généralement au alentour de 4g/m³ pour être le moins cytotoxique possible (moins que le NaOCl à 2,5%) .

En synthétisant les études réalisées, on peut dire que l'ozone possède un effet antibactérien important sur les bactéries sous forme planctonique (notamment E.faecalis) mais l'effet est grandement diminué quand on l'étudie sur le biofilm. Dans tous les cas cette activité antibactérienne n'est pas comparable au NaOCl, l'ozone ne peut donc pas être considéré,comme une alternative à l'irrigation à l'hypochlorite de sodium .(1)

Avantages et inconvénients des principaux produits destinés à l'irrigation endodontique

	Hypochlorite de sodium à 2,5 %	Digluconate de chlorhexidine à 2 %	Composés à base d'EDTA	BIOPURE® MTAD®
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> -Action solvante des matières organiques -Action antiseptique à large spectre Meilleure évacuation des débris -Coût faible 	<ul style="list-style-type: none"> -Effet de rémanence -Action antiseptique 	<ul style="list-style-type: none"> -Élimination de la boue dentinaire -Préparation plus facile des canaux 	<ul style="list-style-type: none"> Meilleure élimination de la boue dentinaire
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> -Pas d'action sur les matières minérales -Toxicité en cas de propulsion dans le périapex 	<ul style="list-style-type: none"> -Pas d'action solvante sur les matières organiques -Pas d'action sur la boue dentinaire 	<ul style="list-style-type: none"> -Pas d'action antiseptique -Pas d'action solvante sur les matières organiques -Altération de la structure dentinaire 	<ul style="list-style-type: none"> -Utilisation en rinçage final uniquement -Coût élevé

6) Les Différents dispositifs et techniques d'irrigation :

6-1 Un dispositif médical (DM) : est tout instrument, appareil, équipement, matière ou autre article, utilisé seul ou en association, chez l'être humain pour le diagnostic, la prévention, le traitement d'une maladie, d'une blessure ou d'un handicap, ou d'étude ou remplacement ou modification de l'anatomie ou d'un processus physiologique.(47)

Il est destiné par le fabricant à être utilisé chez l'être humain à des fins médicales et dont l'action principale voulue n'est pas obtenue par des moyens pharmacologiques, immunologiques, métaboliques, mais dont la fonction peut être assistée par de tels moyens. (47)

A ce jour il existe de nombreux systèmes d'irrigation différents. Nous allons décrire dans un premier temps le plus courant, le système seringue-aiguille, avant de détailler des moyens plus récents tels que l'utilisation des ultrasons, des lasers, ou encore le système EndoVac.

Après avoir consulté un grand nombre de sources et de références, plusieurs classifications en ressortent

Nous avons opté pour une classification globale de tous les dispositifs en insistant sur leur technique d'utilisation ainsi que leurs avantages et inconvénients.

6-2 l'irrigation discontinue (le flux est discontinu).

6-2-1 les moyens d'activation mécanique

1) activation manuelle dynamique

-Le système seringue-aiguille

L'irrigation canalaire avec une seringue et une aiguille reste encore à l'heure actuelle la procédure la plus courante (2).

1). Les seringues

Une seringue est constituée d'au moins deux éléments : un piston et un corps de pompe cylindrique.

Le corps est le plus souvent gradué, nous renseignant sur la quantité de liquide qu'il contient, et se termine par un embout (central ou excentré, lisse ou muni d'un pas de vis) pouvant accueillir une aiguille afin d'injecter le liquide dans des tissus, vaisseaux, cavités naturelles...(39)

Les seringues sont les instruments les plus couramment utilisés lors de l'irrigation canalaire. Il existe différentes contenances : un volume de 5 à 10 ml permet un large rinçage final, et évite une recharge trop fréquente. Le volume connu est injecté avec contrôle, en pression positive. La profondeur de l'aiguille est aussi connue,

cependant il est impératif de renouveler fréquemment l'apport en NaOCl pour améliorer l'efficacité du nettoyage. (1)

Malgré leur inefficacité dans le tiers apical, les seringues demeurent la procédure standard en pratique quotidienne. (31)

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

La seringue est dite « 2 pièces » lorsque le piston se termine en plateau. Le piston et la tête sont ainsi d'un seul tenant. Elle est dite « 3 pièces » lorsqu'un joint en élastomère lubrifié par de l'huile de silicone est rajouté. Le piston présente alors une tête rapportée (28).

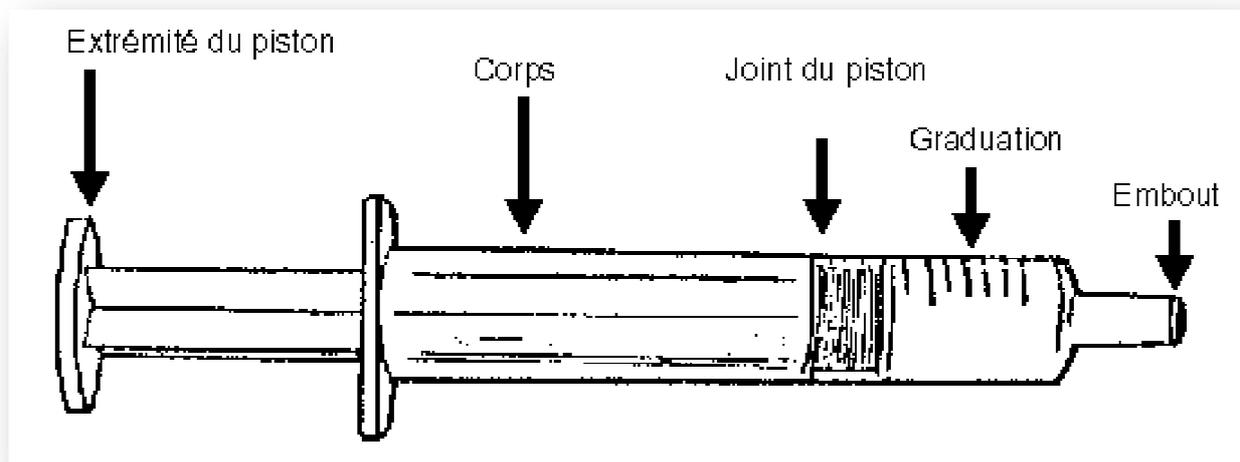


Figure 1 : Schéma légendé d'une seringue(2)

On classe généralement les seringues en fonction du type d'embout :

- **Les seringues Luer** (ou non Luer-Lock) ont un embout conique avec une pente à 6° mais ne disposent pas de système de verrouillage. Les aiguilles doivent être pressées à la pointe de la seringue.
- **Les seringues Luer-Lock** présentent la même spécificité de conicité mais disposent, elles, d'un système de verrouillage des aiguilles. L'aiguille ne peut donc pas glisser accidentellement hors de la seringue (28, 35).

▪ **Exemples de seringue Luer :**

- La seringue Terumo : est constituée de 3 pièces. Elle répond au besoin d'étanchéité et à une injection sans à-coups. On peut également trouver un modèle Luer-Lock (31).
- La seringue BD Discardit II 2 : est constituée de 2 pièces. Elle présente un embout excentré et des forces de glissement du piston réduites pour une injection plus régulière (34).
- La seringue BD Plastipak : est constituée de 3 pièces. Comme les deux précédentes elle est graduée et disponible en plusieurs contenances. On peut également trouver un modèle Luer-Lock (45).



Figure 2 : Seringues BD Plastipak Luer(2)



Figure 3 : Seringue Terumo (gauche) et BD Discardit II 2 (droite)(2)

Ces seringues ne présentant pas de système de verrouillage, le risque de déconnexion prématurée existe. Ainsi l'ANSM a édité un rapport en 2007 sur les seringues BD

Plastipak à embout Luer suite à une série de déconnexion prématurée. Ce rapport invite les utilisateurs à attacher fermement les dispositifs connectés à ces seringues (27).

L'utilisation de seringue Luer-Lock permet d'éviter ces désagréments.

▪ Exemples de seringues Luer-Lock

Elles présentent les mêmes caractéristiques et diversités que les seringues Luer en présentant un système de verrouillage évitant les déconnexions.

On retrouve des seringues Terumo Luer-Lock et BD Plastipak Luer-Lock. On peut également citer les seringues Monoject Luer-Lock très utilisées pour l'irrigation endodontique (41).



Figure 4 : Seringue Monoject Luer-Lock(2)

2. Les aiguilles :

Une aiguille est une tige creuse, à la pointe aiguisée, permettant d'injecter un liquide, le plus souvent un médicament en solution. Elles sont constituées d'un embout afin de les adapter sur une seringue (40).

La longueur et l'épaisseur de l'aiguille peuvent beaucoup varier en fonction de l'acte réalisé. Son diamètre est caractérisé par le terme de gauge, il varie de 8 à 30 ce qui correspond respectivement à 4,57mm et 0,31mm. Il faut retenir que plus la gauge est élevée, plus le diamètre de l'aiguille est petit. On peut ainsi trouver deux aiguilles ayant la même longueur mais des diamètres différents (35).

La canule, en acier inoxydable ou en nickel, est associée à l'embase en matière plastique d'une conicité de 6% s'adaptant à l'embout de la seringue (en Luer ou Luer-Lock). Un code couleur permet de différencier les diamètres (28).

L'aiguille peut se terminer en biseau, en ouverture latérale, par plusieurs ouvertures...
L'étude de ces différentes aiguilles nous intéressera particulièrement en endodontie.

