

**AMF** : Alliages à mémoire de forme

**CNIB** : Capteur numérique intra buccale

**Inf** : Inférieur

**ISO** : Organisation internationale de normalisation

**MO** : Microscope optique

**MTA** : Mineral Trioxide Aggregate

**Ni-ti** : Nickel titane

**Sup** : Supérieur

## **LISTE DES FIGURES**

Figure 1: Localisation des ramifications du canal .....	4
Figure 2 : Représentation schématique en coupe longitudinale de la région apicale.....	6
Figure 3 : Représentation schématique en coupe longitudinale des différentes configurations canalaires au sein d'une racine.....	8
Figure 4 : Vue intra buccale de la digue posée au cours d'une biopulpectomie (Instruments en place) sur la dent 46 (Service OCE).....	12
Figure 5 : Forme de la cavité d'accès endodontique selon la dent .....	13
Figure 6 : Imagerie argentique .....	23
Figure 7: Imagerie numérique .....	23
Figure 8: Film argentique .....	24
Figure 9 : Capteur numérique .....	24
Figure 10 : Microscope opératoire .....	26
Figure 11 : Localisateur d'apex.....	29
Figure 12 : Exemples de systèmes de préparation mécanisée Ni-Ti. .....	33
Figure 13 : a) Fracture d'un instrument NiTi b) Au niveau d'une 24 .....	36
Figure 14 : Variation de Conicité : (A) = 2% ; (B) = 4% .....	37
Figure 15 : Thermocompactage. Phase de descente et de remontée .....	39
Figure 16 : Système Microseal® .....	40
Figure 17 : Système Quick-Fill® .....	41
Figure 18 : Système Thermafil® .....	42
Figure 19 : Système Herofill® .....	43
Figure 20 : Système SoftCore® .....	44
Figure 21 : Système SimpliFill® (Light Speed® : LSX and SimpliFill® Technique Guide) .....	45
Figure 22 : System B® .....	46
Figure 23 : Système Touch'nHeat® .....	47

Figure 24 :Système Obtura II <sup>®</sup> .....	48
Figure 25 : Le système Ultrafil 3D <sup>®</sup> .....	49
Figure 26 :Système Gutta-Flow <sup>®</sup> .....	50
Figure 27 : Présentation du MTA <sup>®</sup> .....	53
Figure 28: Présentation du biodentine <sup>®</sup> .....	56

## **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau I : Représentativité des canaux dédoublés à l'entrée canalaire ou à la sortie foraminale .....	9
--	---

# **SOMMAIRE**

INTRODUCTION.....	1
<b>PREMIERE PARTIE : TRAITEMENT ENDODONTIQUE</b>	
I. ANATOMIE ENDODONTIQUE .....	3
1.1. Définitions.....	3
1.2. Complexité du réseau canalaire .....	5
1.2.1. Courbure corono-radiculaire.....	5
1.2.2. Courbure apicale.....	5
1.2.3 Orifice apical.....	6
1.3. Classification des canaux .....	8
1.4. Canaux surnuméraires.....	9
II. TRAITEMENT ENDODONTIQUE.....	10
2.1. Importance de la radiographie en Endodontie .....	10
2.1.1. Radiographie préopératoire .....	11
2.1.2. Radiographie peropératoire .....	11
2.1.3. Radiographie postopératoire .....	11
2.2. Temps opératoires .....	11
2.2.2. Pose du champ opératoire .....	12
2.2.3. Réalisation d'une voie d'accès .....	13
2.2.4. Pénétration initiale .....	14
2.2.5. Préparation canalaire.....	14
2.2.5.1. Définition .....	14
2.2.5.2. Objectifs .....	15
2.2.5.3. Principes .....	15
2.2.5.4. Instrumentation .....	16
2.2.5.4.1. Instruments manuels .....	16
2.2.5.4.2. Instruments mécanisés .....	16
2.2.5.5. Mise en forme canalaire .....	17

2.2.6. Obturation canalaire.....	19
2.2.6.1. Définition .....	19
2.2.6.2. Objectifs .....	19
2.2.6.3. Conditions opératoires .....	20
2.2.6.4. Techniques d'obturation .....	20

## **DEUXIEME PARTIE : APPOINT DES TECHNOLOGIES DANS LE TRAITEMENT ENDODONTIQUE**

I. IMAGERIE NUMERIQUE .....	23
II. MICROSCOPE CHIRURGICAL .....	26
2.1 Avantages du microscope opératoire .....	27
2.2 Quelques considérations .....	27
III. LOCALISATEUR D'APEX .....	28
IV. NOUVEAUX SYSTEMES DE PREPARATION CANALAIRE .....	31
4.1. Classification.....	33
4.2. Propriétés des instruments NiTi rotatifs .....	35
V. NOUVEAUX SYSTEMES D'OBTURATION CANALAIRE .....	38
5.1. Techniques de compactage thermomécanique .....	38
5.2. Systèmes avec tuteur.....	42
5.3. Systèmes par vague de chaleur .....	46
5.4. Systèmes par injection .....	48
VI. AGENTS D'ETANCHEITE BIOCOMPATIBLES (MTA, Biodentine).....	51
6.1. Mineral Trioxide Aggregate <sup>®</sup> .....	52
6.2. BIODENTINE <sup>®</sup> .....	55
CONCLUSION.....	59
REFERENCES.....	61

# INTRODUCTION

L'endodontie est une discipline de la chirurgie dentaire qui concerne la prévention et la prise en charge des maladies de la pulpe et du péri apex [54].

L'acte endodontique est une intervention complexe et délicate sur laquelle reposent la santé parodontale et la pérennité de l'organe dentaire. Il est à la base de l'exercice du chirurgien dentiste et constitue un pilier indispensable sur lequel de nombreuses autres disciplines reposent.

Le traitement endodontique, acte clé de la thérapeutique odontologique, reste encore trop redouté en omnipratique. En effet, la complexité des séquences, la durée du traitement ou la peur de l'échec, constituent des raisons amenant les praticiens à rechercher le moyen de faciliter leur pratique.

En l'espace d'un siècle, le domaine de l'endodontie a connu une véritable révolution. Même si la base des traitements reste inchangée, le progrès a permis de mettre en œuvre des notions connues à l'époque mais étaient non ou incorrectement appliquées par manque de moyens.

Les nombreuses avancées technologiques en endodontie ont permis d'une part d'améliorer significativement la qualité des traitements radiculaires et d'autre part de repousser les limites de certaines indications. C'est ainsi que les progrès biochimiques et biologiques ont apporté l'asepsie opératoire de l'acte, ceux des biomatériaux et de la mécanique ont permis la simplification de l'acte opératoire et l'amélioration de l'obturation endodontique.

L'utilisation des instruments en NiTi rotatifs, du microscope, des techniques endodontiques d'imagerie numérique, des systèmes d'obturation des canaux et des agents d'étanchéité biocompatibles ont amélioré les résultats du traitement [1, 4, 28, 56, 93]. L'utilisation de nouveaux équipements de haute technologie a simplifié les procédures de traitement et peut se révéler bénéfique pour les patients atteints d'affections systémiques complexes et des personnes âgées, ce qui rend le résultat du traitement plus prévisible [2, 18, 39, 50].

L'objectif de ce travail était de faire le point sur l'apport des nouvelles technologies dans les traitements endodontiques.

Ce travail sera divisé en 2 parties :

- le premier chapitre sera consacré au traitement endodontique avec ses différentes étapes ;
- le second portera sur l'apport des nouvelles technologies en endodontie.

# PREMIÈRE PARTIE : TRAITEMENT ENDODONTIQUE

## I. ANATOMIE ENDODONTIQUE

Le traitement endodontique débute par l'étude de clichés radiographiques qui nous renseignent sur l'anatomie interne de la dent.

Les nombreuses difficultés en endodontie et les échecs qui en résultent ont souvent pour origine la complexité de l'anatomie canalaire [40, 61, 95]. La diversité anatomique des dents mandibulaires (et tout particulièrement des prémolaires mandibulaires) est importante.

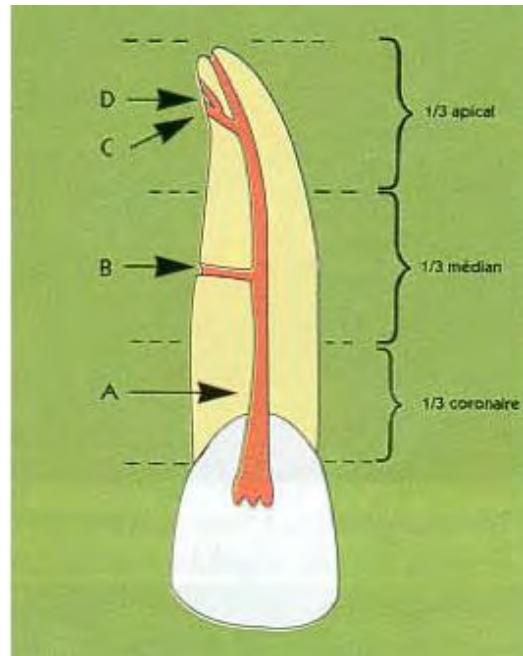
Même si chaque situation clinique doit être considérée comme unique, il n'en demeure pas moins que les caractéristiques anatomiques des différents groupes de dents sont à connaître afin d'atteindre au mieux les objectifs biologiques et mécaniques (nettoyage, désinfection, mise en forme et obturation) du traitement endodontique [80]. De plus, le respect de l'anatomie endodontique conditionne dans une large mesure le pronostic du traitement.

Afin de mener à bien le traitement endodontique, il est nécessaire de respecter, donc de connaître le réseau canalaire qui peut être très complexe. Les canaux latéraux, anastomoses, ramifications apicales sont souvent présents et rarement correctement nettoyés et mis en forme.

Le plus souvent, le canal est décrit comme étant homothétique à la morphologie externe de la racine de la dent. Pourtant, il ne s'agit pas de canal unique mais d'un véritable système endodontique, puisque de nombreuses études [20, 95] ont montré l'existence d'un canal principal situé selon l'axe radiculaire subissant d'éventuelles modifications de forme ou de volume, mais aussi d'autres canaux plus ou moins horizontaux [16].

### 1.1. Définitions

De DEUS[20] en 1975 a défini les différentes portes de sortie endodontiques vers le desmodonte suivant la topographie qu'elles occupent le long de la racine.



**Figure 1: Localisation des ramifications du canal selon De DEUS [20]**

➤ **Le canal principal (A)**

La chambre pulpaire se prolonge dans la racine à travers le canal principal qui contient la majeure partie du tissu conjonctif pulpaire au sein de la racine.

➤ **Le canal latéral (B)**

Le canal latéral est une émanation du canal principal mettant en communication l'endodontie avec le desmodonte au niveau des deux tiers coronaires de la racine.

Son axe est souvent perpendiculaire à l'axe du canal principal.

➤ **Le canal secondaire (C)**

Le canal secondaire naît à partir du canal principal au niveau du tiers apical de celui-ci. Son axe est plutôt oblique par rapport à celui du canal principal.

### ➤ **Le canal accessoire (D)**

Le canal accessoire est une branche latérale du canal secondaire. (Figure 1).

## **1.2. Complexité du réseau canalaire**

L'anatomie endodontique n'est pas une entité figée. Les stimulations d'ordre physiopathologique induisent des remaniements perpétuels au sein du parenchyme pulpaire.

### ***1.2.1. Courbure corono-radiculaire***

Au cours de la vie pulpaire, l'apposition dentinaire qui se fait de façon centripète réduit peu à peu le volume pulpaire. Sa mise en place est axiale dans le sens corono-radiculaire.

Cette apposition asymétrique de la dentine détermine un angle d'accès oblique au canal et est donc à l'origine de la mise en place de la courbure du trajet canalaire.

La modification défavorable de l'angle d'incidence à la courbure apicale en est l'implication clinique majeure.

Par ailleurs, pendant l'apexogénèse, le dépôt de tissu calcifié accentue l'incidence des bifurcations et trifurcations canalaire au sein des groupes multicuspidés aboutissant à une multitude de configurations insoupçonnées [40, 54].

### ***1.2.2. Courbure apicale***

La forme du canal coïncide souvent avec celle de la racine. Cependant, cela n'est plus vrai lorsque l'on s'approche du tiers apical du canal.

Le trajet canalaire peut alors revêtir des variations brusques et indépendantes du contour externe de la racine.

D'ailleurs, le foramen peut être déporté sur l'une des surfaces radiculaires alors que la racine elle-même demeure tout à fait rectiligne. La courbure apicale dévie l'orifice de sortie du canal du centre géométrique de l'apex [10, 21].

