

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID TLEMCEM
FACULTE DE MEDECINE DE TLEMCEM
DEPARTEMENT DE MEDECINE DENTAIRE**

**THESE
POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR
EN MEDECINE DENTAIRE
INTITULEE**

**EVALUATION AU MICROSCOPE ELECTRONIQUE A
BALAYAGE DE L'ETAT DE SURFACE CANALAIRE APRES
MISE EN FORME MANUELLE VS ROTATION CONTINUE**

Présentée et soutenue publiquement le 01 juillet 2012

Par

BELGHOMARI Kheyr eddine et BENAMARA Yassine

Jury:

Président : METREF Zouhir

Maître de conférences

Assesseurs :

BOUCHENAK-Khelladi.H

Maître-assistante

BEN YELLES Ilhem

Maitre-Assistante

SAYEM Fatma

Maitre-Assistante

Directeur de Thèse : Pr OUDGHIRI Fouad

Année 2012

➤ Propriétés mécaniques de l'alliage NiTi.....	83
➤ Propriétés physiques	87
➤ Propriétés électrochimiques	87
➤ Propriétés biologiques.....	87
2.3.6.4. Concepts de l'endodontie mécanisée	88
2.3.6.5. Evolution des Concepts de mise en forme	89
2.3.6.6. Préparation manuelle conventionnelle et rotation	
Continue	94
2.3.6.7. Système rotatifs en nickel titane	98
2.3.6.7.1. Instruments à conicité constante	100
2.3.6.7.2. Instruments à conicité variable	102
2.4. Obturation canalair	105
2.4.1. Objectifs de l'obturation canalair	106
2.4.2. Moment de l'obturation canalair	107
2.4.3. Différents techniques d'obturation	107
2.5. L'enduit pariétal en endodontie	109
2.5.1. Définition de la boue dentinaire (Smear layer)	109
2.5.2. Composition de la smear layer	110
2.5.3. Faut –il éliminer la smear layer ?.....	112
2.6. Les Méthodes d'évaluation expérimentale de l'état de surface	
Canalair	115

2.6.1. La Loupe binoculaire	115
2.6.2. Le Microscope optique	116
2.6.3. La Microscopie électronique.	117
2.6.3.1. Microscope électronique à balayage(MEB)	117
➤ Description de la technique.....	117
➤ Les Limites	119
➤ Les Composants du MEB	119
➤ Imagerie en Microscopie Electronique à Balayage	121
➤ Protocole d'observation au MEB.....	122
2.6.3.2. Microscope électronique à transmission(MES).....	123
➤ Description de la technique.....	123
➤ Les Limites	124
➤ Les Applications	125
2.6.3.3. Microscopie laser confocale.....	125
➤ Description de la technique.....	125
2.6.3.4. Microscopie à force atomique	126
2.6.3.5. Microscopie par génération d'harmoniques (de 2ème ou de 3ème génération)	127

3. Etude Expérimentale de l'état de surface canalaire	128
--	------------

3.1. But de l'expérimentation.....	128
3.2. Matériels et méthodes	128
3.2.1. Matériels	128
3.2.1.1. Instrumentations	128
➤ Protaper	128
➤ Contre angle.....	130
➤ Limes manuelles	131
➤ Autres instruments	132
3.2.1.2. Les différentes solutions d'irrigation	132
3.2.1.3. Choix des dents	132
➤ Critères d'inclusion	132
➤ Critères d'exclusion	133
3.2.2. Méthodes	133
3.2.2.1. Répartition des échantillons.....	133
3.2.2.2. Protocole opératoire	133
➤ Etapes préliminaires communes	134
➤ Ampliation	134
➤ Protocole d'irrigation.....	138
➤ Séchage	138
3.2.2.3 Préparation des échantillons pour le MEB.....	138
3.2.2.3.1 Mise à Jour du canal	139
3.2.2.3.2 Fixation et déshydratation.....	139
3.2.2.3.3 Montage	141
3.2.2.3.4 Observations.....	142
4. Résultats.....	144
5. Discussion.....	156
6. Conclusion.....	158

1. Introduction

L'endodontie est à la base de l'exercice quotidien du chirurgien dentiste. Elle constitue le fondement de l'art dentaire.

L'Endodontie a pour but de prévenir, diagnostiquer et traiter les pathologies de la pulpe et du péri apex (LAURICHESSE)

En pratique quotidienne, 9 patients sur 10 consultent en raison de la douleur et 5 d'entre eux sont redevables d'un traitement endodontique (TRONSTAD).

Le succès du traitement endodontique repose sur la qualité, de la mise en forme, du nettoyage et de l'obturation du système canalaire.

La mise en forme doit faciliter l'irrigation canalaire et favoriser ainsi l'élimination des débris. Elle permet aussi l'obturation hermétique de ce canal qui garantira sa stérilisation durable.

Atteindre ces objectifs est le souci de l'endodontiste qui ne cesse d'améliorer ses techniques à travers l'introduction de nouvelles instrumentations.

Les instruments en nickel titane et en rotation continue ont prouvé leur efficacité in vitro dans le maintien de la trajectoire canalaire (OUDGHIRI), une étude a aussi été faite par le même auteur qui a montré leurs efficacités dans le traitement des parodontites apicales.

Dans ce cadre nous nous proposons à travers une étude expérimentale dans le service d'Odontologie Conservatrice et Endodontie, au sein du Département de chirurgie dentaire de l'Université Abou Bakr Bel Kaid de Tlemcen d'étudier l'état de surface d'un canal dentaire mis en forme et son évaluation, pour optimiser la désinfection et l'obturation canalaire par deux technique de préparation, manuelle et en rotation continue. La technique manuelle avec des limes en acier inoxydable, en comparaison avec une mise en forme mécanisée en rotation continue avec des limes en Nickel Titane « PROTAPER ».

Dans ce travail, après de brefs rappels concernant l'anatomie canalaire et les pathologies pulpaire, nous aborderons les différentes étapes du traitement endodontique pour ensuite faire part de notre étude expérimentale.

2. REVUE DE LA LITTÉRATURE

2.1. Anatomie endodontique :

Pour mener à bien le traitement endodontique, il est nécessaire de respecter, et de connaître Le réseau canalaire qui peut être très complexe : 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 ont montré l'existence d'un canal principal situé selon l'axe radulaire subissant d'éventuelles modifications de forme ou de volume, mais aussi d'autres canaux plus ou moins horizontaux.

2.1.1. Définition:

De DEUS en 1975 définit les différentes portes de sortie endodontiques vers le Desmodonte suivant la topographie qu'elles occupent le long de la racine (figure 1).

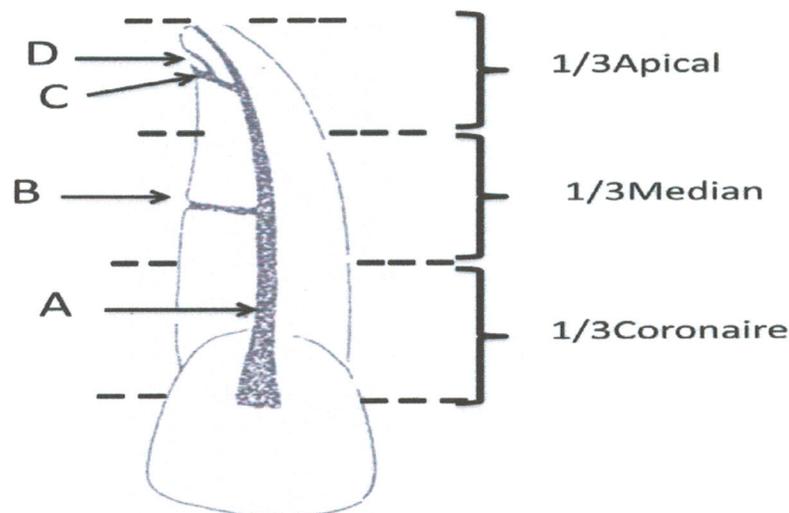


Fig.1 Localisation des ramifications du canal selon De DEUS. ^[13]

➤ 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'endodonte 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)

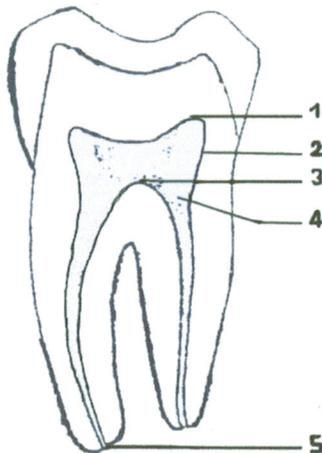
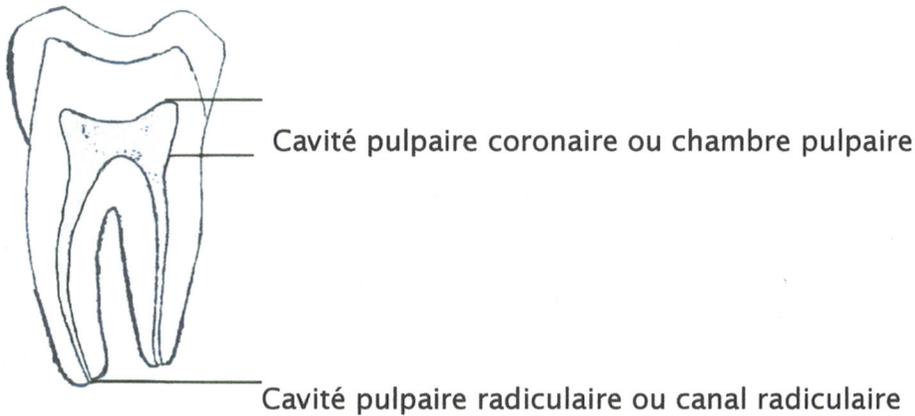
Le canal secondaire naît à partir du canal principal au niveau du tiers apical de celui-ci.

Son axe est plutôt oblique par rapport à celui du canal principal.

➤ Le canal accessoire (D)

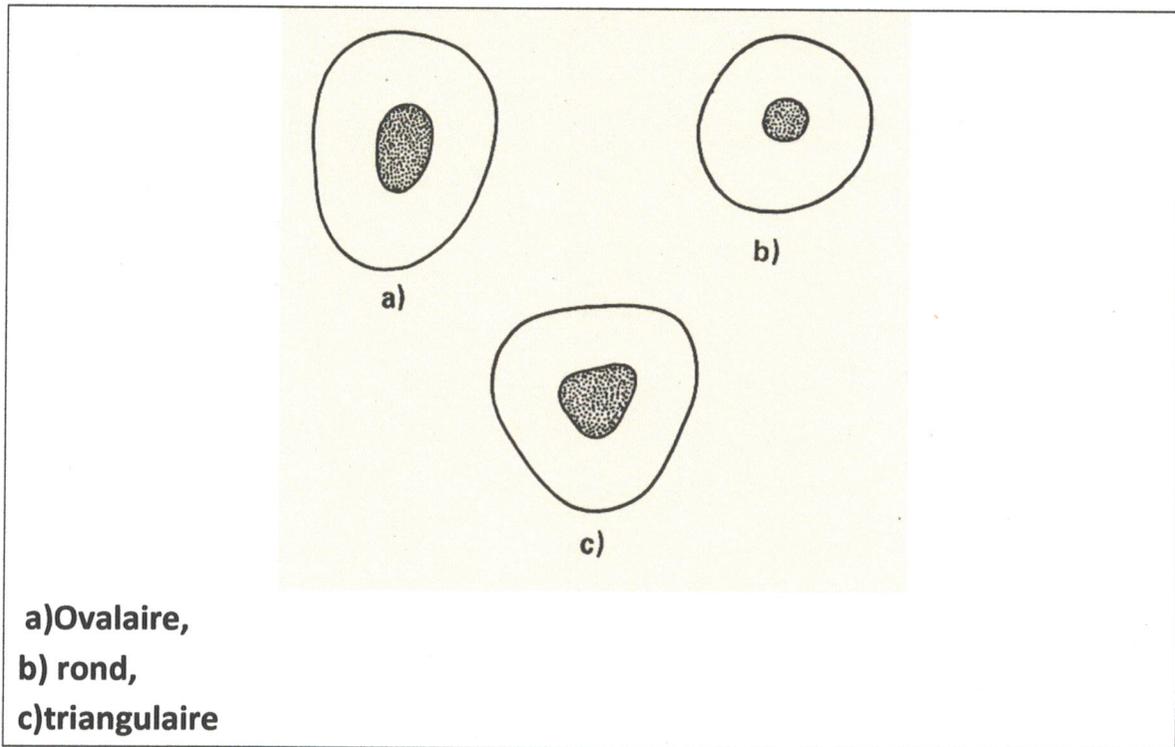
Le canal accessoire est une branche latérale du canal secondaire. (Figure 1)

2.1.2. Terminologie : ^[12]

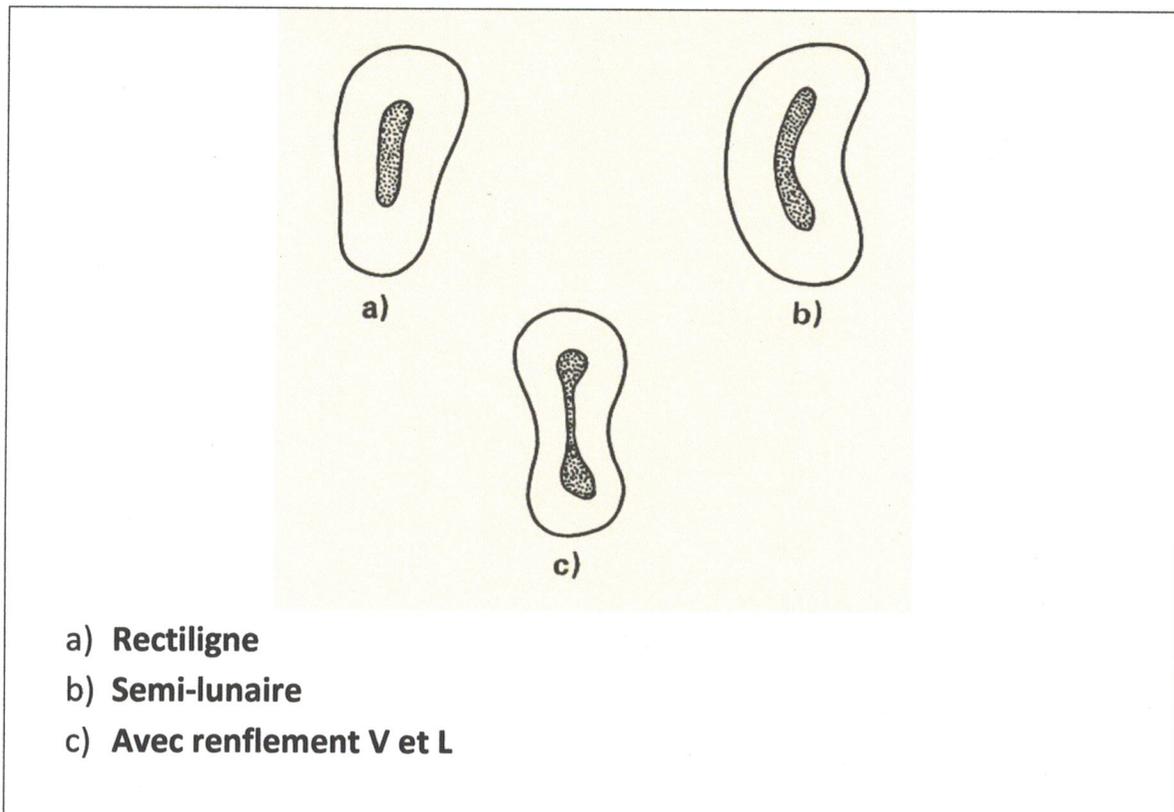


1. Paroi occlusale ou Plafond pulpaire.
2. Paroi axiale (V, L, M, D).
3. Plancher pulpaire.
4. Orifice canalaire.
5. Foramen apical.

➤ Canaux tubulaires:



➤ Canaux laminaires :



On dit souvent que le trajet est aussi important que la destination. Les six années de formation nous ont permis de bien comprendre la signification de cette phrase toute simple.

Ce parcours, en effet, ne s'est pas réalisé sans défis et sans soulever de nombreuses questions pour lesquelles les réponses nécessitent de longues heures de travail. Avant de faire de quelconque développements au sujet de cette expérience professionnelle, il apparaît opportun de débiter ce mémoire par des remerciements, commençant par ALLAH le tout puissant qui nous a aidé tout au long de nos années d'étude, nous a donné la foi et de nous a permis d'en arriver là.

➤ *BELGHOMARI Kheyr eddine;*

A la mémoire de mes grands-parents.

A la mémoire de mon père.

A ma grande mère

A ma très cher mère fatima qui a toujours été là pour moi, et qui m'a donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. J'espère qu'elle trouvera dans ce travail toutes mes reconnaissances et tout mon amour profond.

A mes chers frères.

A mes chères sœurs.

A mes beaux-frères et ma belle sœur

A mes adorables neveux : Zine eddine, Amine.

A ma cher nièce : Nermine Khadidja.

A ma grande famille maternelle et paternelle.

A ma fiancée et chère collègue: Belguechairi Fatima

Zohra

A mes enseignants.

A ma promotion.

*A mes amis(es) : pour tous les moments passés
ensemble.*

*Enfin je dédie ce travail à toutes personnes que je n'ai
pas cités et à tous ceux qui me connaît, en particulier
les étudiants (es) de la faculté de médecine de tlemcen.*

➤ *BENAMARA Yassine;*

A la mémoire de mes grands-parents.

A mon cher père Mohamed et à mon adorable mère

Leila :

*Sans qui rien n'aurait pu se passer. Merci pour votre
compréhension, votre aide et votre amour sans borne.*

A mes chers frères.

A mes chères sœurs.

A ma grande famille maternelle et paternelle.

A mes enseignants.

A ma promotion

A mes amis.

*A notre encadreur **Pr Oudghiri***

Chef de département de médecine dentaire de la faculté de médecine de tlemcen, et maitre de conférences en odontologie conservatrice endodontie.

Vous nous avez Fait l'honneur de bien vouloir accepter l'encadrement de cette thèse, Vous nous avez inspiré ce sujet de recherche et vous nous avez dirigés avec la compétence, la volonté et le sens du détail qui vous caractérisent.

Nous garderons le souvenir de la qualité et du bon sens de votre enseignement.

Veillez trouver dans ce travail le témoignage de notre profonde gratitude.

*A notre président de jury **Pr Metref***

*Maitre de conférences à la faculté de médecine d'Oran,
département médecine dentaire, service d'odontologie
conservatrice endodontie.*

*Vous nous avez fait l'honneur de juger ce travail dont
vous avez été l'inspirateur et la principale référence.*

*Votre aide et votre soutien nous ont été précieux pour
mener à bien ce travail.*

*Puisse cette thèse être le reflet de notre reconnaissance,
et notre immense respect.*

A nos membres de jury

*A Madame le **Dr Sayem***

*Maitre assistante à la faculté de médecine de tlemcen, et
médecin chercheur en histologie.*

*Vous nous avez fait l'honneur de vous intéresser à notre
travail, et d'accepter de faire partie de notre jury.*

*Vos qualités humaines et professionnelles imposent la
reconnaissance et le respect.*

*Puisse ce travail être le témoignage d'une amitié sincère
et durable.*

*A madame le **Dr Bouchenak-khalledi***

*Maitre assistante à la faculté de Médecine de tlemcen,
département médecine dentaire service d'odontologie
conservatrice endodontie.*

*Nous vous remercions très sincèrement d'avoir accepté
de siéger dans notre jury, Veuillez trouver dans ce
travail le témoignage de notre gratitude et immense
respect.*

*A madame le **Dr Ben Yelles***

*Maitre assistante à la faculté de Médecine de tlemcen,
département médecine dentaire service d'odontologie
conservatrice endodontie.*

*Nous vous remercions d'avoir bien voulu honorer de
votre présence le Jugement de cette thèse. Soyez assurés
de notre profond respect.*

*On remercie aussi le **Dr GHEZZAZ** (maitre-assistant en pathologie buccodentaire, CHU de Tlemcen) et tout (es) les étudiants de quatrième année pour leur aide dans la récolte et le tri des dents extraites au service.*

*On remercie aussi **Mr Salhi jilali**, responsable du laboratoire d'odontologie conservatrice du département de médecine dentaire de la faculté de tlemcen pour son aide et sa compréhension. Puisse ce travail être le témoignage d'une amitié sincère et durable.*

On tient également à remercier très chaleureusement Monsieur le Dr sari Abd el Hamid et Mme Belabassi Cherifa pour leur précieuse aide technique, leur enseignement de l'utilisation du Microscope Electronique à Balayage et l'entretien de ce bijoux.

TABLE DES MATIERES

1. Introduction	1
2. Revue de la littérature	3
2.1. Anatomie endodontique	3
2.1.1. Définition	3
2.1.2. Terminologie	4
2.1.3. Complexité du réseau canalaire	6
2.1.3.1. La courbure corono radulaire	6
2.1.3.2. La courbure apicale	7
2.1.3.3. L'orifice apical	7
2.1.4. Classifications des configurations canales	8
2.1.4.1. Classification de VERTUCCI	8
2.1.4.2. Classification de LAURICHESSE	10
2.1.4.3. Classification de WEINE	12
2.1.5. Les canaux surnuméraires	12
2.2. Etat de surface canalaire	14
2.2.1. D'une dent saine	14
2.2.1.1. Définition	14
2.2.1.2. Histologie du complexe pulpo dentinaire	14
2.2.1.3. Etat de surface canalaire	25
2.2.1.4. Vue Microscopique de l'état de surface canalaire	27
2.2.2. D'une dent avec une pathologie endodontique	29

2.2.2.1. Définition de la Pathologie endodontique	29
2.2.2.2. Classification clinique et histopathologique des Pulpopathies.....	30
2.2.2.3. Nécrose Pulpaire.....	34
2.2.2.3.1. Définition	34
2.2.2.3.2. Terminologie.....	35
2.2.2.3.3. Mécanisme.....	36
2.2.2.3.4. Bactériologie des gangrènes pulpaire.....	37
2.2.2.4. La Colonisation du système canalaire	38
2.2.2.4.1. Les bactéries pénétrant l'endodonte	40
2.2.2.4.2. L'adhérence aux parois dentinaires Intracanales	41
2.2.2.4.3. L'invasion bactérienne endodontique.....	42
2.2.2.5. Pathologies endodontiques et état de surface Canalaire.....	43
2.2.2.5.1. Réactions du complexe pulpo dentinaire ..	43
2.2.2.5.2. Les caractéristiques de la surface canalaire D'une dent infectée.....	48
 2.3. Le Traitement Canalaire.....	 51
2.3.1. Définition.....	51
2.3.2. Historique	51
2.3.3. Objectifs du traitement canalaire	55
2.3.4. Procédures du traitement canalaire.....	55

2.1.3. 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.

Il faut rappeler que l'anatomie canalaire peut être tellement variable d'une dent à l'autre et les fameuses planches de HESS doivent toujours être en mémoire. (Figure 2).

Roy dit : « Il n'y a pas de canaux radiculaires qu'on ne trouve pas ; tous peuvent être décelés. Prétendre qu'un canal radiculaire n'existe pas, c'est avouer qu'on le cherche là où il n'est pas. »



Fig.2 1925: HESS. W Anatomy of the root canals of teeth in the permanent dentition. J. Bale sons & Daniel son Ed. , London. ^[12]

2.3.1.1. La 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.

Au niveau des molaires, la formation de la dentine camérale se fait de façon préférentielle sur la paroi mésiale.

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 canales au sein des groupes multicuspidés (HESS, 1927) aboutissant à une multitude de configurations insoupçonnées.

2.3.1.2. La 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.

D'un point de vue thérapeutique, toute modification du trajet courbe 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.

2.3.1.3. L'orifice apical

Les travaux de KUTTLER 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 cémentodentinaire et à base cervicale ;
- un petit cône cémentaire (Cône apical sur la Figure 3), inversé par rapport au premier et à base foraminal.

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 (aposition cémentaire plus importante).

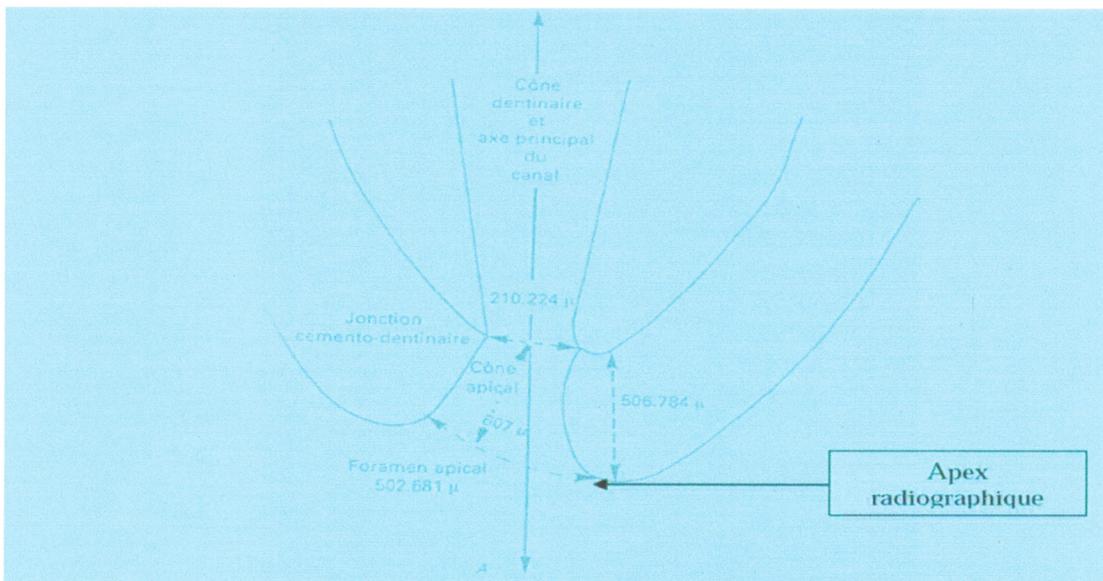


Fig.3. Représentation schématique en coupe longitudinale de la jonction cémento-dentinaire selon KUTTLER

2.1.4. Classifications des configurations canalaires :

Plusieurs classifications nous sont proposées et nous retenons celle de VERTUCCI à base anatomique qui décrit six types de configuration Canalaires et celle de LAURICHESSE et collaborateurs (à usage Clinique).

2.1.4.1. Classification de VERTUCCI ^[6]

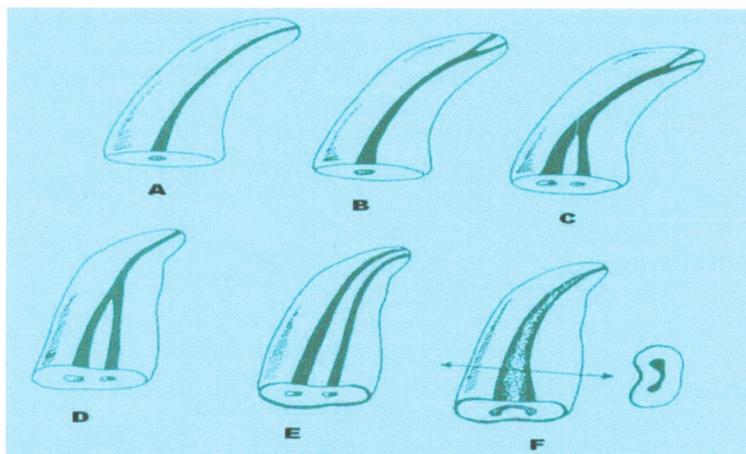


Fig. 4 Représentation schématique en coupe longitudinale des différentes configurations canalaires

au sein d'une racine.

A : Canal unique.

B : Canal unique avec bifurcation apicale.

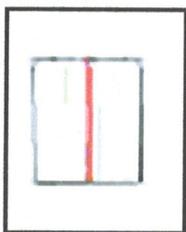
C : Deux entrées canalaires se réunissant au milieu de la racine en un seul canal, Pour se séparer ensuite en deux canaux aboutissant chacun à l'apex à une sortie foraminale indépendante.

D : Union apicale de deux canaux en un foramen commun.

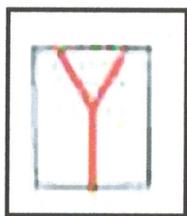
E : Deux entrées, deux canaux et deux sorties foraminales indépendantes.

F : canal présentant une configuration en « C » ou « cloisonné en ruban ».

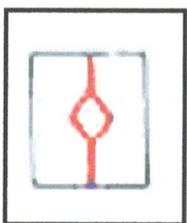
Type I: canal unique depuis la chambre pulpaire jusqu'à l'apex



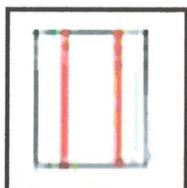
Type II ou « 2-1 »: 2canaux séparés partant de la chambre pulpaire et se rejoignant pour sortir en 1 canal



Type III ou « 1-2-1 »: 1canal quittant la chambre pulpaire, se divisant en 2 canaux qui se rejoignent pour sortir en 1 canal.



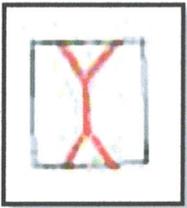
Type IV: 2 canaux distincts depuis la chambre pulpaire jusqu'à l'apex.



Type V ou « 1-2 »: 1 canal quittant la chambre pulpaire jusqu'à l'apex.



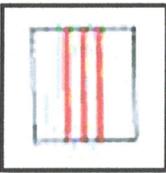
Type VI ou « 2-1-2 »: 2 canaux séparés quittant la chambre pulpaire, s'unissant dans la racine et se divisant près de l'apex pour sortir par 2 canaux distincts



Type VII ou « 1-2-1-2 »: 1 canal quittant la chambre pulpaire, se divisant près de l'apex en 2 canaux distincts.



Type VIII: 3 canaux séparés depuis la chambre pulpaire jusqu'à l'apex.



2.1.4.2. Classification de LAURICHESSE

C'est une classification à usage clinique s'appuyant sur l'interprétation radiographique, elle est proposée à la suite d'une étude sur 1025 dents saines par LAURICHESSE, CHAPELLE et GRIVEAU, en 197. (Figure 5)

Image canalaire du Type 1 : image radiographique d'un canal radiculaire s'étendant sans interruption de la chambre pulpaire au foramen apical.

- Image canalaire du Type 2 : elle se caractérise par l'apparition sur la trace du canal d'une zone plus radio opaque que ce dernier, limitée et franche,

au tiers supérieur ou au tiers moyen. Cette image s'explique par la Présence d'un diverticule.

- Image canalaire du Type 3 : l'apparition sur la trace du canal d'une zone Plus radio opaque que ce dernier, va s'étendre sans interruption du tiers moyen à l'extrémité apicale.

Une telle image peut révéler l'existence d'un dédoublement du canal ou d'un rétrécissement de ce dernier.

- Image canalaire du Type 4 : la disparition à quelques millimètres en deçà de l'apex de l'image canalaire dont l'extrémité est nette, présente une Dilatation : « le bouton canalaire ».

Elle caractérise la présence d'un foramen excentré en position vestibulaire Ou linguale.

- Image canalaire du Type 5 : l'augmentation soudaine de la radio opacité du canal interrompt brusquement à quelques millimètres de l'apex sans dilatation, l'image du canal ; on dit d'elle qu'elle présente un « point de résolution ».

Ce point correspond à la division du canal principal en deux canaux au moins de plus faible diamètre.

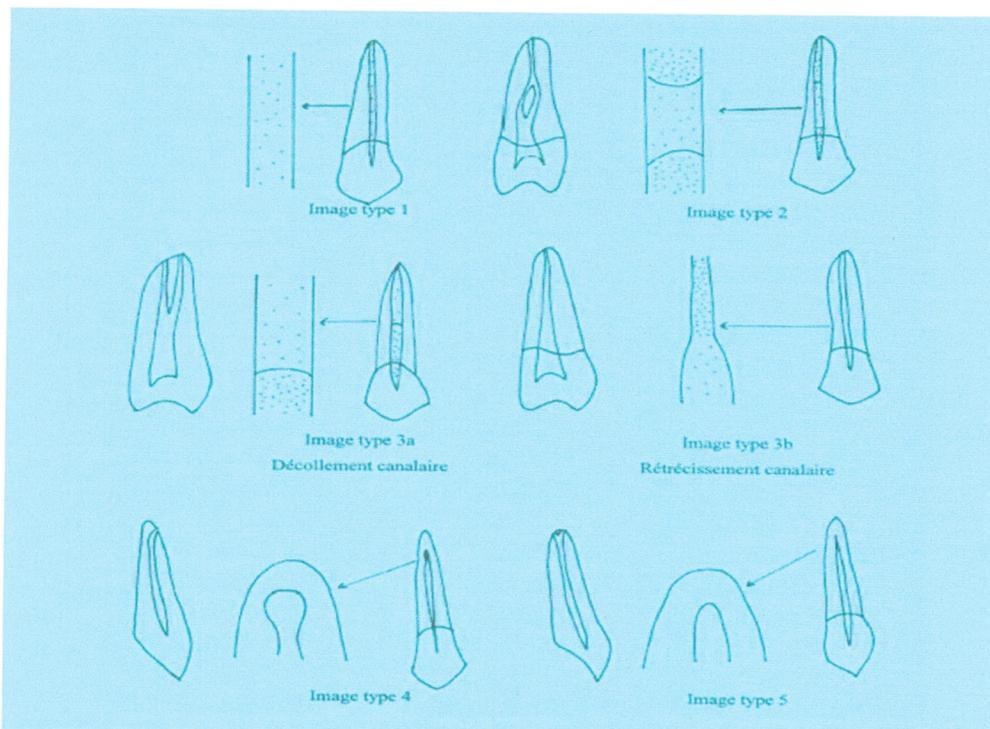


Fig.5 Représentation schématique en coupe longitudinale de l'image radiographique des différents 13types de canaux selon LAURICHESSE, CHAPELLE et GRIVEAU. ^[13]

2.1.4.3. Classification de WEINE

- **Type I** : un seul canal allant de la chambre pulpaire à l'apex
- **Type II** : deux canaux partant de la chambre pulpaire et se rejoignant pour n'en former qu'un seul, peu avant l'apex.
- **Type III** : deux canaux séparés et distincts allant de la chambre pulpaire jusqu'à l'apex.
- **Type IV** : un seul canal qui part de la chambre pulpaire et se divise en deux canaux séparés et distincts avant l'apex.
Parfois il peut exister une division apicale en plusieurs canaux formant ainsi un delta apical.

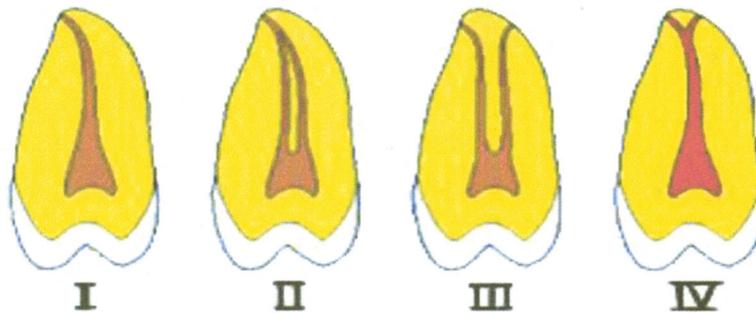


Fig.6 configuration canalaire selon Weine. ^[12]

2.1.5. Les 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.

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

Tableau 1 : Représentativité des canaux dédoublés à l'entrée canalaire ou à la sortie foraminale (MACHTOU P. 1993) ^[13]

DENTS	% DE DOUBLE ORIFICE D'ENTREE	% DE DOUBLE ORIFICE DE SORTIE
Première prémolaire sup.	92	66
Deuxième prémolaire sup.	28	4
Première et deuxième molaires sup., canal mésio-vestibulaire	36	14
Incisive centrale et latérale inf.	27	4
Première prémolaire inf.	14	6
Deuxième prémolaire inf.	8	4
Première et deuxième molaires inf. canal mésial	87	38
Première et deuxième molaires, canal distal	8	3

2.2. Etat de surface canalair

2.2.1. D'une dent saine

2.2.1.1. Définition

L'endodonte pariétal est un carrefour important de l'organe pulpodentinaire. C'est dans cette zone que se trouve le corps des odontoblastes, la prédentine qui constitue la plus grande partie de la matrice extracellulaire non minéralisée et le front de minéralisation qui représente l'interface dentine-prédentine.

C'est sur les zones pariétales que se trouvent également toutes les zones critiques, les émergences des canaux latéraux et accessoires et l'ouverture des tubulis.

La préparation canalair devra réduire la complexité de l'endodonte pariétal à de simples parois minéralisées. C'est ainsi que le scellement pourra être hermétique en colmatant toutes les émergences. Et c'est dans ces conditions que pourront s'établir les processus de cicatrisation.

2.2.1.2. Histologie

Le complexe pulpodentinaire est présent au centre de la dent, recouvert par l'email au niveau de la couronne et par le cément au niveau de la racine.