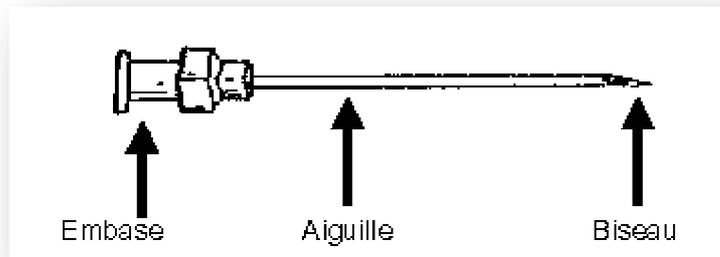


Figure 5 : Schéma d'une aiguille(2)

Les études indiquent que l'irrigation par aiguille conventionnelle est moins efficace dans le tiers apical comparé à la partie coronaire, d'autant plus si le canal est courbe. (1)

L'étude de Sedgley et coll. [2005, 14] rapporte que 9% des bactéries perdurent après l'injection de 6ml d'une solution inerte (sans pouvoir antibactérien) à 1 mm de la longueur de travail contre 26% quand la solution inerte est éjectée à 5 mm de la longueur de travail.

Boutsioukis et coll. [2009, 6] montrent que l'échange d'irrigant n'intervient qu'entre 1 et 1,5 mm de l'évent latéral d'une aiguille, et par conséquent, la solution située au-delà de cette zone n'est pas renouvelée.

Huang et coll. [2008, 1] démontrent que la paroi canalaire faisant face à l'ouverture de l'aiguille est significativement plus propre que le mur opposé.

Le risque d'extrusion est plus grand avec les aiguilles conventionnelles. Les recommandations admises pour éviter les accidents sont de ne pas figer l'aiguille dans le canal, éviter une trop grande proximité avec la longueur de travail et appliquer un débit modéré d'éjection. (12)

L'étude d'Altundasar et coll. [2011, 5] pondère les résultats précédant en rappelant qu'une aiguille à écoulement latéral produit moins d'extrusion d'irrigant, mais la différence n'est pas significative. Une aiguille insérée plus loin améliore le nettoyage à l'apex mais accroît le risque d'extrusion. Il rappelle que l'important est de vérifier radiographiquement l'état des apex ou la présence d'éventuelles résorptions, perforations.

2.1. Différents types d'aiguille

On retrouve sur le marché deux grands types d'aiguille : celle à bout ouvert et celle à bout fermé.

Pour la pratique endodontique, dans le but de ne pas réaliser de dépassement de solution d'irrigation au niveau du peri-apex, il a été démontré la nécessité d'utiliser des aiguilles à bout fermé (D, E et F sur *figure 7*), notamment grâce à la visualisation et à l'étude des trajectoires des particules de la solution d'irrigation au niveau du canal dentaire (*figure 6*) (2).

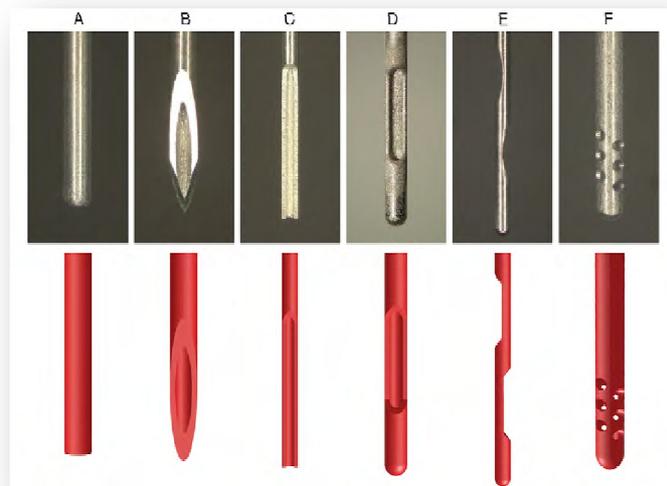


Figure 6 : 6 aiguilles différentes à bout ouvert (A, B et C) et à bout fermé (D, E et F)(2)

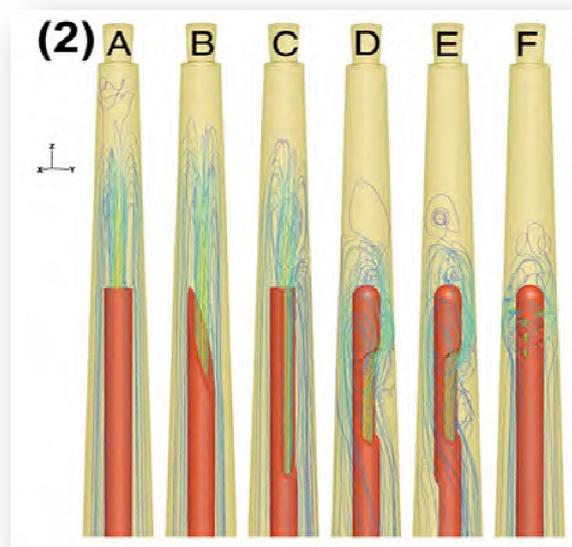


Figure 7 : Visualisation de la trajectoire des particules de la solution d'irrigation en 3D(2)

Nous allons voir plus en détails 3 types d'aiguilles à bout fermé, intéressantes dans la pratique endodontique.

- **Endoneedle (Elsodent)** : Canules d'irrigation endocanalaire à bout mousse et ouverture latérale, elles présentent l'avantage d'éviter que le liquide d'irrigation sous pression irrite le desmodonte par effet « canon à eau ».

Le diamètre de l'ouverture de l'aiguille est assez réduit afin d'avoir une pression suffisante pour faire remonter les débris dentinaires et pulpaire présents (19).

L'extrémité arrondie et l'ouverture latérale permettent aussi un emploi de ces aiguilles pour l'irrigation des poches parodontales de manière atraumatique.

Ces canules existent en trois diamètres : gauge 30 (couleur mauve), gauge 27 (couleur jaune) et gauge 23 (couleur bleue) pour s'adapter à tous types de canaux.

Elles sont flexibles afin de s'adapter à la morphologie canalaire et présentent une longueur utile de 33mm (29, 32).

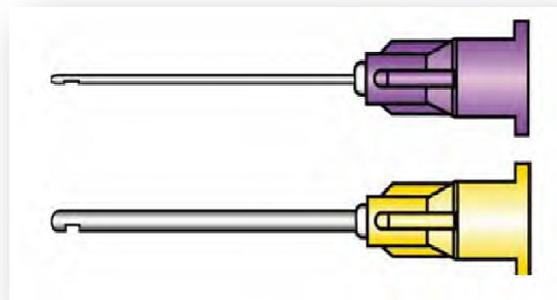


Figure 8 : Endoneedle (Elsodent) gauge 30 et 27(2)

- **Irrigation probe (Kerr Hawe)** : Canules d'irrigation à bout mousse et ouverture latérale permettant une irrigation non traumatisante des canaux dentaires, sans risque de perforation apicale. Elles existent, elles aussi, en divers diamètres (gauge 21, 23, 25 et 30), et ont une longueur utile de 25mm (37).

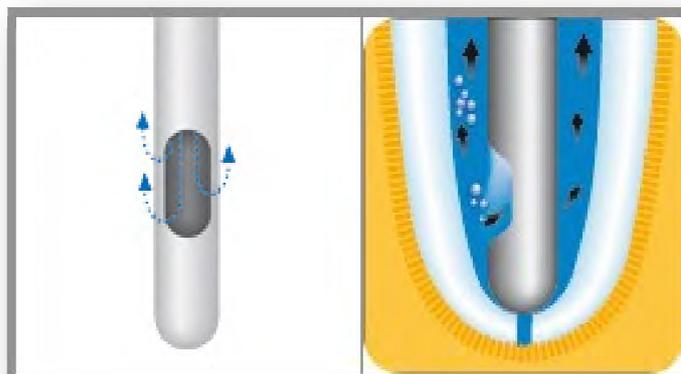


Figure 9 : Schéma fonctionnement Irrigation probe de Ker(2)

- **Endo Irrigation Needle (Transcodent)** : Aiguille avec deux sorties latérales et un bout mousse. Elles permettent un nettoyage efficace de la totalité du canal toujours de manière atraumatique. Comme les autres elles sont disponibles en plusieurs diamètres selon le largeur du canal rencontré (33).

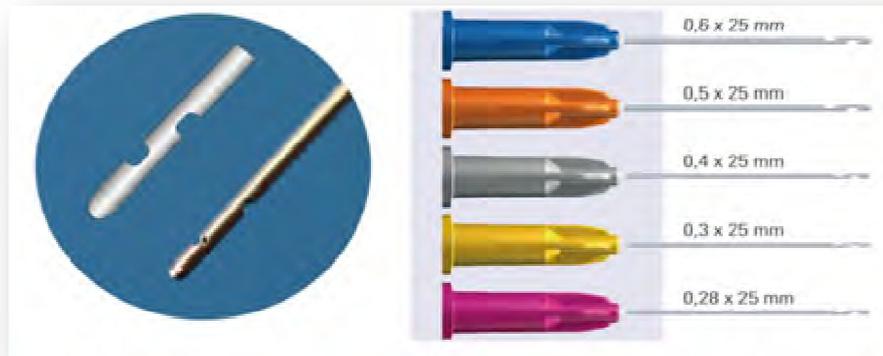


Figure 10 : Endo Irrigation Needle par Transcodent(2)

▪ **Quelques exemples d'aiguille :**

• **Aiguilles Miraject® et Neodent®**

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

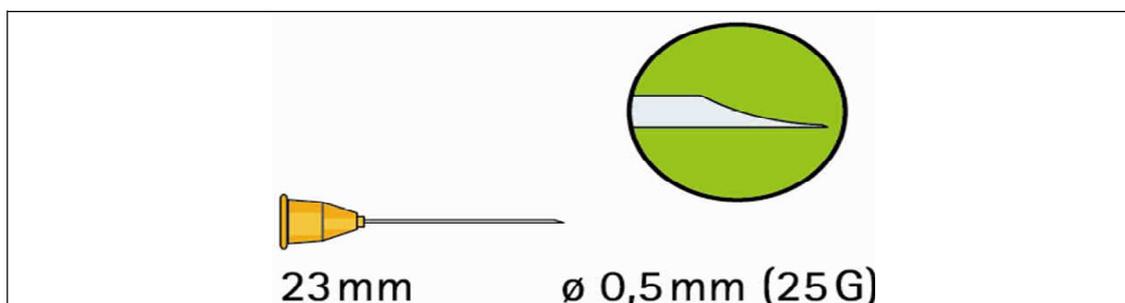


Figure 11 : Aiguille d'irrigation canalaire simple Miraject®(1)