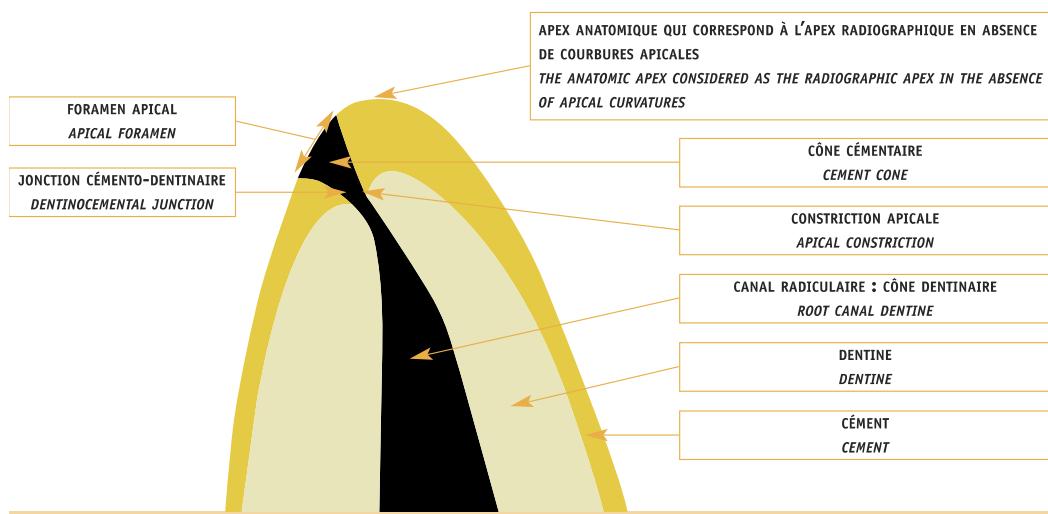
D'un point de vue thérapeutique, toute modification du trajet au niveau apical prédispose à un nettoyage insuffisant et à une obturation non tridimensionnelle.

Du respect de la courbure apicale dépend le succès du traitement [54].

### 1.2.3. *Orifice apical*

Les travaux de **KUTTLER** [49] ont permis d'établir que l'extrémité du canal radiculaire correspond, en fait, à la superposition de deux cônes:

- un long cône dentinaire, ayant comme sommet la jonction cémento-dentinaire et à base cervicale ;
- un petit cône cémentaire (cône apical), inversé par rapport au premier et à base foraminale (**Figure 2**).



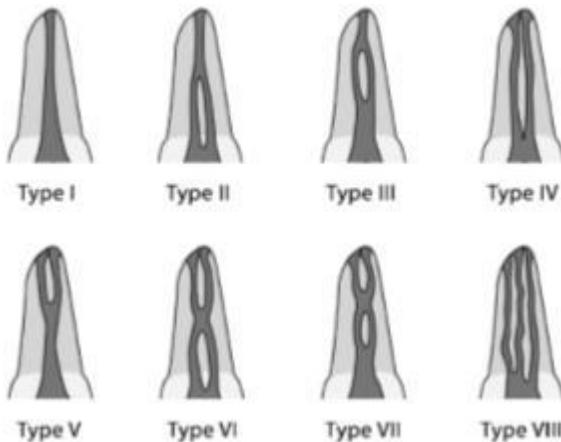
**Figure 2 : Représentation schématique en coupe longitudinale de la région apicale selon KUTTLER [49]**

Ce cône cémentaire ou cône apical, a une hauteur (jonction cémento-dentinaire / foramen) qui varie selon une étude statistique de 0,5 mm chez l'adulte à 0,7 mm chez le sujet âgé (apposition cémentaire plus importante) (**Figure 2**).

L'échec endodontique est souvent lié à l'impossibilité opératoire d'atteindre la totalité des portes de sortie endodontiques. Demeurées non nettoyées et non obturées, elles constituent souvent une source d'entrée d'irritants vers le desmodonte [51, 54].

### 1.3. Classification des canaux

Plusieurs classifications ont été proposées et nous retenons celle de **VERTUCCI [95]** qui décrit huit types de configuration canalaire (**Figure 3**).



**Figure 3 : Représentation schématique en coupe longitudinale des différentes configurations canalaire au sein d'une racine [95]**

#### Légende :

*Type I : un seul canal avec un seul orifice et un seul foramen apical (1-1)*

*Type II : deux canaux se rejoignant en un seul canal et présentant une seule sortie foraminale (2-1)*

*Type III : canal unique se divisant en deux dans la partie moyenne ; les deux canaux se rejoignent dans le tiers apical (1-2-1)*

*Type IV : deux canaux distincts jusqu'au tiers apical (2-2)*

*Type V : un canal se divisant dans le tiers moyen ou apical (1-2)*

*Type VI : deux canaux se rejoignant dans le tiers moyen puis se redivisant dans le tiers apical (2-1-2)*

*Type VII : un seul canal se divisant puis se rejoignant et se divisant à nouveau (1-2-1-2)*

*Type VIII : trois canaux restant distincts jusqu'au tiers apical (3-3)*

## 1.4. Canaux surnuméraires

Les incisives, les prémolaires et la racine distale des molaires mandibulaires, la racine mésio-vestibulaire des molaires maxillaires peuvent contenir plus d'un canal [40].

La trajectoire canalaire peut alors revêtir l'une des variations que nous venons de décrire.

Le tableau ci-dessous représente le pourcentage de ces variations au sein des différents groupes de dents.

Tableau I : Représentativité des canaux dédoublés à l'entrée canalaire ou à la sortie foraminale [54]

Dents	Double orifice d'entrée (%)	Double orifice de sortie (%)
Première prémolaires sup.	92	66
Deuxième prémolaires sup.	28	4
Première et deuxième molaires sup., canal mésio-vestibulaire	36	14
Incisive centrale et latérale inf.	27	4
Première prémolaires inf.	14	6
Deuxième prémolaires inf.	8	4
Première et deuxième molaires inf. canal mésial	87	38
Première et deuxième molaires, canal distal	8	3

## II. TRAITEMENT ENDODONTIQUE

L'objectif de tout traitement en endodontie, est de maintenir une dent dans un contexte biologique proche de la physiologie, et de prévenir ainsi tout développement d'une pathologie osseuse inflammatoire.

Depuis les travaux de **MILLER** [66] et de **KAKEHASHI** [43], l'infection bactérienne a été clairement établie comme étant à l'origine des pathologies endodontiques.

### 2.1. Importance de la radiographie en Endodontie [11, 54, 67, 70]

Le traitement endodontique est le seul en Odontologie qui se fait en «aveugle». Le praticien ne voit que la partie coronaire de la dent et l'accès qu'il a pu y réaliser pour accéder au système canalaire.

Seul le cliché radiographique donne la possibilité d'appréhender l'anatomie radiculaire, d'évaluer le système canalaire, d'objectiver certaines difficultés rencontrées pendant le traitement (butées, calcifications...) et de contrôler l'obturation finale.

Pour que le film reste plan et à distance de la dent, il faut un support qu'on appelle angulateur ou porte film. Il en existe pour le secteur antérieur comme pour le secteur postérieur en radiographie pré et postopératoire (**HAWE Super Bite**).

Tandis qu'en radiographie peropératoire, l'angulateur Endo Ray II (**Dentsply RINN**) s'utilise pour les deux secteurs avec les instruments canalaires en place.

### ***2.1.1. Radiographie préopératoire***

La radiographie pré opératoire, en plus de son rôle diagnostic apporte des renseignements précieux sur les variations anatomiques (canaux coudés, canaux supplémentaires...), les résorptions (internes ou externes), les calcifications canalaires, les fractures radiculaires parfois, les lésions parodontales, l’élargissement du desmodonte et l’existence éventuelle de lésions péri-apicales ou latéro-radiculaires.

### ***2.1.2. Radiographie peropératoire***

La radiographie rétro-alvéolaire « lime(s) en place » reste encore un excellent moyen permettant l’appréciation des limites apicales des préparations endocanalaires (détermination de la Longueur de Travail ; LT).

Bien que pratiquée en Endodontie, la réalisation de la radiographie per opératoire présente des difficultés réelles à cause de la présence des instruments canalaires, des feuilles de digue, des crampons et du cadre.

L’angulateur « Endo Ray II » (Dentsply ; RINN) permet de simplifier la prise de la radiographie rétro-alvéolaire « limes en place » avec l’obtention d’un cliché comparable à celui de la radiographie pré opératoire avec angulateur.

### ***2.1.3. Radiographie postopératoire***

Elle est indispensable pour contrôler immédiatement l’obturation canalaire.Ultime étape du traitement endodontique, elle permet aussi, par comparaison, de suivre l’évolution péri-apicale et parodontale afin de vérifier à moyen et long termes la réussite ou l’échec des traitements endodontiques.

## **2.2. Temps opératoires**

Quelque soit le type de traitement endodontique adopté, la procédure répond à des séquences opératoires standardisées et codifiées pour la biopulpectomie et la désinfection canalaire.

### **2.2.1. Anesthésie locale ou locorégionale**

Il est généralement admis que l'anesthésie locale ou loco régionale donne entière satisfaction en O.C.E. et pour cela, il faudrait que le patient soit dans de bonnes conditions de coopération, que la solution anesthésique soit judicieusement choisie et que la technique soit parfaite. Ces conditions réunies, procurent le confort qui conditionne la qualité du résultat [21, 25].

Après une bonne anesthésie, la pose d'un champ opératoire est nécessaire pour la qualité du traitement et le confort aussi bien du patient que du praticien [25].

### **2.2.2. *Pose du champ opératoire***

Le champ opératoire permet d'isoler la dent à traiter. La digue favorise ainsi les conditions d'asepsie puisqu'elle met la dent à l'abri de toute contamination salivaire. Elle prévient les accidents d'inhalation ou d'ingestion des instruments et produits utilisés mais aussi des débris engendrés.

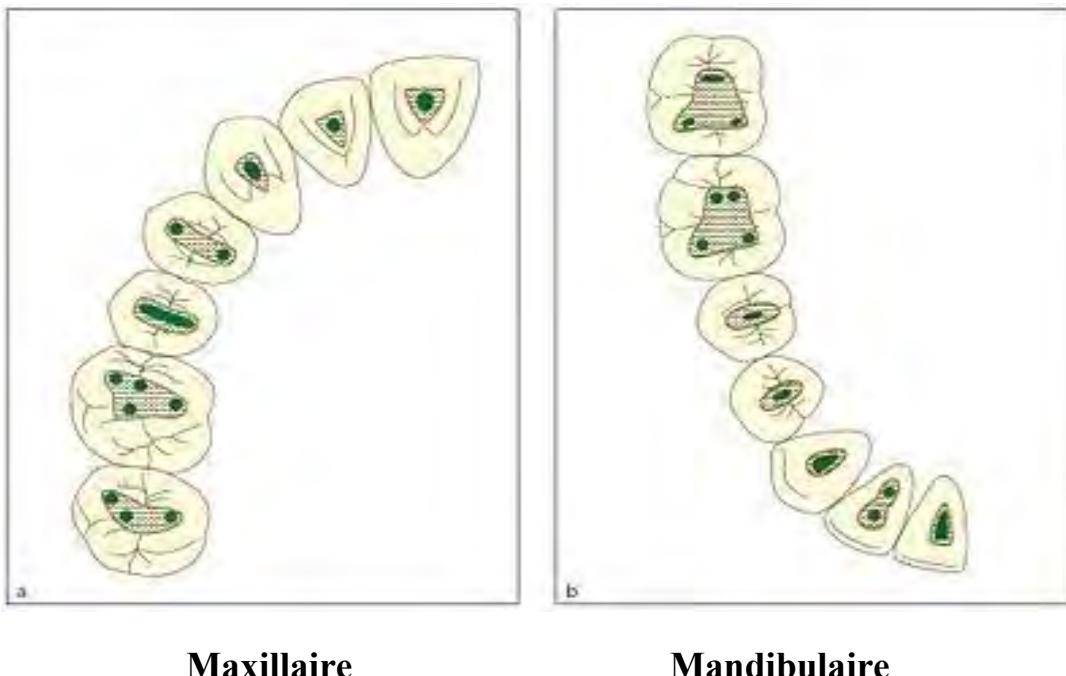
Enfin, elle facilite le travail du praticien, en augmentant la visibilité et l'accessibilité, en favorisant l'ouverture constante de la cavité buccale [54, 70].



**Figure 4 : Vue intra buccale de la digue posée au cours d'une biopulpectomie (Instruments en place) sur la dent 46 (Service OCE)**

La suite du traitement dépend de la bonne réalisation d'une cavité d'accès endodontique (**Figure 5**).

### 2.2.3. *Réalisation d'une voie d'accès*



**Figure 5 : Forme de la cavité d'accès endodontique selon la dent [106]**

La réalisation de la cavité d'accès endodontique représente la première phase de la préparation canalaire. Il est indispensable d'éliminer tous les dépôts exogènes siégeant dans la cavité et sur les surfaces coronaires ainsi que les tissus cariés pour éviter d'ensemencer le système canalaire.

La cavité d'accès doit ouvrir complètement la chambre pulpaire en supprimant tout ressaut dentinaire ou amélaire pour autoriser le libre passage des instruments et la pénétration aisée et sans contrainte du système canalaire en direction apicale [61].

### ***2.2.4. Pénétration initiale[61, 63]***

Il s'agit de la première pénétration du canal. Elle a lieu tout de suite après la trépanation. Elle permet l'évaluation de la « perméabilité canalaire », la reconnaissance de l'anatomie interne (courbures, obstacles,...), l'accès des instruments au foramen et la détermination de la longueur de travail.

La technique d'ampliation initiale s'effectue par une alternance instrumentale. La première lime à pénétrer le canal est celle qui, de par son diamètre, permet d'atteindre l'apex. Cette alternance a lieu jusqu'à des limes de diamètre 15/100<sup>e</sup> de mm, à partir desquelles, la pénétration initiale est terminée.