C'est un organe unique capable de s'adapter et de répondre à une multitude de stimuli ^[15]. D'origine mésenchymateuse, il constitue l'unité biologique de la dent. Il est différencié en dentine, matrice minéralisée, et en pulpe, constituée essentiellement de tissu conjonctif banal dans sa partie centrale et contenant à sa périphérie des éléments cellulaires différenciés, les odontoblastes.

La prédentine, matrice extracellulaire non minéralisée, est l'ensemble des produits de sécrétion des odontoblastes (figure 7).

La prédentine se compose de matière organique non minéralisée, située entre les cellules sécrétrices et la dentine minéralisée.

D'épaisseur constante, elle est constituée de nombreuses fibres de collagène, perpendiculaires à l'axe des tubules, et d'une substance fondamentale riche en glycosaminoglycannes et glycoprotéines ^[3].

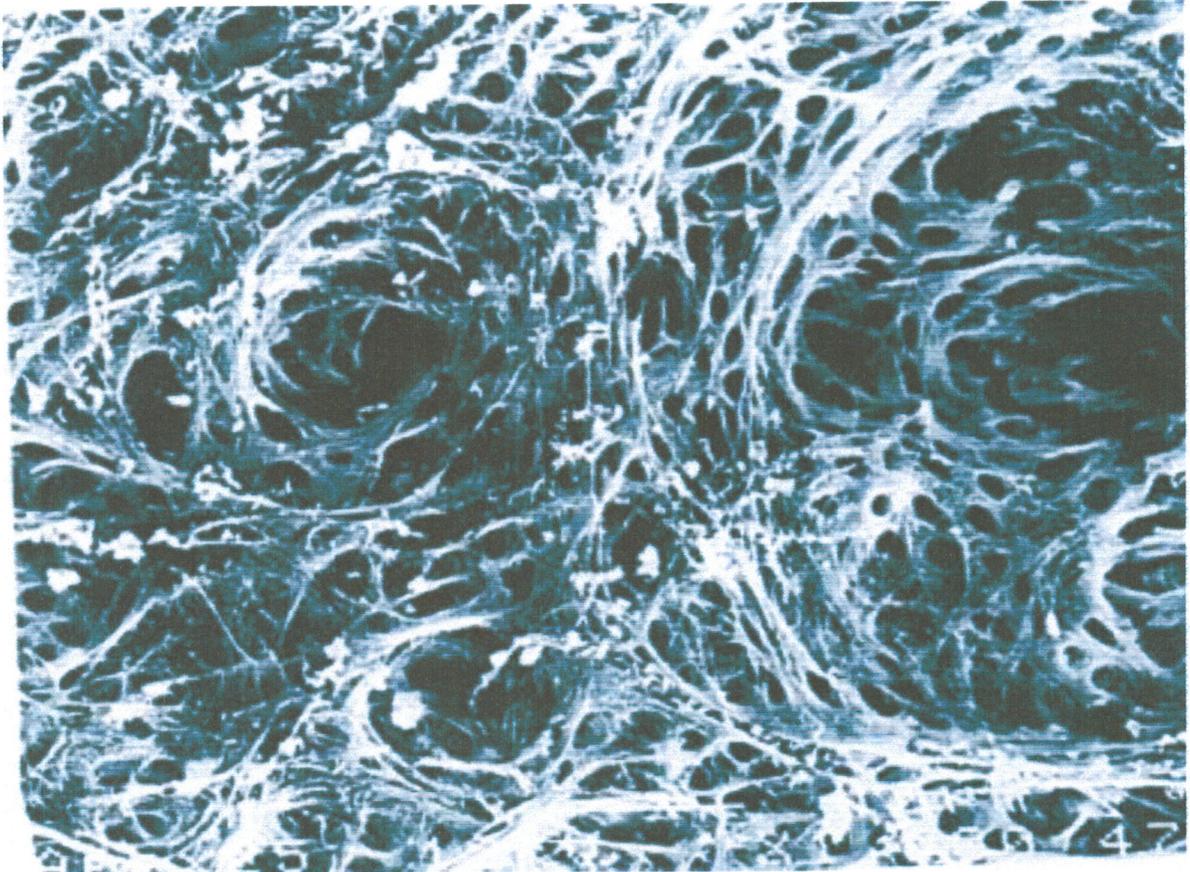


Fig. 7 Surface pré-dentinaire (MEB ×600) avec un aspect fibreux développé et présentant l'émergence de nombreux tubulis et de canaux accessoires. ^[18]

2.2.1.2.1. La Dentine

La dentine est le constituant majeur de l'organe dentaire. Il s'agit d'un tissu conjonctif minéralisé mais avasculaire qui est en connexion permanente avec la pulpe par l'intermédiaire des prolongements cytoplasmiques des odontoblastes ^[1], formé à partir d'une matrice extracellulaire particulière déposée par les odontoblastes présents à la périphérie pulpaire ^[2]

Entourant la pulpe, elle est revêtue par l'émail au niveau de la couronne et par le cément dans la racine. Cette substance translucide, blanche jaunâtre, est plus dure que l'émail et apparaît également moins opaque que l'émail à la radiographie (Auriol et al. 2000). ^[1]

La dentine est formée pour 70% d'une phase minérale (hydroxyapatite carbonatée et magnésinée) et pour 30% d'autres éléments parmi lesquels 18 à 20% de matrice organique et 10 à 12% d'eau. ^[19]

Les odontoblastes sont les cellules responsables de la synthèse de prédentine, Secondairement minéralisée en dentine. Ces cellules dérivent, embryologiquement, des cellules des crêtes neurales (ectomésenchyme) (Auriol et al. 2000). ^[19]

Elles sont constituées d'un corps cellulaire formant une longue palissade à la périphérie de la pulpe et d'un prolongement continu et étroit de leur cytoplasme, appelé prolongement odontoblastique, qui prend sa place au cœur des canalicules dentinaires. Ces cellules font partie intégrante du complexe pulpodentinaire.

L'édification de la dentine débute au stade de cloche. Elle continue jusqu'à l'entière formation de la dentine coronale. C'est la dentine primaire. Elle constitue la majeure partie de la dent et a une épaisseur de 150 μm . Quant à la dentine radiculaire, elle ne se construit que tardivement après l'éruption dentaire (18 mois après celle-ci pour les dents déciduales, 2 à 3 ans après pour les dents permanentes). Au cours de la vie, après l'éruption de la dent, une dentine secondaire physiologique continue à s'édifier tant que les cellules odontoblastiques synthétisent de la matrice organique (Auriol et al. 2000).

Elle apparaît plus tard, après la formation de la racine. Elle s'accroît lentement mais ses lignes d'accroissement et sa structure tubulaire sont en continuité avec celles de la dentine primaire. Sa perméabilité est réduite par rapport à celle de la dentine primaire (plus grande minéralisation) (Auriol et al. 2000).

Ainsi, l'apposition de pré-dentine ainsi que sa minéralisation sont réalisées de manière centrifuge.

Le prolongement odontoblastique s'allonge et se retrouve englobé dans la matrice. Ce mécanisme s'effectue au dépend de la forme et du volume de la chambre pulpaire, réduit tout au long de la vie de manière non homothétique (Love and Jenkinson, 2002).

La formation de la matrice étant en avance sur les phénomènes de minéralisation, il persiste toujours une substance organique non minéralisée, la prédentine, entre odontoblastes et front de minéralisation ; l'épaisseur de cette couche étant de 150 μm (Auriol et al. 2000). La maturation de la pré-dentine se fait au cours des mois qui suivent sa sécrétion.

L'interface dentine-Prédentine n'est pas toujours linéaire et peut se présenter sous forme de Calcosphérites notamment sur les parois vestibulaires et linguales des canaux radicaire (figure 8).

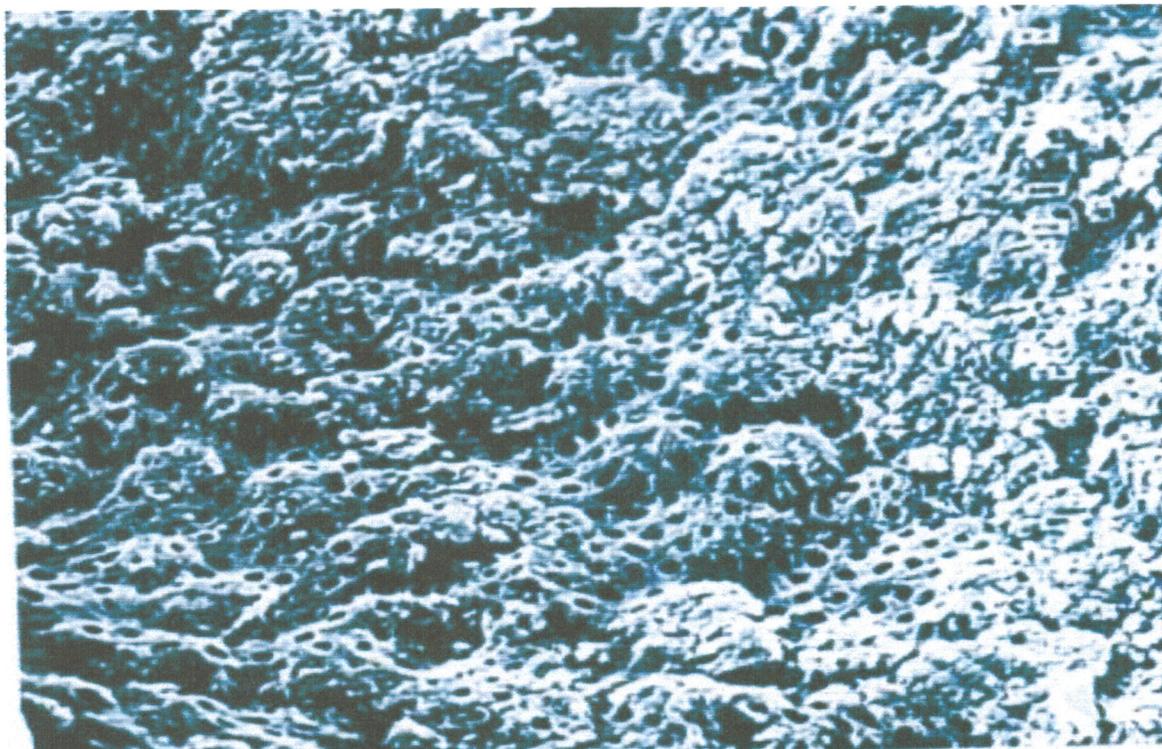


Fig. 8 Calcosphérites (MEB× 1000) présentant une structure tubulaire et un aspect globuleux. ^[18]

La structure de la dentine influence l'invasion bactérienne. Les bactéries ont un diamètre variant de 0,5 à 0,7 μm . Elles peuvent donc pénétrer les tubules aisément (Love and Jenkinson, 2002).

Cette perméabilité est par ailleurs dépendante de l'âge du sujet.

Une dentine jeune, dont les diamètres tubulaires sont plus grands, est bien plus perméable qu'une dentine âgée où la lumière tubulaire est réduite, voire

Obturée ^[4], (grâce à la dentine intratubulaire). L'oblitération des tubules dentinaires augmente de 40% entre 20 et 80 ans (Love and Jenkinson, 2002). Ceci explique en partie la plus grande rapidité de progression de la carie dentinaire chez le sujet jeune (figure 9) ^[3].

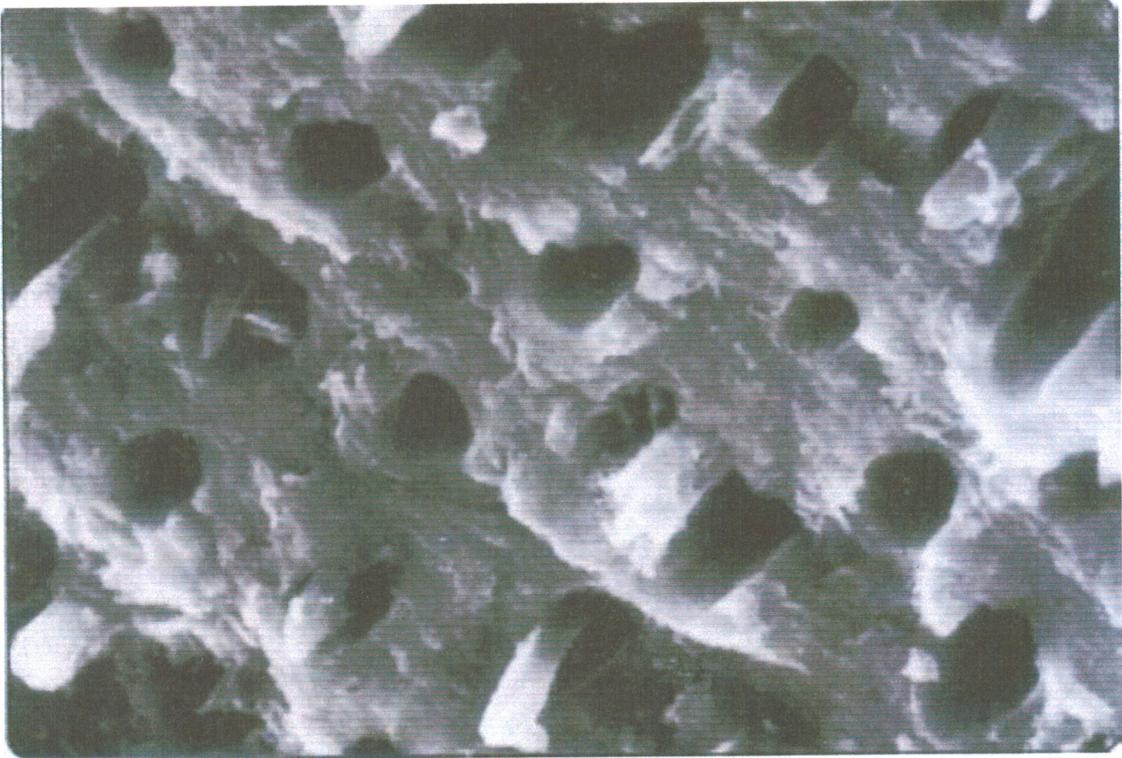


Fig. 9 section horizontale de la dentine mature permettant d'observer les tubulis. Cette section est proche de la pulpe, ce qui explique le nombre et la taille de ces tubulis (X1000) (Mount and Hume, 2002).^[19]

La dentine est parcourue de tubules contenant les prolongements cytoplasmiques des odontoblastes sur environ un tiers de leur longueur. Ces tubules parcourent toute l'épaisseur de la dentine et de la prédentine, depuis la pulpe jusqu'à la jonction avec l'émail ou le ciment. Ils convergent vers la chambre pulpaire, d'où une variation de leur densité et de leur orientation en fonction des régions dentaires.

On a :

➤ ***Dentine intratubulaire ou pérítubulaire :***

La lumière tubulaire est bordée par de la dentine hyperminéralisée dite **pérítubulaire** ou **intratubulaire**, contenant principalement des cristaux d'apatite avec une matrice organique réduite (10% en volume contre 30% dans la dentine intertubulaire). GOTLIV et WEINER ne retrouvent aucune trace de collagène au sein de la dentine pérítubulaire. Dans la dentine radiculaire, l'anneau de dentine intratubulaire est d'une largeur généralement faible et peut même être absent à certains endroits.

➤ **Dentine intertubulaire**

Les tubules sont séparés par la dentine intertubulaire composée d'une matrice de collagène type I renforcée d'apatite, enveloppant les tubules perpendiculairement à leur grand axe (figure 10). Dans les régions proches de la jonction amélo-dentinaire, ELBAUM observe des fibrilles de collagène orientées parallèlement au grand axe des tubules. Les différences de composition minérale entre dentines intra- et inter-tubulaires influent sur les propriétés mécaniques de la dentine.

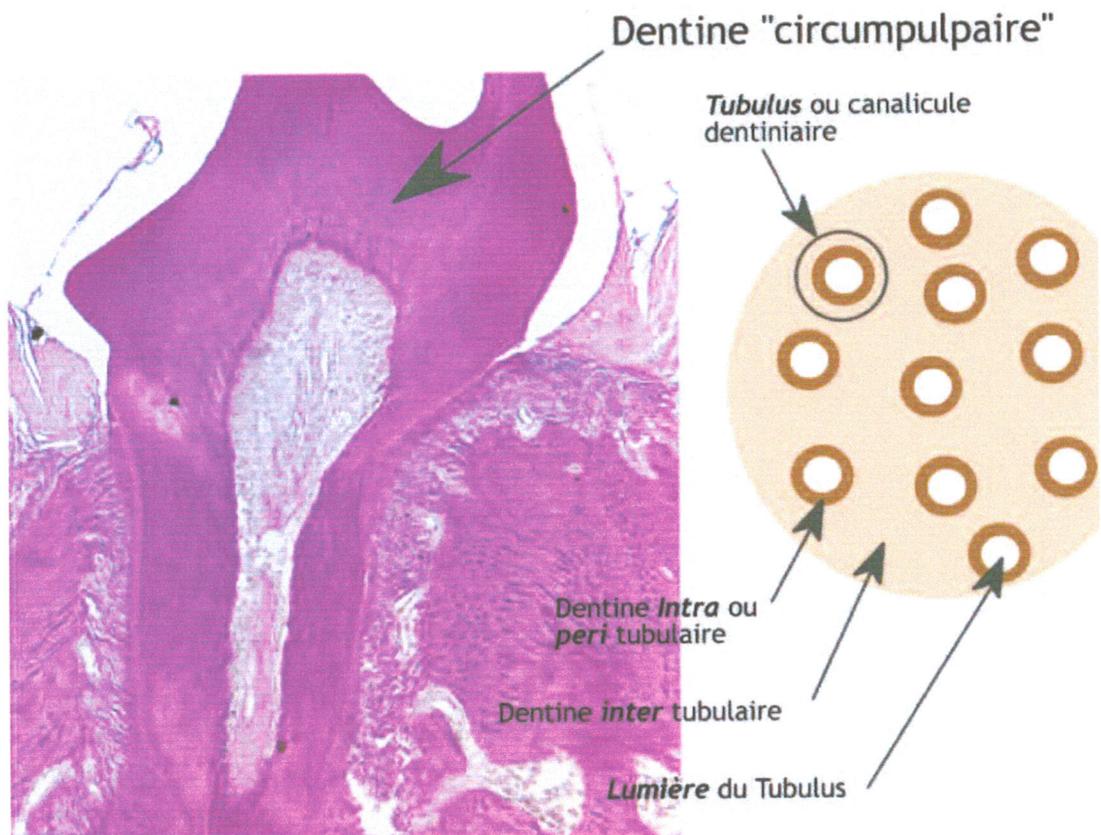


Fig. 10 Description schématique de la structure de la dentine circumpulpaire. ^[1]

2.2.1.2.1. La pulpe

La pulpe est le tissu conjonctif lâche spécialisée qui est présent au centre de la dent. Elle succède chronologiquement à la papille ectomesenchymateuse du

germe dentaire. La transition papille-pulpe a lieu à la fin du stade de la cloche, lorsque les cellules périphériques de la papille dentaire se différencient pour former les odontoblastes primaires.

Ceux-ci déposent alors la première couche de prédentine. A ce stade ont également lieu la différenciation en fibroblastes des cellules ectomesenchymateuse de la papille centrale, l'augmentation progressive de la densité des fibres de collagène dans la matrice extracellulaire et la pénétration

des fibres nerveuses dans la pulpe. [20]

La pulpe va se trouver progressivement entourée, au niveau coronaire puis radiculaire, par de la dentine. (Figure 11)

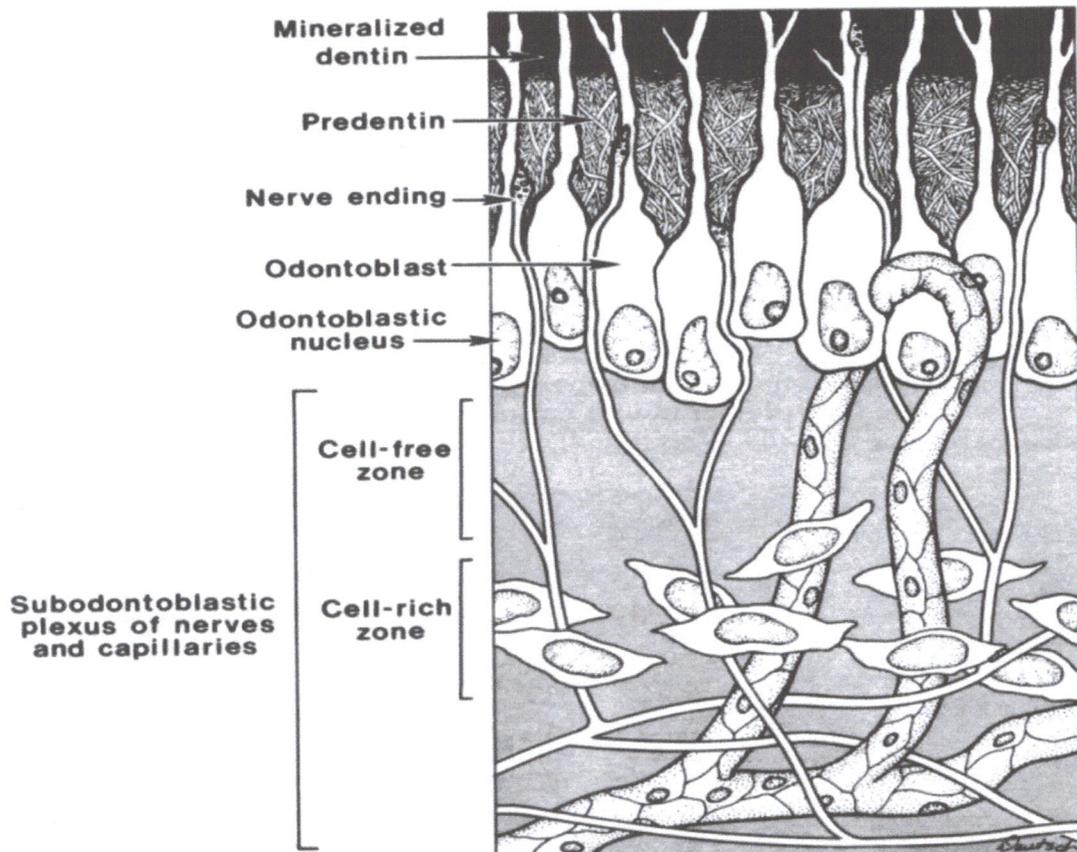


Fig. 11 diagramme montrant la pulpe périphérique et ses principaux éléments. [21]

La pulpe mature est ainsi confinée dans un espace presque totalement clos, inextensible, divisé en une portion large située à l'intérieur de la couronne, la chambre pulpaire, et une portion plus étroite située à l'intérieur de la racine, le canal radiculaire.

La chambre pulpaire présente des surcroît des cornes » plus ou moins larges,

situées sous les cuspides. Au niveau de l'apex situé à l'extrémité de la racine, subsiste un orifice, le foramen apical, par lequel arrivent les éléments assurant la vascularisation et l'innervation du tissu. A côté du canal principal, le tiers apical de la racine contient souvent des canaux accessoires, secondaires ou latéraux, qui contiennent des diverticules pulpaire.

Les principales fonctions de la pulpe sont la formation des dentines primaire, secondaire et réactionnelle par les odontoblastes embryonnaires, la formation

de la dentine réparatrice par les odontoblastes de remplacement, et le maintien de la structure du tissu pulpaire. La pulpe a également des fonctions neurosensorielles qui se manifestent par la transmission d'informations douloureuses au cerveau lors d'agressions pathologiques. ^[2]

En endodontie, tous les auteurs s'accordent à penser que l'élimination de la prédentine est suffisante pour assurer le succès thérapeutique, c'est pourquoi cette éviction doit se pratiquer de façon circonférentielle selon toutes les génératrices du cône canalair qui est principal. Cette éviction est réalisée par la préparation canalair qui est l'une des étapes cliniques essentielles de l'endodontie. Cette étape qualifiée d'endo-chirurgicale intéresse l'organe pulpodentinaire des dents et s'adresse à des anatomies variées comme les montrent les planches anatomomorphologiques de Hess et O'Keller's (1928). Pour attendre et traiter ces structures, qui se modifient avec l'âge, l'endodontiste possède une instrumentation qu'il manipule à l'abri de tout contrôle visuel hormis celui procuré par la cavité d'accès. ^[18]

Pour ce faire, il s'en remet à la perception manuelle qu'il a de son instrumentation et aux différents contrôles radiologiques, radiovisiographiques et/ou électronique. De plus en plus rigoureuse et respectueuse du contexte biologique, cette phase endo-chirurgicale reste la plus importante de la thérapeutique, longtemps empirique, elle fait appelle aujourd'hui à de nombreuses techniques, en théorie, bien codifiées.

Aussi plus que des succès cliniques la thérapeutique endodontique doit viser des succès histologiques et pour ce faire, elle agira comme inducteur de mécanismes cicatriciels.

C'est pourquoi, à la triade des auteurs classiques « pénétration-désinfection-obturation », il est préférable de substituer le concept éliminer-respecter-permettre, dont la connotation est plus biologique. ^[18]

Eliminer :

Tous les tissus infectés ou atteints de lésions inflammatoires irréversibles sont à supprimer ainsi que les substrats situés sur les zones pariétales de l'endodonte comme la prédentine, susceptibles de servir de milieu nutritionnel à un éventuel développement bactérien (Figure 12).

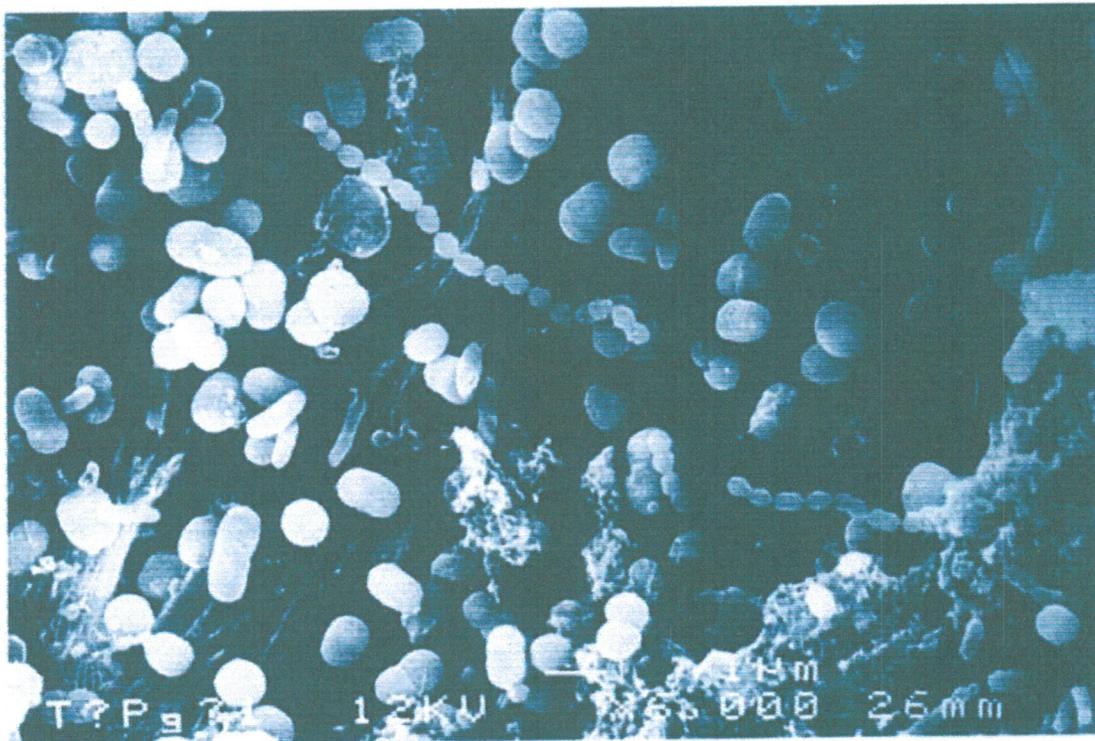


Fig. 12 : Développement bactérien polymorphe en surface prédentinaire (MEB x600) ^[18]

Cette élimination est théoriquement à réaliser sur toutes les génératrices du cône canalair. Chez l'homme : 44% à 59% de la matrice extracellulaire (M.E.C) non minéralisée se situe dans la zone cervicale, 36% à 42% dans la zone médiane et seulement 9% à 15% dans la zone apicale (figure 13).

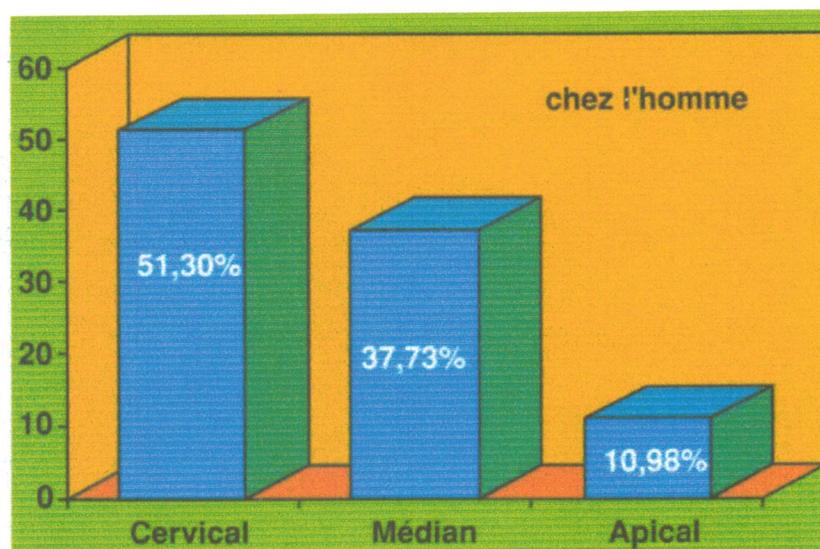


Fig. 13 Distribution pariétale de la matrice extracellulaire non minéralisée par niveau radicaire chez l'homme. ^[18]

D'où l'intérêt d'une action instrumentale adaptée par niveau. Si cette action doit être conséquente dans la zone cervicale, elle sera modérée dans le tiers apical. Le choix de l'instrumentation reste donc essentiel pour réaliser des préparations canalaires respectant la réalité biologique. A l'endodonte principal sont associées les structures annexes les plus variées en relation avec le parodonte par le biais des canaux latéraux, secondaires et accessoires formés au cours de l'édification radicaire. Leurs diamètres varient de 7 μm à 250 μm voire à 700 μm .

Ils sont occupés :

- * pour les plus petits, par un simple vaisseau et du stroma conjonctif,
- * pour les plus gros, par du tissu pulpaire au sein duquel existe une activité.

Les canaux latéraux, essentiellement situés dans le 1/3 médian de la racine et au niveau des furcations, ont une trajectoire rectiligne, 50 à 60% des dents en sont porteuses (figure 14). Les canaux secondaires, beaucoup moins rectilignes et souvent associés à des canaux accessoires, sont localisés dans le 1/3 apical, leur fréquence est évaluée entre 30 à 40% selon les auteurs (figure 15), à ces structures annexes, il convient d'ajouter l'arborisation apicale du réseau canalair principal qui se traduit le plus souvent par la présence de foramina plutôt que d'un seul foramen. Cette anatomie canalair complexe est souvent le siège d'une flore bactérienne hétérogène dont la composition dépendra

essentiellement de la voie d'abord. Ces bactéries auront une capacité à coloniser les vacuités de l'endodonte y compris celles des tubulis, échappant ainsi aux défenses propres de l'organisme. La préparation canalaire a donc également pour mission l'élimination des bactéries de l'endodonte, et de leurs produits de métabolisme. Ce rôle sera dévolu aux solutions d'irrigation, dont l'action est primordiale et dont la distribution et le renouvellement au sein de l'endodonte doivent être assurés par des systèmes performants. Là encore, le choix du procédé d'irrigation et de l'instrument endocanalaire permettant sa distribution reste capitale.

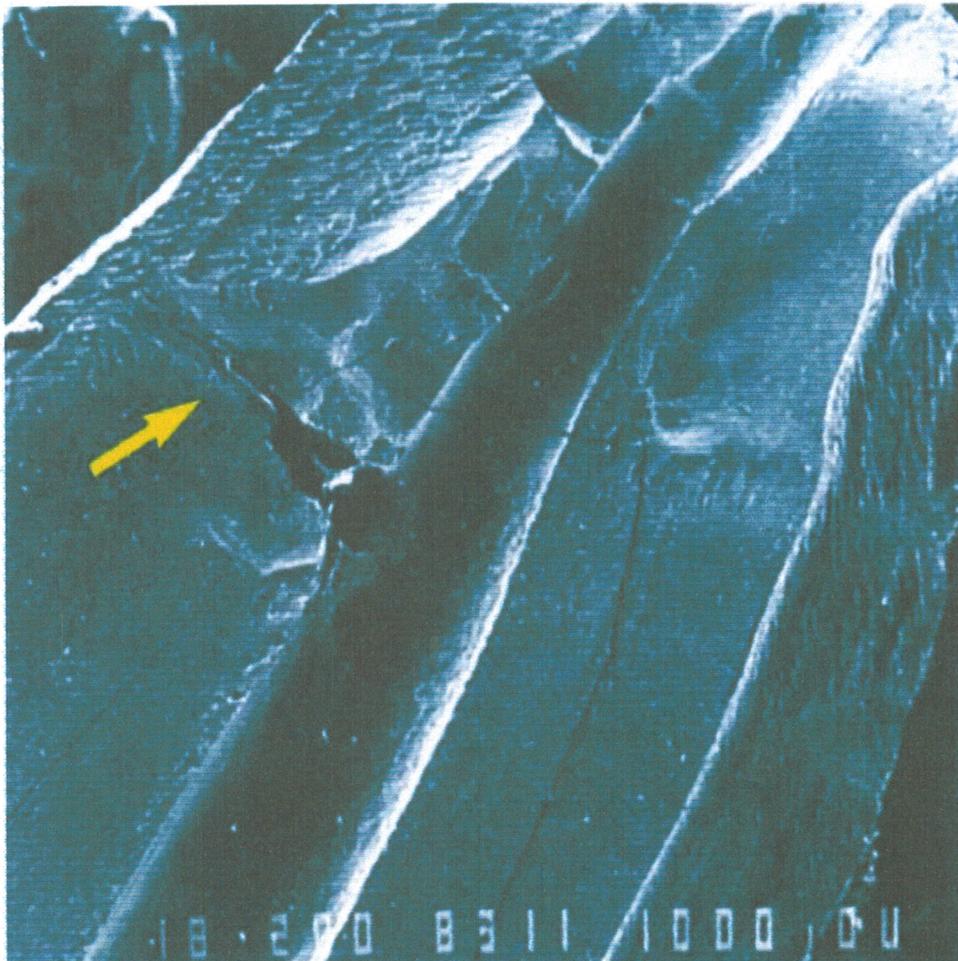


Fig. 14 Canal latéral (MEB 20) situé en zone médiane et présentant une trajectoire rectiligne. ^[18]

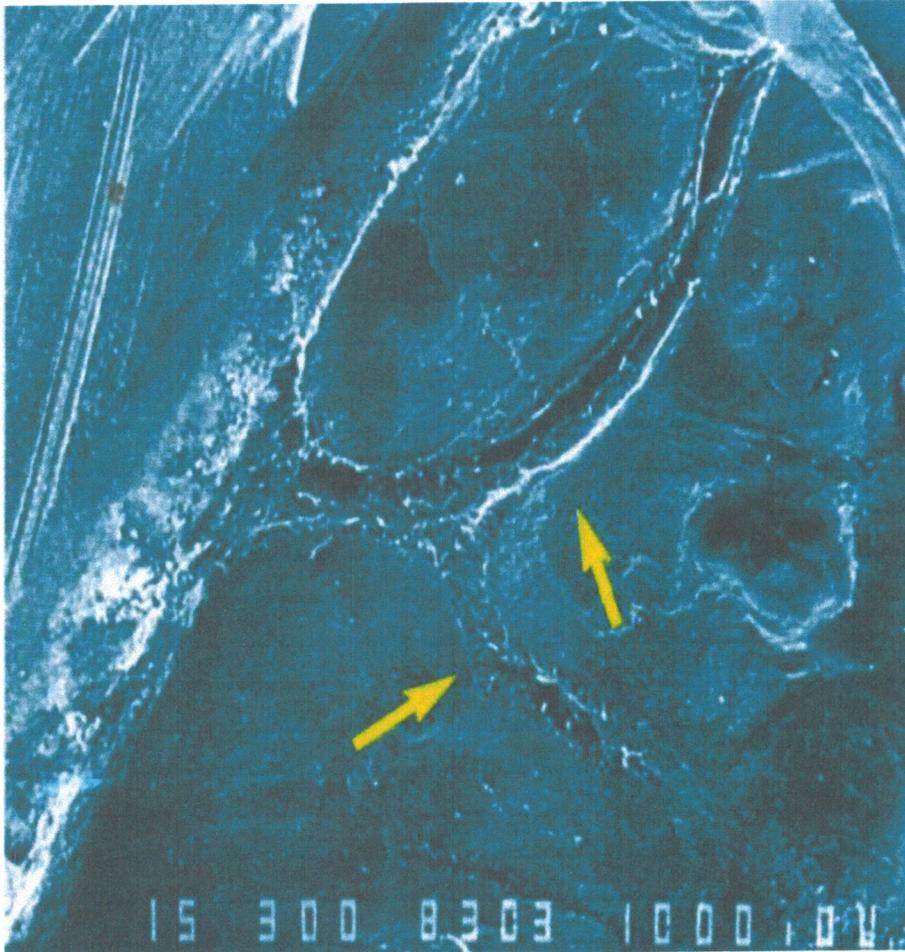


Fig. 15 Canal accessoire (MEB $\times 30$) associé à un canal secondaire, situés en zone apicale et présentant des trajectoires rectilignes. ^[18]

2.2.1.3. Etat de surface canalaire d'une dent saine :

Au cours de la pulpectomie élektive sur une dent saine, un complexe pulpo dentinaire serait rencontré, L'extirpation de la pulpe peut laisser des odontoblastes soit en restant dans les tubules dentinaires ou arraché. Selon l'état du tissu pulpaire, elle peut être fragmentée ou être retiré dans une large mesure en une seule pièce (figure 16). ^[22]

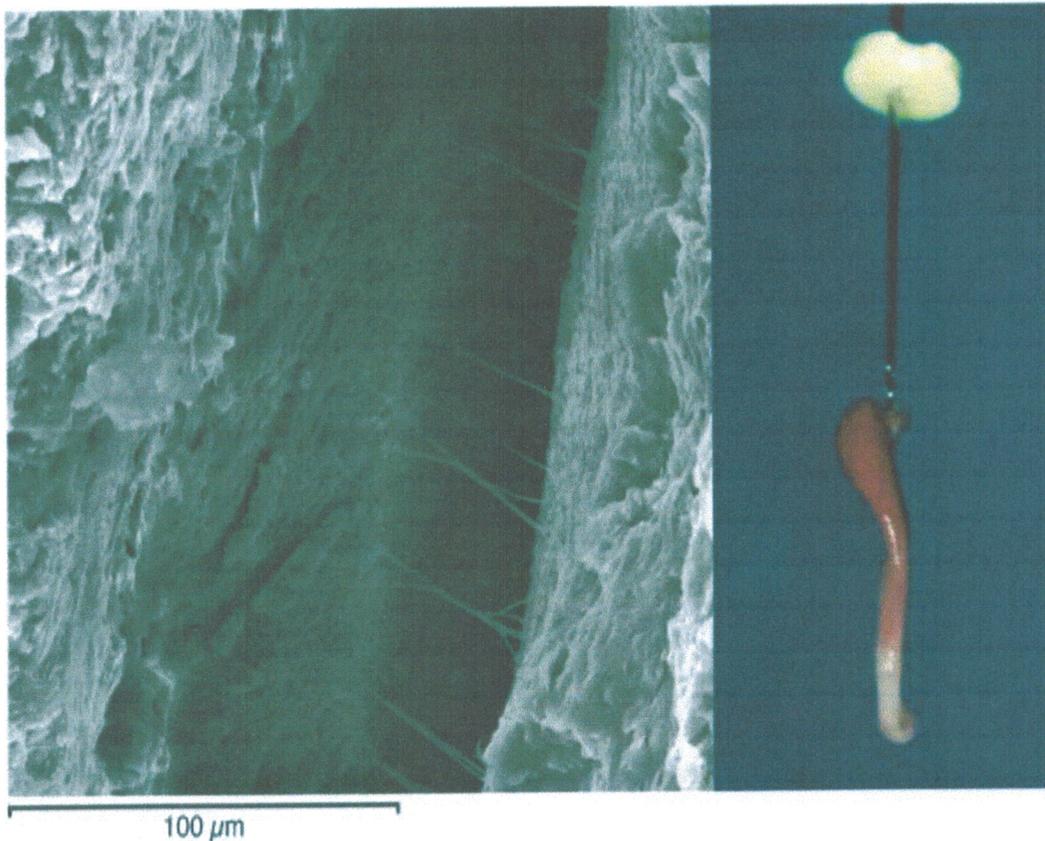


Fig. 16 Extirpation pulpaire et vue au MES de la séparation de la pulpe de la surface dentinaire avec des odontoblastes tirés de leurs tubulis. ^[22]

Il est probable que les parties apicales de la pulpe, qui sont plus fibreux, et ceux qui font part de l'anatomie accessoire peuvent rester, en particulier dans les canaux courbes. Une pulpe morte, privée d'un approvisionnement en sang, peut rétrécir et se détache de la surface de la dentine (Figure 17).