- **Max-i-Probe[®] (Dentsply)**

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

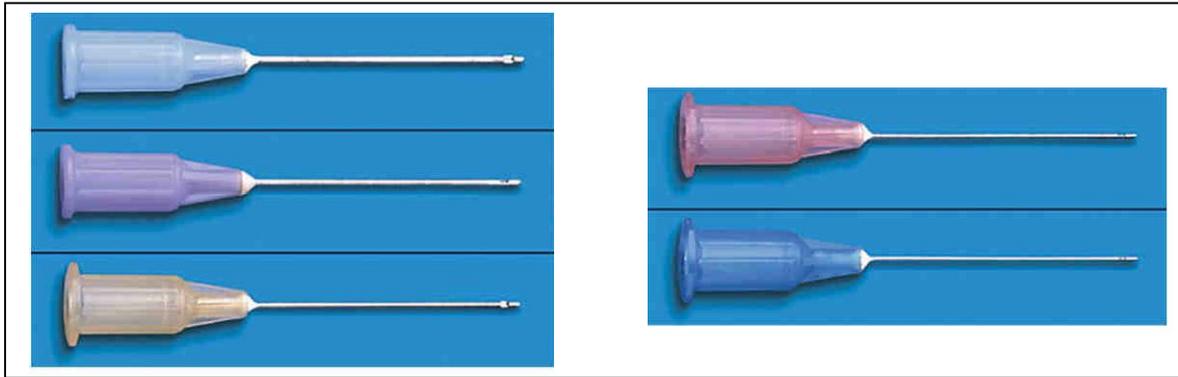


Figure 12 : Aiguilles d'irrigation (modèle Max-i-Probe[®]) à écoulement latéral adaptables sur une seringue de type Luer (1)

- **NaviTip Fx[®] :**

De conception récente, l'aiguille NaviTip Fx[®] est un embout adaptable sur un corps de seringue type Luer, manuel et passif permettant d'éjecter gel ou liquides à l'apex, et avec un revêtement de type brosse permettant de brosser les murs canalaires. Cette action mécanique active l'irrigant et favorise le retrait des débris et de la smear layer. (1)



Figure 13 : Embouts NaviTip Fx(1)

- **Endobrush[®]**

Datant des années 1990, l'Endobrush[®] est une aiguille en nylon torsadé et dont les mouvements circulaires semblent atteindre les zones non préparées. La structure garde un diamètre relativement constant jusqu'au bout de l'aiguille, ce qui limite l'accès apical. Les études rapportaient une efficacité significativement accrue par rapport à un débridement seul.(1)

Donc, Le système seringue-aiguille est encore à l'heure actuelle la méthode la plus utilisée, la plus simple et la moins onéreuse. On retiendra l'utilisation d'une seringue Luer-Lock à usage unique d'une contenance de 3 à 5mL, accompagnée d'une aiguille de 23 à 30 gauges. Dans la majorité des cas un calibre de 27 gauges répond à la nécessité d'avoir une aiguille assez fine pour atteindre la partie supérieure du tiers apical mais suffisamment rigide pour ne pas se fracturer ou se tordre. L'extrémité de l'aiguille ne doit pas être biseautée, on évite la projection peri-apicale par des aiguilles à bout mousse et à fenêtre latérale (42).

L'aiguille sera avancée dans le canal jusqu'à avoir un contact avec les parois canalaires et retirée de 1 à 2mm pour obtenir une zone de flux et de reflux et ainsi éviter la propulsion de liquide. Afin d'éviter le dépassement, la pression exercée doit également être faible (avec un débit de l'ordre de 0,1 mLs-1) (42)

Cônes de gutta :

1.principe :

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

Le maître cône de gutta percha est utilisé avec un mouvement vertical de faible amplitude (2mm) et selon une fréquence de 100 mouvement de va-et-vient / min. (4)

Le maître cône de gutta-percha est le moyen le plus simple, le moins onéreux et le plus facilement disponible pour agiter la solution d'irrigation en fin de mise en forme. il permet de déplacer la solution à la fois apicalement et latéralement. (4)

2.efficacité :

Proposé de manière empirique par Machtou (1980), son efficacité a été récemment validée. Sur un modèle de biofilm à base de collagène coloré, Huang *et al.* (2008) puis McGill *et al.* (2008) ont constatés que son efficacité était significativement Supérieure à celle de l'irrigation à la seringue et du RinsEndo.

Selon Caron et collab. Cette technique permet d'obtenir des parois plus propres qu'avec les autres dispositifs (32)

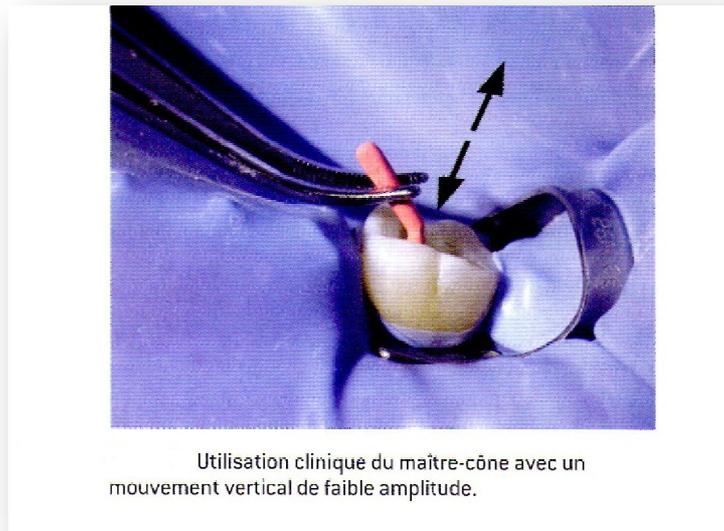


Figure 14 : utilisation clinique du maitre-cône avec un mouvement vertical de faible amplitude.(4)

2)Le Système (ou activation Ultrasonore) :

1. Principes

Les ultrasons (US) sont des vibrations ou des ondes acoustiques de même nature que le son mais à des fréquences bien plus hautes que les plus hautes fréquences audibles par l'Homme (au alentour de 20kHz).

La voie la plus efficace pour nettoyer le canal après la préparation est de créer un flux mobile dans la solution irriguante éjectée. (13)

On différencie deux méthodes pour produire des US :

- Par **magnétostriction** qui traduit de l'énergie électromagnétique en énergie Mécanique et donc en vibrations.
- Par **piézoélectricité** en utilisant un cristal qui va changer de taille suite à l'application d'une charge électrique. Cette déformation du cristal se traduit par une Oscillation mécanique.

La piézoélectricité présente certains avantages par rapport à la magnétostriction, Notamment de produire plus de cycles par seconde (40 au lieu de 24kHz) (2).

Malgré tout, les deux systèmes sont employés dans la pratique dentaire qui demande une fréquence d'oscillation de l'ordre de 30kHz (43).

2. Les mécanismes:

On retrouve deux types d'irrigation ultrasonique : une qui combine irrigation et Instrumentation et l'autre qui n'agit que sur l'irrigation. La première couple donc

L'irrigation à une mise en forme ultrasonique, mais a été écartée de la pratique clinique à cause de la difficulté de contrôler la coupe de la dentine pendant la préparation. Le risque de perforations apicales et de formes canalaire irrégulières est accru.

On peut également rajouter à cela une efficacité moindre pour l'élimination simultanée de tissus pulpaire ou de smear layer, due à une réduction du courant acoustique et de la cavitation. On se basera donc sur le deuxième type dit irrigation ultrasonique passive (PUI) qui correspond à une irrigation utilisant un insert non coupant réduisant ainsi le risque de création de formes canalaire aberrante (2).

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

La PUI se traduit par le transfert d'énergie de la lime ultrasonique au fluide d'irrigation dans le canal. Cette énergie va créer un micro-courant acoustique et un effet de cavitation.

Le courant acoustique correspond à un mouvement rapide de fluide en cercles ou en tourbillons autour de la lime en vibration. On parle en endodontie de micro-courant car le courant arrive près de petits obstacles placés dans le champ sonore. La PUI permet une vibration nette de la lime avec l'apparition de noeuds et anti-noeuds visibles.

Pour avoir un micro-courant efficace il faut que la lime puisse vibrer « librement » dans le canal, c'est à dire sans contrainte. Ainsi la résultante des forces du micro-courant acoustique est inversement proportionnelle à la surface canalaire touchée par la lime.

Pour les canaux courbes, on obtiendra donc de meilleurs résultats en pré-courbant les limes ultrasoniques (43).

Le facteur temps ne doit pas être sous estimé, il convient de respecter un temps d'action suffisant pour optimiser l'efficacité des irrigants et techniques, d'autant que la phase de préparation est maintenant réduite grâce à la rotation continue.