### ***2.2.5. Préparation canalaire[23, 41, 51, 83]***

La mise en forme du canal est l'acte clé de tout traitement endodontique. Elle permet aux solutions de nettoyage d'atteindre la totalité du canal et de contrôler l'infection éventuelle du système canalaire.

Cette préparation du canal permet à la solution d'irrigation de pénétrer plus profondément, optimisant ainsi la résistance de la dent.

#### ***2.2.5.1. Définition***

Selon LAURICHESSE [51], la préparation canalaire est aujourd'hui le domaine exclusif d'une technologie mécanique et physico-chimique qui s'applique à redéfinir les parois canalaire pour aboutir à une cavité endodontique finale autorisant la mise en place d'une unité biocompatible de substitution, massée d'obturation dense, hermétique et durable respectant les structures anatomiques.

Elle comprend un ensemble d'actes opératoires qui va de la réalisation de la cavité endodontique au séchage du système canalaire. Elle consiste en l'élimination aussi complète que possible du contenu organique et minérale pathologique du système canalaire [44].

#### **2.2.5.2. *Objectifs***

Les objectifs essentiels de la préparation canalaire consistent en l'élimination du contenu organo-minéral du système canalaire et à la mise en forme du canal principal en respectant sa forme originelle et ses limites.

Elle doit procurer, tout en maintenant l'étroitesse du foramen, une conicité régulière de la limite apicale à la cavité d'accès et pour cela il faut :

- une élimination, le plus parfait possible du tissu organique pulpaire et des agents pathogènes notamment les bactéries ;
- l'élargissement homothétique du canal principal ;
- l'obtention d'une conicité régulière du canal, de la chambre pulpaire au foramen ce qui favorise le nettoyage et permet une obturation tridimensionnelle, biocompatible, étanche ;
- le respect de la trajectoire canalaire, des structures apicales, de la position spatiale et du diamètre du foramen [21, 24, 63].

#### **2.2.5.3. *Principes* [51, 63]**

A l'heure actuelle, il semble raisonnable, dans le cadre d'une activité d'omni pratique de qualité, d'accorder des concepts de préparation canalaire.

Ces principes sont:

- nécessité absolue pour toute préparation de permettre le débridement et le parage, efficaces, qui conditionnent la désinfection de tout le système canalaire;
- respect des structures biologiques favorisant les mécanismes normaux des tissus de réparation du parodonte apical;
- suppression préalable des interférences coronaires et radiculaires restrictives pour ne pas dévier de la trajectoire canalaire originelle et prévenir les aberrations instrumentales, dont la plus dangereuse reste le déplacement du foramen apical ;

- respect des structures anatomiques apicales permettant d'établir avec précision les limites terminales de la préparation, la jonction cémento-dentinaire lorsqu'elle existe, et l'issue foraminale dans tous les cas ;
- possibilité d'un scellement du système canalaire dense, hermétique et stable, sans mise en forme artificielle ou exagérée du canal.

#### **2.2.5.4. *Instrumentation***

##### **2.2.5.4.1. *Instruments manuels***

Les instruments manuels présentant une faible conicité (2%), une conicité apicale adéquate ne peut être obtenue que par l'utilisation d'instruments de plus en plus gros, à distance de plus en plus importante du foramen : c'est la technique du « Step-back ». Actuellement tous les instruments répondent aux spécificités ISO.

Le numéro de l'instrument correspond à son diamètre en centième de millimètre et un code coloré lui est associé.

Les instruments en acier sont constitués essentiellement de limes K (Kerr), debroches, et de racleurs ou limes H (**Hedström**).

Depuis, de nombreux types sont apparus en accord avec de nouveaux concepts de préparation.

C'est au début des années 1990, que le Nickel Titane, alliage super élastique, a fait son apparition en Endodontie. Les instruments en Nickel Titane (NiTi) ont connu une brève utilisation manuelle, car une telle utilisation ne permet pas d'exploiter toutes les potentialités liées à leur super élasticité et leur flexibilité [14, 17, 47, 56, 58, 69, 76].

##### **2.2.5.4.2. *Instruments mécanisés [58, 79, 84]***

Les techniques mécanisées se sont développées d'abord avec des instruments en acier. Cependant, tous ont présenté des inconvénients liés à une insuffisance de flexibilité.

Parmi ces techniques on peut citer : le Giromatic et le « Canal Finder ».

Les techniques sonores et ultrasonores bien qu'utilisant des limes diamantées se sont heurtées aux mêmes problèmes. Néanmoins, elles ont apporté des acquis à la préparation canalaire même si elles n'ont pas trouvé la solution à tous les problèmes posés.

Elles ont résolu le problème de la durée mais devant les risques de fracture, les instruments à pointe non travaillante ont vu le jour.

#### ***2.2.5.5. Mise en forme canalaire [3, 16, 41, 50, 51, 63, 82]***

Après un rappel sur les principes d'utilisation des techniques manuelles avec la technique serielle et la technique télescopique, nous développerons dans la deuxième partie de ce travail, la technique de rotation continue qui grâce au Nickel Titane a révolutionné les concepts de mise en forme canalaire avec la conicité apico-coronaire.

##### **a) Techniques manuelles**

###### **• La technique serielle**

L'élargissement canalaire est obtenu grâce à l'utilisation d'une série d'instruments manuels, de diamètre croissant, sans jamais sauter de numéro et sous une irrigation abondante et renouvelée.

Les instruments de petit diamètre vont parcourir le canal sur toute sa longueur, avec au besoin le retour à un instrument de diamètre inférieur, de récapitulation ; tandis que les instruments de taille supérieure à celle de la lime apicale maîtresse agiront sur des longueurs plus courtes que la longueur de travail prédéterminée.

Animée de mouvements de rotation de 45° dans le sens des aiguilles d'une montre, la broche (ou la lime K) élargit la lumière canalaire. La broche parcourant le canal sera supplantée par la lime H de même calibre. Cette dernière en appui pariétal circonférentiel libère les débris organiques et rend uniforme les parois canalaires.

L'efficacité de préparation obtenue reste comparable à celle des techniques mécanisées.

Sa pratique restera limitée aux canaux rectilignes ou à courbure très modérée.

Pour de nombreux praticiens, elle laisse subsister de nombreuses zones non instrumentées qui constituent des pièges potentiels à bactéries.

Le volume de préparation obtenu ne permet de réaliser qu'une obturation au monocône ou une condensation latérale.

- **La technique télescopique ou « Step back »**

Elle est basée sur la réalisation d'un agrandissement de la lumière canalaire en redressant toutes les courbures et en éliminant toutes les interférences des deux tiers coronaires du canal [63].

Après le cathétérisme, les broches et limes K, sous irrigation constante et abondante, se chargent de l'élargissement du corps du canal, de la mise en suspension et de l'élimination des débris organiques et minéraux.

Une fois que la broche flotte littéralement dans le canal, elle est remplacée par la lime K de même numéro (le passage à l'instrument de taille supérieure ne dépendra que du parcours libre et aisément de cette même lime K dans le canal).

Les broches et limes K utilisées en alternance jusqu'au numéro 25/100<sup>e</sup> ou 30/100<sup>e</sup> (jusqu'au 40/100<sup>e</sup> pour les canaux larges) réalisent une « butée » apicale [63].

L'opérateur choisit généralement les limes 25/100<sup>e</sup> ou 30/100<sup>e</sup> comme lime apicale maîtresse. A partir de ce numéro les limes K de diamètre croissant travaillent sur une longueur continuellement dégressive d'un millimètre donnant lieu à un « véritable télescope » à l'intérieur du canal.

C'est une technique trop mutilante et la fragilité radiculaire consécutive à une surpréparation fait que sa pratique reste strictement réservée aux canaux droit sous faiblement incurvés.

La préparation manuelle réalisée avec les instruments en acier inoxydables avère longue et fastidieuse, et les résultats obtenus ne sont souvent pas à la hauteur des efforts fournis, surtout dans le cas de canaux courbes. C'est ainsi qu'on a découvert la rotation continue à vitesse constante qui a révélé les grandes possibilités du Nickel Titane [5, 7, 13, 18, 19, 22, 24].

### **2.2.6. *Obturation canalaire***

#### **2.2.6.1. *Définition***

L'obturation canalaire, étape ultime du traitement endodontique, est un acte opératoire biologique principalement physique et mécanique et secondairement médicamenteux.

Elle consiste à supprimer l'espace vide laissé par l'élimination de la pulpe ; c'est le comblement de la cavité pulpaire par un matériau qui peut être en principe d'une nature quelconque [98].

#### **2.2.6.2. *Objectifs [7, 63, 80]***

L'obturation du système canalaire constitue la dernière étape du traitement endodontique, elle ne peut en aucun cas compenser un défaut de parage et/ou demise en forme. Il est donc nécessaire de respecter les impératifs endodontiques, à savoir, l'élimination des tissus conjonctifs pulpaires et les agents pathogènes et le respect de l'anatomie canalaire et le foramen apical avant de procéder à l'obturation.

Dans tous les cas, l'obturation doit être : tridimensionnelle, hermétique, durable et fiable.

L'obturation canalaire a pour but :

- d'assurer l'étanchéité du complexe endodontique ;
- de créer un environnement favorable à la cicatrisation ;
- de maintenir la physiologie péri apicale.

#### ***2.2.6.3. Conditions opératoires***

Avant de réaliser l'obturation canalaire, certaines conditions liées à l'état de la dent et à la préparation canalaire sont nécessaires :

- la préparation doit assurer le parage optimum du canal et un accès à sa partie apicale pour permettre la condensation du matériau qui obture complètement le canal préparé ;
- la dent doit être asymptomatique à la percussion ;
- la zone en regard de l'apex de la dent concernée doit être dépourvue d'œdème et doit être insensible à la palpation ;
- aucun suintement ne doit être décelable dans le canal qui, asséché doit rester sec ;
- une fistule existant en début de traitement doit être refermée après les médications d'inter séance ;
- le canal ne doit pas dégager d'odeur, témoin de la persistance d'une nécrose.
- la restauration intermédiaire doit être restée intacte pendant l'interséance ;
- le système d'obturation doit être choisi.

#### ***2.2.6.4. Techniques d'obturation [63, 70]***

L'obturation canalaire permet d'assurer la pérennité du travail effectué lors du nettoyage et de la mise en forme du système canalaire. Ce n'est cependant pas une étape passive, mais bien une phase dynamique du traitement endodontique dont l'objectif est de sceller de façon étanche toutes les portes de sorties du système canalaire. C'est la raison pour laquelle la technique du monocône tend à disparaître.

Nous aborderons tout d'abord les techniques classiques d'obturation canalaire puis dans la deuxième partie de ce travail nous parlerons des nouvelles techniques.

## a) Les techniques classiques

- ***La technique du Monocône***

C'est une technique mise au point par **Marmasse [57]**.

Il s'agit d'une obturation avec une pâte canalaire insérée à l'aide d'un bourre pâte type Lentulo® et l'insertion de cônes de gutta-percha, agissant comme des coins. C'est la seule technique d'obturation qui peut être utilisée quelle que soit la technique de préparation choisie.

La technique est simple, rapide, permettant le respect de l'anatomie initiale.

Il y a un risque de dépassement de la pâte et / ou de cône **[Dupont]**.

- ***La technique de Compaction latéral à froid de gutta percha [5, 6]***

Elle utilise la plasticité naturelle de la gutta percha qui est écrasée latéralement sans apport de chaleur par un fouloir latéral afin de la déformer et de la mouler aux parois canalaires.

La technique est simple, efficace et les résultats constants. La technique ne requiert qu'un apprentissage rapide. La sécurité de la technique rend les risques de dépassement très limités. L'instrumentation exigée est simple et réduite. L'étanchéité est très bonne. Elle est longue, coûteuse (utilisation de nombreux cônes), la densité des 2/3 coronaires est moins bonne que celle du 1/3 apical.

- ***La technique de condensation verticale à chaud de gutta-percha [5, 7, 26, 27, 50, 63]***

Des fouloirs verticaux et une source de chaleur vont permettre la formation d'un bouchon de gutta qui va être déplacé en direction apicale, jusqu'à l'adaptation tridimensionnelle de ce bouchon dans les derniers millimètres apicaux.

Cette technique permet l'obturation tridimensionnelle du système canalaire avec une herméticité et une homogénéité parfaites.

La manipulation est longue et nécessite un travail à quatre mains. La méthode exige une préparation trop mutilante voire traumatisante (cas de canaux à forte courbure ou à racine frêle).

Le défaut majeur est le risque de dépassement.

## DEUXIÈME PARTIE: APPOINT DES TECHNOLOGIES DANS LE TRAITEMENT ENDODONTIQUE

L'endodontie est souvent considérée comme une discipline complexe et compliquée à mettre en œuvre. Les évolutions techniques des 15 dernières années que nous aborderons dans ce chapitre, ont permis de proposer des instruments et autres périphériques facilitant les protocoles et, surtout, de rendre l'endodontie de qualité accessible à tout praticien. Les aides optiques grossissantes, tels que les loupes ou le microscope permettent d'optimiser le travail, mais il est à ce jour impossible d'examiner visuellement le système canalaire lui-même dans sa totalité.