Sinon, une pulpe nécrotique non infectée peut rester derrière comme un vestige séché de l'organe vital.

En revanche, une pulpe enflammée perdrait son organisation et se brise, laissant des fragments variables des tissus nécrosés sur la surface de la dentine, Si la pulpe avait été envahi par les bactéries, la fragmentation peut être plus complète, au point où peu de tissu résidus est évident, sur le plan clinique ou à l'échelle microscopique.

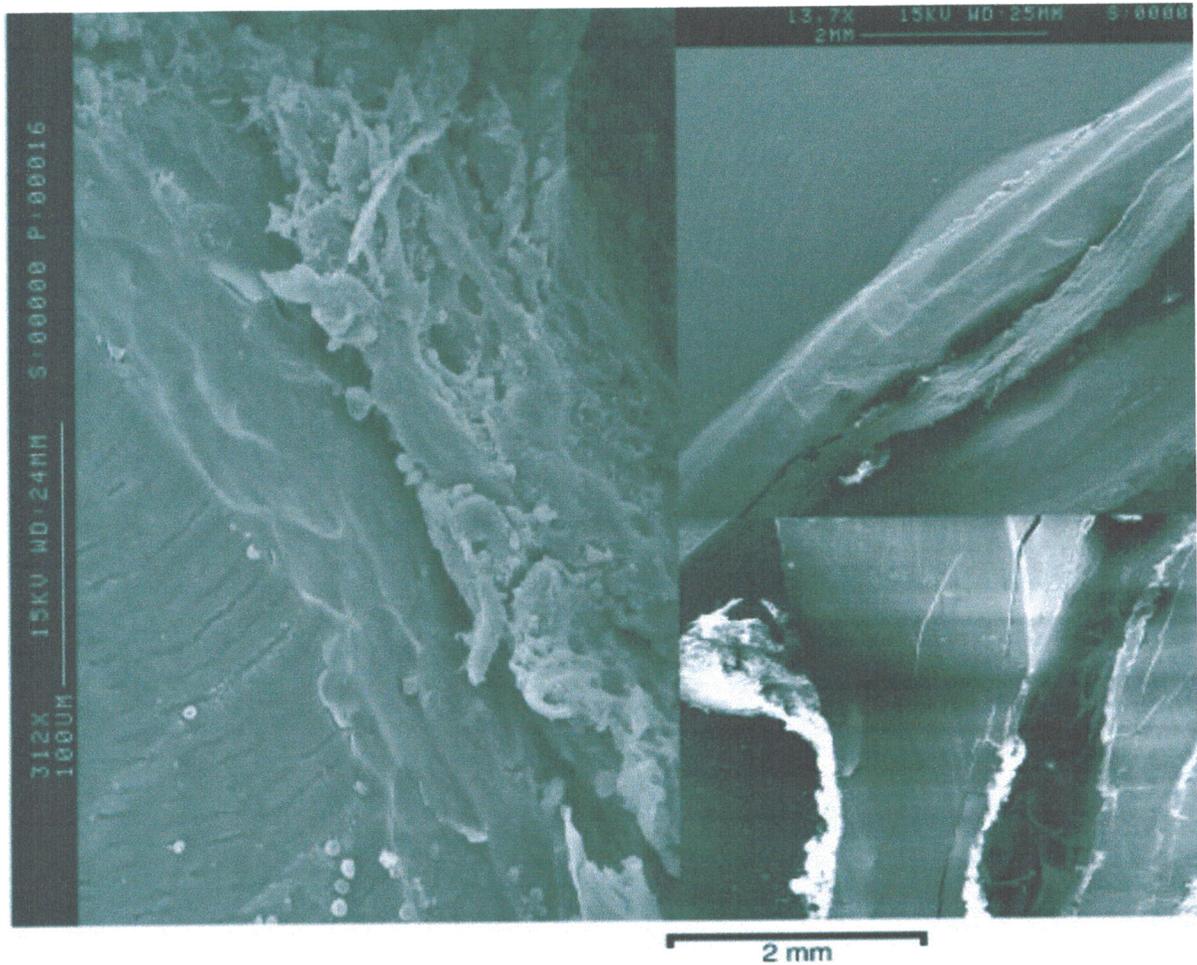


Fig. 17 Vue Au MES montrant des tissus pulpaire séchée et des restes de tissu pulpaire nécrotique sur la paroi du canal, dans un cas de formation d'une boue en forme de couche. [22]

2.2.1.4. Vues Microscopique et Macroscopique de l'état de surface canalaire :

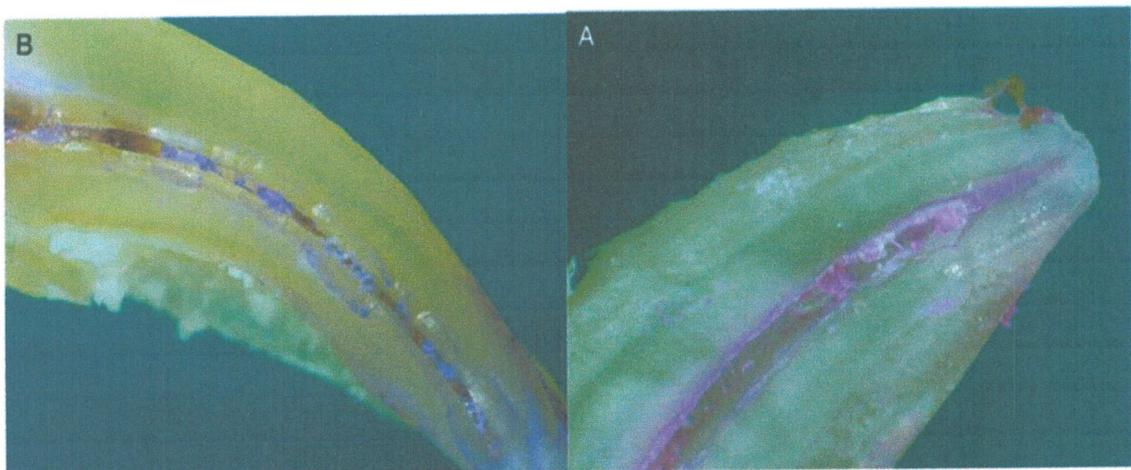


Fig. 18 Coupe démontrant la capacité de nettoyage insuffisant, avec beaucoup de débris restant et du tissu pulpaire. [23]

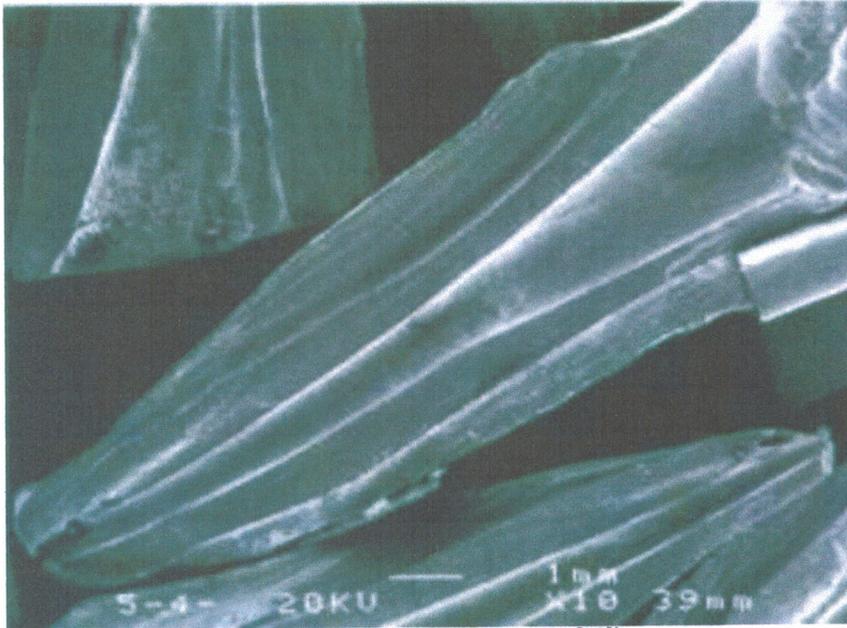


Fig. 19 vue générale d'un canal préparé au protaper . [25]b



Fig.20 Vue generale d'un canal préparé manuellement . [25]

2.2.2D'une dent d'une dent avec une pathologie endodontique

2.2.2.1 Définition

La pulpe est normalement à l'abri des agresseurs présents dans le milieu extérieur et en particulier des bactéries. La destruction des tissus durs qui la protègent l'expose aux irritants exogènes qui peuvent être des agents biologiques, chimiques ou physiques. Ce sont les bactéries et leurs métabolites qui constituent la cause habituelle de réaction pulpaire sous forme d'inflammation (pulpite) aboutissant parfois à une nécrose pulpaire. ^[2]

Les principales voies de pénétration bactérienne sont :

- les caries en particulier si elles sont profondes ;
- les ouvertures traumatiques de la pulpe (fracture, fêlure, ouverture iatrogène)
- les techniques de préparation de la dentine, ouvrant massivement et profondément les canalicules dentinaires (fraisage, traitement de surface) ;
- l'exposition des canaux latéraux dans une poche parodontale.
- La carie dentaire, par sa composante bactérienne, constitue la cause la plus fréquente de pulpite.

Le manque de corrélation entre la clinique et l'examen anatomopathologique a fait renoncer aux classifications complexes tentant de lier ces deux aspects. Lorsque la carie attaque la dentine, une réaction inflammatoire débute au niveau pulpaire. Des réactions de défense tentent d'empêcher la pénétration des irritants bactériens : la sclérose dentinaire et le dépôt de dentine réactionnelle.

Au fur et à mesure de la progression de la carie, des poussées aiguës se manifestent. Des micro-abcès peuvent se constituer localement.

Lorsque les défenses pulpaires ne peuvent plus juguler l'agression, la nécrose s'étend jusqu'à impliquer la totalité du tissu pulpaire. ^[24]

2.2.2.2. Classification clinique et histopathologique des pulpopathies

Il faut savoir que les foyers inflammatoires au niveau de la pulpe peuvent être tout à fait localisés. Une corne pulpaire peut présenter un micro-abcès, tandis que la pulpe d'une autre corne pulpaire est parfaitement normale.

La pulpe peut dans ses différentes parties être atteinte à des stades inflammatoires différents. (Figure 21)

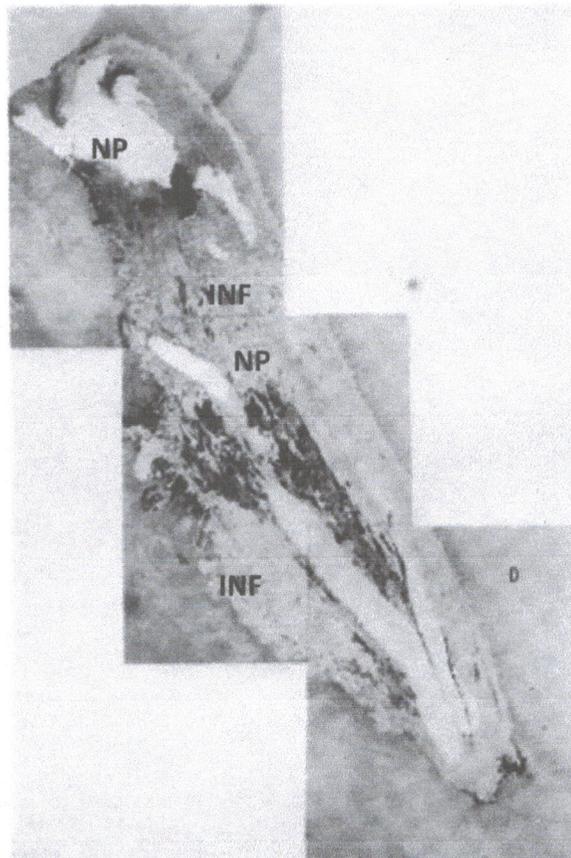


Fig. 21 Coexistence de plusieurs stades d'inflammation dans une même pulpe.
 INF : tissu inflammatoire. NP : abcès, nécrose de liquéfaction de la pulpe.
 Présence de calcifications intra pulpaire. (D'après Seltzer, Bender et Ziontz).^[24]

En particulier la pulpe radulaire est pratiquement toujours en meilleur état que la pulpe camérale, la carie, lésion coronaire réagit d'abord sur la pulpe coronaire et l'atteinte radulaire n'est que secondaire.

L'opinion selon laquelle une augmentation de la pression intra pulpaire cause une compression complète des vaisseaux au niveau du défilé étroit de l'apex radicaire (théorie de la strangulation) n'est plus acceptée aujourd'hui. Il est acquis que des régions enflammées et saines peuvent cohabiter au sein d'une même pulpe.

Selon l'OMS: étant donné qu'il est absolument impossible de déceler l'état pathologique de la pulpe lésée avec les seuls moyens cliniques, et que les classifications patho-histologiques usuelles des pulpopathies doivent être relégués au laboratoire d'histologie.

Les auteurs qui ont étudié les aspects histopathologiques des lésions pulpaires en ont fait des classifications séduisantes, elles sont rigoureuses, ce sont malheureusement des comptes rendus d'autopsies.

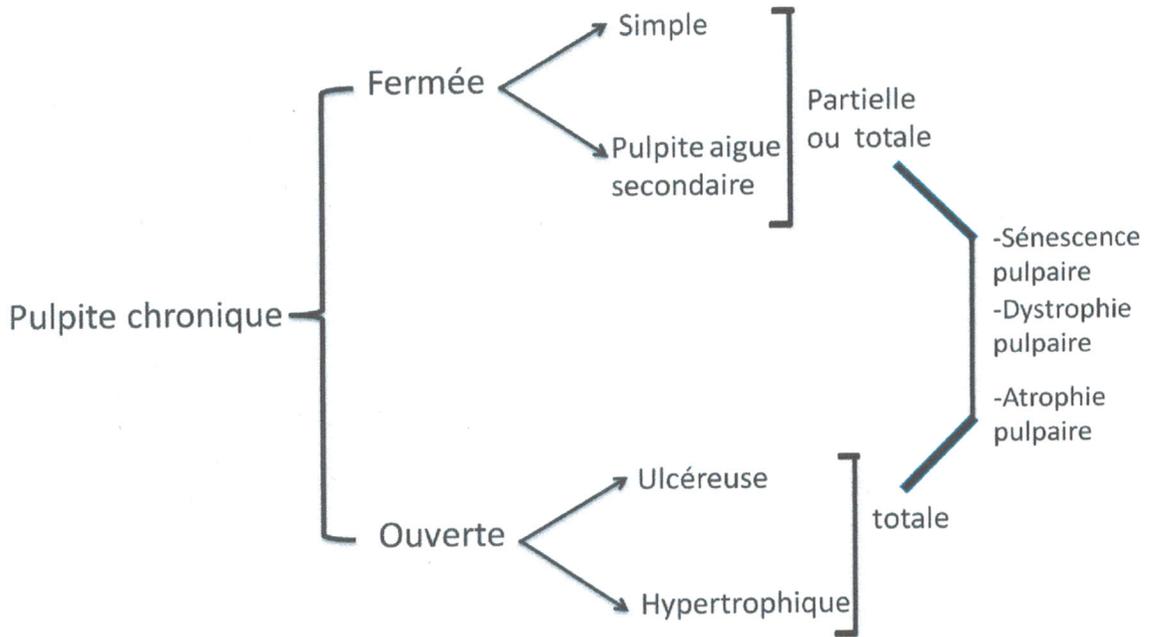
➤ CLASSIFICATION DE KRIVINE (1939) : ^[26]

- Pulpe saine non enflammée :
 - a. Altération odontoblastique simple.
 - b. Exposition de la pulpe.
 - c. Hyperhémie pulpaire.
- Pulpites.
 - a. Avec altération purement vasculaire et la pulpe est vivante : pulpites aiguës simples ou séreuses (superficielles, partielles, ou totales).
 - b. Avec altération vasculaire et parenchymateuse, la pulpe est partiellement mortifiée :
 - Pulpites aiguës : purulentes ou nécrosantes.
 - Pulpites chroniques : nécrosantes, hypertrophiques, atrophiques ou dystrophiques.
- Nécrose pulpaire totale.
 - Aseptique : nécrobiose.
 - Septique : gangrène.

➤ CLASSIFICATION DE HESS (1968) :

- Etats pulpaires sains :

- a. Pulpe saine jeune.
- b. Pulpe saine vieille.
- Etats pulpaire pathologiques :
 - A. Pulpes vivantes :
 - a. Pulpite aigue primaire.
 - b. Pulpite chronique :



- c. Granulome interne.
- d. Métaplasie.
- B. Nécroses pulpaire totales.

➤ CLASSIFICATION DE BENDER ET SEILTZER :

Cette classification offre aux dents qui ont un état pathologique pulpaire deux catégories de traitements.

1. Catégorie A : s'adresse aux dents dont on tentera de conserver toute ou une partie de la pulpe.

2. Catégorie B : s'adresse aux dents dans lesquelles on enlèvera toute la pulpe, ou à celles dont on désinfectera les canaux avant d'obturer.

➤ CLASSIFICATION DE BAUME ^[2]

Des 1962, Baume et Fiore-Donno ont proposé une classification en 4 catégories, MARMASSE y adjoindra quelques modifications qu'il a jugées nécessaires. (Tableau 2)

C'est une classification clinique simple, basée sur l'observation des seuls symptômes dans le cadre de l'examen clinique, elle fournit des indications précises sur le traitement à appliquer.

Elle comprend :

(1) la pulpe normale, (2) la pulpite réversible, (3) la pulpite irréversible, et (4) la nécrose pulpaire.

Cette classification est basée uniquement sur la présence ou non de douleurs et non pas sur le type de cellules inflammatoires retrouvées au niveau anatomopathologique.

3. La pulpite réversible

C'est par définition une inflammation pulpaire peu sévère. L'élimination de l'irritant permet la disparition de l'inflammation et le retour à une pulpe saine. La pulpite réversible est généralement asymptomatique. Cependant des signes spécifiques peuvent se manifester. L'application de stimuli comme de l'air ou un liquide froid ou chaud peut produire une douleur aiguë et transitoire. L'arrêt de l'application du stimulus entraîne la disparition immédiate de la douleur. Au niveau d'une pulpe normale, la chaleur provoque une réponse initiale tardive ; l'intensité de la douleur dépend de la température. La réponse au froid est par contre immédiate ; l'intensité diminue si le stimulus est maintenu.

4. La pulpite irréversible

C'est une inflammation sévère qui ne régresse pas si la cause initiale est supprimée.

La pulpe évolue plus ou moins rapidement vers la nécrose. La pulpite irréversible n'entraîne pas nécessairement de symptomatologie et peut évoluer à bas bruit vers la nécrose.

Il est probable que la pulpe a présenté initialement une inflammation réversible, qui s'est transformée en pulpite irréversible et finalement en une nécrose.

Tableau 2 : Classification symptomatologique des pulpopathies à visée thérapeutique (d'après Baume et Fiore-Donno, 1962) modifiés par Marmasse.

<p>CATEGORIE I : PULPES VIVANTES SANS SYMPTOMATOLOGIE, LÉSEES ACCIDENTELLEMENT OU PROCHES D'UNE CARIE PROFONDE SUSCEPTIBLES D'ÊTRE PROTÉGÉES PAR COIFFAGE.</p>
<p>CATEGORIE II : PULPES VIVANTES AVEC SYMPTOMATOLOGIE DONT ON TENTERA SURTOUT CHEZ LES JEUNES DE CONSERVER LA VITALITÉ PULPAIRE PAR COIFFAGE OU BIO-PULPOTOMIE.</p>
<p>CATEGORIE III : PULPES VIVANTES DONT LA BIOPULPECTOMIE ET L'OBTURATION CANALAIRE IMMÉDIATE SONT INDICQUÉES POUR DES RAISONS SYMPTOMATOLOGIQUES, PROTHÉTIQUES OU IATROGENES.</p>
<p>CATEGORIE IV : PULPES NÉCROSÉES AVEC INFECTION DE LA DENTINE RADICULAIRE AVEC OU SANS COMPLICATIONS PÉRIAPICALE EXIGEANT UN TRAITEMENT ANTISEPTIQUE.</p>
<p>CATEGORIE IV Bis AJOUTÉE PAR MARMASSE : PULPES NÉCROSÉES AVEC INFECTION DE LA DENTINE RADICULAIRE AVEC OU SANS COMPLICATIONS PÉRIAPICALES SUR DENTS IMMATURES NECESSITANT, UN TRAITEMENT ANTISEPTIQUE ET OBTURATION PROVISOIRE DES CANAUX AVEC UNE PÂTE RESORBABLE.</p>

2.2.2.3. Nécrose Pulpaire

2.2.2.3.1. Définition :

La lésion pulpaire débute insidieusement et progresse lentement selon le mode de l'inflammation chronique, éventuellement ponctuée par des poussées

aigües. Les lésions carieuses peuvent progresser pendant des années avant d'entraîner la nécrose de la pulpe. La nécrose, stade ultime de l'inflammation, résulte le plus souvent d'une agression continue de longue durée (Piette Et Goldberg, 2001). [2]

D'après le lexique des termes de pathologie dentaire de J. Courtois (1998), la nécrose est la mortification totale de la pulpe dentaire (Olivé, 1985).

Actuellement, on considère qu'une nécrose pulpaire apparaît, comme dans tous les autres tissus, lorsque le système de défense est incapable d'éliminer le facteur irritant. Si les bactéries parviennent en grand nombre dans la pulpe, la vascularisation limitée ne peut plus apporter un nombre suffisant de polynucléaires neutrophiles (Piette et Goldberg, 2001).

2.2.2.3.2. Terminologie [27]

- Nécrose : il s'agit d'une mortification d'un tissu s'accompagnant de sa destruction, pulpaire entre autres. Elle peut être partielle ou totale selon qu'elle intéresse le tout ou une partie du tissu.
- Nécrobiose de la pulpe : nécrose totale stérile, aseptique d'origine ischémique et ou toxique.
- Gangrène pulpaire : (***nécrose totale septique***)

Elle peut être ***primaire*** si l'infection est à l'origine d'une inflammation du tissu dont l'aboutissement inéluctable est la nécrose, obligatoirement septique d'emblée.

Secondaire, elle résulte de l'inoculation septique d'une nécrobiose, par anachorèse. La nécrose, d'abord stérile, s'infecte secondairement.

- ***Anachorèse*** :

Du grec ancien « anachôresis » ; action d'aller en arrière, d'où de se retirer (du monde, pour un ermite) et de trouver refuge, c'est le cas ici lors d'une bactériémie, des germes passent devant l'orifice canalair et

« trouvent refuge » dans le tissu pulpaire déjà nécrosé, où ils vont se développer.

-La gangrène est dite **ouverte** quand il existe, après trépanation spontanée, une communication entre la cavité pulpaire et le milieu buccal (salive et flore buccale).

-Dans le cas contraire elle est **fermée**.

Il existe une forme intermédiaire, **indirectement ouverte** ; de la dentine cariée, décalcifiée, ferme l'orifice de trépanation de la cavité pulpaire, mais laisse passer l'humidité salivaire ; elle est assimilable biologiquement à une gangrène ouverte, mais cliniquement à une forme fermée, par entrave de drainage.

La gangrène est **humide** si elle est ouverte même indirectement, à cause de la salive, et/ou si elle résulte d'une nécrose de liquéfaction, qu'elle soit ouverte ou fermée.

Elle est **sèche** dans la nécrose de coagulation, toujours fermée.

2.2.2.3.3. Mécanisme ^[1]

En fonction des différentes étiologies, la nécrose pulpaire peut présenter deux aspects histologiques :

Une nécrose septique par liquéfaction ou une nécrose par coagulation.

Dans le cas de la nécrose par liquéfaction, la cavité pulpaire est remplie d'un liquide purulent dans lequel on ne distingue plus que quelques cadavres cellulaires et de rares fibres de collagène. La nécrose liquéfiant est la forme la plus commune de nécrose pulpaire et est généralement due à la présence de micro-organismes pyogènes et de leurs enzymes intracellulaires. L'ouverture de la chambre pulpaire lors du traitement endodontique donne lieu à un écoulement de pus et au dégagement d'une odeur fétide caractéristique.

Dans le cas de nécrose par coagulation, le tissu pulpaire est momifié en une masse de tissu fibreux blanchâtre. C'est l'arrêt des apports sanguins qui provoque une ischémie pulpaire (manque d'oxygène et manque de nutriments). Des cellules conjonctives pulpaires, aux cytoplasmes opacifiés, sont encore reconnaissables mais on ne distingue plus aucun organite cellulaire (Kaqueler and Le May, 1998).

La nécrose par coagulation permet une colonisation aisée et une multiplication des agents bactériens qui survivent facilement dans ce milieu. Il y a production d'enzymes protéolytiques par la flore bactérienne pouvant liquéfier secondairement la pulpe nécrosée par coagulation (Tronstad, 2009).

Pour bien comprendre les mécanismes biochimiques qui se produisent dans la dent atteinte de mortification, il faut considérer les deux éléments principaux qui sont en présence : le parenchyme pulpaire et les micro-organismes. Ce sont les micro-organismes et leurs enzymes qui vont produire une dégradation du parenchyme pulpaire. Le parenchyme pulpaire étant constitué fondamentalement de glucides, protides et lipides, ce sont ces trois mêmes éléments organiques qui vont être dégradés, suivant des réactions biochimiques classiques : la glycolyse et la protéolyse. Il est à noter qu'il n'y a pas à proprement parlé de lipolyse (Olivé, 1985).

Quelque soit la nature du milieu pulpaire, la dégradation des glucides par les micro-organismes bactériens aboutit à la production d'éléments acides : acide lactique, acide acétique, alcool, CO₂ et H₂O (Olivé, 1985). La dégradation des protides aboutit à la formation de produits déchets qui sont acides (acides aminés, hydrogène sulfuré, SH₂, CO₂) ou basiques (amines basiques volatils, ammoniac) (Olivé, 1985).

Si la cavité pulpaire est ouverte, il y a évacuation de ces produits alcalins. Le pH canalair est donc acide. Il varie entre 6,6 et 6,8 (Olivé, 1985).

La nécrose pulpaire a comme cause principale le processus carieux. Lorsque le tissu pulpaire est nécrosé, les bactéries, provenant de la cavité buccale et de la plaque dentaire, peuvent librement envahir le canal radiculaire ainsi que les canaux pulpaires latéraux.

2.2.2.3.4 Bactériologie des gangrènes pulpaires ^[27]

La bactériologie endodontique a fait l'objet, entre autres, d'une publication synthétique de Demars en 1977, très détaillée dans la recherche bibliographique : il convient de s'y référer.

La flore des gangrènes pulpaires n'est pas spécifique.

La flore des *gangrènes ouvertes* est sensiblement la même que la flore buccale puisque la cavité pulpaire est ouverte sur le milieu buccal et baigne dans la salive.

Selon SUNDQVIST, la flore buccale ne comprend que les aérobies, anaérobies facultatifs et des anaérobies.

Les germes aérobies et anaérobies facultatives sont principalement des streptocoques et des entérocoques.

Les gangrènes fermées sont des milieux métaboliques quant isolés ; il n'y a plus de circulation pulpaire, le substrat est peu renouvelé par la circulation sanguine desmodontale, au niveau des orifices apicaux ou latéro radiculaires ainsi le milieu a tendance à s'appauvrir progressivement et le métabolisme énergétique diminue considérablement. Les germes anaérobies Gram négatives dominent généralement. Ceci explique le fort pourcentage de cultures négatives dans les gangrènes fermées par rapport à celui des gangrènes ouvertes.

2.2.2.4. La Colonisation du système canalaire ^[1]

Tant que la nécrose pulpaire n'est pas acquise, la pénétration bactérienne dans l'endodonte ne peut pas avoir lieu. Une fois l'endodonte dépourvu de vie, les bactéries provenant successivement de la cavité buccale et des tubulis dentinaires coronaires peuvent coloniser le système canalaire dans ses moindres ramifications (Shovelton, 1964).

Parallèlement, il se produit une sélection bactérienne avec élaboration et maturation d'un biofilm bactérien endodontique.

Les bactéries peuvent alors se propager librement dans l'endodonte grâce à leurs capacités d'adhésion aux parois dentinaires intraradiculaires.

Ainsi, elles se trouvent à l'abri des défenses immunitaires de l'hôte (Piette and Goldberg, 2001).

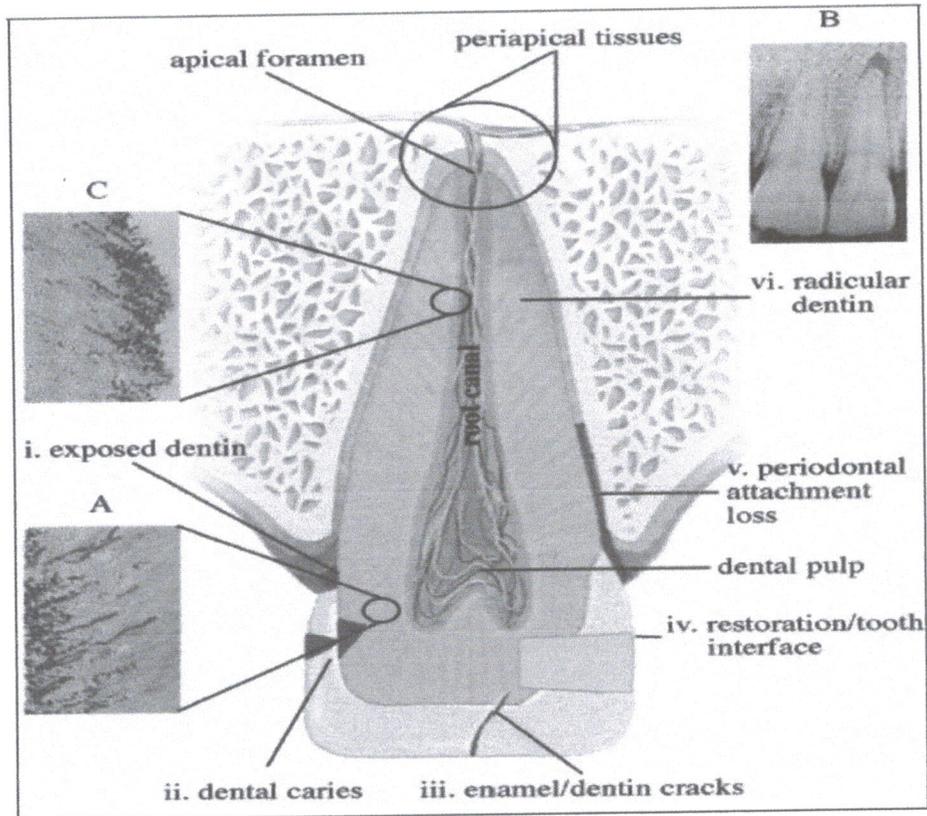


Fig. 22 Les sites de l'invasion bactérienne de la dentine. Les bactéries envahissent de la cavité buccale (i, ii, iii, iv, v) s'étendent vers l'espace de la pulpe dentaire (A) et peuvent entraîner une réaction inflammatoire et une infection pulpaire et des tissus péri apicaux. (B) Radiographie périapicale démontre la parodontite périapicale chronique d'une incisive centrale supérieure gauche à la suite de l'infection du canal radiculaire suite à une fissure de l'émail et la dentine. Les bactéries envahissent la dentine radriculaire (v) à partir d'un canal radiculaire infecté ensuite elles s'étendent vers la surface extérieure de racine (C) et peut être responsable de l'infection persistante du canal radiculaire et les maladies inflammatoires des tissus environnants. (Reproduit avec la permission et modifié de love, 1997.) ^[28]

Les études qui ont enquêté sur les motifs de la colonisation microbienne au sein du système canalaire a révélé que l'organisation microbienne ressemble à une communauté dans laquelle les bactéries existent dans l'harmonie et l'équilibre avec leur environnement (figure23) ^[3]

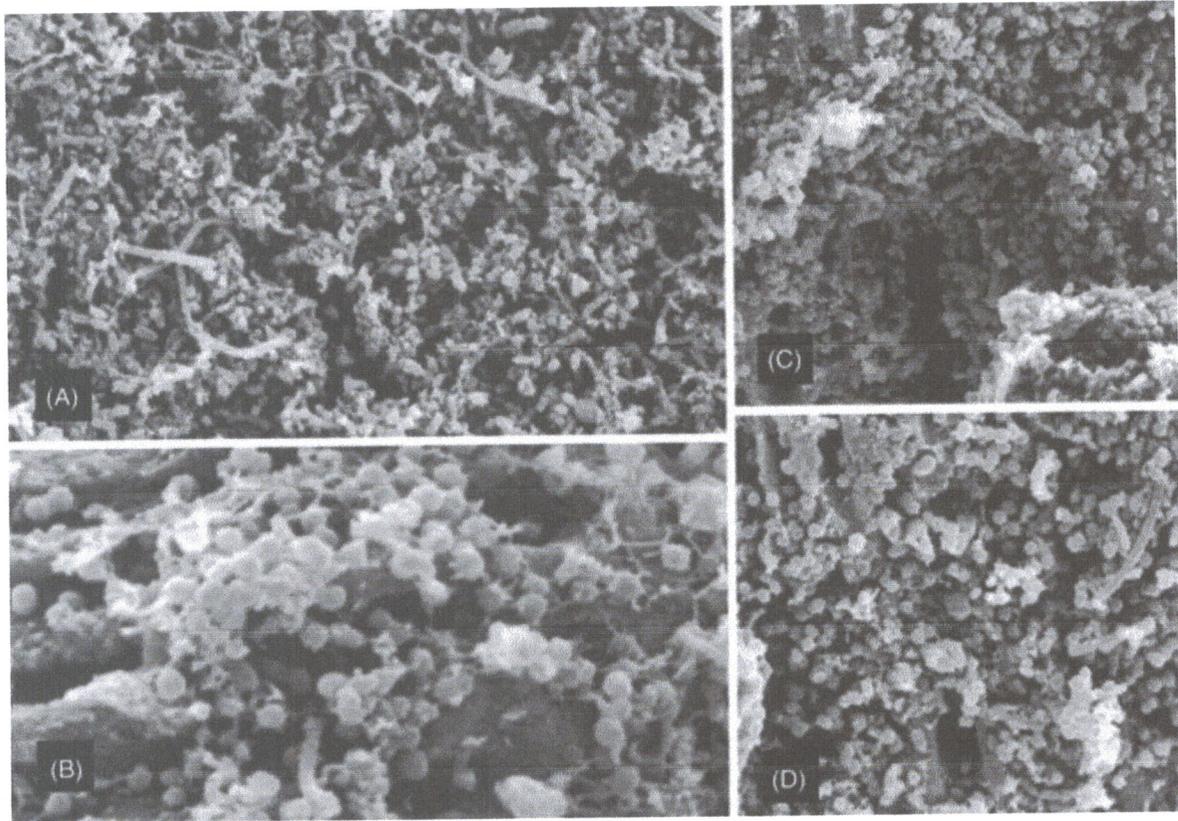


Fig. 23 Vues au microscope électronique à balayage montrant l'organisation bactérienne à l'intérieur d'un canal infecté. (A) MEB 3300 communauté bactérienne mixte composée de différents morphotypes.(B) MEB 4000 colonies bactérienne composées principalement par les cocci et les bacilles, certaines d'entre elles envahissent les tubulis dentinaire.(C et D)MEB 1700 et 1800 communautés bactériennes mixtes prédominées par les formes cocci, fortement adhérentes aux parois dentinaires au n/v de la partie apical du canal. ^[3]

2.2.2.4.1. Les bactéries pénétrant l'endodonte ^[1]

La flore bactérienne envahissant les tubulis dentinaires radiculaires présente de nombreuses similitudes avec la flore mise en évidence dans la couche profonde de la carie dentinaire coronaire. Il s'agit essentiellement de bactéries anaérobies facultatives (Sundqvist and Figdor, 2003).