Lors des protocoles, les temps fréquemment appliqués sont d'une minute d'activation ultrasonique par canal. (15)

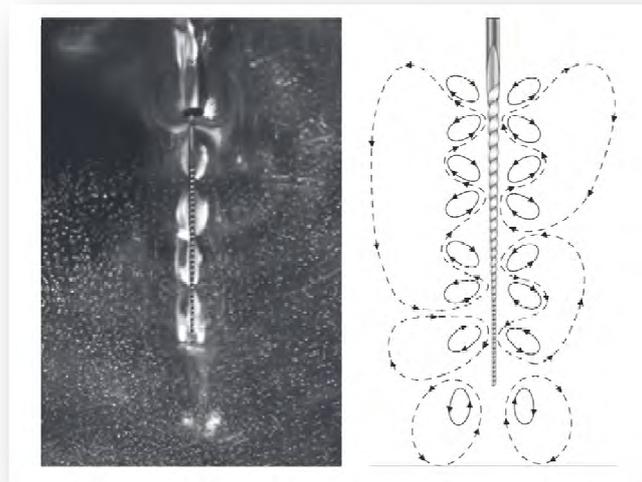


Figure 15 : Photo (à gauche) et schéma (à droite) d'un micro-courant acoustique autour d'une lime(2)

3. Les effets :

- L'irrigation ultrasonique passive (PUI) comparée aux seringues manuelles est plus efficace. (13)
- Amélioration significative des effets du NaOCl (pouvoir de dissolution tissulaire)
- Amélioration significative du retrait de bactéries comparé aux seringues manuelles, liée à l'effet de douche.
- Efficacité accrue dans les canaux courbes.
- Efficacité accrue pour nettoyer l'isthme entre deux canaux comparée à une seringue manuelle. Une étude indique que la PUI a le potentiel d'atteindre des zones non préparées par l'instrumentation mécanique.
- élévation de la température de la solution. Une étude mesure une élévation de 37°C à 45°C en 30 secondes, autour de l'aiguille. Un renouvellement de solution (25°C) continue abaisse de 37°C à 29°C et le fait de chauffer la solution de clona la rend plus efficace. (43).

4. Paramètres d'efficacité

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

- Diamètre et conicité de la préparation canalaire (1)
- Dans une étude récente, pour 3 minutes d'activation, l'irrigation continue et l'irrigation discontinue offrent une efficacité équivalente. (1)
- L'impact du temps d'irrigation sur l'efficacité de la PUI reste inconnu. (1)
- Apport d'un insert doux ou non coupant, pour éviter les risques de faux canaux.

- Influence de la direction vibratoire de l'aiguille. Une vibration en direction d'une anfractuosité est plus efficace comparée à un flux perpendiculaire (voir figure 15). (1)

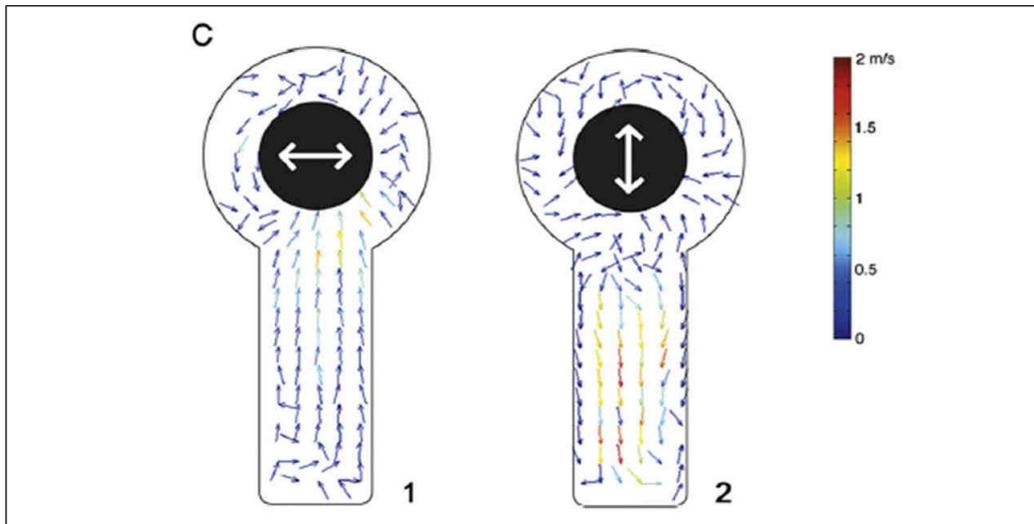


Figure 16: Coupe d'une section radiculaire indiquant la direction de l'oscillation et repr esentant le flux développé autour. C1 : oscillation perpendiculaire à l'anfractuosité. C2 : Oscillation en direction de l'anfractuosité, d'après l'étude de Jiang et coll. [2010, 1]

5.Exemples de systèmes

- **Sonicare CanalBrush[®]**

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

L'étude de Salman et coll. [2010, 13], indique un meilleur nettoyage canalaire grâce au rinçage final pendant 30 secondes avec de l'EDTA 17% activé par Sonicare . Aucune fracture d'instrument n'a été relevée lors de l'étude.

- **IrriSafe[®] (Satelec)**

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

Plusieurs études indiquent que la PUI est significativement plus efficace qu'une irrigation manuelle avec une seringue, La cavitation et les flux acoustiques de cette

technique maximisent le potentiel des irrigants.

Cependant il reste des incompréhensions sur les mécanismes physiques à l'origine de cette efficacité. (10, 13)



Figure 17 : Lime Irrisafe (Acteon)(2)

3) Système (ou activation)sonore :

C'est un moyen d'activation mécanique

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 ultrasonique 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).

Les dispositifs actuellement sur le marché permettant cette activation est

L'Endo Activator® et Seringue Vibringe® .

L'Endoactivator® :

Est un dispositif d'activation de la solution d'irrigation grâce à une pièce à main sonique sans fil, possédant trois puissances de vibration, couplée à des embouts en polymère médical lisse et non coupant. Il génère un fluide hydrodynamique grâce à la vibration de l'insert dans le canal (29).

Cette technologie a été développée dans le but d'obtenir une méthode d'irrigation plus sûre, plus efficace et plus rapide. Des études ont démontré que l'Endoactivator était capable d'un nettoyage profond, de l'élimination de la smear layer et de déloger le biofilm (2).



Figure 18 : Endoactivator (Dentsply)(4)

Seringue Vibringe®

La seringue Vibringe® (Vibringe BV) s'apparente à une seringue manuelle pour délivrer l'irrigation mais, fonctionnant à piles, elle engendre des vibrations sonores au niveau de l'aiguille à une fréquence de 9 000 cycles par minute.

Une seule étude a été conduite avec ce dispositif (Rödig *et al.*, 2010a et 2010b). Elle utilise le modèle décrit par van der Sluis (van der Sluis *et al.*, 2006) pour évaluer l'élimination des débris. Elle a été moins efficace que l'irrigation passive ultrasonore mais meilleure que la seringue manuelle classique dans le tiers apical. (3)



Figure 18 Seringue Vibringer®(3)

4- Les lasers (activation photonique) :

Le laser est un dispositif qui transforme la lumière de différentes fréquences en une radiation chromatique dans le visible, l'infra-rouge et l'ultra-violet. Ce procédé peut Mobiliser un pouvoir et une chaleur très importants (2).

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

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

Depuis les premières utilisations des lasers en endodontie en 1971 par Weichman, de nombreuses études ont été publiées afin d'élargir leur pratique. Ainsi nous savons à l'heure actuelle que les lasers (2) :

avantage

1- Sont capables de détruire la smear layer et les débris canalaires mais il semble compliqué de l'élargir aux canaux latéraux car ils agissent de manière rectiligne. Le développement de pointe laser pour tir radial permet d'émettre l'énergie du laser en un cône large et ainsi d'atteindre les tubulis dentinaires.

2- Possèdent une activité bactéricide dont l'efficacité, dépendante du type de laser, Peut être importante. La désinfection d'un canal est donc possible mais il existe des Risques de dissémination bactérienne par la fumée causée par le laser et de Dommages au niveau du tissu parodontal

Les facteurs influant l'efficacité du laser sont :

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

En contre partie l'excès de chaleur provoque d'importants dommages tissulaires sur la paroi canalaire, ainsi que sur les tissus péri apicaux. Il est donc préférable de coupler le laser à une irrigation conventionnelle. Et donc de l'utiliser pour activer la solution. Le procédé ressemble aux US. On utilise un laser Erbium, Chrome : Yttrium-Scandium-Gallium-Grenat (Er, Cr : YSGG) avec une solution d'irrigation afin de créer une micro-impulsion qui produit des ondes acoustiques assez fortes pour perturber et tuer les bactéries intratubulaires. On retrouve le phénomène de cavitation avec la création de bulles de vapeur qui grossissent et implosent pour libérer leur énergie (2).

Dans une étude menée par De Groot et coll. [2009, 1], les groupes avec du NaOCl puis de l'EDTA présentent de meilleurs résultats concernant l'éviction des débris et la préparation des surfaces.

Il a été rapporté que l'irradiation laser ferme les tubuli, adoucit la paroi dentinaire et accélère les réactions chimiques. (1)

L'étude de *Gentil De Moor et al (2009)* a montré des meilleurs résultats de l'utilisation de Er, Cr : YSGG et des US sur l'irrigation conventionnelle mais également de Er, Cr : YSGG par rapport aux US. On peut temporiser ce résultat en notant une durée d'action des US trop faible (20sec) dans cette étude (54).

Efficace pour retirer la smear-layer, une destruction de la dentine péri-tubulaire est à craindre par l'utilisation du laser. (1)

6-3)L'irrigation continue; (le flux est continu).

L'irrigation est reliée à l'appareil oscillant, le flux est continu. (1)

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

6-3-1)L'aiguille irriguante développée de Carver et Nusstein :

Dans leur étude, Gutarts et coll. [2005, 9] utilisent une irrigation continue lors de l'activation ultrasonique délivrée à 15ml/min par une aiguille classique raccordée par une tubulure au corps de seringue de type Luer (voir figure 19).