### I. IMAGERIE NUMERIQUE



Figure 6 : Imagerie argentique [107]



Figure 7: Imagerie numérique [107]

La radiographie est l'examen complémentaire principal pour l'odontologie. Sa prescription est pluriquotidienne (95 % environ des examens complémentaires prescrits) [11, 34, 68]. Elle utilise les rayons X qui donnent le

meilleur rapport qualité/prix. La radiographie est un examen anatomique qui permet de connaître l'anatomie propre de chaque individu. On distingue deux types d'examens radiologiques :

- la radiologie bidimensionnelle, la plus ancienne et encore la plus utilisée, qui est la projection d'un volume sur un plan, type radiographie rétroalvéolaire, orthopantomographie ;
- la radiologie tridimensionnelle, qui provient de l'acquisition de coupes scanner X (chaque coupe est une image bidimensionnelle) et à partir desquelles peut être réalisée une reconstruction tridimensionnelle. Cette technique existe depuis une dizaine d'années environ [35].

Pour permettre la visualisation des différentes structures dentaires, deux types d'image sont à notre disposition. D'une part l'imagerie argentique (**Figure 6**) qui reste encore l'élément de référence. Cette image fixe, mais d'une très grande finesse quant à sa précision, nous présente un aspect d'ensemble des structures dentaires et péridentaires, simplement limitée par le format utilisé. D'autre part, on trouve l'imagerie numérique (**Figure 7**) qui tend à se rapprocher de la qualité de la radiologie conventionnelle. On obtient une image brute sur laquelle on va pouvoir appliquer une série de traitements d'image qui amèneront à l'œil humain la région d'intérêt sur laquelle nous recherchons une pathologie ou une guérison.



Figure 8: Film argentique [103]



Figure 9 : Capteur numérique [105]

L'imagerie numérique, introduit par **MOUYEN** [68] en 1987 avec la RadioVisioGraphie (plus communément appelée RVG), modifie notre schéma initial par le détecteur utilisé. Le support argentique est remplacé par un capteur, qui est appelé capteur numérique intra buccal (CNIB). Les règles d'acquisition (dans le domaine bidimensionnel) sont en revanche identiques entre le support argentique et les CNIB.

Les principales différences résident dans les éléments suivants : acquisition instantanée de l'image, diminution de la dose d'exposition aux rayons X, possibilités de traitements de l'image et stockage des informations sans altération.

La diminution de la dose de rayons X est une préoccupation importante des radiologues [67]. La radiologie numérique permet ainsi de diminuer les temps d'exposition de manière significative par rapport aux systèmes conventionnels [68].

A côté de l'imagerie conventionnelle, deux principaux types d'imagerie numérique coexistent : imagerie numérique directe et indirecte.

Quelle que soit la technologie utilisée, la dose de rayons X, comparée à celle nécessaire pour l'imagerie argentique, diminue considérablement. En effet, la sensibilité de ces capteurs au rayonnement X est très importante.

L'acquisition avec ces détecteurs suit les mêmes règles que celle de l'imagerie argentique. Les porte-films sont impératifs car la stabilité des angulateurs diminue le flou cinétique et assure la technique des plans parallèles, qui a pour effet de diminuer le phénomène de projection et donc de pouvoir mieux quantifier les résultats obtenus sur le moniteur.

Quel que soit le support utilisé, l'acquisition réalisée dans ces conditions donne une image brute de qualité, qui est seule garante de la possibilité d'un traitement d'image efficace.

## II. MICROSCOPE CHIRURGICAL



**Figure 10 : Microscope opératoire [103]**

Tant dans les cours de perfectionnement ou de formation continue ainsi que dans les publications scientifiques, il est fait mention des avantages considérables que présente l'utilisation du microscope opératoire (MO) en endodontie et en chirurgie endodontique.

En outre, la qualité exceptionnelle du champ visuel et des images est une source non négligeable de plaisir supplémentaire en pratique quotidienne. Ces propriétés rendent intéressant le microscope opératoire également dans le cadre de son utilisation en cabinet dentaire par le dentiste généraliste [45, 67, 77].

En endodontie, les avantages du MO sont particulièrement évidents. La possibilité de sélectionner le grossissement, ainsi que la source de lumière focalisée au centre du champ de travail rendent possible une vue d'ensemble, qui permet d'inspecter directement la chambre pulpaire et, du moins pour les canaux droits, jusqu'à l'apex.

Alors que les traitements endodontiques étaient habituellement fondés sur le sens tactile, la représentation virtuelle tridimensionnelle, l'interprétation des clichés radiologiques et l'expérience personnelle, le recours au MO en fait une

thérapie exécutable sous contrôle visuel direct. La même considération s'applique à l'insertion de tenons ou de vis radiculaires, gestes qui se trouvent également facilités à tous égards.

## 2.1. Avantages du microscope opératoire

Les avantages de MO sont :

- Bénéfices optiques qui sont manifestes
- Avantages ergonomiques car la plupart des traitements peuvent être exécutés en maintenant une position parfaitement souple du praticien assurant de la sorte une posture dorsale droite.
- Risque de prolonger quelque peu le temps de travail mais avec de l'expérience, le travail sous MO et la précision de la vision qui en résulte auront vite fait de raccourcir le temps à investir aux différents actes.

## 2.2. Quelques considérations

### ➤ *Limitation du champ visuel à la cavité buccale*

L'un des reproches souvent évoqué à l'égard du MO, est la question de savoir si le patient est encore perçu comme un être humain. En pratique courante, l'état du patient reste à tout moment perceptible et, en outre, du fait du travail à quatre mains sous le MO, une deuxième personne, l'assistante, est toujours présente sans aucune limitation de son champ visuel. Il va de soi que cet aspect humain demande une attention toute particulière de la part de l'assistante.

### ➤ *Formation et documentation*

Le MO ouvre de nouvelles perspectives tant dans le domaine de l'enseignement que de la formation et sans doute un champ d'applications très

intéressant qui peut également être mis à profit pour l'information des patients et la documentation de cas.

#### ➤ *Aspects financiers*

L'investissement nécessaire pour l'acquisition d'un MO de qualité s'élèverait à plusieurs milliers d'euro ce qui constitue un frein considérable à l'utilisation de ce genre de technologies et surtout dans les pays en développement.

### III. LOCALISATEUR D'APEX

L'objectif de l'endodontie est de nettoyer, désinfecter et protéger les tissus biologiques d'une nouvelle contamination bactérienne dans des zones très peu accessibles. La difficulté est alors d'amener les instruments de nettoyage, les solutions de désinfection et les matériaux d'obturation jusqu'aux limites de l'endodontie [32].

Pour se repérer, le praticien utilise des instruments sur lesquels est reportée la longueur de travail, c'est-à-dire la distance entre un repère coronaire et la limite apicale de l'endodontie. Cette mesure va être essentielle tout au long du traitement pour guider les instruments et matériaux d'obturation.

La détermination des limites apicales endodontiques (longueur de travail) est une étape cruciale dans le traitement canalaire car elle conditionne la réussite ou l'échec du traitement.

Jusqu'ici la radiographie restait le moyen incontournable pour déterminer les limites apicales endodontiques. Seulement les estimations fournies sont jugées approximatives et peu objectives.

Aujourd'hui des moyens électroniques qui apportent d'avantages de précision quant à la situation des limites apicales endodontiques sont mis à notre disposition.



**Figure 11 : Localisateur d'apex[102]**

Le localisateur d'apex est la technique de mesure de longueur de travail qui a le plus évolué ces dernières années [32]. Fondé à l'origine sur une mesure de résistance d'un courant continu, elle repose aujourd'hui sur des mesures d'impédance de plusieurs courants alternatifs de fréquences différentes .

L'intégration de ces mesures varie selon les modèles de localisateur d'apex, et donne comme unique information fiable la position de la lime lors de son passage dans le desmodonte [26].

Lorsque la lime n'est plus cernée par les parois canalaires, le courant varie et le localisateur d'apex l'indique par un son, un signal lumineux ou l'apparition de la mention « apex » sur l'écran (**Figure 11**). La rencontre de la lime avec le desmodonte ne correspond pas nécessairement avec l'apex anatomique. En effet, il a été montré que le foramen apical n'était situé que rarement au niveau de

l'apex anatomique. Ainsi, la dénomination de « localisateur d'apex » peut paraître impropre [32].

L'utilisation du localisateur d'apex nécessite le respect de quelques précautions. Si les technologies actuelles permettent de pratiquer des mesures dans un canal contenant une solution d'irrigation, il est néanmoins important de veiller à éviter les dérivations électriques. Pour cela, l'emploi du localisateur d'apex doit se faire sous digue, la couronne de la dent doit être sèche et dépourvue de restauration métallique.

Pour améliorer la fiabilité de la mesure, il est préférable d'utiliser une lime dont le calibre est proche de celui du canal. Par ailleurs, la présence d'un sinus procident ou d'une hémorragie incontrôlée peut troubler la mesure.

Enfin, il est classiquement considéré que certaines générations de pacemaker risquent d'être déréglées par le courant du localisateur d'apex, ce qui n'est pas confirmé par la littérature [32].

Seule l'indication <0> ou <apex> est fiable. Des indications ne sont en aucun cas des mesures. Elles n'ont aucune valeur et ne font qu'indiquer que la lime progresse dans le canal. Par exemple, une indication <0,5> sur l'écran ne permet en aucun cas de déduire que la pointe de l'instrument se situe à 0,5mm du foramen. Une erreur grossière consisterait à mesurer la longueur de l'instrument et d'y ajouter 0,5mm pour en déduire la longueur du canal.

Une mesure anormalement <courte> mais reproductible peut indiquer la présence d'une sortie non apicale de l'endodontie, et permet par exemple de confirmer la présence d'une perforation ou d'une résorption perforante.

Il convient enfin d'utiliser une lime dont le diamètre est proche de celui du canal dans le tiers apical. Une lime qui <flotte> dans le canal diminue considérablement la pertinence des données des localisateurs d'apex électroniques.

La mise en forme instrumentale entraîne nécessairement un redressement des courbures canalaires, notamment quand celles-ci sont importantes. La rectification de cette courbure a pour conséquence une modification inévitable de la longueur canalaire. Plus la courbure radiculaire canalaire est marquée, plus la modification de cette longueur de travail en cours de traitement est importante et peut parfois dépasser le millimètre. Il est ainsi conseillé de vérifier la longueur plusieurs fois pendant le traitement, et notamment avant d'obturer avec le localisateur d'apex ou une radiographie cône en place afin d'éviter tout risque de sur-obturation [20, 27].

#### **IV. NOUVEAUX SYSTEMES DE PREPARATION CANALAIRE**

La préparation ou la mise en forme canalaire constitue une des étapes du traitement endodontique dans laquelle l'instrumentation est très variée et omniprésente.

En effet, associée à une irrigation abondante et adaptée, elle reste indispensable pour atteindre les objectifs biologiques et mécaniques de la préparation canalaire. Il existe actuellement une très grande variété d'instruments sur le marché, constitués d'acier inoxydable ou de nickel-titane (Ni-Ti), utilisés avec des techniques manuelles et/ou mécanisées, encore appelées assistées. Des instruments sonores et ultrasonores peuvent également compléter la préparation [27, 52, 76, 94].

Parallèlement, les techniques associant l'utilisation du Ni-Ti et la rotation continue sont apparues durant les années 1990. Elles connaissent un grand engouement car elles présentent de nombreux avantages par rapport aux techniques traditionnelles. Nous pouvons noter entre autres : une diminution du risque du transport canalaire, une conicité majorée favorisant une meilleure préparation, une ergonomie améliorée, etc.

Les limites d'utilisation de ces systèmes restent peu nombreuses. Toutefois, un respect strict des protocoles et des précautions d'emploi clinique

est primordial pour limiter les complications de ces techniques. Il existe actuellement une grande variété d'instruments sur le marché et leur évolution constante doit amener le clinicien à s'informer et à se former de façon fréquente [3, 29, 30, 31, 36].

L'apparition des instruments en Nickel Titane, utilisés en rotation continue, a grandement facilité la mise en forme canalaire. Leur souplesse et leur aptitude nous permettent de gérer les canaux courbes.

Une longue recherche a découvert les instruments mécanisés en Nickel Titane très flexible. **PERTOT** et **POMMEL** [70] en distinguent deux grandes catégories :

- Les instruments passifs, qui sont dits non coupants. Ils présentent un ou plusieurs méplats radiants qui permettent d'optimiser le centrage de l'instrument dans le canal et donc de respecter les trajectoires, de limiter le phénomène d'aspiration ou vissage et d'augmenter la résistance des lames et la flexibilité du corps de l'instrument. Cependant ces instruments présentent une faible efficacité de coupe
- Les instruments actifs qui sont dits coupants et ne comportent pas de méplat radiant. Ils présentent une très bonne efficacité de coupe. En revanche, leur flexibilité est moindre pour des conicités importantes. Enfin, l'efficacité de coupe peut s'accompagner parfois d'une sensation d'aspiration vissage.

Ces différents instruments ont ainsi été classés comme suit : les instruments à conicité variable avec des séries différentes et des instruments dont les variations de conicité se retrouvent sur le même instrument.