Lactobacillus, Streptococcus et Propionibacterium sont les composants principaux de cette flore. Les cocci à Gram + anaérobies tels que Veillonella ou Eubacterium sont présents en nombre plus faible.

Fusobacterium nucleatum, Porphyromonas gingivalis et Prevotella intermedia sont des bactéries anaérobies strictes à Gram $\bar{+}$ présentent en nombre variable (Ando and Hoshino, 1990 ; Edwardsson, 1974 ; Hoshino, 1985 ; Peters and al. 2001).

2.2.2.4.2. L'adhérence aux parois dentinaires intracanales

La contamination du système canalair endodontique se déroule de la même manière que la contamination des tubulis dentinaires coronaires. Elle fait intervenir le mécanisme de division cellulaire (Siquiera and al. 1996).

De plus, les bactéries présentent un pouvoir d'adhésion aux parois dentinaires radicaires. Les bactéries capables d'envahir les tubulis dentinaires coronaires gardent cette capacité dans des conditions environnementales différentes et envahissent les tubulis dentinaires radicaires (Fouad, 2009). Les bactéries présentes dans les caries profondes se servent des glycoprotéines salivaires recouvrant l'hydroxyapatite du tissu dentinaire à l'entrée du canal pour y pénétrer et s'y ancrer. Ainsi, *Streptococcus*, bactérie anaérobie facultative et colonisateur primaire du système canalair, se lie à l'hydroxyapatite, composant la dentine radicaire, par l'intermédiaire des protéines salivaires (Love and Jenkinson, 2002).

La croissance et le métabolisme des bactéries cariogènes sont à l'origine d'une déminéralisation localisée de la dentine intracanales par le biais des acides bactériens. Par le même mécanisme que celui présenté dans la colonisation des tubulis dentinaires coronaires, les bactéries sont capables de reconnaître le collagène I dentinaire dénaturé et de s'y fixer par l'intermédiaire d'adhésines spécifiques telles que les Ag I/II pour *Streptococcus* (Love and Jenkinson, 2002). La majorité des bactéries appartenant à la flore orale présentent cette capacité de reconnaissance et d'adhérence dentinaire. Ce mécanisme d'adhérence dentinaire ne suffit pas à toutes les bactéries pour envahir le système endodontique. Il faut également que les bactéries soient capables de survivre dans les conditions environnementales particulières du système canalair et des tubulis dentinaires (milieu humide à faible teneur en oxygène) (Fouad, 2009).

Le nombre de bactéries envahissant les tubulis dentinaires est proportionnel au nombre de bactéries présentes dans le système endodontique et à la taille de l'infection périapicale primaire. La pénétration bactérienne dans les tubulis dentinaires le long du canal endodontique principal est mise en évidence dans

81% des cas. La quantité de bactéries varie entre 10^4 et 2×10^4 . Dans la portion cémentaire des tubulis dentaires radiculaires (ou portion externe), les bactéries ne sont présentes que dans 62% des cas. On en dénombre alors entre 5×10^3 et 10^4 (Peters and al, 2001)

Cependant, toutes les bactéries n'ont pas la capacité de coloniser l'endodonte. Certaines bactéries ne peuvent pas pénétrer dans les tubulis dentinaires. Ainsi, un tubuli dentinaire d'un petit diamètre peut rester exempt de micro-organismes. Dans la majorité des cas, les micro-organismes colonisateurs primaires ont un diamètre inférieur ou égal à 1μ . Leur taille leur permet donc de pénétrer les tubulis dentinaires (Bergen holtz and al, 2003).

2.2.2.4.3. L'invasion bactérienne endodontique ^[1]

La reconnaissance du collagène de type I induit l'adhérence bactérienne, l'invasion des tubulis dentinaires et les modifications morphologiques des micro-organismes aboutissant à la formation de chaînes de bactéries (Love and al, 1997).

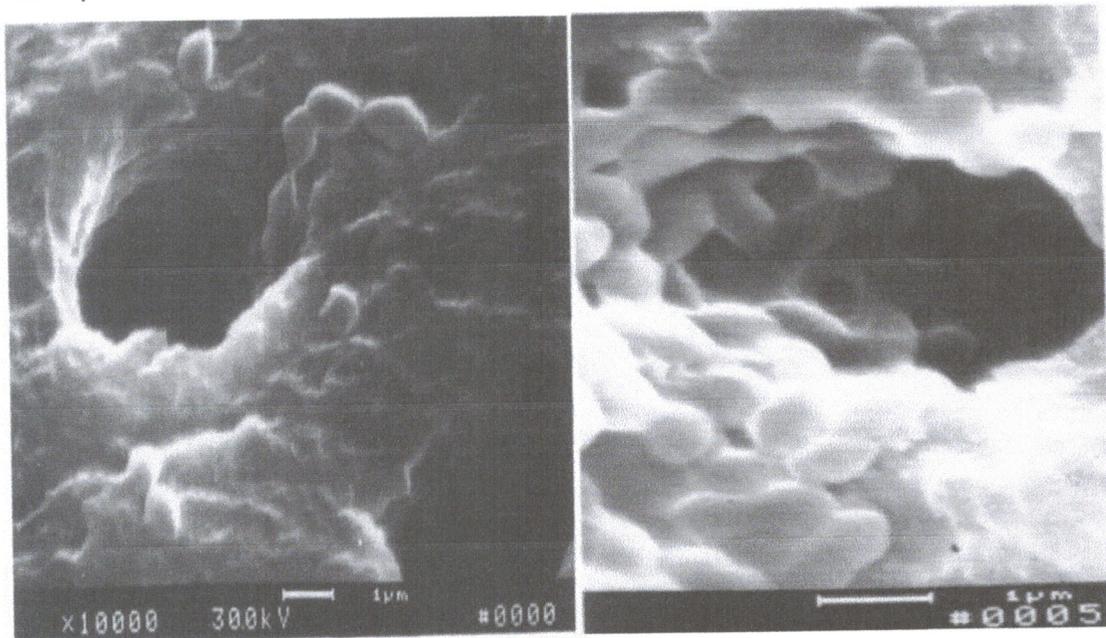


Fig. 24 : les micro-organismes pénètrent les tubulis dentinaires sous forme de chaînes (Drake and al, 1994). ^[1]

Ce n'est que fixées aux parois dentinaires canalaire que les bactéries se propagent en direction de l'apex et subissent une phase de sélection, dictée par les conditions environnementales endocanalaire (Fouad, 2009).

Une fois que les bactéries ont adhéré aux parois canales endodontiques, Elles coagrèguent entre elles, utilisent les nutriments canaux, entrent en compétition, coopèrent avec d'autres espèces de leur environnement immédiat, luttent contre les défenses de l'hôte, se multiplient et forment des microcolonies bactériennes.

Ainsi, les bactéries s'organisent en plusieurs couches recouvrant la dentine radiculaire (Fouad, 2009).

2.2.2.5. Pathologie endodontique et l'état de surface Canalaire

2.2.2.5.1. Réaction du complexe pulpo dentinaire ^[2]

Toute irritation de l'organe pulpodentinaire entraîne inévitablement une réponse pulpaire dont l'évolution ultérieure dépend non seulement de l'intensité et de la durée de la réaction mais également de l'état préalable de la pulpe.

Nous envisagerons d'abord les mécanismes de défense, à savoir les mécanismes dentinaires et pulpaires, visant à empêcher la progression des agents agresseurs vers la pulpe. Ensuite, nous envisagerons les Phénomènes inflammatoires induits au niveau de la pulpe elle-même.

➤ *Ligne de défense dentinaire*

- Sclérose dentinaire

La réponse habituelle à la carie est la sclérose dentinaire, elle est observée à la périphérie des lésions carieuses dans 95,4 % des dents examinées.

La présence d'une dentine sclérosée en amont d'une zone cariée protège la pulpe de la diffusion d'irritants bactériens.

Cette zone de sclérose apparaît transparente sur les coupes histologiques non décalcifiées et hyper minéralisée en microradiographie.

A ce niveau, les tubules Dentinaires sont obturés partiellement ou complètement par des sels phosphocalciques sous forme d'apatite et/ou de whitlockite. (figure 25)

Les études utilisant des colorants, des solvants et des ions radioactifs ont montré que la sclérose dentinaire a pour effet de diminuer la perméabilité de la dentine formant ainsi un bouclier vis-à-vis des agresseurs.

Certains considèrent que la sclérose est un phénomène actif qui ne se produit que si des prolongements cytoplasmiques d'odontoblastes vivants sont présents à l'intérieur des tubules.

D'autres considèrent qu'il s'agit d'une simple reprécipitation. En avant de la zone déminéralisée par les acides organiques bactériens, les ions calcium et phosphate se trouvent dans des conditions de pH et de concentration permettant leur précipitation spontanée.

Les deux phénomènes existent : le premier permet plutôt une fermeture centripète du type « dentine péritubulaire », l'autre une précipitation directe dans la lumière du canalicule.

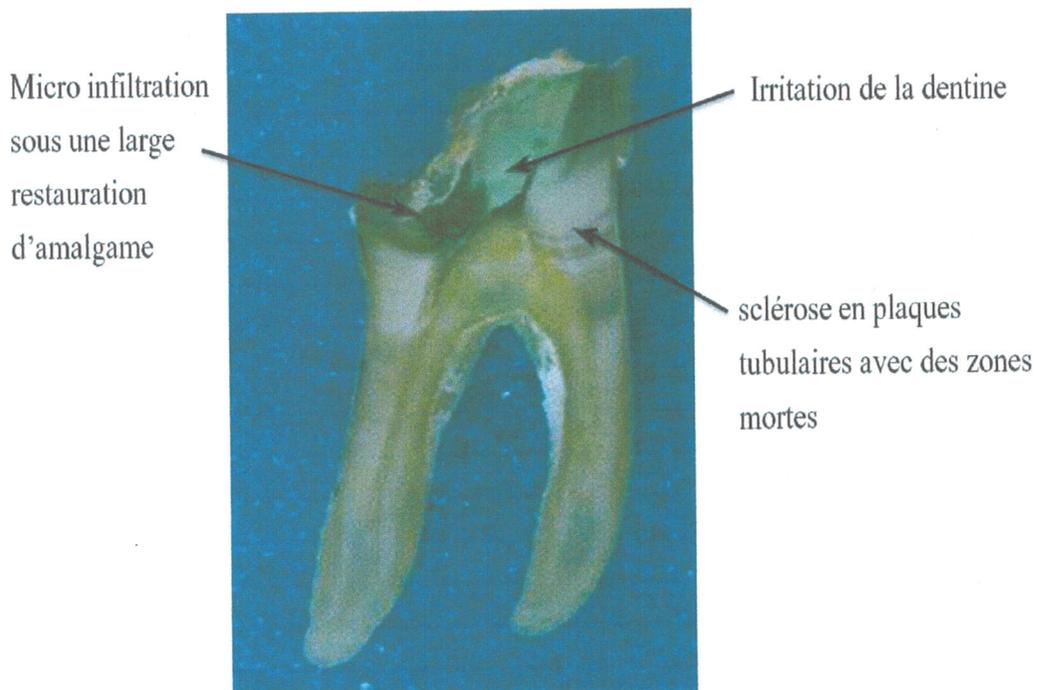


Fig. 25 Protection pulpaire par de la sclérose tubulaire, la formation zones mortes. [8]

- Dentine réactionnelle

La capacité de former de la dentine réparatrice en regard de la lésion carieuse, constitue un autre mécanisme limitant la diffusion des substances toxiques en direction de la pulpe. Elle diminue la perméabilité de la dentine, principalement en augmentant son épaisseur face au stimulus irritant.

C'est une réaction tardive (après quelques dizaines de jours) et lente (apposition de 3 µm par jour) qui de ce fait ne peut supprimer sur le champ la pénétration des irritants.

Cette pénétration ne semble pas totalement contenue puisqu'il n'est pas rare d'observer au microscope des appositions importantes de dentine réactionnelle indiquant que les stimuli ont persisté et ont pu traverser les couches nouvellement calcifiées.

La présence de dentine réparatrice a été observée dans 63,6 % des dents présentant des lésions carieuses. Ce processus est souvent associé à la Sclérose dentinaire. En général la quantité de dentine réparatrice formée est proportionnelle à la quantité de dentine primaire détruite.

- Zones mortes

La formation d'une zone morte (Dead Tract) dans la dentine est un autre type de lésion fréquemment observé en regard d'une carie. C'est une zone de dentine dans laquelle les tubules dentinaires sont dépourvus de prolongement odontoblastique. La majorité des auteurs considèrent qu'elle est le résultat de la mort précoce des odontoblastes. Les zones mortes sont plus fréquemment observées dans les dents jeunes affectées par des caries à progression rapide. Puisque les tubules dentinaires des zones mortes sont ouverts.

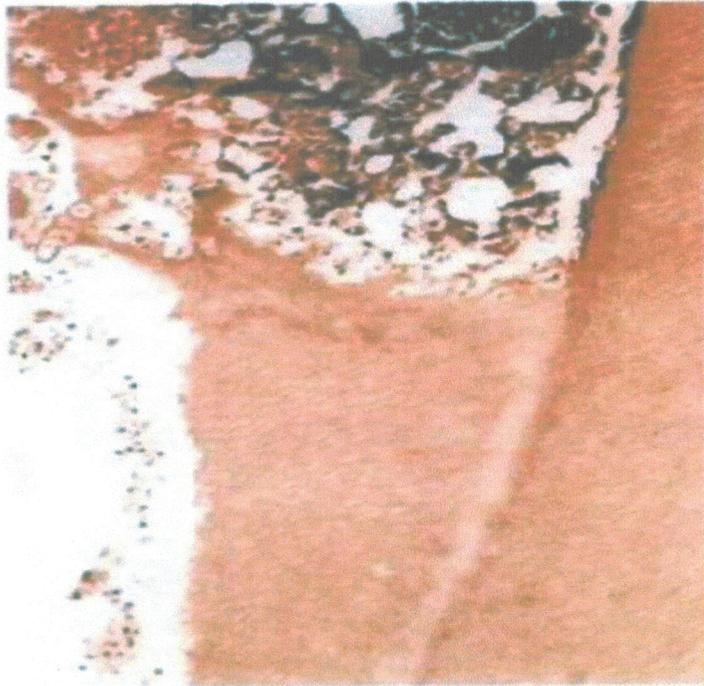


Fig. 26 La dentine normale est à droite : elle est aisément identifiable par sa structure tubulaire régulièrement agencée. Une sorte d'arc-boutant de dentine réactionnelle lui est accolée. Celle-ci contient moins de tubules, disposés plus irrégulièrement. La limite entre les deux est marquée par une ligne basophile, plus sombre. La formation de cette dentine réactionnelle n'a pu contenir l'invasion bactérienne provoquant la nécrose de la pulpe (H & E, x 100).^[2]

➤ *Ligne de défense pulpaire l'inflammation*

- Modifications morphologiques

La première manifestation morphologique d'une réaction pulpaire à la carie est observée au niveau de la couche odontoblastique située en regard de la lésion.

Avant même que des changements de type inflammatoire apparaissent au niveau pulpaire, il y a une réduction générale du nombre et de la taille des Corps cellulaires des odontoblastes.

Les odontoblastes sont normalement des cellules hautes et cylindriques, en regard d'une carie, ils apparaissent altérés et certains disparaissent par nécrose. La microscopie électronique de ces odontoblastes montre des signes de souffrance cellulaire sous forme de vacuolisation cytoplasmique, de dégénérescence des mitochondries et de réduction dans le nombre et la taille

des organites cellulaires, en particulier du réticulum endoplasmique. Ensuite, on constate qu'une ligne hyperchromatique se développe souvent le long de la marge pulpaire de la dentine (figure 26).

La formation de cette ligne est considérée comme la conséquence d'une perturbation des odontoblastes mais elle peut être interprétée comme une réponse calciotraumatique.

Pour d'autres, elle marque simplement l'endroit où la rangée d'odontoblastes Primaires a succombé en regard de la carie et a été ensuite remplacée par des nouvelles cellules (néo-odontoblastes) provenant du mésenchyme adjacent, richement cellulaire et élaborant la dentine réactionnelle.

Cette ligne hyperchromatique persiste de manière permanente, incluse dans la dentine.

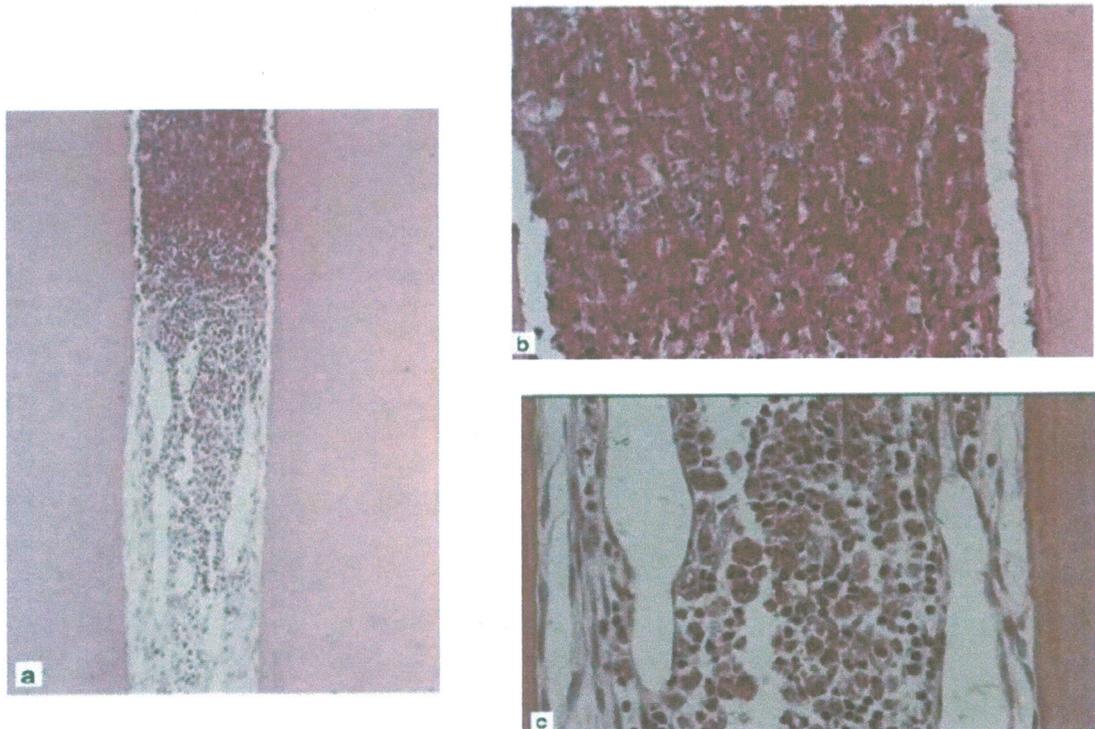


Fig.27 Pulpite chronique compliquée d'une poussée aiguë (a). La partie inférieure de la pulpe contient un exsudat inflammatoire chronique, constitué de lymphocytes, de polynucléaires et de macrophages ayant phagocyté des débris cellulaires et des granules d'hémossidérine (c). La partie supérieure est nécrotique (b), avec formation d'un exsudat aigu purulent, constitué de polynucléaires qui se désintègrent (H & E, a x 63, b et c : x 250).^[1]

2.2.2.5.2. Les caractéristiques de la surface canalair d'une dent infectée

Lorsque les dents ont des canaux radiculaires infectés, le modèle de l'invasion bactérienne et de nécrose pulpaire associée a été révélé par les enquêtes microscopiques (microscopie électronique à transmission (TEM) et de numérisation au microscope électronique à balayage (MEB) dans les études de Siquiera, Nair et Dougherty^[4,5,7]. Les bactéries semblent être concentrés dans la partie coronaire des canaux radiculaires et apparaissent en plus petit nombres comme si le foramen apical est atteint, en particulier dans les dents avec les chambres pulpaires fermés et des résidus du tissu pulpaire au niveau apicale (figure 29) ; En revanche, les canaux exposés à la carie sont uniformément recouvert d'une plaque bactérienne . Il peut y avoir une différence dans la proportion de morphotypes présents dans les parties coronaires et apicales des canaux radiculaires mais cela n'a pas encore été confirmé par des études culturelles et moléculaires.



Fig. 28 Vues (méthylène tache bleu) montrant une pulpe morte avec un front de colonisation bactérienne de la surface dentinaire et commence à pénétrer dans les tubulies dentinaires.^[22]

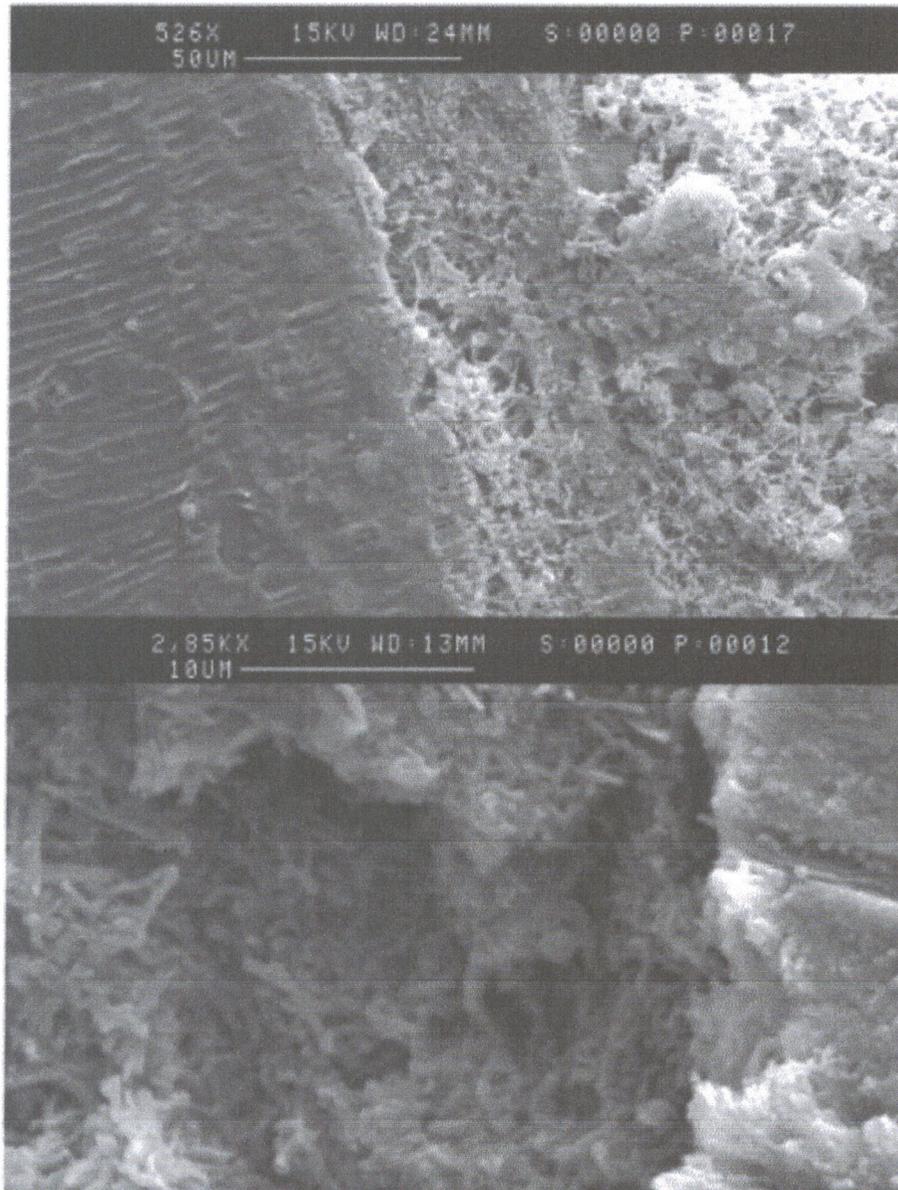


Fig. 29 Vues au MEB montrant un bio film bactérien sus-jacent de la surface canalaire à partir duquel les cellules bactériennes semblent pénétrer dans les tubulis dentinaires. ^[22]

L'observation TEM des dents cariées (Figure 29) suggère que la plupart de la flore dans les 5mm apicales de la surface canalaire est mis en suspension dans une lumière canalaire apparemment humide.

Moins fréquemment, des agrégats denses de cellules bactériennes morphologiquement uniformes noyées dans la matrice extracellulaire, sont

observés coller à la paroi dentinaire.

Parfois, il y a des grappes bactériennes multicouches condensées contenant différents morphotypes.

Les formes filamenteuses sont souvent perpendiculaires adhérente à la paroi du canal, avec des formes coccoïdes soit disposées dans des cordes dans le même sens ou adhérent à des filaments donnant un aspect épi de maïs.

C'était la première représentation réelle de biofilm dans les canaux radiculaires; encore sa pleine signification pour le traitement du canal radiculaire n'a pas été réalisée que plus tard.

Les bactéries dans le biofilm sont considérés comme plus difficiles à tuer que ceux qui poussent en suspension fluide planctoniques phénotypes.

La flore bactérienne envahissant les tubulis dentinaires radiculaires présente de nombreuses similitudes avec la flore mise en évidence dans la couche profonde de la carie dentinaire coronaire

Il s'agit essentiellement de bactéries anaérobies facultatives (Sundqvist and Figdor, 2003).

En pénétrant l'endodonte, les bactéries vont successivement pénétrer les canaux principaux, secondaires, accessoires mais aussi les tubulis dentinaires en passant par le canal principal.

Cependant, toutes les bactéries n'ont pas la capacité de coloniser l'endodonte. Certaines bactéries ne peuvent pas pénétrer dans les tubulis dentinaires.

Ainsi, un tubuli dentinaire d'un petit diamètre peut rester exempt de micro-organismes. Dans la majorité des cas, les micro-organismes colonisateurs primaires ont un diamètre inférieur ou égal à 1 μ . Leur taille leur permet donc de pénétrer les tubulis dentinaires (Bergenholtz and al. 2003). ^[1]

2.3. Le Traitement Canalaire

2.3.1. Définition

Le traitement endodontique est une procédure, qui s'applique de l'extrémité coronaire à l'extrémité apicale d'un réseau canalaire d'une dent ou racine et qui consiste après diagnostic étiologique, positif, et différentiel (ANDEM 1996) :

- à éliminer et à neutraliser toutes substances organique (résidus tissulaires, bactéries, produits de l'inflammation) contenues dans le réseau canalaire ;
- à élargir le canal principal ;
- à obturer le réseau canalaire.

C'est un traitement chimio mécanique et biologique du système canalaire des dents, afin d'éliminer les maladies pulpaire et périapicales. ^[14]

2.3.2. HISTORIQUE

2.3.2.1. Les pionniers

La simple notion de trépanation de la chambre pulpaire, dans la thérapeutique des odontalgies violentes, introduite par ARCHIGENES D'APAMEE cent ans avant Jésus-Christ, a été préconisée et reprise vers 1450 par GIOVANNI D'ARCOLE (HOFFMANAXTHELM).

Cependant, les traitements conservateurs demeurent longtemps inexistant du fait des possibilités de recherches réduites.

Ce n'est qu'à partir de 1678, en même temps qu'est inventé le microscope par VAN LEUWENHOECK, que les connaissances fondamentales s'accroissent et ainsi les thérapeutiques s'étoffent lentement.

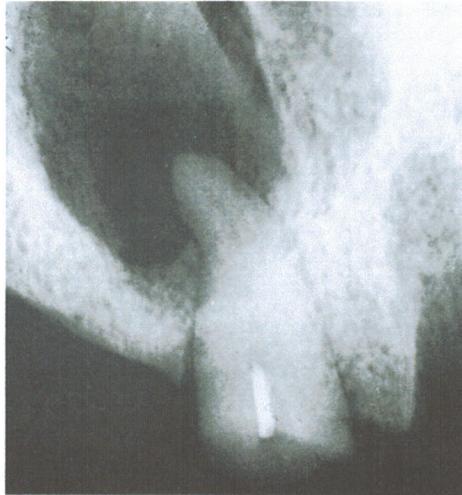


Fig. 30 La plus ancienne obturation canalaire. Radiographie d'une incisive maxillaire avec un fil en bronze implanté dans le canal sur les restes du squelette d'un guerrier Nabatique enterré dans le désert du Negef il y a plus de 2200 ans (J. Zias 1987) ^[10]

Une grande variété d'instruments va alors être créée à partir de ces bases Scientifiques, mettant la mécanisation du geste de nouveau à l'ordre du jour. On constate une certaine renaissance de l'odontologie orchestrée en premier lieu par Pierre FAUCHARD qui, dès 1740, construit une machine à manivelle entraînant la rotation d'un foret, pour permettre le drainage (DECHAUME). On constate que les notions de durée et de simplicité de l'acte opératoire sont déjà sérieusement prises en compte. ^[14]

C'est aussi avec Pierre FAUCHARD que l'aventure débute vraiment, étant le Premier à décrire le tire-nerf.

En 1757 le dentiste de Louis XV, BOURDET, extrait la dent causale, réalise l'obturation des canaux et remet la dent dans l'alvéole. Technique rappelant la Réimplantation pratiquée actuellement (BESSADE).

Il faudra cependant attendre la deuxième moitié du XIX siècle pour constater des avancées significatives dont les retombées modifieront radicalement l'exercice odontologique.

2.3.2.2. Vers une endodontie fondée sur les principes mécanique

La pulpectomie totale est déjà un acte codifié par W. HUNIER depuis 1862, Autorisée et facilitée par l'ancêtre de l'anesthésie locale, l'anhydride arsenical, introduit par SPOONER en 1836 et qui remplace heureusement le « fer rouge »

par lequel on cautérisait le nerf auriculo-temporal, afin de soulager les « rages de dent».

Le soulagement de la douleur étant le premier souci des praticiens pendant des Siècles, tout ou presque a été essayé en vue de la supprimer.

A cette époque, la notion de triade endodontique est alors envisagée :

- retirer le nerf
- nettoyer le canal
- obturer.

La nécessité d'obturer les canaux radiculaires est émise sans être admise par tous. La gutta fut introduite en 1848 par HILL (DECHAUME) (MARMASSE) et eut un grand succès à cette époque.

En 1864, SANDFORD CHRISTIE BARNUM est le premier à discuter de la digue et suscite alors l'émerveillement de ses confrères, En 1887, DODGE considère également que le « nettoyage biomécanique» et la « mise en forme» sont les préalables endodontiques.

Le progrès s'est produit aussi au niveau de l'usage des premières médications comme antiseptiques = la créosote par REICHEN BACH en 1830 et le phénol en 1834 (PRINZ et alL).^[14]

Il est cependant bon de rappeler que l'assainissement du milieu canalair s'opère par une action physique manuelle ou mécanique et que l'agent chimique utilisé conjointement agit comme un complément de dissolution organique ou minéral, d'antisepsie ou de lubrification.

Très vite, la mécanisation se voit appliquée à l'endodontie. Les limes et fraises Manuelles de GATES, déjà répandues en 1866, deviendront les célèbres forets en 1875.

Le profil de ces instruments, suivant les données technologiques et la connaissance de l'anatomie canalair considérablement affinée grâce aux études de CARABELLI (1844), MUHLREITER (1891), PREISWERG (1901), FISHER et HESS (1917) EICHELBERGER), subira une grande amélioration nécessaire et bienvenue, permettant, par la même, non seulement de retirer le nerf mais aussi de réaliser la mise en forme canalair indispensable à la réussite d'un traitement endodontique.

En ce début de XX siècle, l'essentiel de la panoplie instrumentale endodontique manuelle existe et son usage se généralise, eu égard à leur efficacité.

La version mécanisée n'apparaîtra que bien plus tard, conjointement à celle des Contre-angles.

2.3.2.3. De 1900 à 1930 Le statu quo

L'évolution du matériel et des techniques sera considérablement freiné par la crise de l'infection focale, au lendemain de laquelle, après vingt années d'obscurantisme, l'endodontie connaîtra un essor exceptionnel.

L'endodontie vit encore sous la tutelle de la pharmacologie mais le spectre de l'infection focale disparaissant, l'endodontie se change peu à peu, vers 1930, en endodontie chirurgicale.

2.3.2.4. A partir de 1930 l'âge d'or

L'endodontie chirurgicale tend à éliminer les tissus pulpo-parodontaux grâce à un « alésage » important permettant ensuite d'assurer l'étanchéité de l'obturation.

C'est sous l'impulsion d'André MARMASSE qu'est soulignée, en 1931, la nécessité absolue d'obturer, de terminer les traitements conservateurs des dents par l'obturation des canaux réalisant la suppression systématique des foyers infectieux peu importants et asymptomatiques, sanctionnés jusque-là par l'extraction de la dent causale (MARMASSE).

Edgar D. COOLIDGE sera le premier, avant 1939, à associer la préparation à la Désinfection canalaire suivant la célèbre formule « cleaning and shaping ».

Dans le domaine de l'obturation canalaire, une énorme avancée est opérée en 1928 par le Dr Henri LENTULO qui met au point le bourre pâte, comblant ainsi un désert instrumental dans ce domaine où il n'existait alors que les fouloirs verticaux à gutta-percha utilisés déjà par COOLIDGE en 1920 (WARD).

Dans la dernière décennie, l'apport de nouvelles technologies intéressant l'ensemble des étapes du traitement canalaire radiculaire a complètement révolutionné la pratique clinique de l'endodontie. Radiographie numérique, localisateurs d'apex, aides visuelles, générateurs et inserts ultrasonores dédiés, instrumentation rotative en nickel-titane, dispositifs d'obturation 3D

font désormais partie de l'arsenal thérapeutique du praticien et ont transformé une tâche complexe , fastidieuse et peu prévisible en une procédure simple , gratifiante et fiable . parmi elles , l'introduction du nickel-titane en remplacement de l'acier inoxydable pour la fabrication des instruments endodontiques et , sans conteste , l'avancée la plus marquante que n'ait jamais connue la discipline et son principal mérite est de rendre accessible à tous l'obtention de résultats prévisibles et de qualité .^[9]

2.3.3. Objectifs du traitement canalaire

L'objectif du traitement endodontique est de rendre la dent affectée, biologiquement acceptable, c'est à dire indemne de tout symptôme, fonctionnelle et sans pathologie décelable.^[10]

Il est clairement démontré depuis plusieurs années que la pathologie pulpaire, susceptible d'induire une pathologie périapicale, a pour origine les bactéries intracanales ainsi que leurs toxines (Kakehashi et coll., 1965).