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

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

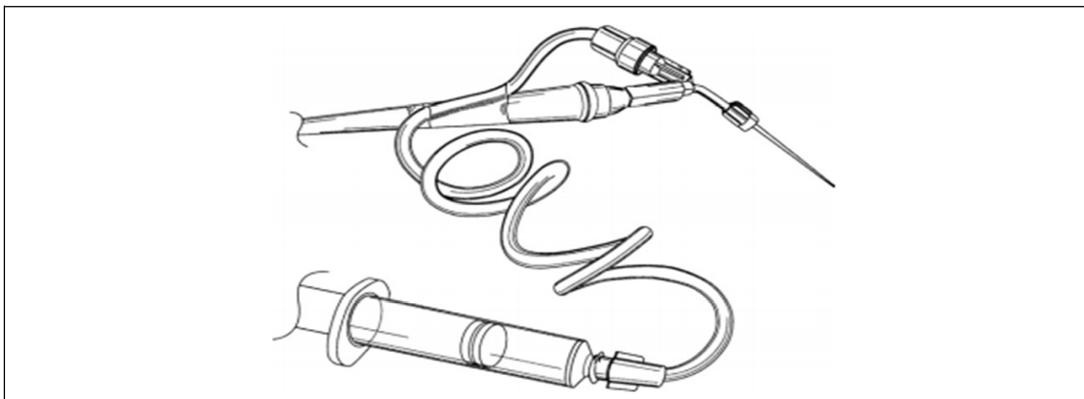


Figure 20 : Système d'irrigation continu couplé à l'activation ultrasonique, d'après l'étude de Gutarts, Nusstein et coll. [2005, 9]

6-3-2) Système SAF (Self-Adjusting File)

C'est un dispositif d'irrigation assistés utilisant une pression.

La lime SAF est un instrument en NiTi, creux, fait d'un maillage souple et très résistant (inspiré des stents cardiaques). Elle est faite pour prendre la forme anatomique du canal en étant compressible, flexible et déformable. Le but de ce système est de repousser les limites de la rotation continue conventionnelle qui ne peut s'adapter pleinement à l'anatomie canalaire et va créer de la smear layer.

La structure de la lime SAF lui permet d'être toujours en contact avec les parois canalaire en se déformant dans tous les plans de l'espace sans élargir la préparation d'origine. Son utilisation fait donc suite à une mise en forme manuelle ou rotative (36).



Figure 21 : La lime SAF (a) et un grossissement sur la structure en treillis (b)(1)

Le point important est l'irrigation continue pendant la préparation canalaire, apportée par un tube en silicone à la base du fût de la pointe. Un appareil spécial (Vatea[®], ReDent-Nova) assure un débit constant de la solution réglable de 1 à 10 ml / minute, et avec possibilité de pré activation de cette solution. (11)

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

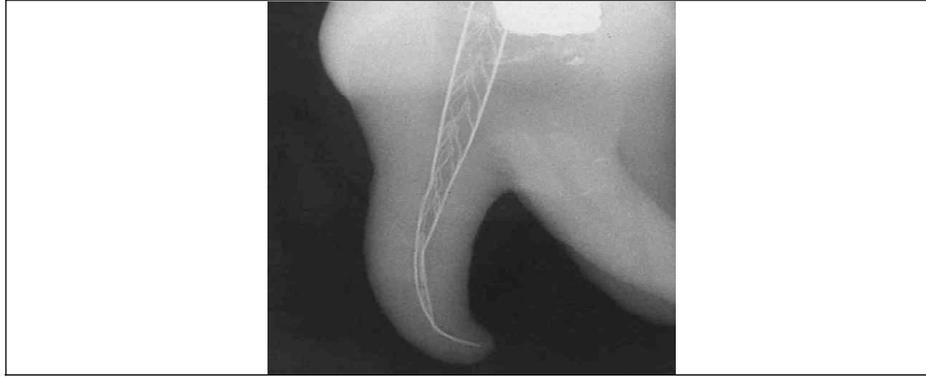


Figure 22 : Radiographie avec instrument en place montrant la déformation du SAF lors d'un traitement canalaire.(1)

D'après *Melo Ribeiro et al (2013)*, l'utilisation du système SAF présente de meilleurs résultats au niveau du tiers apical sur l'élimination des débris et de la smear layer qu'une irrigation conventionnelle succédant à une mise en forme rotative en NiTi (2).

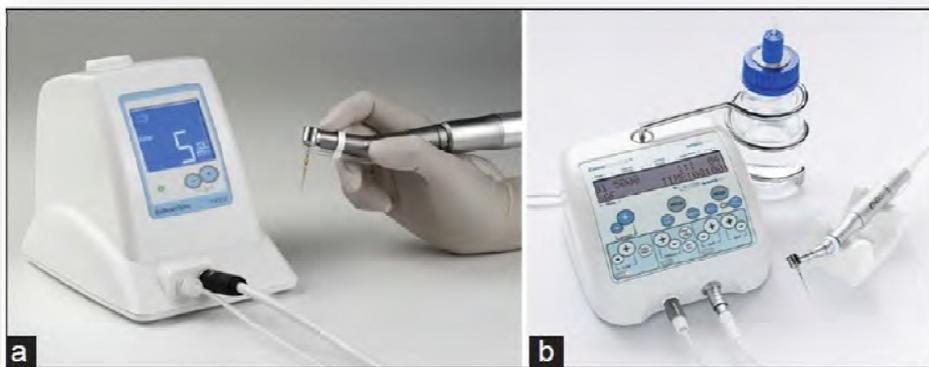


Figure 23: Système VATEA et pièce à main RDT (a), l'Endostation (de ReDent ou Acteon) (b)(1)

Les tests d'endurance sont très satisfaisants.

Les premières fractures apparaissent dans le test à 27 minutes d'utilisation intensive (voir figure 24).

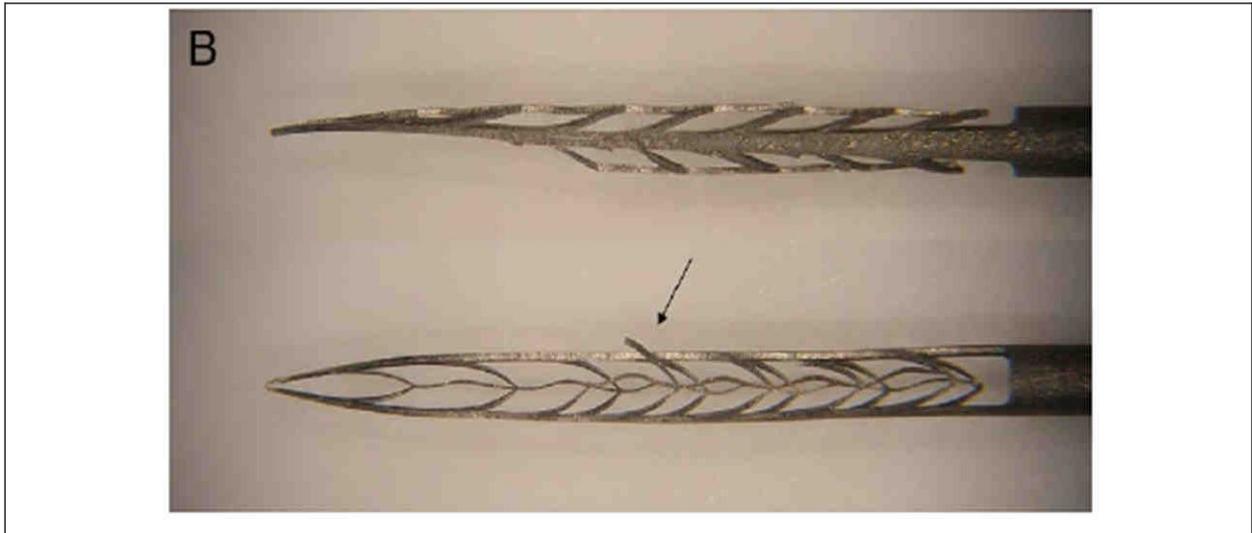


Figure 24: Photographies d'un SAF après utilisation intensive (en haut) et d'un SAF présentant une fracture d'arche. (en bas), d'après l'étude de Metzger et coll. [2010, 11]

L'anatomie du SAF en creux permet l'apport continu d'irrigant pendant la procédure. Les mouvements du SAF activent la solution constamment renouvelée, ce qui aurait selon Gu et coll. [2009, 8] un effet bénéfique pour le nettoyage canalair, en particulier dans la région apicale. (11)

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

Une comparaison effectuée par Metzger et coll. [2010, 1] entre des préparations canalaires effectuées avec le SAF ou une rotation continue classique rapporte une meilleure préparation et obturation avec le SAF

En conclusion:

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

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

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

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

6-4) L'effet "Vapor-Lock" piège de vapeur (embole gazeau + pression)

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

Le NaOCl atteint très difficilement les 3 mm apicaux, même après une préparation avec une lime K 100. Les auteurs pensent que le NaOCl réagit rapidement avant, ce qui produit des bulles de gaz à l'apex. Ces bulles de gaz non atteignables mécaniquement bloquent l'accès aux irrigations postérieures. De plus nous savons que l'irrigation ultrasonique fonctionne mieux en milieu aqueux, donc après irrigation. La formation de ces bulles bloque en plus l'effet ultrasonique. (1, 8)

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

Une méthode simple et efficace consiste à insérer un cône de gutta calibré au diamètre de la préparation pour éliminer l'effet "piège de vapeur". Le cône remplace l'air par un solide et crée une brèche pour l'irrigant. (8)

6-4-1) Le système EndoVac[®] :

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

C'est un dispositif d'irrigation assistés utilisant une dépression (aspiration).

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

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

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

Le rinçage final est réalisé pendant une minute, puis la micro canule est ré insérée, et retirée de 2mm toutes les 6 secondes en partant de la longueur de travail. L'EndoVac se compose de quatre éléments (35) :

- **L'adaptateur multi-port (MPA)** qui se branche sur le système d'aspiration de l'unit et permet de réaliser les branchements nécessaires des autres composants.