Il existe de nombreux systèmes de préparation canalaire mécanisés en Ni-Ti (**Figure 12**). Quelques classifications les concernant existent. Toutefois, aucune ne peut idéalement inclure l'ensemble des techniques proposées tant

elles sont nombreuses, variées et en constante évolution depuis une quinzaine d'années. Ces systèmes peuvent être décrits par leurs indications, leurs procédés de fabrication, leurs caractéristiques géométriques et enfin par les traitements de surface qu'ils peuvent subir. Il est à noter que la plage de vitesses adéquate peut être obtenue soit par l'intermédiaire d'un contre-angle réducteur de vitesse placé au niveau de l'unit (fonctionnement pneumatique), soit grâce à un contre-angle normal placé au niveau d'un moteur externe au fauteuil (fonctionnement électrique) [3].

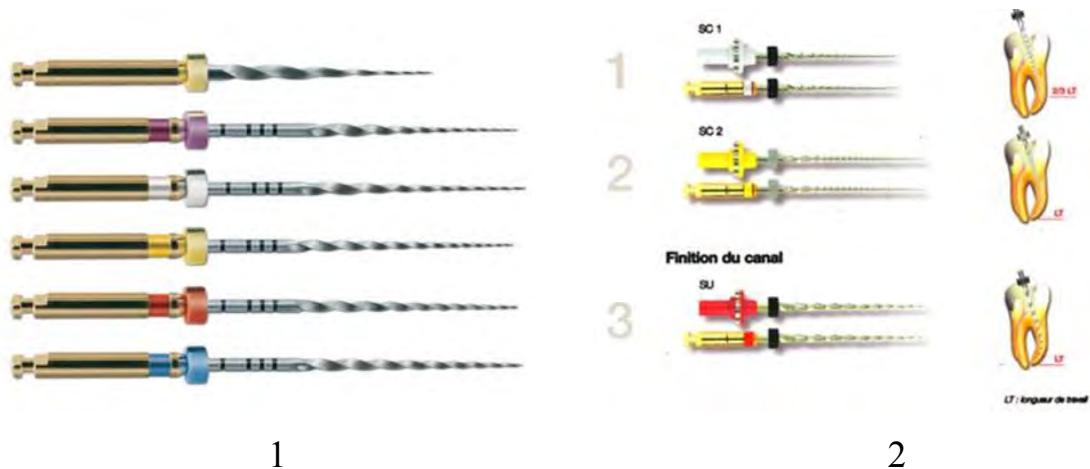


Figure 12 : Exemples de systèmes de préparation mécanisée Ni-Ti [104]

## 4.1. Classification

➤ ***Instruments passifs*** : les instruments dits passifs ou non coupants présentent la particularité de posséder un ou plusieurs méplats radiants. Cette caractéristique permet d'améliorer le respect de la trajectoire canalaire, de limiter le risque d'aspiration et de vissage tout en augmentant la résistance ainsi que la flexibilité de

l'instrument. Cependant, le principal inconvénient de ces instruments est leur faible efficacité de coupe.

✓ Exemple de système passif :

- **ProFile®** (Maillefer-Dentsply)
- **GT Rotary File®** (Maillefer-Dentsply)
- **Quantec Série 2000®** (Bisico)
- **K3®**(KerrHawe)

➤ ***Instruments actifs*** : les instruments dits actifs ou coupants sont caractérisés par l'absence de méplat radiant. Si ces instruments présentent une excellente efficacité de coupe, leur flexibilité est moindre pour les conicités importantes.

Cette importante efficacité de coupe peut être à l'origine de phénomène d'aspiration ou de vissage atténué par des variations.

✓ Exemple de système actif :

- **Héro 642®**(Micro-Méga)
- **HéroShaper®**(Micro-Méga)
- **Protaper®** (Maillefer-Dentsply)
- **Race®** (FKG)

➤ ***Instruments mixtes*** : Il s'agit de systèmes qui associent des instruments coupants et non coupants afin de trouver un compromis entre l'efficacité de coupe et le risque de vissage des limes.

✓ Exemple de système mixte :

- **Endomagic®** (Oral Hygien Center)

## 4.2. Propriétés des instruments NiTi rotatifs [12, 60, 65, 72, 73, 75, 78, 81]

### Propriétés mécaniques

#### ➤ La mémoire de forme

Le Ni-Ti fait partie des AMF (Alliages à Mémoire de Forme).

Cette propriété représente la capacité du nickel-titane, soumis à une contrainte, à se déformer de façon réversible par le biais d'un phénomène cristallographique : *la transformation martensique*.

Le nickel-titane possède deux états structuraux :

- état "*austénite*" à haute température
- état "*martensite*" à basse température.

#### ➤ Super élasticité

Cette propriété découverte par **BUEHLER ET WANG** [12] caractérise la capacité du nickel-titane à subir une déformation temporaire (jusqu'à 10%) sous contrainte, puis à récupérer sa dimension initiale et sa forme originelle lorsque la contrainte cesse.

La super élasticité est extrêmement utilisée sur le plan endodontique.

Il est important de noter que lorsque cette contrainte dépasse la limite élastique de l'alliage, la déformation plastique devient irréversible précédant la rupture induite par le maintien de la contrainte. En endodontie, cela pourrait se traduire par la fracture de l'instrument sans signe avant coureur.

#### ➤ Flexibilité

La flexibilité se traduit par une faible force de rappel de l'instrument vers sa position d'origine. Cela facilite le respect du trajet canalaire par rapport aux

limes en acier inoxydable qui doivent être précourbées alors que les instruments en nickel-titane ne peuvent et ne doivent subir aucune précourbure.

Cette propriété étudiée au travers du moment de flexion et de l'angle de déformation permanente démontre une nette supériorité du nickel titane sur les instruments en acier inoxydable. En effet, la flexibilité du nickel-titane serait six fois supérieure à celle de l'acier [96, 99, 100].

➤ Résistance à la torsion et à la fracture

La résistance à la torsion du nickel-titane serait jusqu'à dix fois plus importante.

De plus, cette propriété ne serait pas affectée par les cycles de stérilisation.

La fracture existe et serait liée au vissage des instruments dans le canal.

➤ Fatigue

C'est un élément important pour ce type d'alliage. Elle est de type ductile et imprévisible, d'où la nécessité de contrôle du nombre d'utilisation des instruments (limité à 10 fois).



a



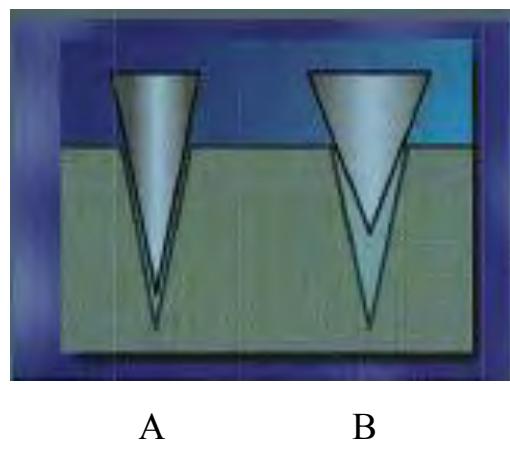
b

Figure 13 :a) Fracture d'un instrument NiTi b) Au niveau d'une 24 [105]

➤ **Efficacité de coupe**

Si les instruments en nickel-titane ont une efficacité de coupe réduite en utilisation manuelle, cette propriété se manifeste rapidement et sans effort en utilisation rotative.

Cette propriété variable selon le profil de l'instrument et la composition de l'alliage s'explique essentiellement par l'augmentation de conicité [38, 59, 81, 96].



**Figure 14 : Variation de Conicité : (A) = 2% ; (B) = 4% [107]**

 **Propriétés électrochimiques**

Ces propriétés sont :

- Résistance à la corrosion
- Biocompatibilité
- Absence de modification des propriétés après stérilisation [18, 37].

Ces considérations sont à prendre en compte, que l'instrument soit à conicité constante ou variable.

Comme toute nouvelle technique, la rotation continue nécessite un apprentissage et une application rigoureuse. Il sera nécessaire de s'assurer du maintien de la perméabilité apicale entre chaque passage d'instrument actif [42].

La clé du succès passe par l'obtention d'un « environnement biologiquement favorable à la cicatrisation » [82].

S'il y a eu de nombreuses évolutions dans le domaine de la mise en forme canalaire grâce à l'apport de l'assistance mécanisée, il y en a eu autant dans le domaine de l'obturation canalaire.

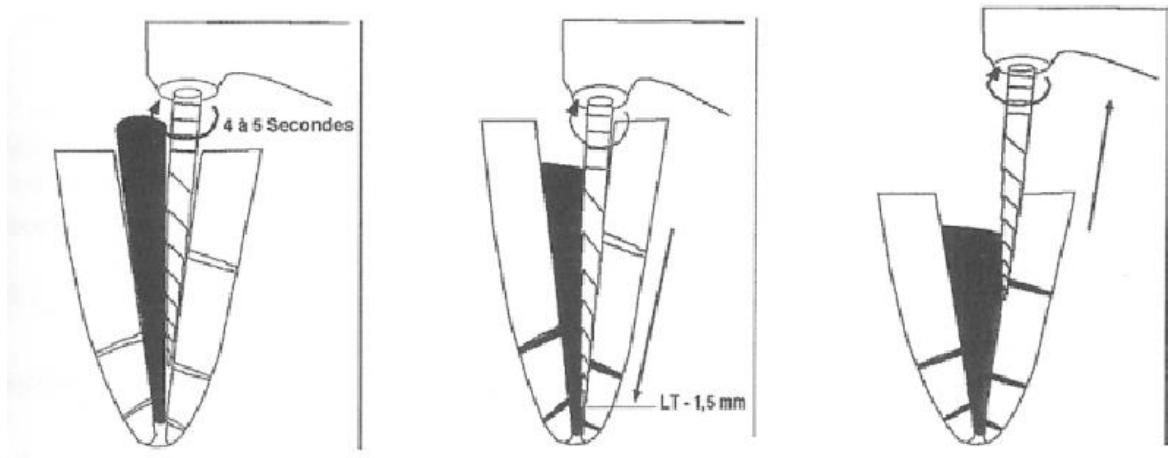
## **V. NOUVEAUX SYSTEMES D'OBTURATION CANALAIRES**

L'obturation canalaire est l'étape ultime du traitement endodontique. Elle doit assurer la pérennité des manœuvres de nettoyage et de mise en forme du système canalaire. Actuellement, plusieurs techniques sont proposées faisant toutes appel à la gutta-percha associée à un ciment endodontique. L'introduction de la rotation continue en endodontie pour la mise en forme des canaux a engendré l'apparition de nouvelles techniques d'obturation adaptées aux formes obtenues.

### **5.1. Techniques de compactage thermomécanique [51, 56, 87]**

Il s'agit d'une technique assistée par un compacteur mis en rotation sur un contre angle à 8/10000 tours/minutes.

Le maître cône de gutta, enduit de ciment, est plastifié et condensé par l'instrument rotatif. Le compacteur assure une poussée latérale et verticale de la masse de gutta. Cette technique permet l'adaptation de l'obturation à un canal modérément élargi.



**Figure 15 : Thermocompaction. Phase de descente et de remontée [7]**

Ces techniques sont fiables et reproductibles. L'anatomie canalaire est respectée et les risques de fracture radiculaire sont à peu près nuls. Un gain de temps, l'utilisation d'un nombre réduit d'instruments et un ensemble de gestes simples, une économie de cônes de gutta sont associés à cette technique.

Les risques de fracture de l'instrument sont grands si on le fait tourner trop longtemps, et s'il se bloque contre les parois canalaires. Elle exige un apprentissage très sérieux et parfois prolongé [7, 56, 62, 63].

#### ***A. Système Microseal®***

Cette technique est la dernière innovation de **MAC SPADDEN [56]** en ce qui concerne l'obturation canalaire. Elle combine compactage latéral et utilisation de fœuloirs latéraux et compacteurs en nickel-titane.



**Figure 16 :Système Microseal® [106]**

***Avantages :***

- Obturation tridimensionnelle
- Faible risque de fracture instrumentale
- Négociation des courbes sévères et les variations anatomiques grâce à l'utilisation de fouloirs et de condenseurs en nickel-titane.

***Inconvénients :***

- Apprentissage difficile
- Durée d'obturation plus longue que certaines autres techniques actuelles (deux temps)
- Coût important.

## B.Système J.S.Quick-Fill®

Ce système utilise un instrument en rotation continue pouvant être assimilé à une lime K inversée en titane. La gutta-percha positionnée sur l'instrument va ainsi pouvoir être réchauffée et propulsée vers l'apex.



**Figure 17 : Système Quick-Fill® [108]**

### *Avantages :*

- Obturation rapide
- Obturation tridimensionnelle sur toute la longueur de travail par moulage sur les parois canalaires d'une gutta-percha basse viscosité réchauffée
- Permet de négocier les courbures modérées
- Nécessite peu de matériel.

### *Inconvénients :*

- Le tuteur en titane peut se fracturer si les courbures sont trop importantes
- L'opérateur ne peut pas contrôler les extrusions péri-apicales
- Coût non négligeable.

## 5.2. Systèmes avec tuteur

**BEN JOHNSON [6]** en 1978 obturait les canaux à l'aide d'un fil d'or enrobé de gutta-percha ramollie, cette technique était ensuite reconnue, améliorée et commercialisée. Elle a été considérée comme une technique fiable et reproductible.

### *A. Système Thermafil®*

Conçu par **BEN JOHNSON [6]** à partir de 1978, cette technique permet une obturation canalaire en un temps très court par un tuteur recouvert de gutta-percha en phase  $\alpha$  réchauffée avant son introduction dans le canal.