L'objectif du traitement endodontique est de prévenir ou d'éliminer l'infection, par l'éradication des bactéries et de leurs toxines du système canalaire, ainsi que de tous les débris susceptibles de servir de support et de nutriments à la prolifération bactérienne^[9].

L'objectif biologique du traitement endodontique est l'élimination de la totalité du contenu organique du réseau canalaire (pulpe vivante ou nécrosée, germes et produits de dégradation) dans un environnement aseptique.

La réalisation de cet objectif passe par l'utilisation combinée de l'action mécanique de l'instrument endodontique et de l'action chimique de la solution d'irrigation (l'hypochlorite de sodium), renouvelée tout au long du traitement. La cavité endodontique est ensuite neutralisée par une obturation hermétique et étanche avec un matériau biocompatible.^[11]

2.3.4. Procédure du traitement canalaire

2.3.4.1. Le champ opératoire

L'acte endodontique est un acte chirurgical avec toutes ses contraintes. Une chaîne d'asepsie-antisepsie est indispensable en pré et per-opératoire.

Le champ opératoire est une condition indiscutable ; toute intervention sans cette protection élémentaire est une situation d'échec potentiel.

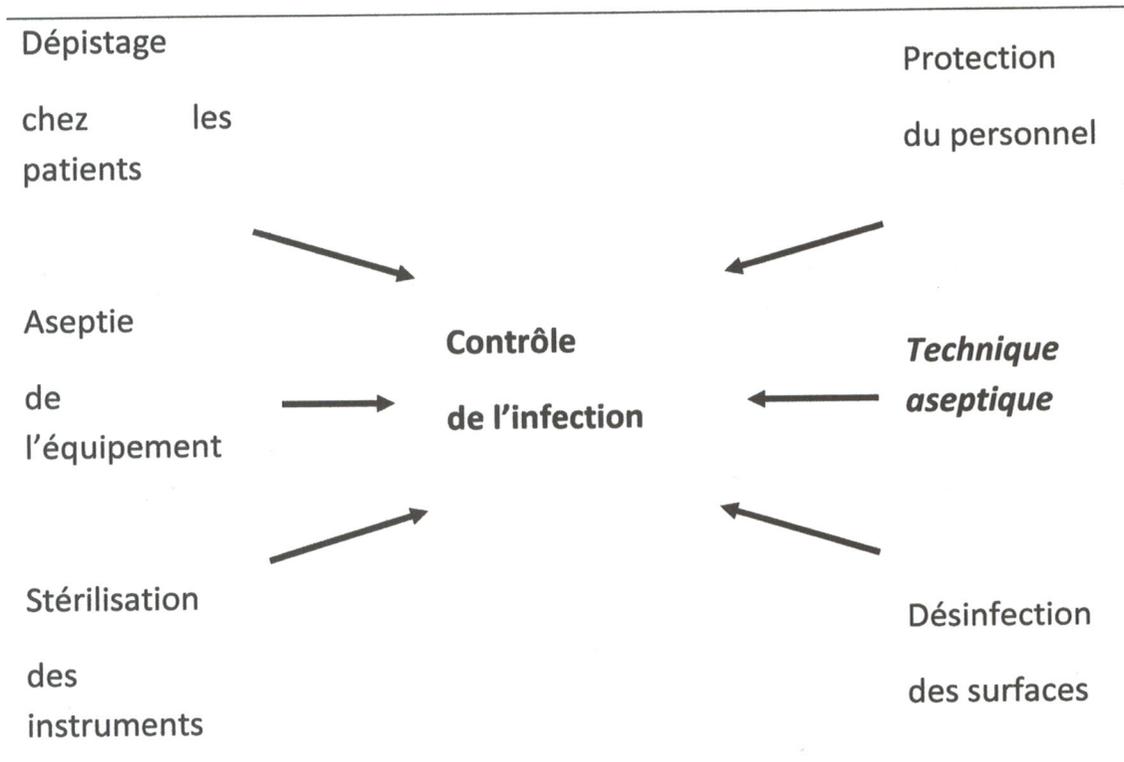


Fig. 31 Aspects majeurs du contrôle de l'infection en Odontologie

La digue est le seul moyen d'obtenir un champ opératoire en odontologie. Incontournable en endodontie, elle est également d'un intérêt indéniable en dentisterie restauratrice.

Elle est définie comme feuille de caoutchouc, destinée à isoler une ou plusieurs dents, maintenue au collet de celles-ci par des clamps.

Elle forme un champ opératoire, hors de l'atteinte de la salive et de la flore microbienne de la bouche. VERCHERE et col.

Pierre MACHTOU la considère comme un maillon indispensable de la chaîne d'asepsie-antiseptie.

La digue ne doit pas être considérée comme un élément de complication de l'acte opératoire, mais comme un moyen à notre disposition afin :

- D'assurer un confort de travail, à la fois pour le praticien et pour le patient,

- D'isoler la dent (en endodontie) ou les dents (en dentisterie restauratrice) et d'assurer l'asepsie du champ opératoire.
- D'éviter toute contamination patient-praticien. la digue est une protection supplémentaire contre les virus HIV, hépatite B, hépatite C
- Prévenir les accidents par injection ou inhalation des instruments, débris et médicaments par le patient. ^[12]

2.3.4.2. La voie d'accès :

La préparation coronaire de la cavité pulpaire est la première étape du traitement endodontique elle conditionne l'ensemble de l'acte opératoire.

Une ouverture coronaire insuffisante, un accès a travers une reconstitution prothétique, des connaissances anatomique incomplètes, un examen radiographique préopératoire non interprétable, voire inexistant, sont autant d'exemples d'échecs potentiels rencontrés au stade de la réalisation de la cavité d'accès.

La cavité d'accès est un élément clef pour la réussite du traitement endodontique. La suite du traitement dépend de sa bonne réalisation (Burns, Herbranson 2002)

La technique la plus enseignée est celle de la trépanation au point d'élection de la dent afin de trouver la chambre pulpaire, suivie d'un élargissement de la cavité. Si cette approche donne très souvent de bons résultats, elle présente également des limites. En cas de proximité du plafond et du plancher pulpaire consécutif à une réduction du volume caméral, il peut arriver que l'opérateur ne sente pas la fraise « tomber » dans la chambre, et la perforation du plancher qui s'ensuit est une erreur souvent commise dans ce genre de situation clinique.

Pour réduire l'éventualité de tels incidents, une nouvelle approche de réalisation de la cavité d'accès a été proposée conjointement par Lemian, Machtou et Simon. Cependant, quelle que soit la procédure de mise en œuvre, les principes généraux de la cavité d'accès restent toujours les mêmes. ^[09]

➤ **Principes généraux :**

L'accès à la cavité endodontique consiste à réaliser une voie de passage intracanaulaire vers la pulpe centrale. Elle sera de forme, de dimension et de position bien déterminée, permettant un passage direct vers l'orifice des canaux ainsi qu'une pénétration instrumentale aisée et sans contrainte du canal principal en direction apicale. Le point d'élection se définit comme étant l'endroit où doit se placer la fraise initiant la voie d'accès sur la couronne saine. Lorsque le délabrement (abrasion, fracture, carie) est important, le point d'élection devra se situer sur l'axe radiculaire: on parle d'accès direct.

En cas de forte abrasion, la dentine réactionnelle circumpulpaire est visible, le point d'élection se trouvera à ce niveau, et visera **l'axe radiculaire**.

Au cours de L'ACCES à la cavité endodontique, un mot clef :

- doit demeurer constamment à l'esprit
- doit être constamment vérifié dans l'espace, c'est-à-dire : dans le plan VL et dans le plan MD.

Le déroulement du traitement endodontique est directement lié à la qualité de la voie d'accès, ses insuffisances se répercuteront tout au long du traitement, en faisant obstacle aux objectifs décrits par (Machtou et coll. 1993) ^[9].

- Tous les tissus dentaires, et éventuellement les matériaux d'obturation composant le plafond pulpaire, doivent être supprimés. La cavité doit néanmoins être réalisée à minima et ne pas être trop délabrante.
- La cavité doit être à 4 parois afin d'assurer un réservoir constant de solution d'irrigation et une bonne assise du pansement provisoire entre les séances. La dent sera donc systématiquement reconstituée avant tout traitement (figure 32).
- Les entrées canalaires doivent être visibles directement, et l'accès des instruments dans les canaux doit pouvoir se faire sans interférence dentinaire et/ou amélaire.



Fig. 32 Les quatre parois permettent de maintenir en permanence la solution d'irrigation dans la cavité d'accès. ^[9]

➤ Etapes de réalisation de la cavité d'accès

La première étape de la réalisation de la cavité est de matérialiser cette projection de façon virtuelle, selon des *repères anatomiques fiables et reproductibles*. Il suffira alors de procéder à la suppression de ces tissus pour accéder au système endodontique dans de bonnes conditions, tout en restant très conservateur de tissus (figure 33a).

Pour toutes les dents, les étapes de la cavité d'accès restent les mêmes ; seuls les repères anatomiques et la forme générale de la cavité varient en fonction de la dent concernée et de son anatomie :

- matérialisation des repères anatomiques sur la face d'accès de la dent et dessin de la cavité idéale ;
- création d'une cavité occlusale (ou palatine) dont la forme générale répond à celle de la cavité idéale. Cette étape est réalisée à l'aide d'une fraise boule diamantée ou en carbure de tungstène, montée sur un instrument rotatif à grande vitesse (figure 33b) ;

- approfondissement de cette cavité en direction de la chambre pulpaire jusqu'à obtenir une effraction pulpaire (figure 33 c). À ce stade, peu importe la situation de la corne pulpaire atteinte ;
- Suppression du reste du plafond de la chambre. En général, il ne reste environ qu'un mm de tissu dentinaire. Cette étape est réalisée à l'aide d'une fraise boule long col de diamètre 012 ou 014 (fraise LN® en tungstène - Dentsply-Maillefer) sans spray, montée sur un contre-angle bague bleu et sous contrôle visuel (figure 33d). La fraise est placée sous le toit de la cavité, *et est utilisée exclusivement en retrait*, (jamais en poussant afin d'éviter une perforation). Cette étape peut également être réalisée avec une fraise dont la pointe est mousse (Endo Z®, Dentsply-Maillefer) (figure 33e).
À l'aide d'une sonde n° 17, il est nécessaire de contrôler la suppression complète de ce toit pulpaire. La sonde doit pouvoir glisser sur les parois de la cavité sans rencontrer de contre-dépouille ;
 - une fois tout le toit supprimé, la cavité est mise de dépouille et les parois sont régularisées (figure 33 f).

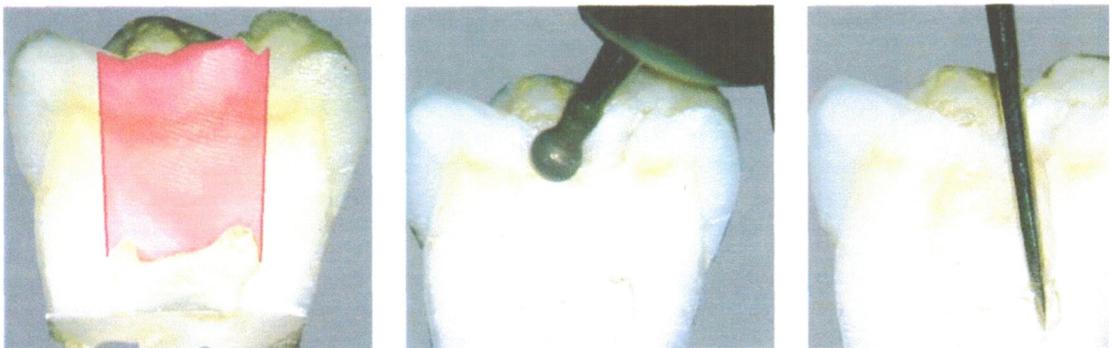


Fig. 33a : La réalisation de la cavité d'accès consiste en la suppression de l'ensemble des tissus dentaires et des matériaux de reconstitution, situés entre le plafond de la chambre pulpaire et sa projection sur la face occlusale.

Fig. 33b : Après matérialisation des cornes pulpaires sur la face occlusale,

la cavité idéale est dessinée avec une fraise boule diamantée.

Fig. 33c : La cavité est approfondie en direction de la chambre pulpaire jusqu'à l'effraction d'une corne pulpaire. La corne pulpaire découverte est mise en évidence avec la sonde DG16® (Hu Friedy).^[09]



Fig. 33d : Il reste alors une fine bande de tissus durs à supprimer. La fraise boule long col (Fraise LN® en tungstène - Dentsply-Maillefer), montée sur contre angle, est utilisée en retrait, sous contrôle visuel permanent.

Fig. 33e : Les parois sont mises de dépouille puis régularisées. La fraise Endo Z® (Dentsply-Maillefer) est recommandée. Sa pointe mousse permet de s'appuyer sur le plancher sans risquer de le perforer.

Fig. 33f : La cavité terminée permet un accès direct aux canaux, tout en préservant au maximum les tissus dentaires (ici en vue vestibulolinguale; noter que la cavité est au centre de la dent).^[09]

2.3.4.3. Détermination de la longueur de travail

Arrêter le travail instrumental endodontique à la constriction apicale semble admis par la plus part des auteurs, les travaux de Kuttler en 1955 autorisent une certaine latitude de travail. La limite inférieure est la constriction apicale et la limite supérieure, la sortie foraminale (figure 34).

C'est la distance qui joint un point précis d'une couronne ou d'un bord libre d'une dent à la limite apicale de la préparation, elle est établie à la fin de la

pénétration initiale et permet les corrections rendus nécessaires par l'insuffisance de pénétration, le franchissement apical, ou la constatation d'une anomalie radulaire, mise en évidence par la radiographie lime en place.

L'association d'un sens tactile affiné, de contrôle radiographique lime en place interprété à la loupe, d'instrumentation électroniques de mesure de longueur, et éventuellement de radiographie numérique et mesure par logiciel, doit permettre de construire cette limite apicale avec une précision et une sécurité certaine. Toute instrumentation en deçà et au-delà des limites doit être considérée comme un échec de mise en forme apicale. ^[15]

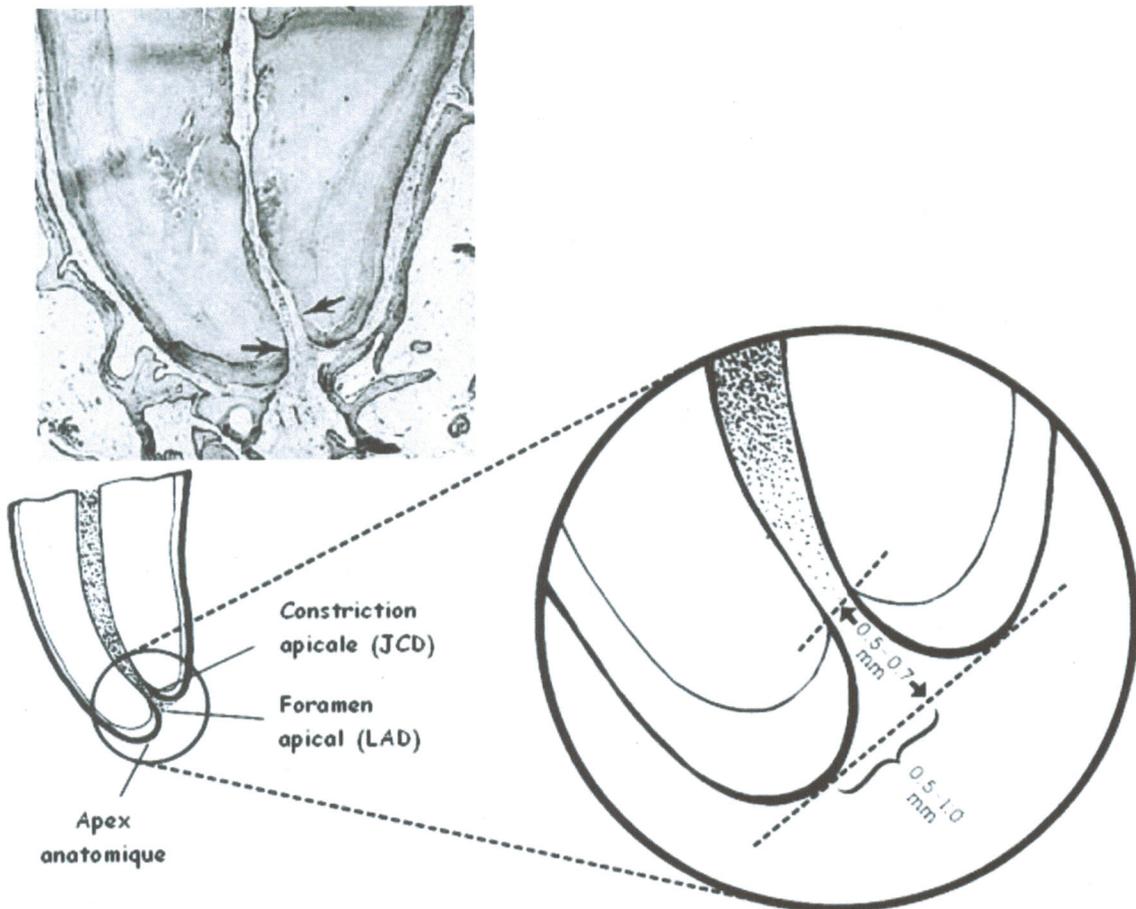


Fig. 34 Limite apicale de la préparation et de l'obturation canalaire. Les flèches indiquent les jonctions cémento-dentinaire. ^[10]

Les localisateurs d'apex électronique constituent un complément important dans la mise en œuvre du traitement endodontique, car ils contribuent à la détermination précise et au respect de la limite apicale de la préparation.

Des travaux sur ce type d'appareils ont été effectués depuis une soixantaine d'années. Au cours de ces années, les localisateurs d'apex ont subi des modifications qui font que l'on peut les classer en trois générations :

- Première génération (principe de résistance).
- Deuxième Génération (principe d'impédance).
- Troisième Génération (principe de fréquence

Un localisateur d'apex est en fait un ohmmètre relié à deux électrodes :

- Une électrode buccale, en contact avec la peau, figurant la mesure de résistance du ligament parodontal
- l'autre, fixée sur l'instrument endodontique de cathétérisme, mesure la résistance intra canalaire.

Les électrodes sont reliées à un boîtier sur lequel on va pouvoir lire sur un cadran à aiguille, par un voyant lumineux et, ou sonore, écran digital, l'atteinte de la longueur canalaire.

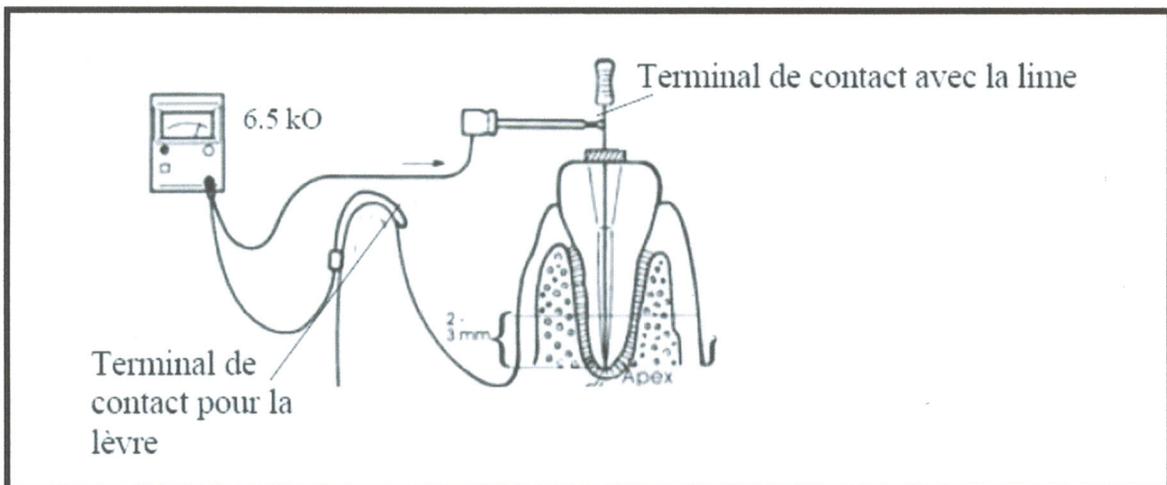


Fig. 35 schéma du principe de résistance de la 1ère génération de localisateur d'apex (principe de résistance).^[15]

2.3.5. L'irrigation canalaire

Quels que soient la technique ou les instruments utilisés, l'irrigation joue un rôle primordial en endodontie, et fait partie intégrante de la séquence de mise en forme. Il a été démontré que des zones importantes sur les parois d'un canal correctement mis en forme ne sont jamais touchées par les instruments. De même, ceux-ci sont incapables d'accéder aux anfractuosités du système canalaire, aux isthmes, aux canaux latéraux ou secondaires, qui sont autant de cryptes susceptibles d'abriter des bactéries (Figures 36 et 37).



Fig.36 Morphologie des parties apicales des systèmes radiculaires d'une prémolaire maxillaire et canine décrit par Meyer. ^[23]

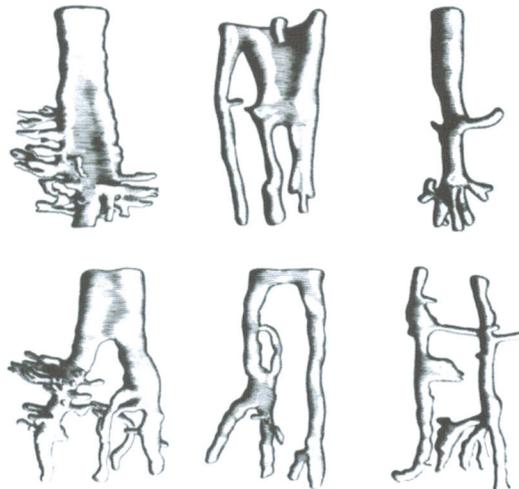


Fig. 37 Divers Ramifications de la partie apicale, montrant la complexité du système canalaire. ^[21]

Si les instruments mettent en forme principal, ce sont les solutions d'irrigation qui assurent le nettoyage de l'ensemble du système canalaire.

2.3.5.1. Qualités requises pour une solution d'irrigation optimale

➤ Propriétés physiques : ^[11]

Aide au débridement et mise en suspension des débris: Par un effet purement physique de lavage, l'irrigant assure l'évacuation des débris endocanalaire.

Maker et coll. montrent que si l'on adjoint une solution d'irrigation pendant l'utilisation de l'instrumentation, on réduit de 70% la quantité de débris présents.

Ghetta et Lévy en 1983, soulignent que l'orifice d'évacuation étant aussi celui de la pénétration, la présence de solution d'irrigation dans le canal empêche la sédimentation des débris (organiques et inorganiques) et son renouvellement en facilite l'élimination.

Lubrification des instruments: La solution d'irrigation, par son pouvoir mouillant permet aux instruments de mieux glisser dans les canaux. Elle diminue donc les risques de blocage des instruments et leurs conséquences (fracture, épaulement, perforation...)

En outre, elle diminue l'encrassement des spires des instruments endocanalaire et leurs préserve ainsi leur efficacité de coupe.

En lubrifiant les instruments, la solution d'irrigation optimise donc le parage canalaire.

➤ Propriétés chimiques :

Action solvante : L'action solvante de la solution d'irrigation s'exerce sur le contenu organique du système endocanalaire.

La complexité de l'anatomie canalaire, la présence de zones cryptiques, de canaux latéraux et accessoires ne permettent pas aux instruments d'accéder et de nettoyer toute la surface des parois canalaire. Cette aptitude des solutions d'irrigation à dissoudre le tissu organique est encore plus essentielle dans ces zones

Il apparaît indispensable d'utiliser lors du parage canalaire une solution d'irrigation dotée d'un pouvoir solvant.

De nombreuses études ont montré que l'hypochlorite de sodium avait un excellent pouvoir solvant (excepté peut-être dans les zones confinées, difficiles d'accès pour cet irrigant).

L'hypochlorite de sodium est la solution de choix en endodontie.[livre petit]

Notons que cette action est liée à la concentration de l'irrigant, au contact, au renouvellement et au temps de contact de celui-ci avec les tissus.

Semble que la majorité des praticiens américains utilisent la «force totale» de l'hypochlorite de sodium à 5,25% comme il est vendus sous la forme d'eau de javel (M. Zehnder 2006)

Action déminéralisante : L'action déminéralisante s'exerce quant à elle, sur la partie inorganique de l'endodonte. Elle complète ainsi l'action solvante suscitée.

Obtenue par l'utilisation d'acides (acide phosphorique ou l'acide citrique) ou d'agents chélatants comme l'acide Ethylène Diamine Tétra Acétique (EDTA), elle facilite le passage des instruments et la mise en forme des canaux étroits ou courbes. ^[9]

Les substances chélatantes agissent en complexant l'ion calcium de la dentine une déminéralisation de celle-ci. L'élargissement du système canalaire se trouve ainsi facilité.

En 1957 Nygaard-Ostby eut l'idée d'utiliser les propriétés chélatantes de l'acide éthylène-diamine tétra-acétique (EDTA).

L'adjuvant de référence est actuellement l'EDTA. ^[15,30,31,32] Il existe sous forme de gel (RC prep, de Premier Dental Products CO, Glyde File Prep de Dentsply pillcfer,...) ou de liquide (R.EDTA de Roth Drug CO, Largal Ultra de septodont, Salvizol EDTA de Pierre Rolland,...).

Le gel est utilisé en enduisant les instruments endodontiques.

En déminéralisant superficiellement la dentine, il facilite le travail des instruments endodontiques tout en assurant également la lubrification du canal. Ce gel est très utile dans la phase d'exploration initiale du canal avec des instruments manuels, notamment dans le cas d'une lumière canalaire étroite. L'intérêt avec les instruments rotatifs est moins flagrant, notamment avec les instruments non coupants (ProFile® de Dentsply Maillefer, par exemple).

Ce chélatant présente une grande affinité aux ions calcium, il permet de désorganiser la trame minérale par une réaction de chélation: les ions de sodium(Na) se substituent aux ions de calcium(Ca) et se combinent avec la dentine pour donner les sels solubles donc l'EDTA sodique, soluble, se transforme en EDTA calcique qui précipite.



➤ Propriétés biologiques

Action antibactérienne : Les pathologies pulpaires et péri apicales sont, presque toujours, corrélées à la présence de bactéries endocanalaire.

La plupart des traitements canaux s'adresse à des endodontes septiques, c'est pourquoi la solution d'irrigation doit assurer une action antiseptique suffisante pour permettre un assainissement optimal de tout système canalaire.

Biocompatibilité : Toute solution antiseptique peut être cytotoxique pour les tissus sains du périapex, aucune différence n'étant faite entre bactéries et cellules saines. L'irrigant canalaire doit respecter l'intégrité des tissus périapicaux.

La frontière toxicité-biocompatibilité de la solution d'irrigation varie en fonction :

- Des paramètres physiques de chaque irrigant : nature, concentration, température d'utilisation, durée d'utilisation.
- Des paramètres biologiques et immunologiques propres à chaque patient.
- L'hypochlorite de sodium a été conseillé à des concentrations allant de 0,5 % à 5,25 %. En fait, il s'agit de trouver la concentration optimale pour une action solvante et antiseptique efficace, tout en maintenant une toxicité minimale. ^[9]

2.3.5.2. Séquence d'irrigation recommandée : ^[9]

- Après ouverture et aménagement complet de la cavité d'accès, celle-ci est rincée abondamment avec de l'hypochlorite de sodium. Tout au long de la préparation, la cavité d'accès, qui agit comme un réservoir, doit être remplie d'hypochlorite de sodium.
- Lors de la pénétration initiale, le gel chélatant (Glyde File Prep[®]) est utilisé directement sur les limes manuelles, afin de les lubrifier et d'en faciliter le travail.
- Le passage des limes manuelles est immédiatement suivi par une irrigation à l'hypochlorite de sodium (au minimum 1 ml).
- Le gel chélatant est alors utilisé avec la première lime rotative nickel-titane, qui travaille dans le canal. Le gel peut être déposé dans le canal à l'aide des embouts destinés à cet effet, ou mis directement sur la lime.
- Le passage de l'instrument de préparation en nickel-titane est immédiatement suivi d'une irrigation à l'hypochlorite de sodium.
- Le gel chélatant est réutilisé avec chacune des limes de mise en forme.
Ces deux gestes (irrigation à l'hypochlorite d'abord, puis gel sur les instruments avant insertion) seront répétés en alternance pendant toute la préparation canalaire.
- En fin de préparation, et une fois la mise en forme terminée, l'hypochlorite est aspiré du canal, et ce dernier est irrigué avec 1 ml d'EDTA liquide, laissé en place pendant 2 minutes. À ce stade, l'EDTA peut être vibré aux ultrasons, avec une lime fine dont le diamètre est inférieur au diamètre du canal, de telle sorte que la lime activée ne rentre pas en contact avec les parois.
- Un rinçage final abondant à l'hypochlorite de sodium est alors réalisé afin d'éliminer complètement l'EDTA.
- Le canal est aspiré puis séché avec les pointes de papier stériles. Il est alors prêt pour l'obturation.

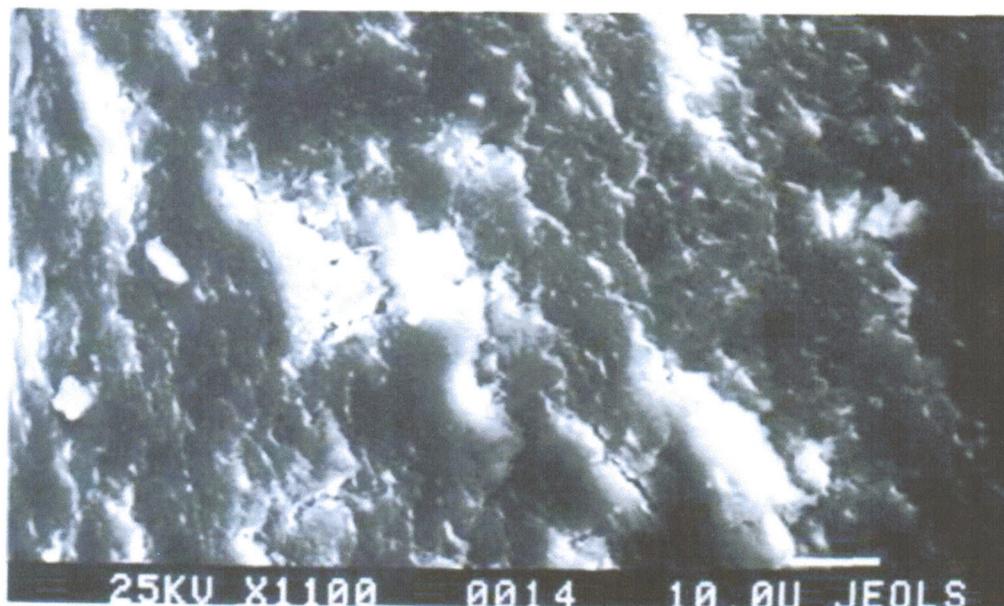


Fig. 38 Vues au microscope électronique à balayage de parois canales (a) recouverte de boue dentinaire (smear layer).^[9]

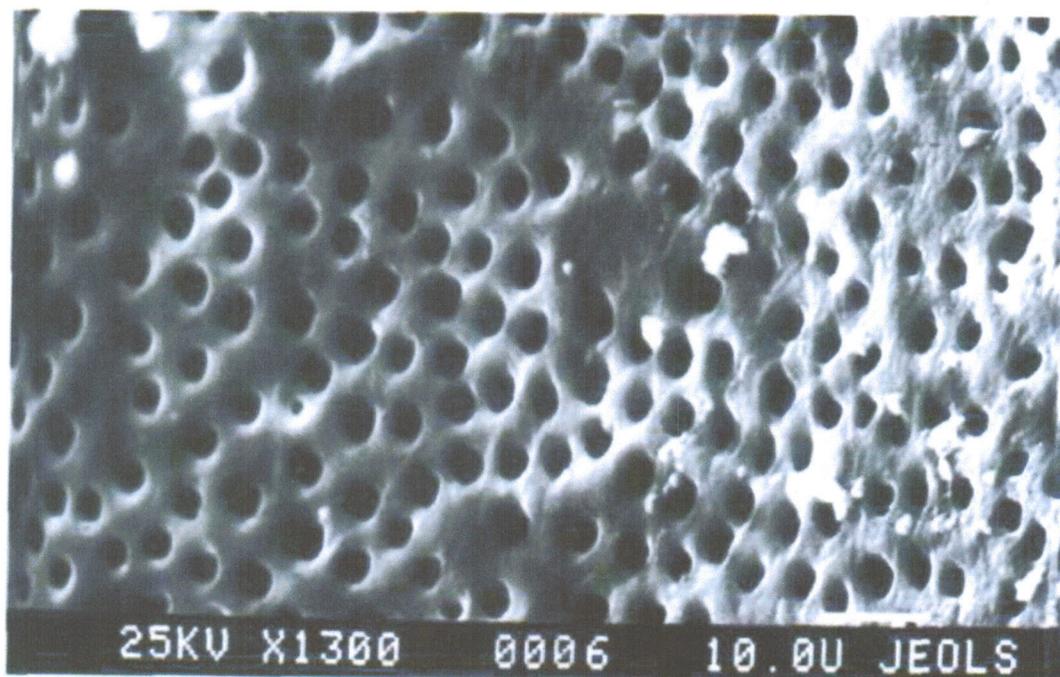


Fig. 39a Vue au microscope électronique à balayage de parois canales après élimination de la boue dentinaire grâce à l'irrigation à l'EDTA.^[9]

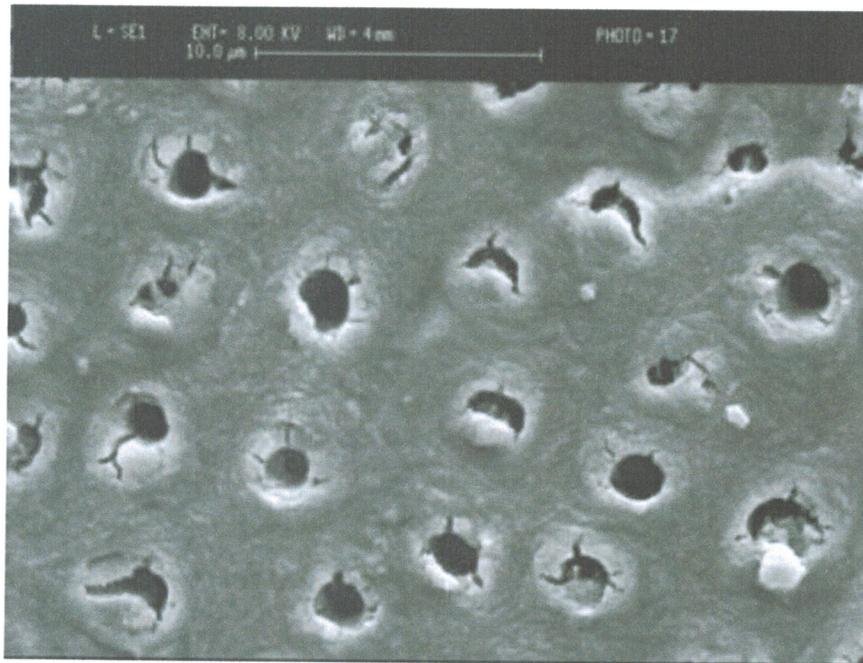


Fig. 39b Vue au microscope électronique à balayage de parois canales après élimination de la boue dentinaire grâce à l'irrigation à l'EDTA 18%.^[29]

2.3.5.3. Optimisation des agents d'irrigation

Il est de nos jours admis, qu'il est fondamental d'apporter assez de solution d'irrigation dans le tiers apical radiculaire pour en optimiser l'action :

la potentialisation de l'action des agents irrigants peut être obtenue en :

- Augmentant le diamètre canalaire apical,
- Augmentant le flux total,
- Apportant les solutions directement dans la zone apicale,
- Augmentant le temps de contact entre les solutions et les bactéries/débris,
- Activant mécaniquement les solutions

Les trois premiers items sont très importants. Si nous augmentons la préparation apicale, l'insertion profonde des aiguilles d'irrigation et l'apport direct des solutions dans les zones apicales deviennent plus faciles.

En utilisant les instruments en NiTi de conicité plus grande, nous pouvons obtenir rapidement et facilement une mise en forme profonde qui permet l'insertion d'aiguilles endodontiques de diamètre 27 ou 30 gauge, directement dans le tiers apical, y compris dans le cas des canaux courbes.

Des aiguilles à extrémité mousse, borgne et à ouvertures latérales sont conseillées (Figure 40).