- **Le « master delivery tip » (MDT)** qui se branche directement sur le MPA et permet un flux constant de solution d'irrigation sans risque de débordement. Le MDT est utilisé dès l'ouverture de la chambre pulpaire et après chaque instrument de mise en forme.

- **La macro-canule** est utilisée pour éliminer les plus gros débris canaux. Elle S'utilise en même temps que le MDT, il convient donc d'avoir l'aide d'une assistante dentaire qui pourra injecter la solution d'irrigation avec le MDT pendant que le praticien utilisera la macro-canule dans le canal par des mouvements verticaux de va et vient.

- **La micro-canule** est une aiguille de 28 gauge se terminant par 12 orifices de moins de 100 microns. Elle permet, par pression négative, d'amener la solution d'irrigation jusqu'à la zone apicale.



Figure 25: Composants de l'EndoVac avec le MDT (gauche), la macro-canule (centre) et la micro-canule (droite)(2)



Figure 25: Extrémité de la micro-canule(1)

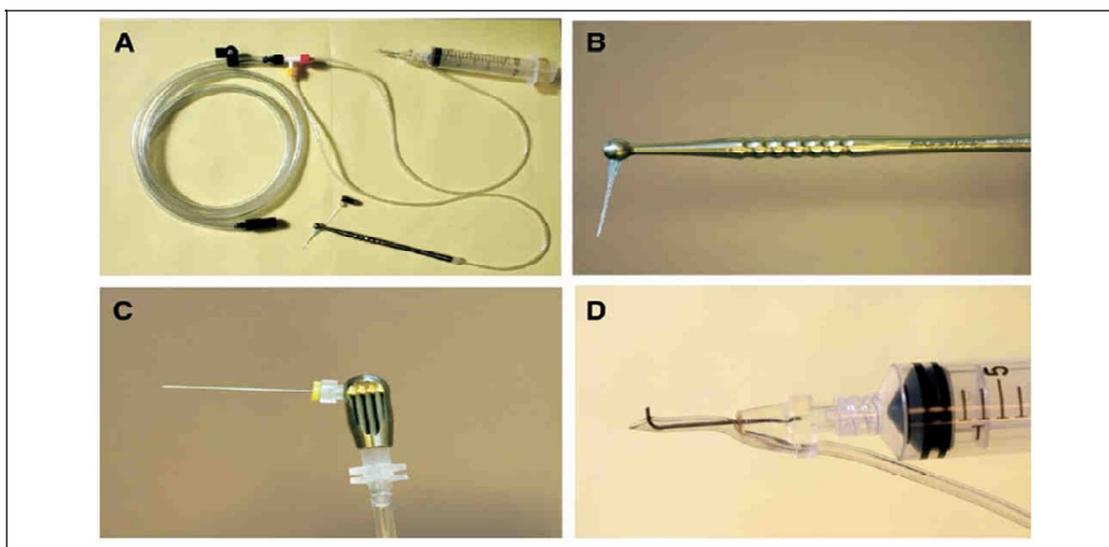


Figure 26 : Le système EndoVac au complet (A) ; Détail de la macro canule pour l'irrigation initiale coronaire (B) ; Détail de la micro canule, permettant l'irrigation à la longueur de travail (C) ; Détail de la seringue d'apport, le surplus d'irrigant est aspiré par la tubulure en plastique (D), d'après Nielsen [2007, 12]

Le volume apporté d'irrigant est supérieur à une seringue conventionnelle. L'étude de Nielsen et Baumgartner [2007, 12] compare le système EndoVac aux seringues et révèle une différence significative pour le retrait des débris à 1mm de l'apex.

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

Plusieurs études rapportent l'efficacité d'EndoVac[®] pour retirer la smear layer dans le tiers apical comparé aux seringues conventionnelles (voir figure 24). (1)

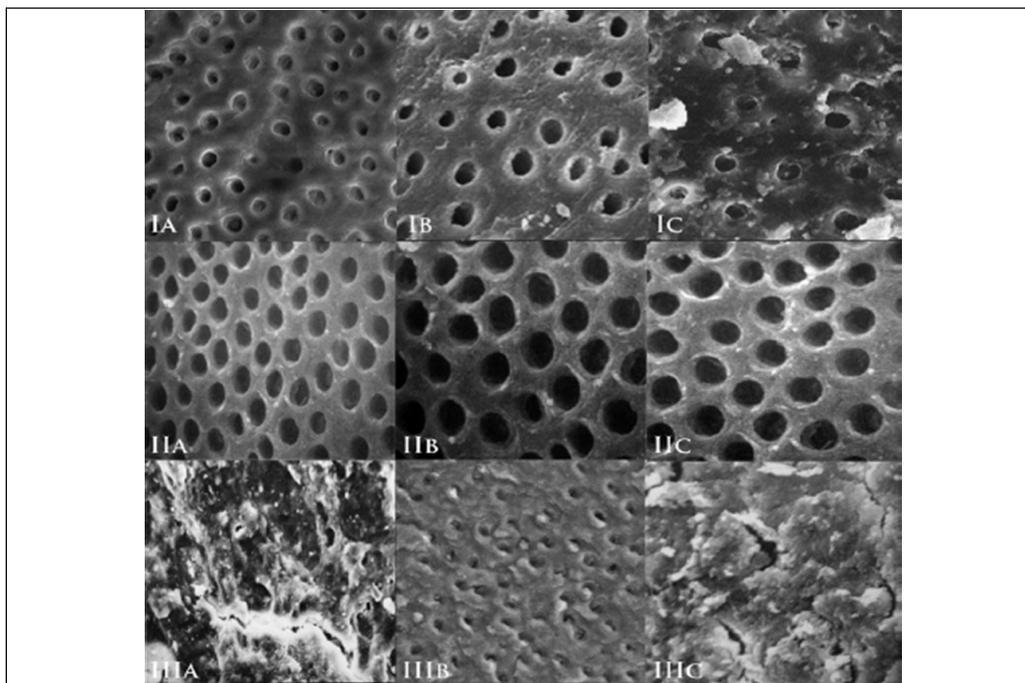


Figure 27 : Images obtenues au microscope électronique à balayage ; des tiers coronaires (A) médians (B), et apicaux (C) des groupes irrigation par seringues conventionnelle (I), EndoVac (II), et témoin (III). Les groupes I et II sont irrigués avec 9ml de NaOCl 2,5% puis 9ml d'EDTA, d'après l'étude d'Abarajithan et coll. [2011, 1]

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

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

L'étude de Sui et Baumgartner [2010, 1] relève des contradictions concernant l'efficacité du système EndoVac[®] par rapport aux ultrasons. Ils pensent que les disparités des résultats dépendent des modèles utilisés lors des différentes expérimentations menées, avec le choix entre un système clos ou ouvert. Le système clos de type tunnel serai d'après eux plus proche de la réalité.

L'intérêt de l'EndoVac[®] est ce système d'aspiration par pression négative qui réduit efficacement les risques d'extrusion d'irrigant.(10)

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

6-4-2) Endovac pure[®]

Endovac Pure, le nouveau système d'irrigation de Kerr Endodontics, est le premier de son genre à exploiter la technique de pression négative apicale.

Kerr Endodontics, un fabricant d'équipements endodontiques, a annoncé le lancement d'EndovacPure,. C'est le seul système de son genre à exploiter la technique de pression négative apical, une méthode soutenue par plus de 200 études indépendantes.

Avec un seul instrument, les dentistes peuvent réaliser un nettoyage complet tridimensionnel et apical d'un canal radiculaire. Endovac Pure élimine les débris et les bactéries du tiers apical et fournit un flux continu d'irrigants au canal tout en minimisant le risque d'extrusion au delà de l'apex.



6-4-3) Le système RinsEndo[®]

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

Une récente étude de Rödiger et coll. [2010, 1] démontre que le RinsEndo[®] est significativement plus efficace que les seringues ($p < 0,001$). En revanche, ils concluent également que l'irrigation passive ultrasonique est significativement plus efficace que le RinsEndo[®] ($p < 0,001$) pour retirer les débris canalaire, sauf au diamètre 30 ISO, où la différence n'est pas significative.

Le débit avec le RinsEndo[®] est inférieur à celui des seringues, mais la technologie créant la dépression et l'activation du fluide le rend plus efficace que les seringues et ce, malgré une insertion de l'aiguille au niveau coronaire uniquement. (1)

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

Le placement de la canule du système RinsEndo[®] proche de la longueur de travail débouche vers de meilleurs résultats pour le retrait du collagène (1)

Il semble que le RinsEndo[®] génère une extrusion de solution significativement plus grande que les ultrasons, l'EndoVac[®], l'EndoActivator[®], et l'activation manuelle. Cependant, l'extrusion apicale augmente avec la profondeur d'insertion de la canule. (1)

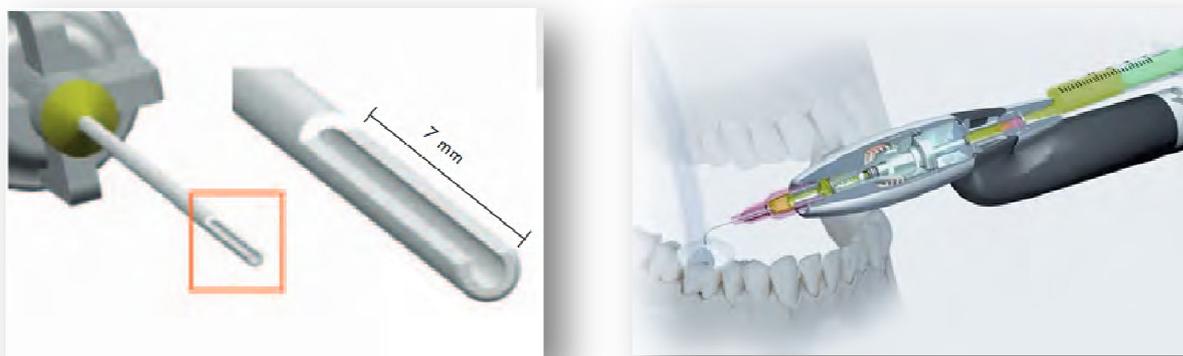


Figure 26 : Pièce à main RinsEndo avec mécanisme hydrodynamique et canule à ouverture latérale(1)

Récapitulatif sur les techniques et dispositifs d'irrigation :

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

Le modèle de Lee et coll. [2004, 1] propose de créer des dépressions artificielles simulant les régions canalaire de type isthmes ou extensions canalaire, non instrumentées, et de les remplir avec une quantité reproductible de débris.