Figure 18 : Système Thermafil® [108]

#### *Avantages :*

- Technique rapide fiable et reproductible
- Apprentissage facile

- Obturation tridimensionnelle sur toute la longueur de travail grâce à la viscosité de la gutta-percha réchauffée lui permettant une bonne adaptation aux paroiscanalaires
- Pas de fracture instrumentale.

***Inconvénients :***

- Risque d'extrusion important
- Coût non négligeable.

***B. Système Herofill®***

Le système Herofill® est comparable au Thermafil®. Le tuteur plastique présente une conicité de 2% et est monté sur un manche réglable en longueur. Les jauge de vérification (HerofillVerifier® 2%) sont en plastique. Le protocole reste semblable à celui du Thermafil®.



**Figure 19 :Système Herofill® [102]**

### *C. Système Soft Core®*

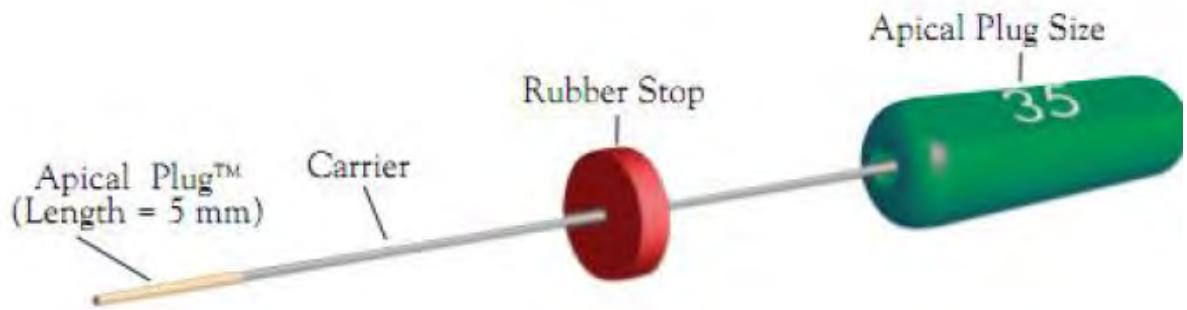
Le système Soft-Core® est une autre technique également comparable au Thermafil®. Les tuteurs enrobés de gutta-percha correspondent aux proportions ISO(organisation internationale de normalisation) des dernières limes de préparationcanalaire. Le protocole reste semblable à celui de Thermafil®



Figure 20 : Système SoftCore® [102]

### *D. Système SimpliFill®*

SimpliFill® est le seul système à tuteur où le tuteur n'est pas laissé dans le canal. Les tuteurs sont effectivement des obstacles au retraitement ou à la reconstitution corono-radiculaire malgré les gouttières élaborées dans ces derniers.



**Figure 21 : Système Simpli Fill® (Light Speed® : LSX and SimpliFill® Technique Guide) [105]**

***Avantages :***

- Pas de fracture instrumentale
- Faible risque d'extrusion si le canal est convenablement préparé
- Obturation apicale contrôlée
- Pas de force de compactage (Spreader) évitant ainsi les dépassements de matériaux
- Permet de négocier les courbes sévères
- Pas de tuteur laissé en place comme pour les autres techniques avec tuteur.

***Inconvénients :***

- Deux phases opératoires
- Apprentissage difficile
- Coût non négligeable.

### 5.3. Systèmes par vague de chaleur [18]

La technique de Schilder ne sera volontairement pas décrite dans ce chapitre, nous parlerons directement de ses évolutions actuelles.

#### *A. System B® de Buchanan*

Le System B® permet de simplifier la technique de compactage vertical à chaud de Schilder. Il combine une phase de réchauffage et de compactage avec un seul et même instrument grâce à l'apport d'une vague continue de chaleur.



Figure 22 :System B® [106]

#### *Avantages :*

- Obturation tridimensionnelle sur toute la longueur de travail grâce à l'apport de chaleur jusqu'au tiers apical
- Parfaite adéquation entre la conicité des fouloirs et du canal
- Pas de fracture instrumentale
- Faible risque d'extrusion si le canal est convenablement préparé.

### ***Inconvénients :***

- Durée d'obturation plus longue que certaines autres techniques actuelles
- Coût non négligeable.

Il est à noter que la technique System B® se fait en une seule vague de chaleur comme le préconise le fabricant, contrairement à la technique de Schilder.

Des études portées à cet effet ont permis de mettre en évidence l'obtention de meilleurs résultats (moins de vide et plus de gutta-percha) lors de l'utilisation du System B® en vague de chaleur multiple.

### ***B. Système Touch'nHeat®***

Présenté en 1982, c'est le prédecesseur du System B®. La seule différence entre le Système B® et le Touch'nHeat® réside dans les embouts en acier inoxydable du System B® : beaucoup plus flexibles et de calibres semblables aux limes endodontiques. Les protocoles opératoires restent identiques.



**Figure 23 : Système Touch'nHeat® [103]**

## 5.4. Systèmes par injection

### *A. Injection de gutta-percha chaude : Obtura II® et Ultrafill 3D®*

Ces systèmes ont révolutionné le monde endodontique avec l'avènement de la gutta-percha chaude injectable. Utilisés généralement en deuxième vague (en association avec le System B® le plus souvent), ces systèmes permettent d'obtenir des résultats fiables et reproductibles pour une obturation tridimensionnelle de n'importe quelle morphologie canalaire.

#### ➤ Le système Obtura II®

Actuellement à sa troisième génération, ce système présente la gutta-percha sous forme de « bouts » placés dans un pistolet obturateur et gardés à l'état ramolli à une température préréglée. Le praticien appuie ensuite sur le pistolet pour que cette dernière sorte la gutta percha par une aiguille de diamètre défini au préalable. Une fois mise en place, l'opérateur pourra la compacter à l'aide de fouloir standard.



Figure 24 :Système Obtura II® [108]

➤ Le système Ultrafil 3D®

Le principe est le même que pour le système précédent mais cette fois-ci la gutta-percha est présentée sous forme de capsules ou en seringues placées dans un appareil chauffant spécialement conçu. Une fois réchauffées, on les introduit dans un pistolet. L'injection manuelle au pistolet suivi du compactage est semblable à celle de l'Obtura II®.



**Figure 25 : Le système Ultrafil 3D® [108]**

***Avantages :***

- Obturation tridimensionnelle quelle que soit l'anatomie canalaire
- Meilleure densité d'obturation
- La gutta-percha est disponible avec différentes viscosités et divers temps de prise pour l'associer à différentes méthodes d'obturations canalaires
- Son utilisation en deuxième vague, mais aussi en méthode verticale, en compactage latéral ou même en méthodes hybrides est possible.

### ***Inconvénients :***

- Coût non négligeable
- Temps plus long de préparation et de nettoyage après chaque utilisation.

### ***B. Injection de matériaux d'obturation coulables à froid :***

#### ***GuttaFlow®***

Le système GuttaFlow® combine ciment et gutta-percha en un seul produit. Il se compose d'une matrice fortement chargée en particules très fines de gutta-percha. Il doit être utilisé comme un ciment en complément de cône de gutta-percha.



**Figure 26 :Système Gutta-Flow®[105]**

### ***Avantages :***

- La fine granulométrie ( $<0,9 \mu\text{m}$ ) permet de pénétrer sans problème dans les petits canaux dentinaires
- Le matériau n'est pas réduit mais se dilate légèrement et garde même une certaine élasticité après durcissement

- Meilleure étanchéité de par la présence de particules de gutta-percha réparties de manière homogène après mélange
- Grande fluidité même dans les petits canaux latéraux et dentinaires
- Pas de source de chaleur pouvant entraîner une inflammation parodontale.

***Inconvénients :***

- Durée d'obturation plus longue
- Rinçage des canaux à l'alcool pur ou à l'eau stérile pour éliminer tout résidu pouvant compliquer la prise de GuttaFlow®
- Coût non négligeable.

## **VI. AGENTS D'ETANCHEITE BIOCOMPATIBLES (MTA, BIODENTINE)**

Les perforations radiculaires peuvent survenir en tant que complications indésirables dans le cadre de traitements endodontiques, et placent le médecin-dentiste face à des difficultés parfois importantes, malgré l'utilisation d'outils technologiques de pointe et d'aides optiques de grossissement. Lorsque les perforations radiculaires sont ignorées ou traitées de façon inadéquate, les conséquences sont déterminantes quant au pronostic de la dent affectée [55, 64, 71].

Les qualités requises pour le matériau de perforation idéal sont les suivantes :

### **Propriétés biologiques**

- être biocompatible avec le tissu parodontal
- ne pas être toxique, ni allergène
- être anti-inflammatoire

- avoir des propriétés anti-infectieuses
- induire la cémentogenèse.

### Propriétés physico-chimiques

- ne pas induire de coloration des dents
- adhérer aux surfaces dentinaires
- être étanche
- avoir une résistance mécanique suffisante à la pression
- être compatible avec les matériaux d'obturation coronaire
- être radio-opaque
- être simple d'utilisation : sa manipulation doit être aisée.

Aucun produit de perforation ne correspond totalement à l'ensemble de ces critères [71].

Dans cette partie nous parlerons que du MTA et de la biodentine qui sont considérés comme les dernières innovations en termes d'agent d'étanchéité biocompatible.

## 6.1. Mineral Trioxide Aggregate<sup>®</sup>

Le Mineral Trioxide Aggregate (MTA) a été développé dans les années 90 par l'équipe de **TORABINEJAD** à l'université de Loma Linda en Californie [90].

Utilisé au départ comme matériau d'obturation apicale, le MTA a par la suite fait l'objet de nombreuses études et son champ d'applications s'est élargi [74, 85, 89].

Le MTA reçoit l'approbation de la « Food and Drug Administration » en 1998, ce qui permet sa mise sur le marché. Il est ainsi commercialisé en France sous le nom de **ProRoot<sup>®</sup> MTA** par la société Dentsply-Maillefer depuis 1999.

## ➤ Présentation

Trois produits sont disponibles sur le marché : le **ProRoot® MTA** commercialisé par la société Dentsply-Maillefer (**Figure 27**), le **MTA-Angelus®** commercialisé par la société brésilienne Dental DCP, et le **MM-MTA®** de Micro-Méga.

Le MTA se présente sous la forme d'une poudre, grise ou blanche, conditionnée en sachets pré-dosés.

Il doit être conservé à l'abri de l'humidité. Cette poudre est mélangée à de l'eau distillée pour obtenir le produit final, sauf pour le **MM-MTA®** qui se présente sous forme de capsule à vibrer .



Figure 27 : Présentation du MTA® [108]

Il est constitué de particules de silicates tricalciques, d'aluminates tricalciques, d'oxydes tricalciques et d'oxydes de silice. Il s'agit de fines particules hydrophiles d'oxydes minéraux. Le MTA contient également de l'oxyde de Bismuth qui permet de rendre le matériau radio opaque [28].

Sa radio-opacité est supérieure celle de la dentine mais inférieure à celle de l'IRM®, de l'amalgame, du super-EBA® et de la gutta-percha [92].

L'hydratation de la poudre avec de l'eau stérile forme un gel colloïdal qui se solidifie en milieu humide en une structure dure. Sa prise est lente, le temps

de prise étant en moyenne de 2 heures et 45 minutes. Ses capacités mécaniques ne sont maximales qu'après 24 heures [92].

### ➤ *Propriétés*

Le MTA possède de nombreuses propriétés très intéressantes pour le comblement de perforations radiculaires. Il présente une très bonne étanchéité du fait de son caractère hydrophile et de l'absence de rétraction de prise. Il est également non résorbable.

Il présente des propriétés antibactériennes et est efficace sur les bactéries anaérobies facultatives. Après le mélange initial, le pH du MTA® est de 11. Durant les trois premières heures après le mélange, ce dernier augmente graduellement à 12,5 et reste inchangé pendant 22 heures. Le facteur présumé de ce phénomène serait la présence d'oxyde de calcium. Ce dernier réagit avec les fluides tissulaires, formant dès lors de l'hydroxyde de calcium. Le pH du MTA correspond de ce fait à celui de l'hydroxyde de calcium [92].

Le MTA est un matériau biocompatible. Il ne présente aucun effet adverse notable sur les tissus environnants et la réponse biologique reste favorable par rapport à d'autres matériaux. Les ostéoblastes au contact du MTA sont en outre capables de synthétiser du tissu osseux une semaine après la mise en place du matériau [92].

De nombreuses études [85, 86, 90, 91] *in vivo* ont également démontré la capacité du MTA à induire la formation de tissus durs. En regard de ce matériau ont pu être observées l'apposition de cément, la formation de ligament parodontal, l'apposition de tissu osseux et la formation de pont dentinaire.

Sa manipulation était initialement compliquée par sa texture semi-liquide granulaire mais des modifications ont été apportées pour aboutir à une masse plus compacte. Son application reste toute de même plus difficile que celle de l'IRM®. Sa mise en place peut s'effectuer par apports successifs. Toutefois, sa prise très lente empêche toute rétention immédiate et ne permet pas d'étanchéité

initiale [28].

Le MTA apparaît aujourd’hui comme le matériau d’obturation quasiment idéal pour les perforations radiculaires. Il ressort de toutes les études que ce matériau scelle de façon optimale et biocompatible, et permet la guérison osseuse et ligamentaire autour du matériau [28].