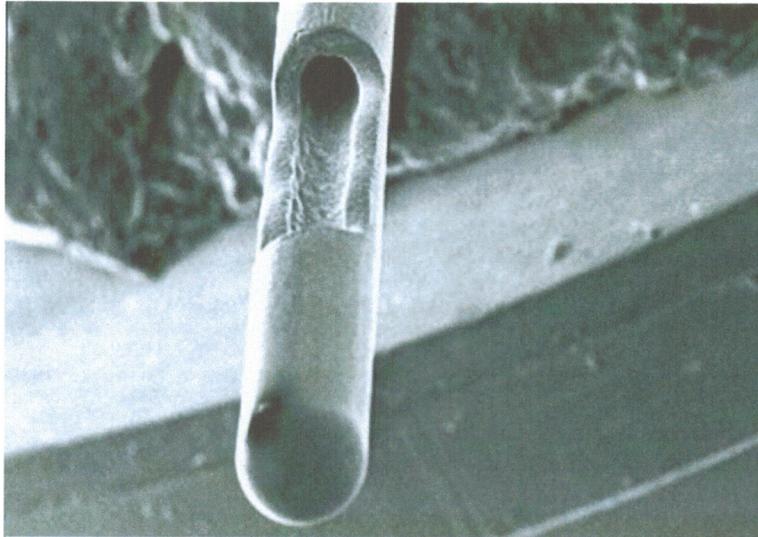


Fig. 40 Aiguille non agressive à évacuation latérale 30/100, vue au SEM (M. Zehnder 2006) ^[16]

Les seringues doivent être maintenues à une température idéale de 37°C à l'aide du « Syringe warmer » (Vista-Dental), qui est un dispositif Électronique permettant d'utiliser jusqu'à six solutions d'irrigation différentes en commutant simplement les boutons du pistolet d'irrigation.

Dans le cas des canaux courbes, il est possible d'utiliser des aiguilles flexibles en Niti (Vista-Dental). Une fois les solutions apportées dans le tiers apical du canal, il faut les activer avec des limes ultrasonore.

Tableau 3 : Action des différents irrigants canalaire fréquemment recommandés en endodontie

(M. Zehnder 2006)

Composition Concentration	Action & sur le Biofilm canalaire	Capacité à dissoudre les tissus	Désacti- vation des Endo- toxines	Action sur la Smear Layer	Potentiel Caustique	Potentiel Allergique
Péroxyde d'hydrogène (3%-30%)	+	-	-	-	D.c	-
Hypochlorite de sodium (1%-5,25%)	++	+++	+	++ composés organique	D.c	+
Iode de potassium iodine (2 - 5%)	++	-	Ind	-	-	++
Chlorhexidine (Gluconate) (0,2 - 2%)	++	-	+	-	D.c	+
Ammonium quaternaire (0,5%)	Ind	-	Ind	+	-	++
EDTA (10 – 17%)	+	-	-	++ sur inorg	-	-
Acide citrique (Acide organique) (10 – 50%)	-	-	-	+++ sur inorg	-	-

- : absente ou mineure ; + : rapportée par certains ; ++ : présence déterminée ; +++ : importante ;
Dc : dépend de sa concentration ; **Ind** : information non disponible. ^[10]

2.3.6. Nettoyage et mise en forme canalaire

2.3.6.1. Définition

La préparation canalaire est aujourd'hui le domaine exclusif d'une technologie mécanique et physico-chimique qui s'applique à redéfinir les parois canales

pour aboutir à une cavité endodontique finale autorisant la mise en place d'une unité biocompatible de substitution, masse d'obturation dense, hermétique et durable respectant les structures anatomiques.

Le type de préparation choisi doit préserver dans son intégrité l'organisation biologique et ne pas entraîner la réalisation de cavités endocanalaire inutiles et mutilantes, seulement destinées à faciliter le scellement du canal, le rôle de ce dernier étant limité à la prévention d'une récurrence ou au maintien d'un résultat.

Le traitement endodontique a pour but d'éliminer le contenu organique du système canalaire (Figure 41) par la combinaison de l'action mécanique de l'instrumentation endodontique et de l'action chimique de la solution d'irrigation.

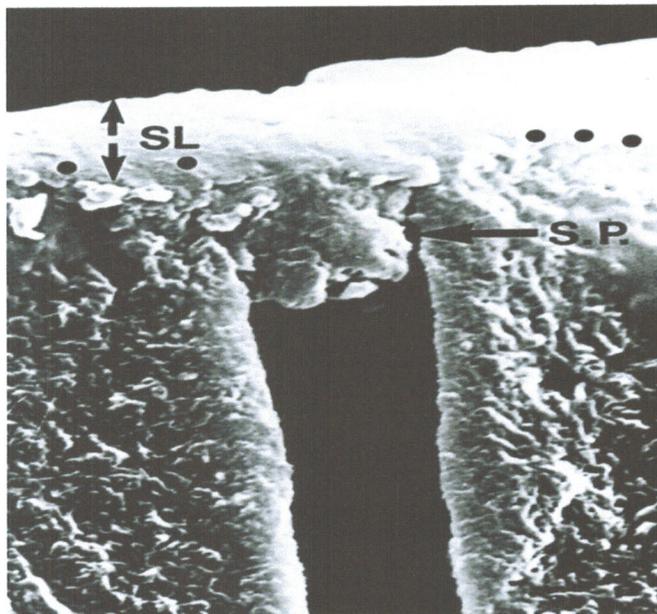


Fig. 41 Section longitudinale d'un canalicule dentinaire obstrué par de la « smear plug » (SP) issue de la « smear layer » (SL) bordant le canalicule et la surface dentinaire (C.S. Wang 2007) ^[34]

La préparation vise à élargir le canal et obtenir un bon état des parois canalaire. Tout cela doit s'effectuer en maintenant la forme initiale du canal et la position du foramen, en respectant la longueur de travail, en évitant les refoulements de produit septique ou cytotoxiques.

La préparation canalaire est l'un des actes les plus difficiles à réaliser en odontologie, difficultés dues à la complexité du système canalaire, à la

technique aveugle, fastidieuse, longue, répétitive, basés sur l'habilité de l'opérateur et sa sensibilité tactile.

2.3.6.2. Objectifs

2.3.6.2.1. Mécaniques

Les objectifs mécaniques de mise en forme du système canalaire sont parfaitement codifiés :

➤ Conicité

La préparation d'un canal doit s'évaser régulièrement de l'orifice apical à l'orifice coronaire, ce qui favorise :

- Le contrôle des instruments dans la région apicale
- L'irrigation, par une meilleure pénétration de l'aiguille de la seringue à l'intérieur du canal et le renouvellement permanent de la solution par la création d'un espace de reflux entre l'aiguille et les parois canalaire
- L'obturation tridimensionnelle par la possibilité d'ajuster avec précision le maître-cône dans les derniers millimètres apicaux, en effet, la convergence des parois est à même de bloquer le cône avec précision à la longueur de travail
- La pénétration des instruments de compactage jusque dans la région apicale quelle que soit la technique d'obturation choisie.

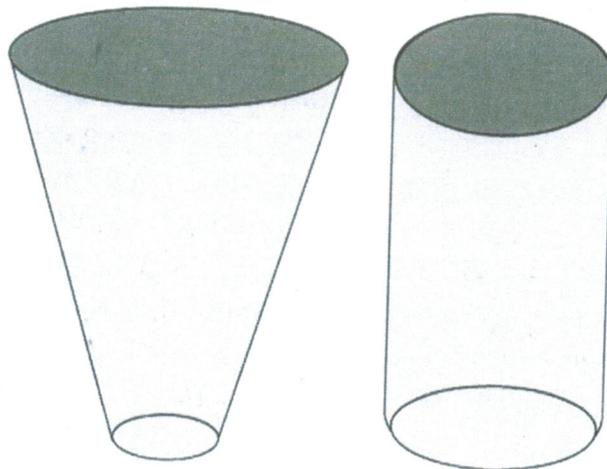


Fig. 42 Une conicité adéquate avec un foramen le plus étroit est plus souhaitable que le surélargissement apical. ^[9]

Les termes de diamètre et de conicité sont fréquemment confondus en endodontie.

- Le diamètre indique la dimension de la section transversale en un point donné (exprimé en endodontie en 100^e de mm). Par exemple, le diamètre à la pointe d'un instrument, ou le diamètre apical d'un canal (Figure 43).
- La conicité correspond à l'augmentation du diamètre (donc de la section transversale), le long d'un volume (instrument ou canal), à partir d'un point donné. Par exemple : deux instruments peuvent avoir le même diamètre à la pointe mais des conicités différentes (figure 44).

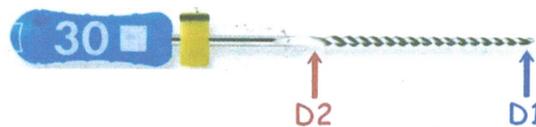


Fig. 43 Diamètre d'un instrument en acier inoxydable ISO

Au pt D2 chaque instrument est de 0,30mm plus large
 D2 est situé à 15mm de D1, soit à 16mm de la pointe
 N°10 à un diamètre de 0,10mm en D1 et de 0,40 en D2
 N°30 à un diamètre de 0,30mm en D1 et de 0,60 en D2

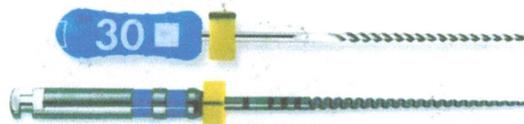


Fig. 44 Instruments à diamètre de pointe identique (30/100) et des conicités différentes.

A 1mm de la pointe, l'instrument manuel de conicité 2% a un diamètre de 32/100, alors que l'instrument nickel-titane de conicité 6% a un diamètre de 36/100

Pour un diamètre 30 à la pointe, l'instrument de 2 % de conicité, voit son diamètre augmenter de 2/100 de mm par mm de longueur. Donc à 1 mm de la pointe, son diamètre sera de 32/100, de 34/100 à 2 mm, etc.

Alors que l'instrument de 6 % de conicité aura un diamètre de 36/100 à 1 mm,

de 42/100 à 2 mm etc.

Il en va de même pour une préparation canalaire (figure 45). Ainsi avec un instrument de conicité 4% et un diamètre apical de 20/100, la préparation à 1 mm de l'apex est de 24/100. Tandis qu'avec un instrument de conicité 6% et un même diamètre apical de 20/100, la préparation à 1 mm de l'apex est de 26/100.

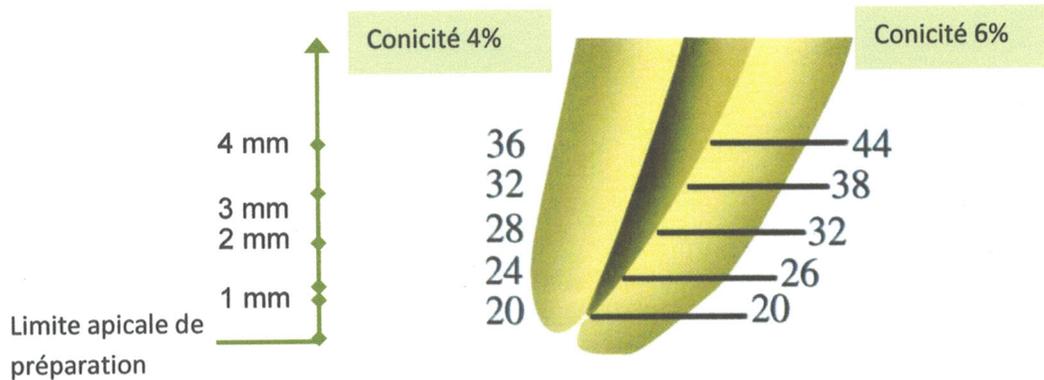


Fig. 45 Progression des diamètres par mm, dans le cas d'une conicité de 4% (à gauche)

et de 6% (à droite), à partir d'un diamètre apical commun de 20/100 ^[10]

➤ *Calque :*

La forme du canal préparé doit se calquer, en plus large, sur son anatomie originelle. Le trajet canalaire suit le contour externe de la racine. Pour des raisons de résistance de la dent et afin d'éviter le risque de perforation, on doit respecter la trajectoire du canal. ^[11]

➤ *Position du foramen :*

Le foramen apical doit être maintenu dans sa position spatiale d'origine sur la surface radiculaire et rester le plus petit possible afin de respecter les structures apicales et éviter un débordement du matériau d'obturation

Les obstacles à la réalisation de ces objectifs sont liés à la complexité de l'anatomie endodontique. Bien que les travaux de HESS et de De DEUS aient

Le foramen apical doit être maintenu dans sa position spatiale d'origine sur la surface radiculaire et rester le plus petit possible afin de respecter les structures apicales et éviter un débordement du matériau d'obturation

Les obstacles à la réalisation de ces objectifs sont liés à la complexité de l'anatomie endodontique. Bien que les travaux de HESS et de De DEUS aient clairement démontré la grande variabilité de l'anatomie et de la configuration canalaire, ce facteur essentiel semble avoir été occulté ou peu pris en ligne de compte dans la mise en œuvre des techniques endodontiques :

- La présence d'une courbure est presque toujours la règle : PINEDA et KUTTLER sur 7275 canaux observés, n'ont trouvé que 3,1% de canaux rectilignes, la majorité d'entre eux appartiennent à l'incisive centrale maxillaire,
- Les courbures peuvent, dans le tiers apical du canal être indépendantes du contour externe de la racine, et s'accompagner de multiples ramifications latérales dans 30,6% des cas.

De plus l'anatomie endodontique n'est pas une entité figée et se modifie continuellement par apposition dentinaire et cémentaire ou par soustraction en présence d'une résorption d'origine inflammatoire. ^[11]

2.3.6.2.2. Biologiques

➤ Parage:

Elimination de tout le tissu pulpaire, vivant ou nécrosé ; C'est la condition sine qua non du traitement endodontique.

En effet, quelque soit l'état du tissu pulpaire il ne doit pas subsister à la fin de cette étape de débris organique pouvant servir de substrat à une prolifération bactérienne.

➤ Respect du périapex:

- Pas d'irritation toxique (c'est à dire ne pas propulser de débris nécrotique au-delà du foramen): Les manœuvres instrumentales seront effectuées avec le souci constant de favoriser l'action de retrait au dépend de l'action de poussée.
- Pas d'irritation mécanique: les manœuvres instrumentales seront confinées à l'endodonte.

2.3.6.3. L'instrumentation Endodontique ^[35]

Les concepts thérapeutiques en endodontie reposent sur les données histologiques et physiopathologiques admises à l'heure actuelle et l'instrumentation endodontique suit l'évolution des concepts fondamentaux avec un temps de retards, ce qui est normal.

Pour atteindre les objectifs biologiques des thérapeutiques endodontiques, une bonne connaissance de l'instrumentation est indispensable pour une pratique optimale.

Depuis les années 80 les instruments endodontiques n'ont cessé de se développer et deviennent de plus en plus performant et paradoxalement plus compliqués et plus fastidieux pour les malheureux endodontistes qui abandonnaient les traitements endodontiques face aux méthodes plus simplistes comme l'extraction.

Mais, une nouvelle ère d'une endodontie moderne a vu le jour par l'introduction des alliages intelligents et des moyens sophistiqués d'électroniques et d'optiques, ainsi l'endodontie est devenue une des disciplines de la microchirurgie.

2.3.6.3.1. Classification des instruments endodontiques

Les instruments d'endodontie sont classés, d'après l'International Standards Organisation (ISO) et la F.D.I (Fédération Dentaire Internationale) en 04 groupes :

Groupe I : Réunit les instruments à canaux exclusivement manuels : Broche, lime type K, lime de Hedstrom, lime queue de rat, Tire-nerf, Sondes, Fouloirs à canaux.

Groupe II : Comporte les instruments à canaux mécanisés destinés à l'utilisation sur Contre-angle endodontique ou conventionnel et dont les lames sont celles des instruments du groupe I, plus le Bourre-pâte de LENTULO.

Groupe III : Est celui de forêts mécanisées : Beutelrock, Peeso, Gates Glidden...etc.

Groupe IV : Se rapporte aux pointes canalaires d'absorption et d'obturation.

Pour permettre de remplir les objectifs biomécaniques d'un traitement endodontique, un instrument doit présenter les propriétés suivantes :

- une flexibilité suffisante dans les grandes conicités pour assurer un nettoyage suffisant de la portion apicale, sans modifier la trajectoire des canaux courbes ;
- une efficacité de coupe sans vissage ni aspiration de l'instrument dans le canal;
- De plus, et accessoirement, les séquences doivent être les plus simples possible, faciles à mémoriser et à mettre en œuvre, avec un nombre minimum d'instruments, dans un but d'ergonomie et de gain de temps.

Lorsque la masse d'un instrument croît, par augmentation du diamètre de la conicité ou de la masse centrale, celui-ci devient :

- Plus résistant à la fracture par torsion ;
- Moins flexible, ce qui tendra à provoquer des déplacements de la trajectoire canalaire et des déchirures du foramen ;
- Moins résistant à la fracture par fatigue cyclique.

Il est donc important de trouver, lors de l'élaboration d'un instrument, l'équilibre entre la flexibilité dans les conicités importantes (qui seule peut assurer une bonne mise en forme apicale), la résistance à la fracture, et l'efficacité de coupe.

2.3.6.3.2. Description de l'instrument endodontique:

Un instrument endodontique est constitué de trois parties (figure 46) :

- **Le manche :**

En métal, ou en matière plastique, permet la préhension de l'instrument. Il s'agit d'un instrument mécanisé et adapté à la pièce à main sur laquelle il sera monté.

Le Manche doit comporter l'indication du diamètre de l'instrument et/ ou être coloré selon le code couleur ISO.

Le Manche des instruments manuels doit en outre être adapté à une bonne géométrie et rugosité de façon à pouvoir imprimer aux instruments les mouvements nécessaires à leur utilisation.

Enfin, le Manche de l'instrument doit supporter les différentes étapes de stérilisation nécessaires au respect de l'asepsie.

- **La tige :**

C'est l'ébauche du fil métallique à partir duquel est fabriqué la partie travaillante de l'instrument. Elle est fixée dans le Manche et peut être de section triangulaire cavé ou ronde selon l'instrument. La variation de la longueur de la tige donne sa longueur à l'instrument.

- **La lame:**

C'est la partie travaillante de l'instrument situé dans le prolongement de l'instrument. La longueur de l'instrument est fixée à 16mm quelque soit la longueur totale de l'instrument et son diamètre.

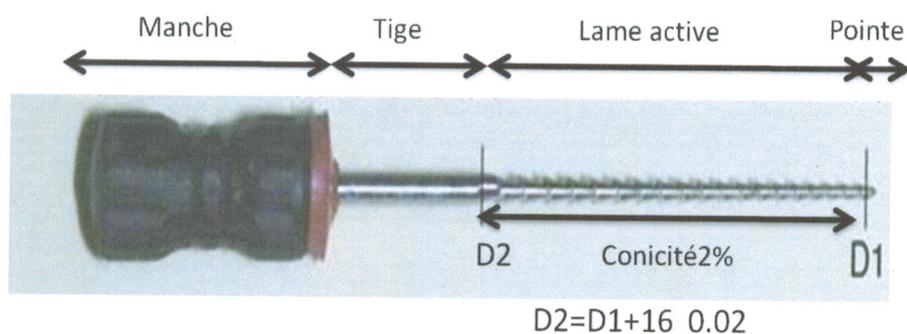


Fig. 46 Instrument manuel et notion de conicité. 1. Manche ; 2. tige ; 3. lame active ; 4. pointe ; 5. conicité : 2 %. $D2 = D1 + 16 \times 0,02$.

2.3.6.3.3. Normalisation des instruments endodontiques ^[14]

A l'instigation d'Ingle et Levine, la conférence internationale d'endodontie de Philadelphie de 1958, a étudié le principe d'une normalisation des instruments à canaux, Quatre critères ont été retenus :

- L'identité des diamètres et des formes pour tous les instruments d'un même gabarit.
- Le choix de la forme conique pour tous les instruments.
- Progression uniforme des diamètres pour tous les instruments
- Permanence des formes quelque soit le diamètre de l'instrument.

Les conclusions de la conférence de Philadelphie, définissant les règles de normalisation endodontique ont été rapportées par LAURICHESSE et SANTORO. (Figure 47)

- Un système de numérotation des instruments à canaux et des cônes d'obturation utilisant des numéros de 06 à 140.
- Les numéros correspondants aux diamètres des instruments et des cônes exprimés en centième de millimètre
- Ces diamètres sont mesurés au niveau de leurs extrémités actives. Le diamètre de la pointe est appelé D_1 , exprimé en $100^{\text{ème}}$ de mm il donne le numéro de l'instrument.
- L'accroissement du diamètre appelé D_1 d'un numéro au suivant est de 5 centièmes de millimètre du n°10 au n°60 et de 10 centièmes de millimètres de n°60 a n°140 ; exception faite du n°08 et n°10 ou l'écart n'est que de 2centièmes de millimètres.
- la longueur totale des lames actives de chaque instrument est de 16 mm.

Un code coloré d'identification est également retenu sur le plan international: (Tableau 4)

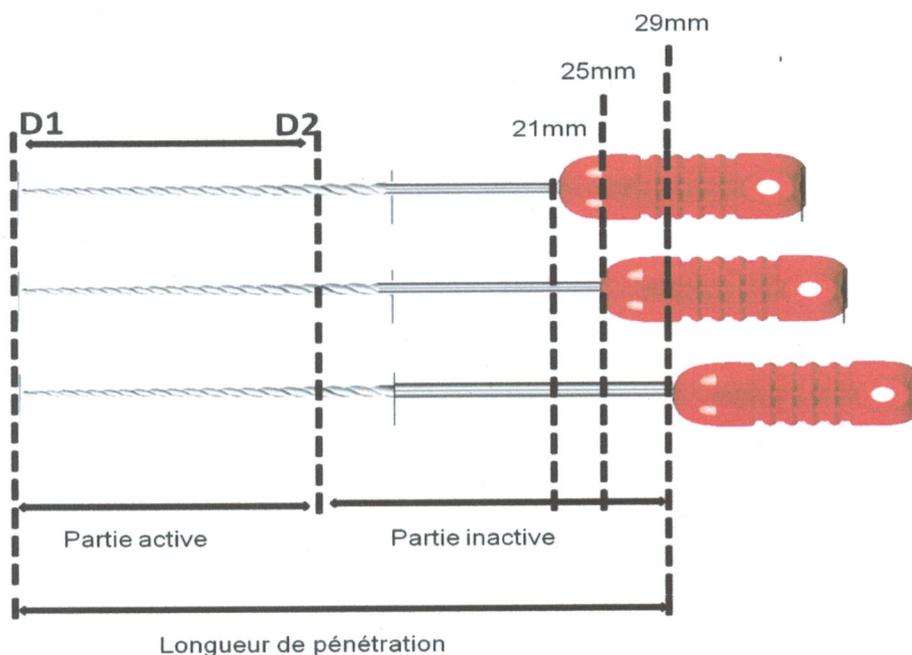


Fig. 47 schématisation des règles de la normalisation des instruments endodontique

2.3.6.3.4. Les instruments canaux manuels en acier inoxydable

Les aciers inoxydables sont des groupes de métaux à base de fer contenant au moins 10 % de chrome. La présence du chrome comme élément d'addition permet la création d'une barrière invisible d'oxyde de chrome qui protège le fer contre la plupart des corrosions. Cette couche est trop fine pour être

visible, ce qui signifie que le métal reste brillant. Pour la réalisation des instruments endodontiques, les fabricants utilisent principalement les nuances 304 et 303 (désignation américaine American Iron and Steel Institute).

L'acier inoxydable de type 304 (ou Z2CN18-10 selon la désignation Afnor) appartient à la série T300 des aciers inoxydables austénitiques. ^[36]

Les études publiées depuis 20 ans dans différents pays Européens et aux États-Unis, portant sur la qualité des traitements endodontiques, montrent que le pourcentage de traitements techniquement inadéquats (préparation courte, trajectoire canalaire non respectée, apex déchiré, obturation courte et manquant de densité...) varie de 50 à 79 %. Ces mauvais résultats sont essentiellement dus à la variabilité et à la complexité de l'anatomie canalaire, combinées à la rigidité importante des limes en acier utilisées par un mouvement

de va-et-vient dans les canaux.

2.3.6.3.5. Les instruments canaux en nickel titane

L'apparition des alliages en Nickel-Titane au sein de la dentisterie, et plus particulièrement dans le cadre du soin endodontique, a permis une réelle évolution du traitement canalaire. Longtemps utilisés, les broches, limes et racleurs représentaient les seuls dispositifs aptes à la préparation

Canalaire. Le praticien devait s'en contenter. Puis l'arrivée sur le marché dans les années 80 de l'alliage Nitinol et son extension aux soins dentaires ont créé une véritable révolution. L'apparition de l'assistance mécanisée a encore accéléré la progression.

Le mérite de la découverte de l'alliage revient aux américains. En effet, les études réalisées par la marine américaine ont permis l'apparition d'un alliage spécifique : le Nitinol. En 1962 Buehler et Wiley du Naval Ordnance Laboratory découvrent un effet mémoire de forme dans un alliage Intermétallique de Nickel-Titane.

Le nom Nitinol apparait : **Nickel Titane Naval Ordnance Laboratory**.^[37]

- **Propriétés mécaniques de l'alliage NiTi**

- La mémoire de forme

Les caractéristiques des Alliages à Mémoire de Forme dont le NiTi fait partie proviennent du fait qu'ils ont deux phases cristallographiques, appelées par analogie aux aciers, phase martensitique et phase austénitique. Le passage d'une phase à une autre se fait soit par modification de la température soit par application d'une contrainte.

L'intérêt des AMF est que la transformation de phase est displacive plutôt que diffusive, elle se fait par de faibles déplacements globaux d'atomes, donc sans changement, même local, de la composition chimique. Cette transformation de phase se fait surtout à volume constant et devient donc réversible. (Figure 48)

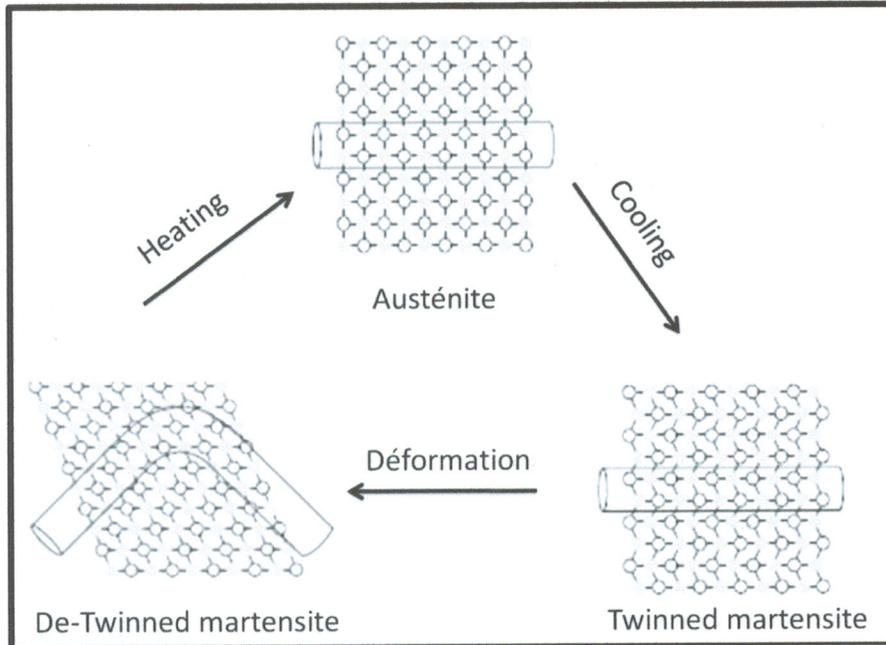


Fig. 48 Diagramme de la transformation martensitique et l'effet mémoire de forme des alliages NiTi (thompson 2000) ^[37]

➤ La superélasticité

Dans certains domaines de température où la phase austénitique est "stable", la transformation martensitique peut être induite par une contrainte appliquée. La transformation de l'austénite est dominée par un cisaillement, celui-ci pouvant être induit mécaniquement. (Figure 49)

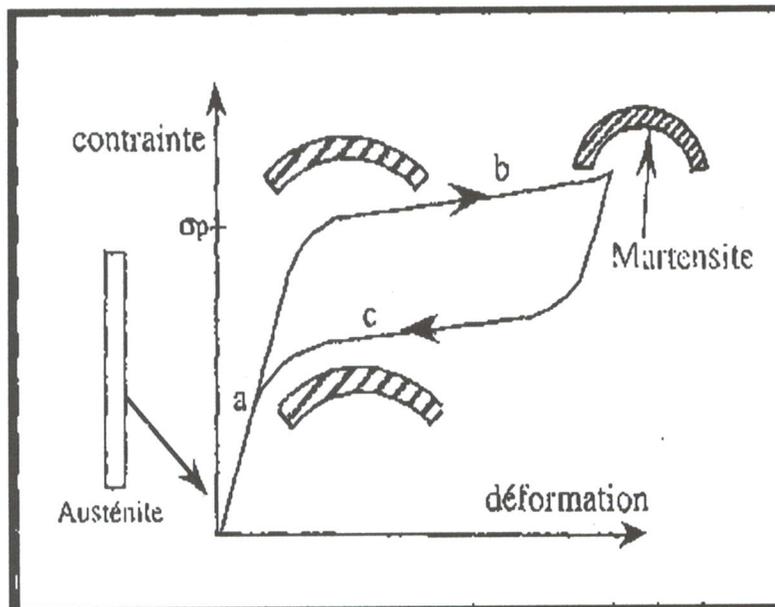


Fig. 49 Phénomène de superélasticité (Thompson 2000) ^[38]

La contrainte s'exerce d'abord dans le domaine de déformation élastique de l'austénite puis, atteignant une valeur critique, elle induit l'apparition de la martensite. Il y a donc formation d'une martensite induite sous contrainte.

Contrairement à la martensite engendrée thermiquement où toutes les variantes sont possibles, les variantes de la martensite formée mécaniquement sont uniquement celles qui sont favorisées par les contraintes. Si la contrainte cesse, il y a réversion totale de la martensite vers l'austénite jusqu'à une déformation nulle.

En résumé, sur le plan endodontique, il faut retenir que, sous l'effet d'une contrainte, la transformation de phase s'accompagne d'une déformation importante. Lorsque la contrainte cesse, la transformation inverse se produit et l'instrument endodontique retrouve sa forme originelle. C'est une déformation purement élastique. C'est le principe de la superélasticité.

La superélasticité du Nickel-Titane lui permet de revenir à sa forme initiale sans subir aucune déformation contrairement à l'acier inoxydable qui subit pour une déformation équivalente une modification de forme permanente. (Figure 50)

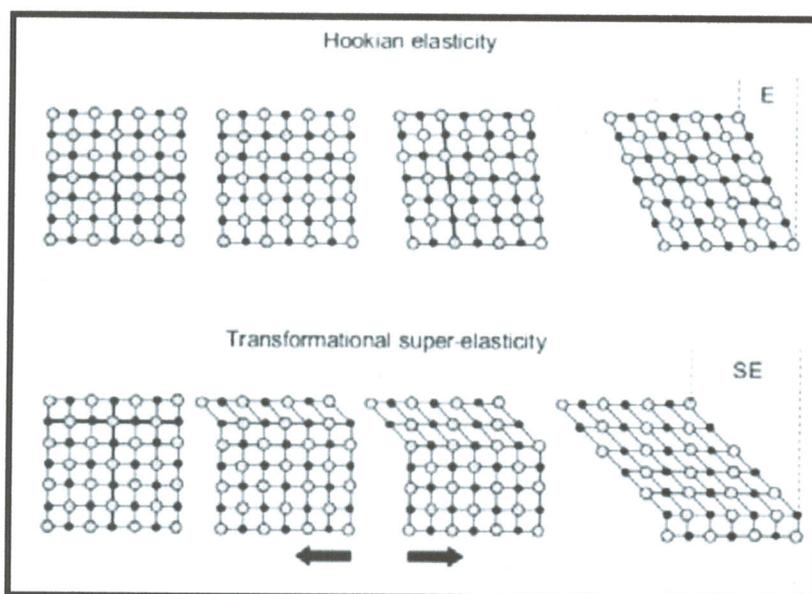


Fig. 50 Représentation du comportement extensible de l'acier inoxydable (en haut) et des alliages NiTi (en bas) et des mécanismes de déformation élastique.

Cette réversibilité autorise des déformations temporaires de l'ordre de 10% en NiTi de retrouver sans dommage leur forme, alors que les alliages conventionnels en acier inoxydable subissent des déformations permanentes dès une déformation temporaire de 1%

La superélasticité du NiTi permet donc d'augmenter fortement la flexibilité des instruments. Ainsi, les propriétés mécaniques des instruments endodontiques en NiTi sont différentes de celles des instruments en acier inoxydable.

➤ La flexibilité

La flexibilité est la capacité d'une lime soumise à une contrainte (courbure canalaire) à se déformer de façon réversible. Ce n'est que lorsque la contrainte dépasse la limite élastique que la déformation devient plastique et donc irréversible. Une augmentation encore supérieure de la contrainte entraîne Une fracture instrumentale. ^[39]

Le module élastique de l'alliage NiTi est largement inférieur à celui de l'acier inox (quatre fois inférieur) les instruments endodontiques en NiTi sont donc beaucoup plus flexibles que les instruments en acier.

De ce fait les instruments en Nitinol permettent de mieux respecter les trajectoires canalaires et évitent les problèmes rencontrés avec les instruments traditionnels en acier.

De plus l'intérêt principal des instruments en NiTi est de garder une flexibilité importante même dans les gros diamètres. En effet l'augmentation de la rigidité en fonction du diamètre n'est pas exponentielle comme pour l'acier mais relativement linéaire. Ainsi il devient possible d'instrumenter des canaux courbes avec des diamètres importants sans risquer de dévier de la trajectoire initiale.

Par leur flexibilité, les instruments NiTi sont considérablement moins rigides et leur utilisation minimise les risques de déviation ou de déplacement foraminal. Le NiTi a un moment de flexion bas et un important angle de torsion à la rupture. Cet angle important n'est pourtant pas suffisant pour éliminer le phénomène de Torque.

- **Propriétés physiques**

- Efficacité de coupe :

Les instruments manuels en NiTi sont beaucoup moins performants en coupe que ceux en acier inoxydable par contre, il y a peu de différence de préparation de la dentine Péricanalaire entre une instrumentation en NiTi en rotation continue et les instruments en acier utilisés manuellement. En fait, cette préparation en rotation lente, à vitesse constante permet une préparation rapide sans effort. ^[40]

- Résistance à la torsion

Elle demeure bien supérieure à celle de l'acier jusqu'à dix fois plus importante.

- Rupture par fatigue

La complication majeure associée à la rotation continue est la rupture instrumentale. la rotation continue soumet les instruments à des contraintes à la fois de tension et de compression dans les zones courbes.

Les éléments influençant la durée de vie d'un instrument en NiTi utilisés en rotation continue sont :

- la sévérité de la courbure canalaire.
- la taille et la conicité de l'instrument.
- la vitesse de rotation.
- la dynamique instrumentale.

- Cycle de fatigue :

C'est l'élément le plus important à retenir pour évaluer la résistance à la fracture des instruments. Il s'agit de déterminer le comportement de ces derniers quand ils sont soumis à des cycles de fatigue mécanique.

La résistance à la fatigue dépend essentiellement de la courbure canalaire.

- Propriétés électrochimiques : **Résistance à la corrosion**

La résistance à la corrosion des instruments dépend principalement des traitements chimiques qu'ils subissent lors de leur fabrication.

- Propriétés biologiques : **biocompatibilité**

Un matériau est dit biocompatible lorsqu'il est capable de remplir sa fonction d'innocuité vis-à-vis de son environnement biologique dans lequel il est appelé à fonctionner.

Les études in vitro (test de cytotoxicité et test de génotoxicité) et in vivo (test de sensibilisation et d'implantation) menées par wever et coll vont donc dans le sens d'une excellente biocompatibilité à court terme du NiTi.

Il est par conséquent possible d'utiliser avec sécurité l'alliage Niti pour réaliser les traitements de nos patients.

2.3.6.4. Concepts de l'endodontie mécanisée ^[9]

- Respect de la vitesse de rotation préconisée par le fabricant, par l'utilisation de contre angles ou de moteurs spécifiques.
- Respect de la séquence instrumentale propre au système utilisé.
- Une lime nickel-titane rotative ne doit jamais être insérée d'emblée dans un canal dont la perméabilité n'a pas été vérifiée avec une lime manuelle en acier.
- La pression sur le contre angle doit être faible. Elle est accompagnée d'un mouvement de va-et-vient dans le sens vertical, qui limite l'engagement dans le canal.
- Les instruments ne doivent pas être maintenus en rotation à la même longueur dans le canal, sans mouvement vertical de va et vient. L'immobilité dans le sens vertical peut entraîner une fracture de l'instrument par fatigue cyclique ou un déplacement de la trajectoire canalaire avec apparition de butée.
- Les instruments doivent être vérifiés après chaque passage, afin de déceler un défaut éventuel. Un instrument dévillé doit être immédiatement éliminé.
- Il est indispensable de respecter la période nécessaire à l'apprentissage de la technique, et ce, quel que soit l'instrument utilisé.
- Il est primordial de connaître les contre-indications et les limites d'utilisation des instruments rotatifs.

La vitesse de rotation basse varie en général de 250 à 600 tr/mn en fonction des systèmes. Les instruments nickel-titane nécessitent l'utilisation de contre angles réducteurs au fauteuil ou de blocs-moteur permettant l'obtention de ces vitesses.