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

L'étude de Rodig et coll. [2010, 1] utilise des paramètres similaires et indique que l'irrigation ultrasonique est supérieure aux irrigations par seringue et hydrodynamiques, également pour des canaux droits.

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

L'irrigation hydrodynamique pourrait être une alternative à la PUI. Rödиг et coll. classent par ordre d'efficacité décroissante l'activation ultrasonique, l'irrigation hydrodynamique, puis l'irrigation par seringue.'(1)

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

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

Pour les canaux courbes, l'irrigation hydrodynamique montre de meilleurs résultats comparée aux ultrasons. Elle peut donc être recommandée dans ce cas. (1)

L'extrusion d'irrigant survient si la pression au foramen apical dépasse la contre pression de la région périapicale. Le tissu pulpaire vivant ou un granulome apical constituent une barrière limitant l'extrusion de solution par opposition aux cas de dents nécrosées. Or, une faible quantité d'hypochlorite suffit à déclencher d'importantes réactions post opératoires.(5)

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

7) Protocole opératoire de l'irrigation endodontique

Plusieurs produits étant disponibles, de nombreux protocoles d'irrigation peuvent être proposés. Ceux-ci peuvent différer aussi en fonction de la pathologie pulpaire initiale, qu'il s'agisse d'une pulpite, d'une nécrose avec ou sans complication péri-apicales ou d'un retraitement. Ainsi, le choix de la solution est primordial pour atteindre les objectifs du traitement endodontique.

De manière générale, l'irrigation endodontique passe par:

_ Un rinçage continu tout au long de la phase de la mise en forme canalaire, dont l'objectif principal est d'éliminer les débris générés par l'instrumentation mécanique et de réduire la charge bactérienne.

_ Un rinçage final avant l'obturation suivi d'une activation avec une technique au choix.

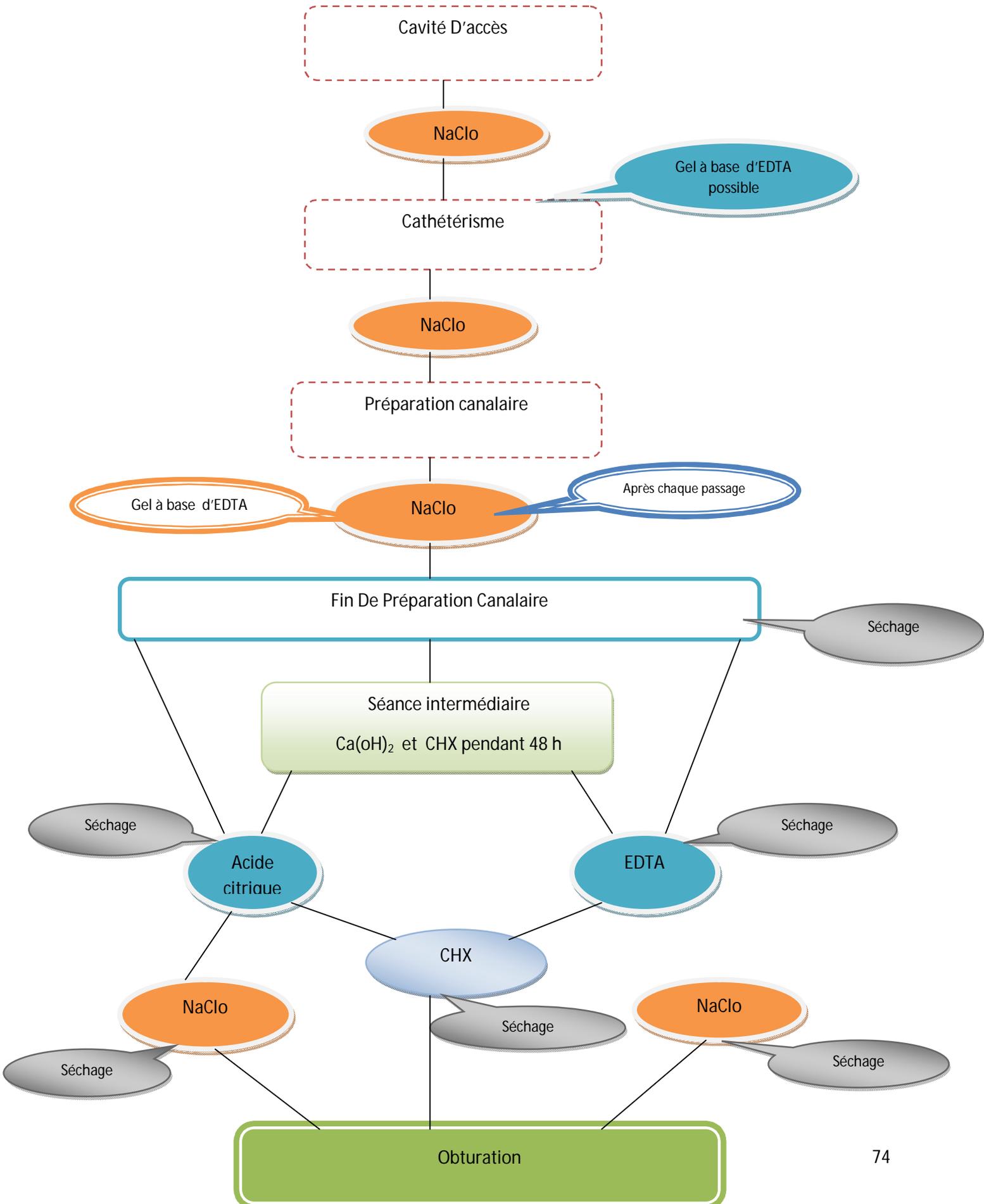
Lorsqu'il s'agit d'une dent vitale, l'objectif primordial est de maintenir l'état initial d'asepsie. Le nettoyage consiste en l'élimination de la pulpe, de la pré-dentine, de la dentine circum-pulpaire et de la boue dentinaire. Pour cela, les associations hypochlorite de sodium/EDTA ont une place de choix ainsi dès la réalisation de la cavité d'accès, la cavité pulpaire doit faire l'objet d'une irrigation initiale à l'hypochlorite de sodium à 2,5% avec une seringue ou le rins Endo. Cette irrigation est poursuivie pendant le repérage initial et tout au long de la préparation mécanique, jusqu'à l'étape de l'ajustage du maître cône. Chaque passage de lime est suivi d'une irrigation d'environ 1ml. Les chélateurs sous forme de gels peuvent être indiqués pour leur action de lubrification en cas de travail avec des instruments en rotation continue ou d'une négociation canalaire difficile. Une fois la mise en forme terminée, chaque canal doit être rincé pendant trois minutes avec 5 à 10 ml d'EDTA à 17% suivi d'un dernier rinçage avec l'hypochlorite de sodium. (26)

Quand la pulpe est nécrosée, les bactéries vont provoquer une lésion péri-apicale du fait des produits de dégradation qui vont passer à travers le foramen apical et les voies de communication secondaire. L'enjeu principal est de contrôler l'infection en éliminant les bactéries abritées à l'intérieur du système endodontique. De ce fait, l'hypochlorite de sodium reste la solution de choix au cours de la mise en forme pour son action bactéricide et solvant du tissu nécrotique. Le renouvellement de la solution et son temps de contact avec les parois canalaires doivent être accrus.

Lors du rinçage final ,la solution BIOPURE ,MTAD peut trouver une indication afin d'enlever la boue dentinaire et de bénéficier de son action antiseptique .ainsi l'irrigation par l'hypochlorite de sodium sera complétée par l'injection d'environ 5ml de la solution MTAD qu' on laisse séjourner pendant cinq minutes .Le fabricant ne recommande pas d'irriguer avec un autre produit après l'utilisation du MTAD .(26)

Dans le cas du retraitement ,l'action des solvants intervient comme une aide au dégagement des matériau d'obturation cependant , la guérison ne peut être obtenue que si la désinfection est assurée par les solutions d'irrigation .ainsi ,les irrigants indiqués pour la dent nécrosée trouvent une indication pour la préparation de la dent retraitée . les rinçages finaux sont de préférences activés par les ultrasons ou l'EndoActivator. (26)

8) Séquence idéal de l'irrigation :



BIBLIOGRAPHIE

1 - Amaury beaugendre . le nettoyage canalaire. etudes au microscope electronique a balayage : endoneedle vs cleanjet endo et u108 vs heroshaper. these pour le diplome d'etat de docteur en chirurgie dentaire présentée et soutenue publiquement le 06 février 2015 directeur de thèse : dr franck diemer

2 - HADRIEN BROUDIN MODALITES DE L'IRRIGATION EN ENDODONTIE, LE POINT EN 2012
THESE POUR LE DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

3 - Stéphan simon ; Pierre machtou ; Wilhem_joseph pertot / la partie de pierre machtou : irrigation et désinfection en endodontie 2012

4 - groupe de travail scientifique ; Dominique martin ; Serge bouillaguet ; François bronnec ; Florence bulit ; Grégory caron ; Pierre machtou ; Fabienne perez ; Ludovic pommel ; Stéphane semon . président de la commission : Philippe rocher ; président scientifique :vianney descroix .(adf : association dentaire française _2012) irrigation en endodontie.