Il est encore à l’heure actuelle, le matériau de choix pour l’obturation des perforations endodontiques [84].

#### ➤ *Differentes indications en OCE*

Le MTA possède plusieurs indications en OCE [92] :

- coiffage pulpaire
- pulpotomie
- apexogenèse,
- apexification (en cas d’apex largement ouvert),
- obturation endodontique rétrograde (après résection apicale),
- fermeture des perforations radiculaires ou du plancher pulpaire,
- réparation de résorptions internes.

## 6.2. BIODENTINE®

Le Biodentine® fut introduit dans les années 2000 en tant que nouveau ciment biologiquement actif avec des propriétés mécaniques comparables à celles de la dentine humaine. Il n’y a ainsi pas de différences significatives en ce qui concerne la dureté, l’élasticité, la résistance à la pression et à la flexion entre le biodentine® et la dentine naturelle [15].

Ce nouveau ciment commercialisé par la société Septodont en 2009 est tout comme le MTA un dérivé du ciment de Portland, ciment le plus utilisé dans l’industrie pour la fabrication du béton [53]. Il est également tout aussi coûteux.

Ce nouveau ciment se compose principalement de poudre de phosphate tri et di-calcique avec du carbonate de calcium comme charge alors que l'oxyde de zirconium garantit la radio opacité. Il se mélange avec du chlorure de calcium aqueux. Il en résulte un produit ayant des propriétés antibactériennes et d'induction tissulaire. Parmi ses avantages, il s'agit d'un matériau biocompatible, stable, peu soluble et ayant un temps de prise rapide d'environ 12 à 15 minutes [15, 33, 101].

## ➤ Présentation

Le Biodentine® se présente sous forme d'une poudre et d'un liquide en capsule à malaxer avec un vibreur. La consistance finale est fonction du dosage.

L'une des différences marquantes avec le MTA est que dans le Biodentine®, l'oxyde de bismuth est remplacé par l'oxyde de zirconium. L'oxyde de bismuth serait l'une des principales causes de la décoloration dentaire et parodontale observée avec le MTA. Il est connu que la forme grise de ce dernier, comme la blanche donne une coloration gris-noire. Suite à différentes études, il a été observé qu'aucune décoloration n'avait lieu avec le Biodentine®.



Figure 28: Présentation du biodentine® [108]

## ➤ Propriétés

Le Biodentine® offre une bonne adhésion aux tissus dentinaires grâce à un ancrage micromécanique dans les tubulis dentinaires ce qui explique une bonne étanchéité immédiate. On lui attribue également la capacité d'induire l'apposition de dentine tertiaire ou réactionnelle ce qui favorise l'étanchéité marginale. Toutefois sa manipulation est difficile.

L'intérêt d'utiliser le Biodentine® plutôt que le MTA® dans le comblement de perforation radiculaire réside dans le fait que le temps de prise est nettement plus court, qu'elle possède une meilleure adhésion aux tissus dentinaires, qu'il n'indue aucune décoloration et que l'application soit tout de même plus aisée.

Néanmoins, certaines études récentes montrent que l'adaptation marginale de l'IRM® et du MTA® serait meilleure que celle du Biodentine®[88].

Le Biodentine® est un matériau d'obturation très récent. Des recherches plus approfondies sont donc encore nécessaires pour déterminer si ses propriétés supplantent celles du MTA®, matériau de choix depuis une vingtaine d'années [88].

## ➤ *Différentes utilisations en OCE*

Le Biodentine® peut être utilisé pour le traitement de cicatrisation de la pulpe vitale et/ou de réparation de la dentine au niveau coronaire ou radiculaire [46]. Ainsi comme indications nous pouvons citer :

- restauration coronaire temporaire (6 mois)
- substitut dentinaire dans les techniques en sandwich ouvert ou fermé
- coiffage pulpaire direct et indirect
- pulpotomie

- apexogénèse
- obturation des perforations radiculaires et du plancher pulpaire
- réparation des résorptions internes ou externes
- obturation canalaire par voie rétrograde (chirurgie endodontique)
- apexification.

# CONCLUSION

L'endodontie est une discipline clinique difficile mais néanmoins extrêmement présente dans notre exercice quotidien. Depuis plus de 40 ans maintenant, des postulats ont été posés par **SCHILDER**, et force de constater que ceux-ci n'ont jamais évolué. Seuls les moyens pour y parvenir ont changé.

Il est étonnant que ces postulats, édités à une époque où les moyens d'investigation et de recherche étaient loin de ceux dont nous disposons aujourd'hui, n'ont jamais été contredits, voire modifiés.

Le rationnel de l'endodontie est immuable et consiste à prévenir toute infection bactérienne du système endodontique, ou la combattre lorsqu'elle est présente, et prévenir toute réinfection dans le temps grâce à une obturation étanche et « biocompatible ».

L'acte endodontique est une intervention complexe et délicate sur laquelle reposent la santé parodontale et la pérennité de l'organe dentaire. Il est à la base de l'exercice du chirurgien dentiste et constitue un pilier indispensable sur lequel de nombreuses autres disciplines s'appuient.

En l'espace d'un siècle, le domaine de l'endodontie a connu un véritable essor. Bien que la base des traitements soit inchangée, le progrès a permis de mettre en œuvre des notions connues à l'époque mais étaient non ou incorrectement appliquées par manque de moyens. Les progrès biochimique et biologique ont apporté l'asepsie dans l'acte opératoire et ceux en biomatériaux et en mécanique ont quant à eux permis la simplification et l'amélioration du traitement endodontique.

A l'aide de dispositifs d'agrandissement tels que les loupes et surtout le microscope opératoire, le praticien est susceptible d'avoir une meilleure idée de l'anatomie du système canalaire avant d'entamer un acte opératoire.

L'utilisation de nouveaux équipements de haute technologie a simplifié les procédures de traitement et peut se révéler bénéfique pour les patients atteints d'affections systémiques complexes et des personnes âgées, ce qui rend le résultat du traitement plus prévisible.

Cependant des études ont montré que chaque nouvelle technique a un faible taux d'acceptation lors de son introduction et seul un nombre limité de praticiens ont une attitude positive envers les nouvelles techniques.

Le monde de l'endodontie a connu des révolutions de taille et continue à évoluer à grande vitesse, la formation continue est donc de rigueur en endodontie. Ainsi, nous devons non seulement nous adapter aux avancées scientifiques mais également choisir la technique la mieux adaptée parmi la multiplicité des procédés de traitement endodontique.

Toutes les méthodes actuelles tendent à simplifier au maximum les traitements souvent perçus comme fastidieux et compliqués par l'opérateur. Si les échecs endodontiques du siècle passé résultaient d'un manque de notions fondamentales et de moyens, ceux d'aujourd'hui sont plus souvent dus à un manque de rigueur dans les différentes étapes opératoires.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

### **1. ALAPATI SB, BRANTLEY WA, SVEC TA, POWERS JM, MITCHELL JC.**

Scanning electron microscope observations of new and used nickel-titanium rotary files.

J Endod 2003;29:667-9.

### **2. ANDEM (Agence Nationale pour le Développement de l'Évaluation Médicale).**

Recommandations et références dentaires, 1996, 167p.

### **3. ARBAB-CHIRANI R, CHEVALIER V, ARBAB-CHIRANI S, CALLOCH S.**

Instrumentation canalaire de préparation.

EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Médecine buccale 2010;28-725-A-10.

### **4. BAHCALL JK, OLSEN EK.**

Integrating ultrasonic tips into the endodontic treatment armamentarium.

Dent Today 2007;26:120-3.

### **5. BENSOUSSAN D, ALBOU JP.**

L'obturation canalaire.

ADF Endod 1998;5p.

### **6. BEN JOHNSON WB.**

A new gutta-percha technique.

J Endod 1978;4(6):184-188.

**7. BERVEILLER M, PATOOR R.**

Comportement thermomécanique des matériaux usuels et des Alliages à mémoire de forme. Technologie des alliages à mémoire de forme.

Ed Hermès, Paris, 1994.

**8. BIDAR H, RASTEGAR AF, GHAZIANI P, NAMAZIKHAIH MS.**

Evaluation of apically extruded debris unconventional and rotary instrumentation techniques.

J Calif Dent Assoc 2004;32:665-71.

**9. BJORNDAL L, REIT C.**

The adoption of new endodontic technology among Danish general dental practitioners.

Int Endod J 2005;1(38):52-58.

**10. BOESSLER C, PAQUE F, PETERS OA.**

The effect of electropolishing on torque and force during simulate droot canal preparation with PrOTaper shaping files.

J Endod 2009;3:102-6.

**11. BRIAN JN WILLIAMSON GF.**

Digital radiography in dentistry: a survey of Indiana dentists.

Dentomaxillofac radiol 2007;36(1):8-23.

**12. BUEHLER WJ, WANGFE.**

A summary of recent research on the Nitinol alloys and their potential application in ocean engineering.

Ocean Eng 1967;1:105-20.

**13. CALAS P, VULCAIN JM.**

Le concept du Hero642.

Rev Odonto stomol 1999;28:47-55.

**14. CAMPS J, PERTOT WJ.**

Le choix des instruments endodontiques manuels.

Réal Clin 1992;3:79-90.

**15. CAMILLERI J.**

Investigation of Biodentine as dentine replacement material.

J Dent 2013;41(7):600-10.

**16. CANTATORE G.**

L'irrigation de l'endodontie: importance dans le nettoyage et la stérilisation du réseau canalaire.

Réal Clin 2001;12(2):185-201.

**17. CHAVES C D, GUIOMAR A B, LOPES B.**

Fatigue resistance of engine-driven rotary nickel-titanium endodontic instruments.

J Endod 2002;28:765-69.

**18. CLAISSE A, HAIKEL Y.**

Les systèmes nickel-titane en rotation continue: Quantec2000, Profile, Hero642, GT rotary files, ProTaper, Hero Shaper, Mtwo.

Paris, ADF, 2003.

## **19. CLAISSE-CRINQUETTE A.**

Systèmes RECIPROC® et WaveOne®. Mise en forme mono-instrumentale.  
Clinic 2011;32:591-601.

## **20. DE DEUS QD.**

Frequency, location and direction of the lateral, secondary and accessory canals.  
J Endod 1975;1(11):361.

## **21. DELZANGLES B, MANDEL E.**

Les accidents de parcours en Endodontie.  
ADF Endod 1998 ; 5p.

## **22. DIEMER F, CALAS P.**

Effect of pitch length on the behavior of rotary triple helix root canal instruments.  
J Endod 2004;30:716-8.

## **23. DIETSCHI LM, CRUCHI S, HOLZ J, BAUNE LJ.**

Préparation du canal radiculaire à l'aide d'ultrasons. Etude au MEB.  
Rev Fr Endod 1984;15-27.

## **24. ESPOSITO PT, CUNNINGHAM CJ.**

A comparaison of canal preparation with nickel-titan and stainless-steel instruments.

J Endod 1994;20:531-4.

**25. FALL M.**

Contribution à l'étude de l'anesthésie en Odontologie Conservatrice et Endodontie. Thèse: Chir Dent, Dakar 2003; N°8.

**26. FENNICH M, SAKOUT M, ABDALLAOUI F.**

Pour une determination rationnelle de la longueur de travail en endodontie. Rev Odonto-stomatol 2012;41(44):232-43.

**27. FOGARTY TJ, MONTGOMERY S.**

Effect of preflaring on canal transportation. Effect of ultrasonic, sonic and conventional techniques.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1991;72:345-50.

**28. FOURNIER P, BOUTER D.**

Biomatériaux d'obturation en microchirurgie endodontique à retro.

Rev Odonto-stomatolo 2005;34(3):173-92.

**29. GAMBARINI G, GRANDE NM, PLOTINO G, SOMMA F, GARALA M, DE LUCA M et al.**

Fatigue resistance of engine-driven rotary nickel-titanium instruments produced by new manufacturing methods.

J Endod 2008;34:1003-5.

**30. GAMBILL JM, ALDER M, DEL RIO CE.**

Comparison of nickel–titanium and stainless steel hand. Instrumentation using computed tomography.

J Endod 1996;22:369-75.

**31. GLUSKIN AH, BROWN DC, BUCHANAN LS.**

A reconstructed computerized tomographic comparison of Ni-Ti rotary GT files versus traditional instruments in canals shaped by novice operators.

Int Endod J 2001;34:476-84.

**32. GORDON MP, CHANDLER NP.**

Electronic apex locators.

Int Endod J 2004;37(7):425-437.

**33. GRECH L, MALLIA B, CAMILLERI J.**

Characterization of set intermediate restorative material, Biodentine, Bioaggregate and a prototype calcium silicate cement for use as root-end filling materials.

Int Endod 2013;46(7):632-41.

**34. GUEROUALI MY.**

Utilisation des nouvelles technologies endodontiques : enquête auprès des chirurgiens-dentistes privés au Maroc.

Thèse: Chir Dent, Dakar 2013, N°40, 78p.

**35. HAGAHANIFAR S, MOUDI E, MESGARANI A, BIJANI A,**

**ABBASZADEH N.**

A comparative study of cone-beam computed tomography and digital periapical radiography in detecting mandibular molars root perforations.