2.3.6.5. Evolution Des Concepts De Mise En Forme

L'instrumentation endodontique et les techniques de mise en forme permettent d'obtenir, schématiquement des volumes différents par leur conception, fonction de la technique d'obturation canalaire envisagée.

➤ L'élargissement:

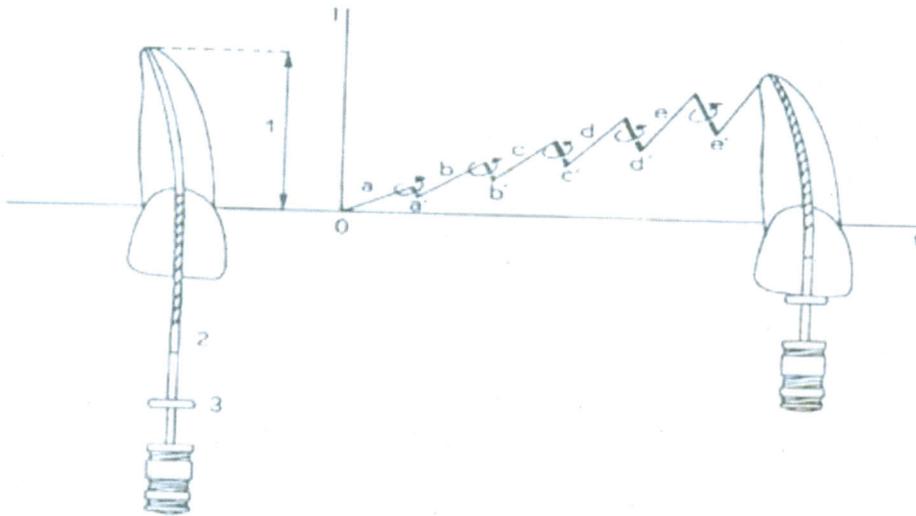


Fig.51 Elargissement canalaire à la broche selon Hess

1. Longueur de travail; 2. broche; 3. Index de LT (stop silicone).

Progression de chaque instrument depuis le cathétérisme (8 ou 10) jusqu'à la dernière broche (25).

/pénétration de quelques millimètres (blocage).

/Rotation horaire d'1/4 de tour.

/Retrait, Pour chaque diamètre et jusqu'à la LT [41]

Consiste à agrandir la lumière canalaire en respectant sa forme originelle et notamment ses courbures. On ne cherche pas à réaliser un volume idéal, c'est-à-dire calibré à l'instrumentation. La différence morphologique entre le volume du canal et celui de l'instrument sera compensée par l'obturation, ou plus exactement par la pâte d'obturation : la seule technique d'obturation envisageable dans ce cas étant une technique pâte plus cône de gutta-percha. Cette notion de simple élargissement laisse des zones non instrumentées car les interférences canalaire ne sont pas éliminées, autant de refuges pour les micro-organismes. L'élargissement est obtenu essentiellement par des techniques manuelles. [41]

2. La préparation en flamme:

Selon Schilder le volume obtenu réalise, dans ce cas, une véritable cavité d'inlay en vue de l'obturation canalaire par les techniques à la gutta chaude. Il s'agit d'aléser le canal en éliminant toutes les irrégularités, bien entendu au détriment de la structure dentinaire radulaire. Cette préparation est caractérisée également par la réalisation d'un "cône d'arrêt " au niveau du rétrécissement apical, de façon à éviter tout risque de dépassement de matériau d'obturation. Originellement conçu pour permettre la condensation de la gutta chaude, ce type de volume doit avoir une portion canalaire rectiligne pour permettre l'introduction des fouloirs à canaux. ^[41]

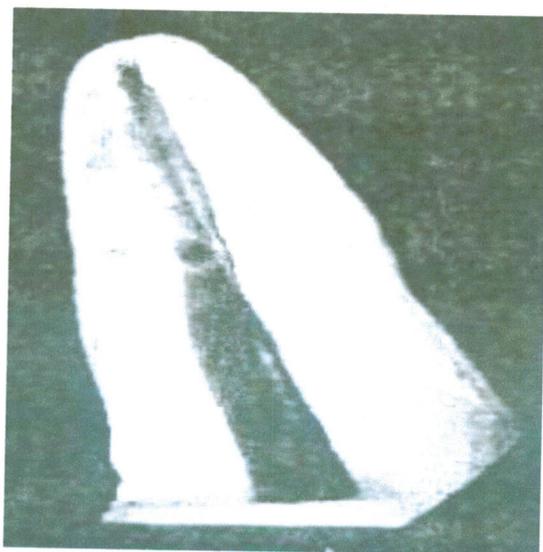


Fig. 52 Préparation canalaire en flamme

Actuellement, le concept de ce type de préparation évolue vers l'ampliation, moins dangereuse pour les racines courbes.

3. L'ampliation:

C'est un terme employé et défini par Laurichesse' comme :

" Un simple élargissement pariétal homothétique de la morphologie initiale du canal, dans les trois dimensions de l'espace, en l'amplifiant sans la dénaturer, depuis la cavité coronaire jusqu'à la limite apicale choisie".

L'ampliation se traduit par l'élimination des irrégularités internes du canal, avec élimination de la prédentine ou de la dentine infectée, selon toutes les génératrices de l'espace canalaire. Le volume ainsi obtenu nous semble correspondre plus à la fois aux impératifs biologiques d'assainissement du canal, aux impératifs mécaniques permettant à l'instrumentation d'accéder aux limites apicales et enfin, aux impératifs cliniques et technologiques de tous les types d'obturation canalaire. (Figure 53)

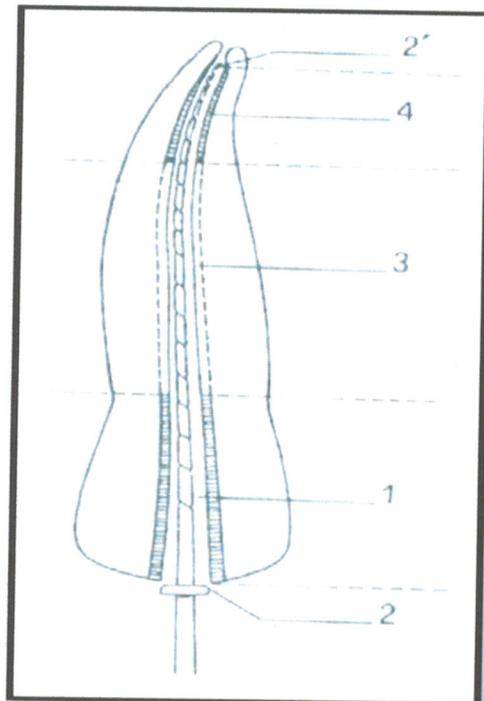


Fig. 53 Ampliation selon Laurichesse, quatre phases dans l'ordre chronologique: 1. Cavités d'accès endodontique; 2. Pénétration initiale et mesure de la LT (2,2'); 3. Préparation des deux tiers coronaires: élimination des interférences; 4. Préparation du tiers apical. ^[41]

4. le crown down:

Le "crown-down" met en œuvre un nettoyage et une mise en forme canalaire du tiers coronaire vers le tiers apical. Ce n'est qu'après la mise en forme et la désinfection du tiers coronaire et moyen du canal que le tiers apical est soumis à la préparation instrumentale.

Les avantages de cette technique sont les suivants:

- élimination de la dentine cervicale qui provoque des constrictions canalaires
- diminution des courbures canalaires
- autorise une pénétration plus profonde, plus rapide et plus massive de la solution de désinfection de type hypochlorite de sodium dans les deux premiers tiers canalaires
- permet l'élimination de la majeure partie de la pulpe et des débris nécrotiques ou bactériens avant l'approche du tiers apical et donc minimise le risque de repousser des irritants bactériens ou pulpaire dans l'espace péri-apical de réparation.
- la longueur de travail sera peu ou non modifiée lors de l'instrumentation canalair puisque la courbure canalair a été réduite avant l'établissement de la longueur de préparation. Les procédures qui permettent de s'assurer de la vacuité apicale ne sont utilisées que lorsque les deux tiers coronaire canalaires ont été mis en forme et désinfectés.

Les premiers pas de l'endodontie moderne ont été réalisés lors de l'établissement de la norme ISO. Cette norme définit pour la première fois un standard pour la fabrication des instruments canalaires en fonction du matériau utilisé à l'époque, en l'occurrence l'acier inoxydable, a norme ISO a été proposée en même temps que la technique standardisée basée sur un concept purement « arithmétique » du traitement : celui de pouvoir disposer une correspondance parfaite entre le dernier instrument ayant servi pour la Préparation canalair et un cône d'obturation normalisé.

Cette démarche s'applique bien à un canal rectiligne, mais des travaux récents ont clairement montré l'inefficacité voire la dangerosité de cette procédure en présence de courbures canalaires.

Cette technique montre ses limites lors de l'instrumentation de canaux fins et courbes au niveau des molaires : le contact de l'instrument avec les parois canalaires sur une grande partie de la surface travaillante, rend le travail manuel difficile et crée une quantité importante de débris.

Les techniques de compactage de gutta-percha vont imposer dans les années suivantes, une préparation d'une conicité supérieure. Il faut à partir des

instruments existants, mettre au point des techniques de mise en forme permettant d'augmenter la conicité.

Cette évolution se fait d'abord par l'introduction de la technique de *step-back* : la préparation standardisée est suivie par une préparation rétrograde, les instruments de diamètre croissant, modèlent la conicité de façon télescopique à partir de l'apex.

Cette technique garde les inconvénients de la préparation standardisée dont elle s'inspire, c'est-à-dire l'inaptitude à instrumenter des canaux fins et courbes en respectant la trajectoire initiale du canal, auxquels s'ajoutent les risques de perforation liés à l'utilisation d'instruments de gros calibre, donc plus rigides dans le corps du canal.

SHILDER, en proposant la technique dite *sérielle*, invente un nouveau concept instrumental de mise en forme : le passage d'une série de broches dans les deux tiers coronaires prépare le passage des limes dans la région apicale en supprimant les interférences pariétales. L'instrument est précourbé et utilisé passivement à la longueur de travail : la mise en forme conique du canal n'est plus seulement une finalité pour l'obturation mais un moyen d'instrumenter sans risque pour le tiers apical : « **Les instruments de gros calibre préparent le passage des instruments de petit calibre** ». ^[35]

Les techniques semi-mécanisées qui se développèrent durant la décennie 80, reprirent ce principe (Ultrasons, Rispi, Shapers...)

Ce concept évolue avec la technique dite de progression corono-apicale ou *crown-down* ; cette solution présente de nombreux avantages :

Comme la technique sérielle, elle permet de supprimer les interférences coronaires et de faire progresser passivement les instruments en direction apicale.

L'instrumentation se fait d'une zone propre vers une zone sale et réduit

Ainsi les risques de contamination du péri apex par la projection de débris au-delà du foramen. ⁽¹⁰⁾

Les différentes études scientifiques ont démontré que :

- Un canal dont le diamètre apical initial est faible et qui est maintenu à ce diamètre faible lors de la mise en forme (20 ou 25/100^e), n'est pas moins nettoyé que s'il avait été élargi à des diamètres supérieurs (35 ou 40/100), à la condition qu'une conicité adéquate soit établie ;
- Cette conicité apicale adéquate, nécessaire au renouvellement des solutions d'irrigation au niveau apical et donc au nettoyage, est de 6 % minimum ;
- Seule une conicité apicale adéquate, avec un diamètre foramina conservé le plus étroit possible (forme en entonnoir) permettent une obturation facile et efficace par la gutta-percha chaude en potentialisant les pressions hydrauliques, et en assurant une forme de résistance apicale.

Qu'il s'agisse d'un instrument conventionnel (lime K, lime H...), d'un instrument NiTi manuel ou destiné à la rotation continue, il convient de ne jamais forcer l'instrument dans le canal. Ce dernier offre un passage plus ou moins aisé pour l'instrument choisi. Il faut alors savoir prendre " ce que le canal nous offre " et s'adapter instrumentalement à sa complexité anatomique : ces principes définissent la " règle du jeu " en endodontie. Le concept de préparation corono-apicale, s'accorde parfaitement avec une progression apicale passive des instruments

Les techniques de step-back et crown-down, bien qu'opposées dans leurs démarches, ne sont pas contradictoires : En effet, le crown-down perméabilise le canal en supprimant les interférences coronaires le step-back

Donne la conicité de la préparation. On peut donc parfaitement commencer la préparation en crown down et la terminer en step back.

2.3.6.6. Préparation manuelle conventionnelle et rotation continue

Jim Roane en 1985 met en exergue l'utilisation de la rotation par un autre type de mouvement manuelle celui des forces équilibrées (balanced force

technique). Il montrait que l'utilisation d'un mouvement de rotation horaire/antihoraire pour la mise en forme canalaire avec des limes K en acier inoxydable usinées, de section triangulaire, maintenait la trajectoire originelle du canal et réduisait considérablement les problèmes liés au mouvement de va-et-vient (Figure 54).



Fig. 54 Technique des forces équilibrées (balanced force technique) ^[10]

Ainsi, la préparation manuelle réalisée avec les instruments en acier inoxydable s'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.

Un phénomène est venu bouleverser des décennies de pratique endodontique.

A la fin des années 80, le nickel-titane, alliage superélastique, faisait son apparition en endodontie. Il fut ainsi possible de réaliser des instruments de conicité majorée, qui possédaient une flexibilité largement supérieure à celle des instruments en acier inoxydable (à diamètre et à conicité comparables). Ainsi, au lieu d'utiliser un grand nombre d'instruments de faible conicité et de les faire travailler longtemps, en step-back, pour « bâtir » une conicité apicale (figure 55a), il a été possible d'utiliser des instruments de conicité plus importante, capables de transférer leur propre forme au canal (figure 55b).

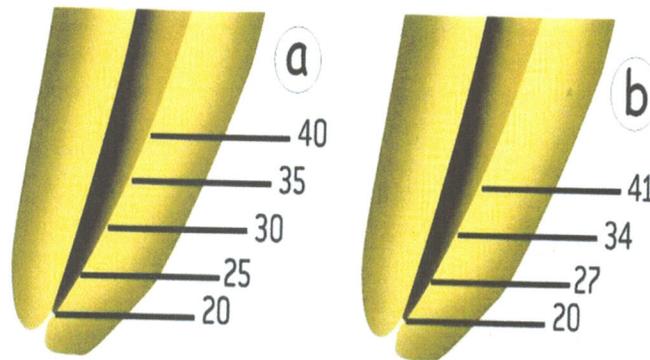


Fig. 55 comparaison des diamètres obtenus dans les derniers mm d'un canal, à diamètre apical égal,

- (a) après préparation avec 5 instruments manuels utilisés en step-back,
- (b) après préparation avec un seul instrument de conicité 7%

Les techniques actuelles découlent de l'association de la rotation continue, qui maintient les instruments centrés dans le canal, et de l'utilisation d'instruments de conicité majorée en nickel-titane.

Ce qui permet de mieux répondre aux objectifs de l'endodontie par : [10, 11,42]

- **Moins d'extrusion de débris dans la région périapicale**

Le refoulement de débris dans le péri apex est amoindri avec l'utilisation du NiTi en rotation continue. Le refoulement de copeaux plus ou moins contaminés étant un paramètre dans les échecs endodontiques.

- **Elimination des bactéries et de leurs substrats**

Le nettoyage du canal est ainsi effectué au fur et à mesure de la descente de l'instrumentation en direction apicale. Permet aussi une meilleure pénétration de la solution d'irrigation par la création d'un espace de reflux suffisant.

- **Meilleur respect de l'anatomie initiale**

Plusieurs études ont analysé le problème du respect des trajectoires canalaire. Il en résulte que les instruments rotatifs en NiTi sont moins susceptibles de générer des fausses routes ou butées et que le respect de l'anatomie initiale est amélioré en comparaison aux instruments manuels conventionnels.

- **Conicité importante**

L'élaboration de cette conicité est largement facilitée par la rotation continue en comparaison à l'utilisation des instruments en acier-inox I.S.O.



Fig. 56 Radiographie rétroalvéolaire d'une canine mandibulaire, avec un Protaper F3 de diamètre #30 et de conicité 9% dans le canal à la longueur de travail. Notons à droite, l'augmentation du diamètre de la préparation à 3mm de cette longueur (Markus et al 2003) ^[43]

- **Création de conditions favorables à l'obturation des canaux**

L'augmentation de la conicité permet l'obturation tridimensionnelle de compactage de gutta percha thermo plastifiée. (Figure 57)

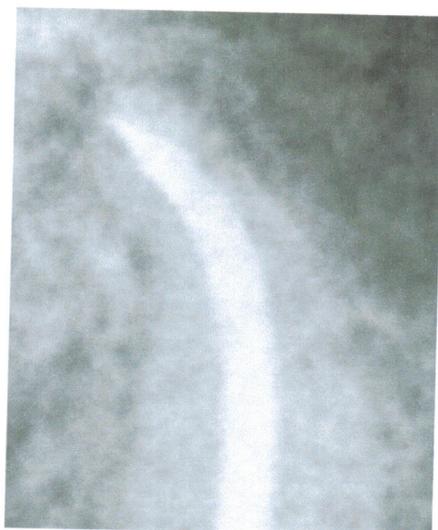


Fig. 57 Fort grossissement de la radiographie rétroalvéolaire de la racine d'une 2^{ème} prémolaire obturée (Markus et al 2003) ^[43]

- **Rapport rapidité / qualité et qualité / efficacité**

La préparation canalaire est beaucoup plus rapide et moins stressante en rotation continue. Ceci ajouté aux avantages évoqués précédemment, confère à la rotation continue un rapport qualité / efficacité intéressant.

2.3.6.7. Systèmes rotatifs en nickel-titane

Les instruments rotatifs nickel-titane existant actuellement, présentent une conicité majorée par rapport aux instruments manuels ISO, et peuvent être classés en fonction de leur conicité et du dessin de leur lame :

La conicité majorée peut être constante ou variable.

La conicité constante signifie une progression uniforme du diamètre le long des spires de l'instrument (conicité 2 %, 4 %, 6 %...), ce qui est le cas de tous les instruments actuellement disponibles, à une seule exception (Protaper).

Un instrument à conicité constante présente donc une forme pyramidale (figure 58a).

Dans le concept de la conicité variable, la conicité varie sur la partie active du même instrument (figure 58b) ^[9]

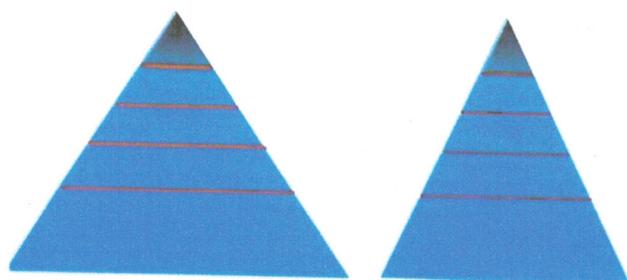


Fig. 58a Les instruments à conicité constante présentent une progression uniforme du diamètre le long des spires, ce qui leur confère une forme pyramidale. Plus la conicité est importante, plus la base de la pyramide est large

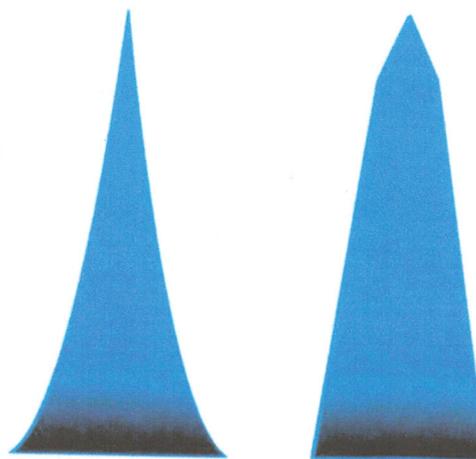


Fig. 58b Les instruments à conicité variable ne présentent pas une progression uniforme du diamètre. La conicité variable peut être croissante (à gauche) ou

Le dessin de la lame: les instruments sont dits « passifs » (ou non coupants), lorsqu'ils sont munis d'un méplat radiant (fig. 59a), ou « actifs » (ou coupant), sans méplat radiant (fig. 59b).

Une pointe passive pour la plupart de ces instruments (à l'exception du Quantec SC).

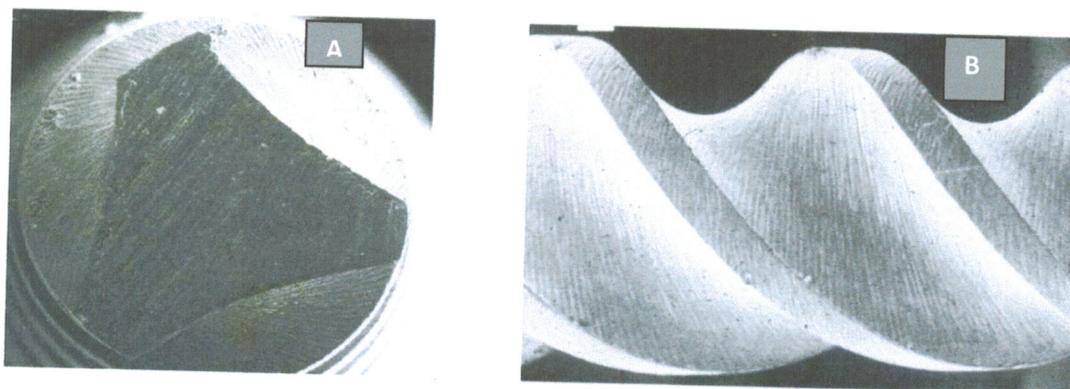


Fig. 59a Vue au microscope électronique à balayage d'un instrument (Profile) à méplat radiant, de profil (A) et en section (B) ^[9]

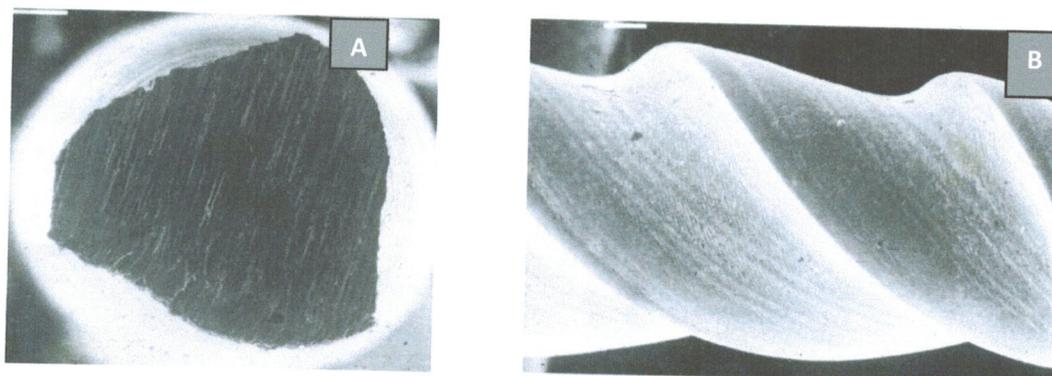


Fig. 59b Vue au microscope électronique à balayage d'un instrument coupant (Hero 642) sans méplat radiant, de profil (A) et en section (B) ^[9]

2.3.6.7.1. Instruments à conicité constante

➤ Instruments à méplat radiant :

Les plus connus : Profile® (Dentsply-Maillefer) ; GT Rotary File® (Dentsply-Maillefer) ; Quantec® (SybronEndo) ; K3® (SybronEndo).

Le système ProFile® (Dentsply-Maillefer) est le plus représentatif des instruments avec méplat radiant. Ces instruments présentent une section en triple U et une masse centrale réduite, ce qui leur confère une bonne flexibilité .

➤ Instruments « coupants »

Les plus connus : Hero 642® (MicroMéga) ; HeroShaper® (MicroMéga).

Le système le plus représentatif des instruments coupants à conicité régulière est le Hero 642® (MicroMéga) (Calas et Vulcain, 1999).

Le profil de l'instrument est hélicoïdal, sans méplat radiant, avec 3 angles de coupe et une âme centrale importante.

Le système HeroShaper® (MicroMéga), à remplacer en améliorant le Hero 642®.

Il comporte 6 instruments de base, de diamètre 20, 25 et 30 chacun en 2 conicités: 6 et 4 %.

La modification essentielle concerne le pas des lames de l'instrument : le pas et la longueur de la partie active varient en fonction de la conicité. Cela permet de limiter l'effet de vissage ressenti avec le Hero 642® et d'améliorer la flexibilité de l'instrument ce qui autorise l'utilisation de la conicité 4 % au niveau apical (contre la conicité de 2 % pour le Hero 642®, plus rigide).

L'avantage des instruments actifs est leur efficacité lors du travail de coupe dans le canal. Cette efficacité réduit aussi la pression nécessaire au travail des instruments.

L'un des inconvénients de la conicité constante sur les instruments coupants est l'effet d'aspiration qu'elle peut engendrer dans certaines situations anatomiques. Cet effet d'aspiration est essentiellement rencontré avec les instruments de conicité 6 %, utilisés dans des canaux présentant un diamètre important, qui favorise l'engagement d'une surface importante.

De plus, le relatif manque de flexibilité prohibe l'utilisation des fortes conicités dans le tiers apical des canaux courbes, sous peine de déplacement canalaire ou foraminal, ou de perte de longueur de travail. De cette rigidité découle l'utilisation recommandée de séquences opératoires se basant sur l'utilisation des conicités 2 % au niveau apical, ce qui peut s'avérer malheureusement insuffisant pour l'obtention d'une bonne mise en forme.

la lame étant moindre : ce sont les **Finishing Files**, qui ressemblent schématiquement à un obélisque. Cette configuration permet l'obtention d'une bonne conicité apicale tout en conférant une bonne flexibilité au reste de la lame (figure 60 b).

La conicité variable permet de supprimer le méplat radiant (figure 61 a), ce qui confère à l'instrument *une bonne* efficacité de coupe, tout en évitant l'effet de vissage rencontré avec la conicité constante, puisque chaque instrument coupe sur une surface réduite. Le ProTaper® présente une section triangulaire convexe qui augmente la résistance à la fracture en torsion (figure 61b) ; une pointe non coupante, permettant un meilleur respect des trajectoires canalaires lors du travail dans les courbures; ainsi qu'un angle d'hélice et un pas variables, assurant une bonne remontée des débris.

Les instruments sont munis d'un manche plus court (13 mm au lieu de 15 mm) permettant un accès plus aisé dans les zones postérieures.

La conicité variable permet en outre la simplification des séquences opératoires par la réduction du nombre d'instruments. Ainsi, une seule séquence standard est préconisée pour la majorité des cas cliniques. Elle est basée, dans les canaux longs et difficiles sur l'utilisation de 3 à 4 instruments pour la mise en forme.

Cette séquence standard est facilement mémorisable, car son ordre d'utilisation correspond aux couleurs ISO habituelles (violet, blanc, jaune, rouge, bleu).

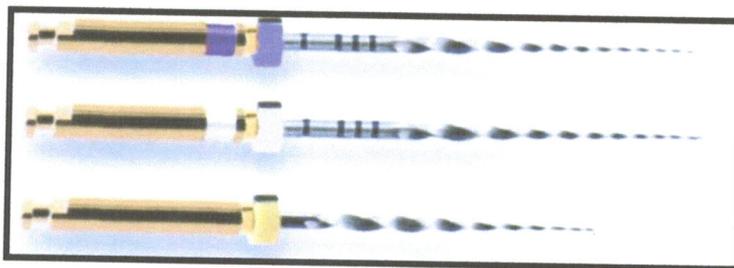


Fig. 60a ProTaper® Shaping Files. De haut en bas : S1, S2 et SX.

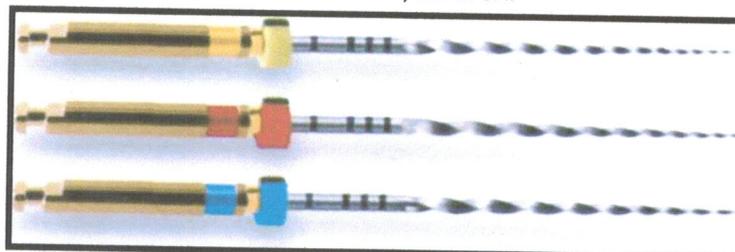


Fig. 60b ProTaper® Finishing Files. De haut en bas: F1, F2 et F3.

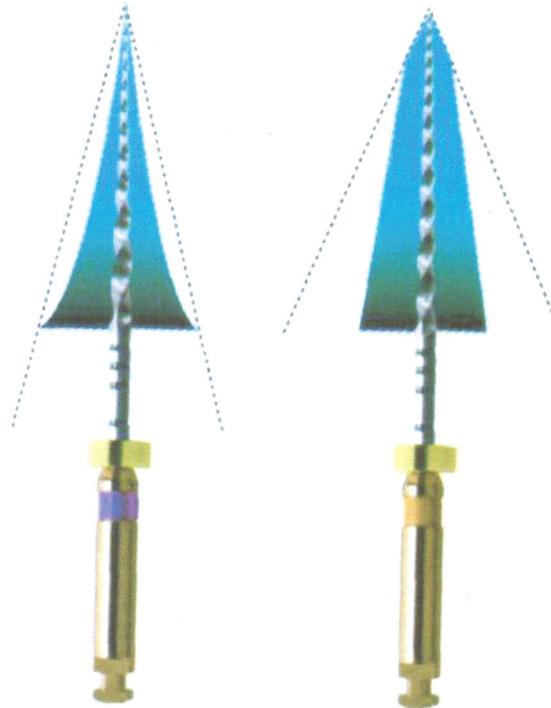


Fig. 61 En bleu, (a) conicité variable croissante et (b) conicité variable décroissante. Les pointillés permettent la comparaison avec une conicité constante.

Les couleurs des bagues sont reproduites sur les stops en silicone prémontés, ce qui offre une double sécurité au cas où certaines solutions de décontamination agressives entraîneraient la disparition des couleurs au niveau des manches.

2.4. Obturation canalaire

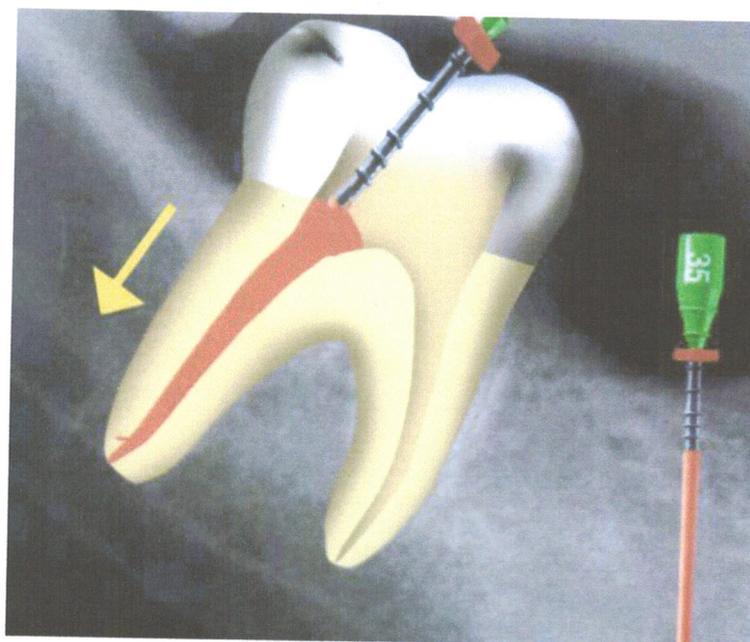


Fig. 62 Schématisation de l'obturation canalaire. machtou

L'obturation tridimensionnelle et étanche du système canalaire est la dernière étape du traitement endodontique proprement dit.

La qualité de l'obturation est directement liée à la qualité de la mise en forme. Aucune technique d'obturation n'est susceptible de combler les lacunes d'une mauvaise préparation canalaire.

Comme le souligne Laurichesse « l'obturation doit isoler le système canalaire de son environnement parodontal, pour ne laisser au contact de ce dernier que le ciment, seul élément vivant susceptible de réparation dans la zone péri apicale après disparition de la pulpe ».

2.4.1. Objectifs de l'obturation canalaire :

L'obturation endodontique a pour but de sceller le plus hermétiquement possible toutes les portes de sortie du système canalaire vers le parodonte et créer un environnement biologique favorable à la cicatrisation (Schilder, 1967).

➤ Objectif technique

C'est de remplir aussi complètement que possible la totalité de l'endodonte, par une méthode d'obturation capable de réaliser le scellement des canaux principaux, latéraux et accessoires, en assurant une étanchéité aussi parfaite que possible au niveau de ou des foramina principaux et accessoires (Figure 63).

➤ Objectifs biologiques

- Maintenir le résultat obtenu par la préparation (débridement et désinfection) en empêchant toute modification secondaire de l'environnement périapicale par des éléments bactériens ou toxiques, qui pourraient atteindre cette région par le biais d'un scellement insuffisant ou des canaux accessoires non obturés.
- Induire la cémentogénèse.

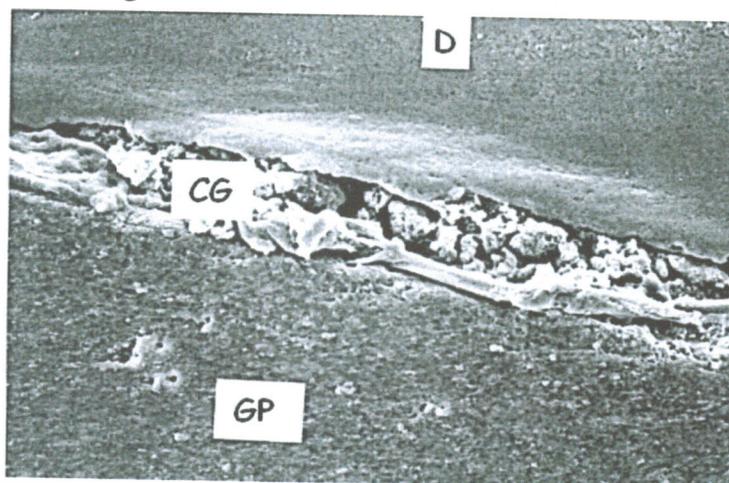


Fig. 63 Canal obturé à la gutta percha (Sugawara et al 1990).

(D) dentine ; (CG) ciment de scellement de Grossman ; (GP) gutta percha. ^[10]

2.4.2. Moment de l'obturation canalaire

L'obturation canalaire peut être réalisée chaque fois que :

- le canal a été correctement mis en forme.
- Le canal peut être séché. En effet, si un canal présente un suintement apical et que le séchage parfait à la longueur de travail ne peut pas être obtenu, l'obturation doit être remise à une séance ultérieure.
- La dent est asymptomatique. Il est totalement contre-indiqué d'obturer une dent qui présente des symptômes de parodontite apicale, sous peine d'entraîner une exacerbation des signes cliniques.

2.4.3. Différentes techniques d'obturation ^[6]

- Technique monocône
- Techniques de condensation de gutta-percha
 - Condensation latérale à froid
 - Thermocompactage mécanique
 - Technique hybride (latérale à l'apex + thermocompactage)
 - Compactage vertical en vagues multiples (technique de Schilder)
 - Compactage vertical centré en vague unique (System B[®])
 - Technique de gutta préchauffée sur tuteur (Thermafil[®], Soft-Core[®] ou HeroFill[®])

➤ La technique monocône :

Se base sur l'utilisation d'un bourre-pâte, type Lentulo[®], pour « injecter » une pâte d'obturation canalaire, étape suivie par l'introduction d'un cône unique de gutta-percha.

Cette technique présente de nombreux inconvénients reconnus, et à ce titre, elle ne devrait plus être utilisée à ce jour:

La modification du pas des lames sur le HeroShaper® a tendance à limiter l'effet de vissage et sa flexibilité améliorée permet l'utilisation de la conicité 4 % dans la région apicale.

2.3.6.7.2. Instruments à conicité variable

Par opposition à la conicité régulière, où un instrument présente une augmentation de diamètre constante, dans le concept de la conicité variable, la conicité de l'instrument varie sur la lame active du même instrument.

Ainsi, elle peut être de 2 % sur 1 ou 2 mm, puis de 4 % sur les mm suivants, puis de 7 % sur quelques mm, etc.

Le ProTaper® (Dentsply-Maillefer) est actuellement le seul instrument présentant une *conicité variable*.

➤ Règles de la mise en forme au ProTaper®

Pour prévenir tout risque de rupture, les Protaper doivent être utilisés à une vitesse de rotation constante de 300 à 350tr/mn.

C'est aussi un instrument coupant, sans méplat radiant.

Les études scientifiques récentes ont montré que le ProTaper® permettait une mise en forme canalaire efficace et rapide des canaux fins et courbés sans transport de la trajectoire canalaire, création de butée ou de perforation (Peters et coll. 2003, Bergmans et coll. 2003).^[9]

L'intérêt principal de la conicité variable est qu'elle permet d'assurer une *flexibilité* adaptée aux différents instruments composant le système. Ainsi, une conicité importante est donnée à l'instrument uniquement là où le travail est souhaité dans le canal:

- Les instruments destinés à l'ouverture de la trajectoire canalaire présentent une conicité maximale coronairement, et possèdent une pointe fine et flexible : ce sont les **Shaping Files**, qui ressemblent schématiquement à une Tour Eiffel (*figure 60 a*).
- Les instruments destinés à la mise en forme apicale présentent une conicité maximale dans les premiers mm au niveau de la pointe, la conicité du reste de

➤ **La technique de compactage vertical en vagues multiples ou technique de Schilder (1967) :**

Elle est basée sur l'ajustage d'un cône de gutta non normalisé (Médium ou Fine Médium), sur l'utilisation d'une source de chaleur manuelle (heat-carrier) ou électronique (Touch'n Heat[®], KerrEndo), ainsi que de fouloirs spécialement conçus pour le compactage vertical.