5 - Altundasar E, Nagas E, Uyanik O.

Debris and irrigant extrusion potential of 2 rotary systems and irrigation needles. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2011;**112**(4):e31-e35.

6 - Boutsoukis C, Lambrianidis T et Kastrinakis E.

Irrigant flow within a prepared root canal using various flow rates: a Computational Fluid Dynamics study. Int Endod J 2009;**42**(2):144-155.

7 - Goel S , Tewari S.

smear layer removal with passive ultrasonic irrigation and the navitip fx a scanning electron microscopic study. oral surg oral med oral pathol oral radiol endod 2009;**108**(3):465-470.

8 - Gul S, Kim Jr, Ling R.

Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices. J Endod 2009;**35**(6):791-804.

9 - Gutarts R, Nusstein J, Reader A.

In vivo debridement efficacy of ultrasonic irrigation following hand-rotary instrumentation in human mandibular molars. J Endod 2005;**31**(3):166-170.

10 - Haapasalo M, Ya Shen, Wei Gian.

Irrigation in endodontics. Dent Clin N Am 2010;**54**(2):291–312.

11 - Metzger Z, Teperovich E, Zary R.

The self-adjusting file (SAF). Part 1: respecting the root canal anatomy--a new concept of endodontic files and its implementation. J Endod 2010;**36**(4):679-690.

12 - Nielsen Ba et Craig Baumgartner J.

Comparison of the EndoVac system to needle irrigation of root canals. J Endod 2007;**33**(5):611-615.

13 - Salman Mi, Baumann Ma, Hellmich M.

SEM evaluation of root canal debridement with Sonicare CanalBrush irrigation. Int Endod J 2010;**43**(5):363-369

14 - Sedgley Cm, Nagel Ac, Hall D.

Influence of irrigant needle depth in removing bioluminescent bacteria inoculated into instrumented root canals using real-time imaging in vitro. Int Endod J 2005;**38**(2):97-104.

15 - Zehnder M.

Root canal irrigants. J Endod 2006;**32**: 389–398. layer and debris in curved root canals. J Endod 2009;**35**(9):1270-1273.

16 - Stéphane SIMON L'irrigation en endodontie : l'essentiel à connaître à tout prix
Article : Clinic - Février 2011 - vol. 31.

17 - Mahmoud Torabinejad, Richard E, Walton, Ashraf F, Fouad. Pour l'édition française Gérard Lévy "Endodontie: principes et pratique " Avril 2016

18 - Jérémie Boisseau Thèse pour le diplôme d'état de docteur en chirurgie dentaire "les irrigants en endodontie: données actuelles "présentée et soutenue publiquement
Le 18 juin 2010

19 - Nicolas Davido, Kazutoyoy Asukawa avec collaboration : **Pauline Antonioli, Jean Francois Nguyen, Marjorie Zanini.** "Odontologie conservatrice et endodontie _Odontologie prothétique " 2012

20 - John I. Ingle, 2008 Ingle's endodontic.

21 - Sébastien Beun, Patrick Bogaerts, Julian le Prince l'information dentaire n° 22 - 2 juin 2010 spécial endodontie bactéries endodontiques connaître nos ennemis pour mieux les éradiquer

22 - Michael A. Baumann, DDS Professor Polyclinic for Restorative Dentistry and Periodontology University of Cologne Cologne, Germany 2010 Endodontology

23 - José F. Siqueira Isabela N. Rôças Département d'Endodontie ,Ecole dentaire Université Estácio De Sário De Janeiro réalités cliniques vol. 17 n° 3, 2006

24 - Jean-Sébastien Gouet revue odonto stomatologique 2011;40 p18-31 Biofilm bactérien et implication en endodontie

25 - Dr Olivier Emery L'irrigation canalaire article 2015/2016

26 - JOURNAL de l'Ordre des dentistes du Québec Volume 51 no 6, décembre 2014/janvier 2015

27 - ansm. information concernant certaines références de seringues bd plastipak de la société becton dickinson - ansm : agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé. <http://ansm.sante.fr/s-informer/informations-de-securite-autresmesures-de-securite/information-concernant-certaines-references-de-seringues-bdplastipak-de-la-societe-becton-dickinson> [5 oct. 2014].

28 - Aulagner G, Demoré B. dispositifs medicaux steriles. <http://www.pharmclin.uhpncancy.fr/demorecours> [5 oct. 2014].

29 - bd products. endoneedle bertran dental products. <http://www.soindentaire.com/endoneedle.pdf> [5 oct. 2014].

30 - dentsply. brochure endoactivator.

www.dentsply.fr/export/sites/default/.content/datas/technical-supports/brochures/067_14-03_brochure_endoactivator_num.pdf [29 sep. 2014].

31 - distrimed. seringues 3 pieces non-montées terumo.

http://www.distrimed.com/product_info.php?products_id=3126 [5 oct. 2014].

32 - endoneedles. endoneedle.

http://www.elsodent.com/fiches_produit_fr/endoneedle.pdf [5 oct. 2014].

33 - endoneedles. endo irrigation needles.

<http://www.transcodent.de/en/brand/endoirrigation-needles/p/product/show/double-side-vent.html> [5 oct. 2014].

34 - equipmedical. seringues 2 pièces b.d. discardit ii 5 ml.

<http://www.equipmedical.com/fr/p-seringues-2-pieces-b.d.-discardit-ii-5-ml-p1798.html> [5 oct. 2014].

35 - healthy. types de seringues et aiguilles. <http://fr.265health.com/healthcareindustry/hospitals/1007092425.html> [23 sep. 2014].

36 - itena. brochure saf system. http://www.itenaclinical.com/files/pdf/brochure_saf.pdf [14 oct. 2014].

37 - kerr. irrigation probe.

<http://www.kerrdental.eu/oralprophylaxis/instruments/productfamily/irrigationprobe> [5 oct. 2014].

38 - kimura y, wilder-smith p, matsumoto k. lasers in endodontics: a review. *int endod j* 33: 173–185, 2000.

39 - larousse. encyclopédie larousse en ligne - seringue.

<http://www.larousse.fr/encyclopedie/medical/seringue/16078> [23 sep. 2014].

40 - larousse. encyclopédie larousse en ligne - aiguille.

<http://www.larousse.fr/encyclopedie/medical/aiguille/11022> [23 sep. 2014].

41 - medi-select. medi-select. <http://www.medi-select.ca/monoject-endo-syringes-100-box-5138xx> [5 oct. 2014].

42 - Pérard M, Le clerc J, Gautier T, Perez F, Vulcain J-M, Dautel A, Le goff A. asepsie-antisepsie en endodontie. *emc - médecine buccale* 2013;8(2):1-11 [article 28-720-x-20]. <https://www-em--premium-com.docadis.upstlse.fr/article/747696/resultatrecherche/2> [23 sep. 2014].

43 - Van der sluis M, Versluis M, Wu MK, Wesselink pr. passive ultrasonic irrigation of the root canal: a review of the literature. *int endod j* 40: 415–426, 2007.

44 - sybronendo.
brochureendovac.<http://www.profident.pl/media/142966/endovacbrochure.pdf> [29 sep. 2014].

45 - Uroz Torres d, González Rodríguez mp, Ferrer Fuque cm. effectiveness of the endoactivator system in removing the smear layer after root canal instrumentation. *j endod* 36: 308–311, 2010.

46 - vwr international. seringues 3 pièces, bd plastipak.
https://fr.vwr.com/app/catalog/product?article_number=613-3931# [5 oct. 2014].

47 - wikipedia : https://fr.wikipedia.org/wiki/dispositif_médical

Résumé:

Un traitement endodontique fait appel à des systèmes de préparation canalaire agissant en synergie avec une solution d'irrigation. Effectivement, la complexité du réseau canalaire radiculaire empêche un nettoyage suffisant par la seule préparation mécanique. Il sera donc essentiel de faire appel à des agents chimiques. Plusieurs solutions d'irrigation existent mais malheureusement aucune ne possède, à l'heure actuelle, toutes les propriétés requises. On retiendra que le « gold standard » se traduit par une utilisation répétée d'hypochlorite de sodium à 2,5% couplée avec une action finale d'agent chélatant (EDTA à 17%). Il faudra potentialiser l'action de la solution en l'activant. Notre recherche bibliographique nous démontre que la méthode de préparation et d'irrigation influent sur l'efficacité du nettoyage canalaire. Le CleanJet Endo apparaît comme un système prometteur, nous montrant des résultats supérieurs à la méthode classique seringue-aiguille. L'Endovac Pure est lui aussi très intéressant et offre de bon résultat de désinfection.

Mots clés ; l'irrigation endodontique, l'infection canalaire, biofilm, smear layer, les solutions d'irrigation, l'hypochlorite de sodium, chlorhexedine, EDTA, dispositif d'irrigation.

summary:

An endodontic treatment involves a root canal mechanical preparation systems that cowork with an irrigation solution. In fact, the complexity of the root canal system prevents a sufficient cleaning by a mechanical preparation only. It will therefore be essential to use chemical agents. Several irrigation solutions exist but unfortunately none of them have all the required properties. It should be noted that the "gold standard" results in a repeated use of 2.5% sodium hypochlorite coupled with a final action of chelating agent (17% EDTA). It will be necessary to potentiate the action of the solution by activating it. Our bibliographic research shows us that the method of preparation and irrigation influences the effectiveness of root canal cleaning. The Endo CleanJet appears as a promising system, showing us superior results to the conventional syringe-needle method. The Endovac Pure is also very interesting and offers good results of disinfection.

Key words: endodontic irrigation ,canal infection , biofilm ,smear layer, irrigation solution, sodium hypochlorite, EDTA, irrigation devices

Promotrice: _____

Jury: _____