Imaging Sci Dent 2014;44(2):115-9.

**36. HAIKEL Y, SERFATY R, WILSON G, SPEISERM, ALLEMANN C.**

Mechanical properties of NiTi endodontic instruments and the effect of sodium hypochlorite treatment.

J Endod 1998a;24:731-5.

**37. HAIKEL Y, SERFATY R, WILSON G, SPEISERM, ALLEMANN C.**

Mechanical properties of NiTi endodontic instruments and the effect of sodium hypochlorite treatment.

J Endod 1998b;24:736-9.

**38. HAIKEL Y, SERFATY R, BATEMAN G, SENGER B, ALLEMANN C.**

Dynamic and cyclic fatigue of engine-driven rotary nickel-titanium endodontic instruments.

J Endod 1999;25:434-40.

**39. HAUTE AUTORITE DE SANTE.**

Service évaluation des actes professionnels, 2008, 66p.

**40. HESS W.**

Anatomy of the root canals of the teeth in permanent dentition.

London John Bale Sons and Danielson. Ltd Ed, 1925.

**41. HULSMANN M, PETERS OA, DUMMER PM.**

Mechanical preparation of root canals: shaping goals, techniques and means.

Endod Topics 2005;10:30-76.

**42. IQBAL MK, MAGGIORE F, SUH B, EDWARDS KR, KANGJ, KIM S.**

Comparison of apical transportation in four Ni-Ti rotary instrumentation techniques.

J Endod 2003;29:587-91.

**43. KAKEHASHI S, STANLEY HR, FITZGERALD RJ.**

The effects of surgical exposures of dental pulps in germ-free and conventional laboratory rats.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1965;20:340-349.

**44. KANKAN J.**

Utilisation de l'instrumentation mécanisée lors de la préparation du système canalaire à Dakar (Enquête auprès de 114 Chirurgiens dentistes).

Thèse: Chir Dent, Dakar 2003; 57p.

**45. KIMS.**

The microscope and endodontics.

Dent Clin N Am 2004;48:11-18.

**46. KOUBI G, COLON P, FRANQUIN JC, HARTMANN A.**

Clinical evaluation of the performance and safety of a new dentine substitute, Biodentine in the restoration of posterior teeth- a prospective study.

Clin Oral Investig 2013;17(1):243-249.

**47. KUMMERTR, CALVOMC, CORDEIROMM, DE SOUSA VIEIRAR, DE CARVALHO ROCHAMJ.**

Ex vivo study of manual and rotary instrumentation techniques in human primary teeth.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2008;105:84-92.

**48. KUSTARCI A, AKPINARKE, ERK.**

Apical extrusion of intracanal debris and irrigant following use of various instrumentation techniques.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2008;105:257-62.

**49. KUTTLER Y.**

Microscopic investigation of rootapices.

JADA 1995;50(8):544-552.

**50. LASFARGUES JJ.**

Evolution des concepts de préparation : nouveaux concepts-nouvelles techniques.

Inf Dent 1997;22:1469-89.

**51. LAURICHESSE JM, LAUNAY Y, CLAISSE A.**

L'ampliation canalaire par assistance mécanique:concept, technique et résultats.

Rev Fr Endod 1982;1(1):51-72.

**52. LEE M, WINKLER J, HARTWELL G, STEWART J, CAINE R.**

Current trends in endodontic practice: emergency treatments and technological armamentarium.

J Endod 2009;35(1):35-39.

**53. LEE SJ, CHUNG J, NA HS, PARK EJ, JEON HJ, KIM HC.**

Characteristics of novel root-end filling material using epoxy resin and Portland cement.

Clin Oral Investig 2013;17(3):1009-15.

**54. MACHTOU P.**

Endodontie. Guide clinique. Paris : CdP, 1993.

**55. MACHADO R, TOMAZINHO LF, RANDAZZO M, NOGUEIRA LEAL SILVA EJ, VANSAN LP.**

Repair a large furcal perforation with mineral trioxide aggregate : a 21 month follow-up.

J Endod 2013;7(3):239-42.

**56. MACSPADDEN JT.**

Une nouvelle approche pour la préparation et l'obturation canalaire : les instruments mécanisés en NiTi.

Rev Fr Endo 1993;12(1):9-19.

**57. MARMASSE A.**

Dentisterie opératoire.

5<sup>ème</sup> édition, Paris JB Bailleure 1974 ; 636p.

**58. MARTIN D, AMOR J, MACHTOU P.**

Endodontie mécanisée. Le système ProTaper<sup>®</sup> : principes et guide d'utilisation.

Rev Odonto stomatol 2002;31:33-42.

**59. MARTIN H, CUNNINGHAM WT.**

Endosonics--the ultrasonic synergistic system of endodontics.

Endod Dent Traumatol 1985;1(6):201-6.

**60. MARTIN B, ZELADAG, VARELA P, BAHILLO JG, MAGAN F, AHN S, RODRIGUEZ C.**

Factors influencing the fracture of nickel-titanium rotary instruments.

Int Endod J 2003;36:262-6.

**61. MEDIONI E, VENE G.**

Anatomie endodontique fondamentale et clinique.

Encyl Méd Chir, Odonto-stomatologie 1994; 23-050 A05:10p.

**62. MEDIONI E, VENE G.**

Matériaux endodontique.

Encyl Méd Chir, Odonto-stomatologie 1995; 23-050 C08:7p.

**63. MEDIONI E, VENE G.**

Obturation canalaire.

Encyl Méd Chir, Odonto-stomatologie 1995; 23-050 C10:7p.

**64. MENTZE J, HAGE N, PFEFFERLET T, KOCH MJ, GELETNEKEY B, DREYHAUPT J, et al.**

Treatment outcome of mineral trioxide aggregate: repair of root perforations.

J Endod 2010;36(2):208-13.

**65. MIZE SB, CLEMENT DJ, PRUETT JP, CARNESDL JR.**

Effect of sterilization on cyclic fatigue of rotary nickel-titanium endodontic instruments.

J Endod 1998;24:843-7.

**66. MILLER WD.**

The Micro-Organisms of the Human Mouth.

Philadelphia, The SS White Dental Manufacturing Co;1890.

**67. MOSE GA , HAQUE MS , SHARLAND M , BURKE FJ .**

The use of clinical photography by UK general dental practitioners.

Br Dent J 2010; 208(1):14-15.

**68. MOUYEN F.**

Radiovisiography : an initial evaluation.

JADA 1990;168(8):318-21.

**69. NEBOT D, CURNIER F.**

A propos des instruments en nickel-titane.

Inf Dent1997;31:2195-8.

**70. PERTOT WJ, POMMEL L.**

Réussir un traitement endodontique.

Paris:Quintessence International, 2009.

**71. PERTOT WJ.**

Perforations : possibilités actuelles de traitement.

Inf Dent 2010;22:109-16.

**72. PETERS OA, SCHÖNENBERGER K, LAIB A.**

Effects of four Ni-Ti preparation techniques on root canal geometry assessed by micro computed tomography.

Int Endod J 2001;34:221-30.

**73. PUTTERS JL, KAULESAR SUKUL DM, DE ZEEUW GR, BIJMA A, BESSELINK PA.**

Comparative cellculture effects of shape memory metal (nitinol), nickel and titanium:a biocompatibility estimation.

Eur Surg Res 1992;24(6):378-82.

**74. RANGWALA A.**

Clinical management of severe external root resorption and immature open apex with MTA and calcium hydroxide.

Clin Dent 2014;8(1):27-31.

**75. ROANE JB, SABALA CL, DUNCANSON MG JR.**

The ‘balanced force’ concept for instrumentation of curved canals.

J Endod 1985;11:203-11.

**76. SALAME I.**

Utilisation des nouvelles technologies endodontiques : enquête auprès des chirurgiens-dentistes sénégalais.

Thèse: chirdent ,Dakar 2014, N°10, 99p.

**77. SAMYNJA, NICHOLLSJI, STEINERJC.**

Instruments in molar root preparation.

J Endod 1996;22:177-89.

**78. SCHÄFERE.**

Effect of sterilization on the cutting efficiency of PVD coated nickel-titanium endodontic instruments.

Int Endod J 2002;35:867-72.

**79. SCHÄFERE, SCHULZ-BONGERTU, TULUS G.**

Comparison of hand stainless steel and nickel titanium rotary instrumentation : a clinical study.

J Endod 2004;30:432-5.

**80. SCHILDER H.**

Filling root canals in three dimensions.

Am 1967;11:723-744.

**81. SCHNEIDER SW.**

A comparison of canal preparations in straight and curved root canals.

Oral Surg 1971;32:271-5.

**82. SCHRADER C, ACKERMANN M, BARBAKOW F.**

Step-by-step description of a rotary root canal preparation technique.

Int Endod J 1999;32:312-20.

**83. SCIANAMBLO MJ.**

La préparation de la cavité endodontique. Réal Clin 1993;4(1):9-34.

**84. SERENE TP, ADAMS JD, SAXEN AA.**

Nickel-Titanium Instruments: Applications in Endodontics

Mosby, St Louis, USA: Ishiyaku Euro America, Inc., 1995.

**85. SILVEIRA CMM, SANCHEZ-AYALA A, LAGRAAVERE O,  
PILATTI GL, GOMES OMM.**

Repair of furcal perforation with mineral trioxide aggregate : long term follow-up of 2 cases. J Can Dent Assoc 2008 ;74(8):729-33.

**86. SLAUS G , BOTTENBERG P.**

A survey of endodontic practice among flamands dentists.

Int Endod J 2002;35(9):759-767.

**87. SOMMA F, CAMMAROTA G, PLOTINO G, GRANDE NM,  
PAMEIJER CH.**

The effectiveness of manual and mechanical instrumentation for the retreatment of three different root canal filling materials.

J Endod 2008;34:466-9.

**88. SOUNDAPPAN S, SUNDARAMURTHY JL, PAGHU S,  
NATANASABAPATHY V.**

Biodentine versus mineral trioxide aggregate versus intermediate restorative material for retrograde root end filing : an in vitro study.

J Dent 2014;11(2):143-9.

**89. STROPKO JJ, DOYON GE, GUTMANN JL.**

Root-end management : resection, cavity preparation, and material placement.

Endod Top 2005;11(1):131-51.

**90. TORABINEJAD M, KHADEMI AA, BABAGOLI J, CHO Y,  
JOHNSON WB, BOZHILOV K et al.**

A new solution for the removal of the smear layer.

J Endod 2003a ;29:170-175.

**91. TORABINEJAD M, CHO Y, KHADEMI AA, BAKLAND LK,  
SHABAHANG S.**

The effect of various concentrations of sodium hypochlorite on  
The ability of MTAD to remove the smear layer.

J Endod 2003b;29:233-239.

**92. TORABINEJAD M, SHABAHANG S, APRECIO RM, KETTERING  
JD.**

The antimicrobial effect of MTAD : an in vitro investigation.

J Endod 2003c;29:400-403.

**93. TREGUER C.**

Evolution de la pratique de l'endodontie en France

Thèse : chir dent, France 2012, N° 29019, 72p.

**94. TU MG, CHEN SY, HUANG HL, TSAI CC.**

Endodontic shaping performance using nickel-titanium hand and motor  
ProTaper systems by novice dental students.

J Formos Med Assoc 2008;107:381-8.

**95. VERTUCCI FJ.**

Root canal anatomy of the human permanent teeth.

Oral Surg Oral Med Oral Path 1984;58(5):589-599.

**96. VIANA AC, GONZALEZ BM, BUONOVIT, BAHIAMG.**

Influence of sterilization on mechanical properties and fatigue resistance of  
nickel titanium rotary endodontic instruments.

Int Endod J 2006;39:709-15.

**97. WALIA H, BRANTLEY WA, GERSTEIN H.**

An initial investigation of the bending and torsional properties of nitinol root canal files.

J Endod 1988;14:346-51.

**98. WEINE FS.**

Thérapeutique endodontique.

Paris : Ed Quintessence International, 2004; 127p.

**99. WOLCOTT J, HIMEL VT.**

Torsional properties of nickel titanium versus steel endodontic files.

J Endod 1997;23(4):217-20.

**100. XU X, ENGM, ZHENG Y, ENG D.**

Comparative study of torsional and bending properties for six models of nickel-titanium root canal instruments with different cross-sections.

J Endod 2006;32:372-5.

**101. ZANINI M, SAUTIER JM, BERDAL A, SIMON S.**

Biodentine induces immortalized murine pulp cell differentiation into odontoblast-like cells and stimulates biomineralization.

J Endod 2012;38(9):1220-1126.

## Webographie

- 102 [www.dentalcremer.com.br](http://www.dentalcremer.com.br) consulté le 29 mars 2016
- 103 [www.dento-reseau.com](http://www.dento-reseau.com) consulté le 30 mars 2016
- 104 [www.dentsply.co.uk](http://www.dentsply.co.uk) consulté le 1<sup>er</sup> avril 2016
- 105 [www.eugenol.com](http://www.eugenol.com) consulté le 28 mars 2016
- 106 [www.fkg.ch](http://www.fkg.ch) consulté le 29 mars 2016
- 107 [www.lecourierdedentiste.com](http://www.lecourierdedentiste.com) consulté le 28 mars 2016
- 108 [www.smile-mag.com](http://www.smile-mag.com) consulté le 1<sup>er</sup> avril 2016