Cette technique est considérée comme la technique de référence en terme de qualité d'obturation du réseau canalaire néanmoins son apprentissage, ainsi que sa mise en œuvre clinique, sont longs.

➤ **Le System B[®] ou technique de compactage vertical centré en vague unique :**

Elle est dérivée de la technique de Schilder, le System B[®] (Buchanan, 1994) est basé sur l'utilisation d'un seul instrument jouant le rôle de fouloir et de réchauffeur. Ce fouloir est utilisé pour compacter verticalement, et en une seule vague de descente, un cône de gutta-percha qui a été préalablement ajusté. Cette vague de descente aboutit à l'obturation du système canalaire latéralement et à la création d'un bouchon apical. Elle est suivie d'une phase de remontée visant à obturer le reste du canal.

2.5. L'enduit pariétal en endodontie :

Les Méthodes contemporaines de préparation canalaire produisent une couche de matériau organique et inorganique appelé la boue dentinaire qui peut aussi contenir des bactéries et leurs produits de métabolisme.

Cette couche recouvre les murs instrumentés et peut empêcher la pénétration des médicaments intracanaux dans les tubules dentinaires et interférer avec le matériau d'obturation.

2.5.1. Définition de la boue dentinaire (Smear layer)

Toute instrumentation dentinaire provoque la formation d'une **boue dentinaire ou Smear layer**, qui recouvre la surface dentinaire et pénètre dans les tubules sur plusieurs microns. Décrite dès le 17^{ème} siècle par VAN LEEUWENHOEK, elle se compose d'un **mélange de débris organiques et minéraux, et de bactéries** ; elle est très faiblement adhérente à la dentine sous-jacente. ^[19,44]

PASHLEY suggère que sa composition varie en fonction de la profondeur dentinaire et donc de la structure dentinaire dont elle est issue.

La boue dentinaire a été définie par l'Association américaine des endodontistes en 2003 comme une couche superficielle des débris retenus sur la dentine ou une autre surface après l'instrumentation soit avec des instruments rotatifs ou manuelles, elle est constituée de particules de dentine, des restes de tissu pulpaire vital ou nécrotiques, des composants bactériens, et irrigants retenus.

2.5.2. Composition de la smear layer

L'**enduit pariétal** au sens large est un dépôt d'origine iatrogène affectant les parois des tissus durs Instrumentés, observé au MEB, il présente un aspect amorphe et irrégulier. (Figure 64,65,66)

Bien que la composition exacte soit encore inconnue, elle est surtout inconstante. ^[11,45]

Toutefois, la présence de deux phases suivantes est indéniable:

➤ **Phase minérale**

Constituées de copeaux de dentine, petits cristaux d'hydroxyapatite de 0.5 à 1.5µm de long.

➤ **Phase organique**

Constituée de résidus de la trame collagénique de la dentine et de la pré-dentine, débris pulpaire, éventuellement de micro-organismes et de leurs produits de métabolisme.

Certains auteurs considèrent la smear layer comme une entité tridimensionnelle qu'ils subdivisent en deux composants:

1 -une fine couche de 1à2µm tapissant les parois canalaire, facile à éliminer.

2-une couche intra tubulaire ou « smear plugs »:sortes de carottes d'enduit pariétal, pistonnées dans les tubulis par les instruments sur une profondeur pouvant atteindre 40µm selon le diamètre des tubulis.

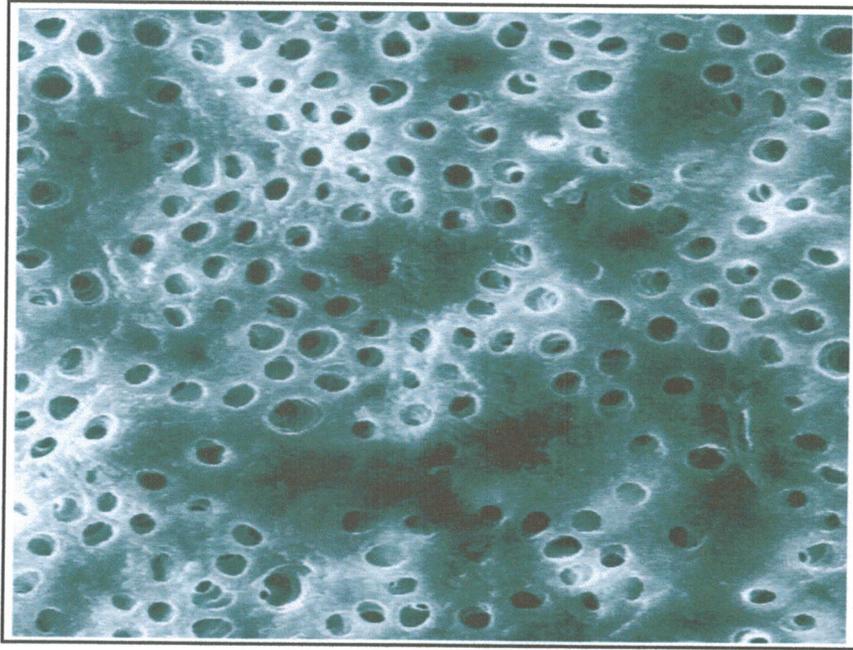


Fig. 64 Vue au microscope électronique à balayage d'une paroi du canal après l'extirpation pulpaire. Absence d'enduit pariétal et on note l'ouverture nette des tubulis dentinaires. (Score 0; grossissement original $\times 1500$) ^[29]

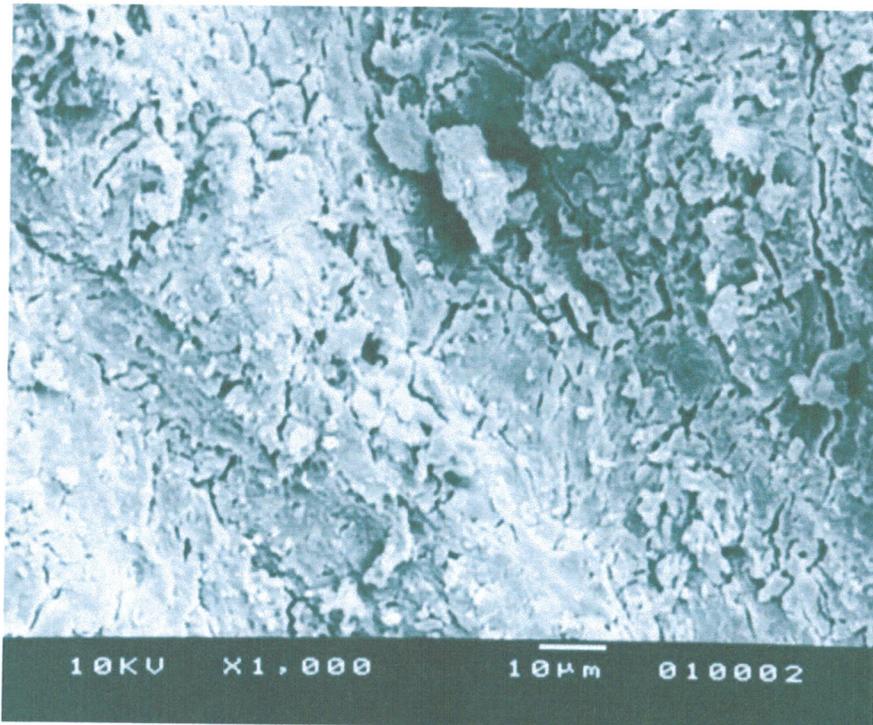


Fig. 65 Vue au microscope électronique à balayage montrant la fermeture totale des entrées tubulaire par de la smear layer (enduit organo-minéral). ^[29]

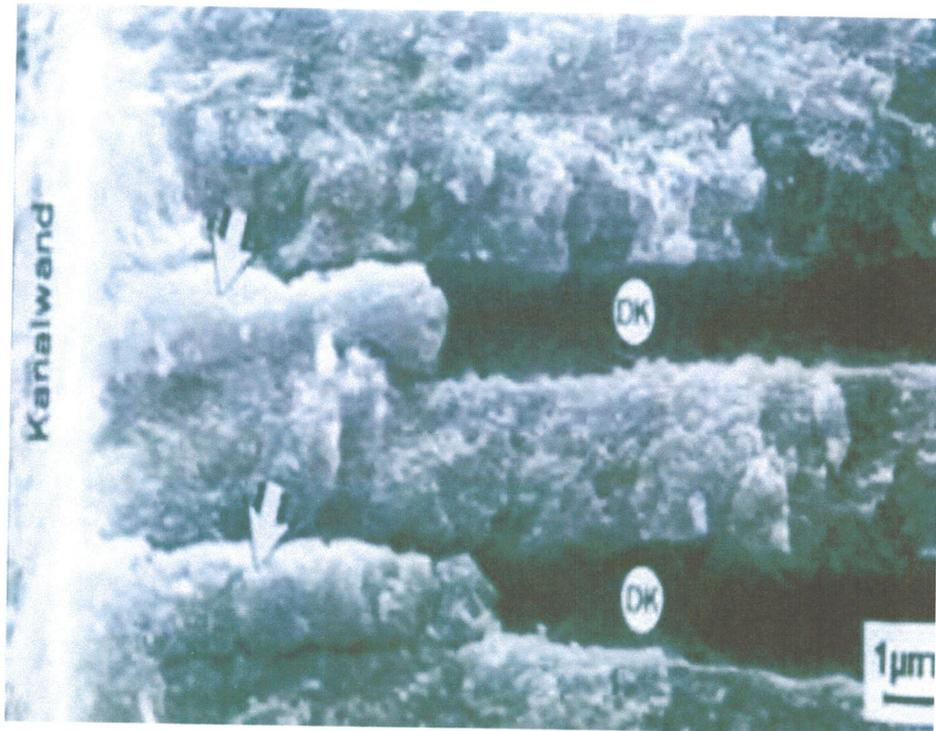


Fig. 66 Smear Plugs^[11]

2.5.3. Faut-il éliminer la smear layer ? ^[17,29, 46, 47]

La question du maintien ou de retirer la boue dentinaire reste controversée (Drake et al. 1994, Shahravan et al. 2007). Certaines enquêtes ont porté sur son retrait (Garberoglio & Brannstrom 1976, Outhwaite et al. 1976, Pashley 1985), tandis que d'autres ont considéré ses effets sur la micro-infiltration apicale et coronaire (Madison & Krell 1984, Goldberg et al. 1995, Chailertvanitkul et al 1996), la pénétration bactérienne dans les tubules (Pashley 1984, Williams & Goldman 1985, Meryon & Brook, 1990) et l'adaptation des matériaux d'obturation canalaire (White et al. 1987)

De nombreux arguments sont en faveur de l'**élimination** de cet enduit pariétal:

1. Il a une épaisseur et un volume imprévisible, car une grande partie de celui-ci est constitué d'eau (Cergneux et al. 1987).
2. Il contient des bactéries, leurs sous-produits et des tissus nécrotiques

(McComb et Smith, 1975, Goldberg & Abramovich 1977, Wayman et al. 1979, Cunningham & Martin 1982, Yamada et al. 1983). Les bactéries peuvent survivre et se multiplier (Brannstrom & Nyborg 1973)

et peuvent proliférer dans les tubules dentinaires donc l'enduit pariétal va servir comme un réservoir pour les microbes (Olgart et al. 1974, Akpata & Blechman 1982, Williams & Goldman 1985, Meryon et al. 1986, Meryon & Brook 1990), (Pashley 1984).

3. L'enduit pariétal peut agir comme un substrat pour les bactéries, permettant leur pénétration plus profonde dans les tubules dentinaires (George et al. 2005). Les bactéries peuvent être trouvés en profondeur dans les tubules dentinaires (Bystro & Sundqvist 1981, 1983, 1985).

4. Il peut limiter la pénétration optimale des s différentes solutions d'irrigation diminuant ainsi leurs actions (McComb et Smith, 1975, Outhwaite et al. 1976, Goldberg & Abramovich 1977, Wayman et al. 1979, Yamada et al. 1983).

5. Elle peut agir comme une barrière entre les matériaux d'obturation et la paroi du canal et donc compromettre la formation d'une étanchéité satisfaisante (Lester & Boyde 1977, White et al. 1984, Cergneux et al. 1987, Czonstkowsky et al. 1990, Foster et al. 1993, Yang et Bae, 2002).

Lester & Boyde (1977) a constaté que l'oxyde de zinc - eugénol n'entraîne pas dans les tubules dentinaires en cas de présence de la boue dentinaire.

Il s'agit d'une structure faiblement adhérente, qui va contaminer le matériau d'obturation et les parois dentinaires (Mader et al. 1984, Cameron, 1987b, Meryon & Brook 1990). Son retrait serait capitale pour faciliter l'obturation du canal du canal radiculaire (McComb et Smith, 1975, Goldman et al. 1981, Cameron 1983).

A l'inverse, certains chercheurs sont pour la conservation de la boue dentinaire car cette dernière intervient sur la perméabilité dentinaire en réduisant le diamètre des tubulis dentinaire par des « Smear Plugs », ce qui empêche l'échange des bactéries (Michelich et al. 1980, Pashley et al. 1981, Safavi et al. 1990, Drake et al. 1994, Galvan et al. 1994). de cette manière , La couche de boue dentinaire sert comme un obstacle pour empêcher la migration des bactéries dans les tubules dentinaires (Drake et al. 1994, Galvan et al. 1994, Love et al.

Cependant Meyron et Brook ont prouvés que les bactéries *S.sanguis*, *A.viscosus*, *Corynebacterium sp*, pouvaient traverser la smear layer même épaisse, en outre on peut trouver des bactéries très profondément dans les tubulis dentinaire des canaux infectés.

En résumé, rappelons brièvement les conséquences de l'enduit pariétal :

- Il peut renfermer des bactéries qui vont croitre et se multiplier dans les tubulis.
- Il accroît l'adhésion des bactéries et constitue un milieu nutritionnel idéal pour celles-ci.
- Si la smear layer freine la diffusion bactérienne dans les tubuli, elle ne l'empêche pas, mais entrave surtout l'action des irrigants.
- La smear layer favorise l'apparition de micro-percoloration et diminue l'adhésion et donc l'étanchéité de l'obturation.

Pour toutes ces raisons, l'enduit pariétal compromet le traitement canalaire ; son élimination se justifie donc essentiellement pour deux raisons :

- **Favoriser l'asepsie.**
- **Assurer la pérennité de l'obturation canalaire.**

Méthodes d'évaluation expérimentale de l'état de surface canalaire

2.6.1. La Loupe binoculaire :

Le stéréomicroscope est un type particulier de microscope, souvent appelé loupe binoculaire.

C'est un appareil destiné en priorité à l'observation à faible grossissement avec un éclairage par-dessus. Il permet surtout la perception stéréoscopique, en relief, de petits sujets. (figure 67).



Fig. 67 Loupe binoculaire ou stéréomicroscope [48]

Un stéréomicroscope se compose en fait de deux microscopes accolés pour fournir deux images de l'objet, une pour chaque œil. Chaque image est redressée par un dispositif particulier qui n'existe pas dans un microscope classique. Cela permet une vision en relief de l'objet.

[48] : (<http://fr.wikipedia.org/wiki/St%C3%A9r%C3%A9omicroscope>)

La loupe binoculaire permet :

D'Observer des objets en 3 dimensions et grossir leurs images entre 20 et 90 fois, selon les combinaisons optiques dont est équipée la loupe.

- Trier des objets de petites dimensions (grains de sable, foraminifères...) selon des critères précis (taille, forme, couleur....).

Utiliser une paire de pinces fines et la face de la platine la mieux adaptée à la couleur des objets.

- Réaliser des dissections de petits objets (fleur, insecte...).

2.6.2. Le microscope optique

Instrument d'optique à fort pouvoir grossissant, permettant de voir des objets invisibles à l'œil nu. Le plus utilisé en endodontie est le microscope opératoire qui est un microscope optique de faible puissance sans platine, dont le système d'éclairage est disposé de façon à éclairer la surface à observer qui reste accessible au chirurgien dentiste car elle est suffisamment distante de la partie inférieure de la lentille. Le M.O est fait pour tous les praticiens et n'est pas réservé qu'à des spécialistes seulement. Dans cette optique, le M.O doit être simple à manipuler et à nettoyer. Il peut être fixé sur un pied roulant ou plus facilement au mur et au plafond.

Quel que soit le microscope choisi, à ce jour, il doit s'adapter aux particularités de l'exercice de l'art dentaire :

- Position de travail assise avec une vision du champ opératoire qui diffère suivant l'organe dentaire concerné.
- Profondeur de champ importante.
- Travail en vision indirecte dans 80 % des cas, ce qui implique une absence de liberté des mains.
- Assistance opératoire quasiment indispensable.
- Nécessité d'une source lumineuse puissante et pénétrante à l'intérieur de l'organe traité

Il faut distinguer 3 parties distinctes auxquelles s'adjoignent les accessoires :

- Une partie optique : le microscope
- Une partie mécanique : Le bras pantographique de mobilisation monté sur un support
- Une partie électrique : La source lumineuse

2.6.3. La microscopie électronique

Le terme général de "microscopie électronique" peut prêter à confusion, pouvant être appliqué au microscope électronique en transmission (MET, en anglais TEM), et au microscope électronique à balayage (MEB, en anglais SEM). Dans la pratique, l'expression "microscope électronique" (en anglais EM) concerne presque toujours le MET. Et bien qu'il y ait de l'optique électronique sur un MEB, le principe de formation de l'image est radicalement différent sur ces deux appareils.

2.6.3.1. Microscope électronique à balayage (MEB) ^[19,49]

➤ Description de la technique :

Les interactions électrons-matière est le principe sur lequel est basée cette technique de microscopie. Un faisceau d'électrons balaie la surface de l'échantillon à analyser qui, en réponse, réémet certaines particules. Le nombre de particules réémises varie en fonction de la topographie, la composition et la texture de la surface observée. Différents détecteurs permettent d'analyser ces particules et de reconstruire une image de la surface.

Les premiers MEB ont été commercialisés dans les années 1960.

La résolution a été considérablement améliorée (de l'ordre de 1 nm) par l'apparition du « Field-Emission Instruments Scanning Electron Microscopy » (FEISEM) (MEB à émission de champ). Alors que le MEB utilise des voltages d'accélération de l'ordre de 15 à 25 kV, induisant des dommages par le faisceau d'électrons, le FEISEM travaille à des voltages de 2 à 6 kV, permettant une meilleure résolution et une préservation des structures biologiques.

Les observations sous vide plus important peuvent se faire, telles qu'il a été utilisé lors de l'étude des systèmes adhésifs, le MEB permet ainsi la visualisation en surface de la couche hybride et des tags de résine après dissolution partielle des structures dentinaires.

Des marqueurs tels que le nitrate d'argent peuvent être utilisés concomitamment pour visualiser la perméabilité d'une interface sous MEB.

La technique des répliques au niveau du MEB, utilisée par CHERSONI pour étudier les mouvements de fluide depuis la dentine à travers les adhésifs. Elle consiste en une prise d'empreinte de la surface de dentine enduite d'adhésif polymérisé après élimination de la couche inhibée par l'oxygène, avec un polyvinyl siloxane de basse viscosité (NAHON a montré que la prise d'empreinte ne modifie pas l'intégrité de l'adhésif). Une réplique en résine époxy ou en polyether pour les canaux radiculaires est obtenue à partir de l'empreinte, puis métallisée à l'or et au palladium pour être examinée au MEB. La qualité du recouvrement par l'adhésif et la transsudation de gouttelettes de fluide dentinaire sont alors observées. Le nombre de gouttelettes par μm^2 d'adhésif polymérisé peut être enregistré et apporter des données quantitatives.

Le grandissement est déterminé par le rapport entre la surface balayée sur l'échantillon un rectangle de dimension variant entre quelques mm et une fraction de micromètres de côté), et la dimension du document final sur l'écran d'observation. Plutôt que de parler de grandissement, il peut être judicieux de parler de la taille du champ observé.

L'image en électrons secondaires se caractérise par une très bonne définition, jusqu'à des grossissements compris entre $\times 20.000$ et $\times 50.000$ en conventionnel, jusqu'à >500.000 en haute résolution, avec des résolutions latérales limites de 10 à 200 Å, suivant l'échantillon, l'appareil et les paramètres d'observation. Un montage du détecteur dans la lentille objectif dit "In Lens" ou "TTL" permet d'éliminer la plus grande part des rétrodiffusés, et d'obtenir une image mieux définie de la surface, particulièrement à basse énergie primaire.

➤ Les Limites d'utilisation :

La dissolution de la dentine pour observer la couche hybride provoque une perte d'informations concernant par exemple la structure dentinaire et l'étude de la zone de transition adhésif-dentine.

La déshydratation et la mise sous vide peuvent provoquer des artefacts, des contractions entraînant des fractures, des délaminations, si le protocole et la technique sont mal réalisés.

➤ Composants du MEB

Le schéma ci-contre (figure 68) résume les composants essentiels d'un microscope électronique à balayage. Le microscope et notamment la cathode est placé dans un vide plus ou moins poussé qui dépend de la nature du filament (10⁻⁵ torr pour un filament de tungstène à 10⁻¹¹ torr pour un canon à émission de champ.

Le canon à électrons (1) qui produit le faisceau électronique, ce canon est porté à la masse V_0 . Les tensions d'accélération courante se situent entre 10 et 50 kV.

L'anode est à la masse (2) Le filament est soit un filament de tungstène, de LaB6 ou à effet de champ.

Le système du condenseur (3) permet de former une image réduite du crossover qui est ensuite projeté par une lentille objective sur l'objet. Ces condenseurs permettent d'agir sur l'ouverture du faisceau et donc la taille de la sonde d'analyse (jusqu'à 0.5 nm).

Le système de balayage (4) formé par les bobines de déflexion permet de déplacer la sonde sur l'objet. Le grandissement est déterminé entre l'amplitude

du balayage image et celui de l'objet. Ce spot est ensuite projeté sur l'échantillon par une lentille objectif (5).

Echantillon - Détecteur : L'échantillon qui peut être massif (6) est porté par une platine eucentrique permettant des mouvements en x , y , z , f et q . Différents types de détecteurs servent à compter les particules émises : détecteurs d'électrons secondaires (7), d'électrons rétrodiffusés (9) ou de rayons X (8).

Formation de l'image - Traitement de l'information : Les signaux provenant des détecteurs produisent sur un écran fluorescent une image en noir et blanc. On peut également numériser les images et traiter l'information (traitement du contraste, intégration, filtrage, ...)

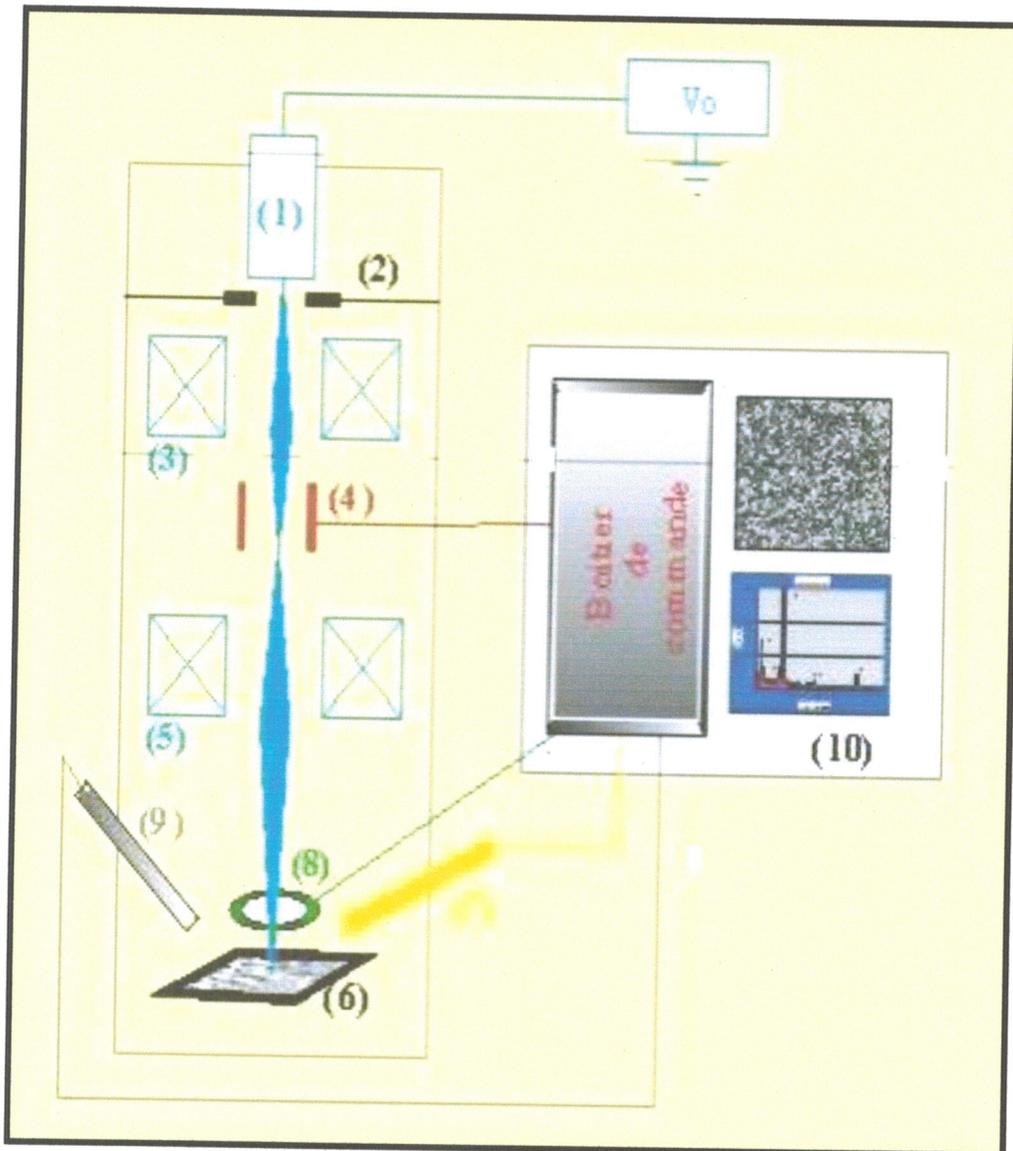


Fig. 68 les composants essentiels d'un microscope électronique à balayage ^[49]

➤ Imagerie en Microscopie Electronique à Balayage

Aux divers types de particules émises lors de l'interaction entre le faisceau électronique et l'échantillon correspondent différents mode de fonctionnement du microscope et donc différents types d'imagerie.

- **Imagerie en électrons secondaires**

Le détecteur à électrons secondaires est composé principalement d'une cage de Faraday, d'un scintillateur et d'un photomultiplicateur collecteur légèrement polarisé (+ 200 V).

Les électrons excitent la couche superficielle de l'échantillon induisant une émission d'électrons secondaires. Ceux-ci seront plus facilement émis par les reliefs de la surface de l'échantillon que par les creux.

A l'image, les reliefs donneront naissance à des zones claires tandis que les creux apparaîtront en sombre.

Cette imagerie permet une observation très précise de l'état de surface de l'échantillon. La résolution est très bonne tout en nécessitant que très peu [d'électrons].

On lui reproche le manque d'informations concernant les couches sous-jacentes.

- **Imagerie en électrons rétrodiffusés**

Le détecteur d'électrons rétrodiffusés (BSE) est formé d'un anneau en semi-conducteur.

L'échantillon excité peut fournir des électrons rétrodiffusés. Dans ce cas, l'appareil muni d'un détecteur d'électrons rétrodiffusés va donner des informations qualitatives concernant la composition de l'échantillon.

En effet, le nombre d'électrons rétrodiffusés pour un électron incident est une fonction croissante du numéro atomique.

Ainsi, plus les atomes sont lourds plus ils émettent des électrons rétrodiffusés. Le résultat obtenu est une image de contraste chimique si les éléments composant l'échantillon ont des numéros atomiques suffisamment éloignés dans le tableau de Mendeleïev.

Le principal inconvénient de ce système est qu'il nécessite un faisceau d'électrons large qui sera au détriment de la résolution.

- **Imagerie par émission de Rayons X**

Les signaux X sont récupérés au-dessus de l'échantillon par un détecteur puis comptés en fonction de leurs énergies. Le détecteur de rayons" utilisé se présente sous la forme d'un petit tube contenant à son extrémité un semi-conducteur qui est maintenu à la température de l'azote liquide. Une fenêtre placée à l'avant du détecteur laisse passer les rayons et retient l'azote liquide.

- **Protocole d'observation au MEB**

Ce chapitre s'adresse avant tout à celui qui est amené à manipuler sur le microscope. Il convient d'adapter plusieurs points à l'instrument utilisé, les fonctions accessibles ou transparentes variant beaucoup selon l'âge et le type d'instrument. Sur des appareils récents, beaucoup des opérations suivantes (marquées *) sont automatiques, voire transparentes pour l'utilisateur.

Avant d'introduire l'échantillon, il est nécessaire d'avoir une idée de ce qu'on cherche (on observe rarement un échantillon dont on ne sait rien). Ceci permet de choisir l'énergie primaire et la distance de travail, que l'on ne prend pas au hasard. Dans l'inconnu, et cela arrive, une énergie primaire de 15 kV et une distance de 10 à 20 mm sont un bon Point de départ, que l'on affinera par la suite.

L'appareil étant prêt au fonctionnement et sous vide :

- Introduire l'échantillon ;
- Choisir la distance de travail ;
- Choisir l'énergie primaire et l'enclencher dès que le vide l'autorise ;
- Mettre la tension sur le photomultiplicateur (*);

Régler le contraste et la brillance de l'ampli vidéo et du moniteur sur des valeurs moyennes habituelles (* réglage automatique).

En imagerie numérique, la gamme de gris du moniteur doit entrer ajustée avec une charte de gris, et vérifiée d'après le rendu sur l'imprimante habituelle.

Mettre le grandissement au minimum, en balayage rapide, avec un réglage de courant incident correspondant à une image peu bruitée. La valeur dépend du type d'interface : 0.5 à 1 nA sur un MEB analogique, 50 à 100 pA sur un

MEB numérisé.

Monter doucement l'intensité de chauffage du filament, en surveillant

(* , Saturation automatique du filament) :

- Le courant de chauffage du filament;
- Le courant d'émission du canon;
- L'apparition d'une image sur l'écran.

Pour prendre une photo :

- Veiller à ce que le filament soit bien réglé pour éviter les fluctuations pendant la prise de vue. En FEG, veiller que le courant d'extraction soit stable pendant le temps de la prise de vue.
- Régler courant et diaphragme aux valeurs optimales pour le grandissement choisi.
- Régler la mise au point et l'astigmatisme à un grandissement au moins double de celui choisi pour la photo.
- Régler le contraste et la brillance selon les indications du fabricant de l'appareil.
- Ne pas faire bouger la colonne pendant la prise de vue.

2.6.3.2. Microscope électronique à transmission (MET)

➤ Description de la technique :

Cette technique de microscopie est basée sur le principe de **diffraction des électrons** et peut atteindre un grossissement de 5 000 000. Le principe du microscope électronique en transmission a été mis au point en 1931 par Max Knoll et Ernst Ruska, ce dernier a d'ailleurs reçu le prix Nobel de physique en 1986 pour cette invention. Son principe peut être compris à partir de celui d'un microscope photonique classique : une gerbe d'électrons est condensée sur une partie d'échantillon (de l'ordre de quelques nanomètres au dixième de millimètre). Les électrons qui interagissent fortement avec la matière traversée sont repris par un jeu de lentilles formant une image agrandie de l'objet. La limite de résolution serait de l'ordre de grandeur du picomètre dans un cas idéal. Mais en raison des fortes aberrations, elle n'est en réalité que de quelques Angströms, ce qui est tout de même plus précis que le microscope électronique à balayage.

➤ Limites :

La **préparation des échantillons** pour une observation au microscope électronique en transmission est une phase très importante. C'est elle qui détermine en partie la qualité des résultats obtenus. Le faisceau d'électrons devant traverser l'échantillon, son épaisseur doit être idéalement de l'ordre de quelques nanomètres (10 à 100). La préparation d'échantillons ultrafins de tissus minéralisés au microtome est complexe. Comme pour le MEB, les échantillons doivent être fixés, déshydratés, métallisés.

Le MET permet l'observation ultra-structurale de la couche hybride (configuration du réseau collagénique et diffusion de la résine au sein de ce réseau...). Cependant, cette technique nécessite **l'immersion totale de l'échantillon dentaire dans de la résine époxy** qui se substitue alors à l'eau contenue dans la dentine. La pénétration de traceurs comme le nitrate d'argent est alors biaisée.

La microscopie électronique en transmission est proche dans son principe de la microscopie optique. Cependant la longueur d'onde associée au faisceau d'électrons étant beaucoup plus faible que celle d'un faisceau de lumière, la résolution en microscopie électronique s'en trouve nettement améliorée. Il existe néanmoins des contraintes liées à l'utilisation des électrons : la présence d'un vide poussé dans la colonne du microscope est indispensable, ainsi que l'utilisation d'échantillons ultra-minces (épaisseur de l'ordre de 100 nm) afin d'être le plus possible transparent aux électrons.

➤ Les Applications

Tout échantillon aminci à partir de l'état massif ou préparé par évaporation, et compatible avec l'ultravide (vide limite inférieur à 10^{-7} hPa) peut être analysé par MET : polymères, métaux, échantillons biologiques... L'intérêt premier de la microscopie électronique en transmission est l'obtention d'informations structurales et morphologiques. Une microanalyse chimique de la zone

observée est également possible via deux techniques : la perte en énergie des électrons et la spectrométrie X dispersive en énergie ou en longueur d'onde.

2.6.3.3. Microscopie laser confocale ^[19]

➤ Description de la technique :

Mise au point en 1955 et appliquée pour la première fois en recherche odontologique par WATSON et BOYDE, cette technique de microscopie utilise un faisceau laser qui induit l'**émission de fluorescence** des marqueurs fluorescents employés (rhodamine B, fluorescéine, jaune lucifer...). Le balayage du faisceau laser se fait sur la totalité de l'échantillon. Un moteur de haute précision, dont le pas est de 25 à 40 nm, permet de déplacer la platine du microscope par rapport à l'objectif dans l'axe xz pour obtenir une succession de coupes sur des plans focaux successifs dans la profondeur de l'objet. Les fluorochromes excités par le laser réémettent des photons de longueur d'onde supérieure, qui traversent un miroir dichroïque puis un filtre d'émission ou un prisme calibrant la longueur d'onde émise. Un dispositif de diaphragme ne laisse passer que les photons provenant spécifiquement du plan focal analysé et les envoie sur un photomultiplicateur. Les images recueillies par le dispositif confocale correspondent à des plans optiques définis.

En odontologie, cette technique permet par exemple

- la visualisation de la sub-surface de l'interface (environ 100 microns sous la surface de l'échantillon), avec une préparation minimale de l'échantillon qui peut être conservé humide.
- l'observation de la microstructure dentinaire.
- l'enregistrement de séries d'images suivi d'une reconstruction tridimensionnelle.

- la visualisation et l'individualisation de différents constituants d'un système adhésif après incorporation de marqueurs fluorescents, aidant ainsi à déterminer quel composant est responsable de la formation des tags de résine et de la couche hybride.
- l'étude de microperméabilité de la couche hybride par addition de fluorochromes dans la chambre pulpaire. (évaluation de la pénétration interne de marqueur vers la surface de collage et de la capacité de scellement des tubules dentinaires depuis la zone pulpaire).

2.6.3.4. Microscopie à force atomique

Le microscope à force atomique explore la surface d'échantillons biologiques à l'aide d'une pointe effilée dont l'extrémité a un rayon de quelques nanomètres, portée par un ressort très souple. La précision des déplacements de cette pointe, dans les trois plans de l'espace, couplée à une utilisation dans des solutions physiologiques, permet de visualiser aussi bien des structures biologiques complexes que des molécules uniques, et cela dans leur état fonctionnel puisque **aucune déshydratation** n'est nécessaire. Les résolutions latérale et verticale peuvent atteindre quelques angströms [93, 159]. Ce type de microscopie a permis d'observer la microstructure et les propriétés mécaniques de la dentine

2.6.3.5. Microscopie par génération d'harmoniques (de 2ème ou de 3ème génération)

Elle permet l'observation microstructurale des tubules dentinaires, de l'organisation des fibres de collagène et leur reconstruction tridimensionnelle avec une résolution latérale de l'ordre de 1 micron et longitudinale (axe des z) de l'ordre de 3 microns. L'échantillon n'est pas détruit et peut être observé en solution aqueuse, évitant les artefacts liés à la déshydratation. Il n'est pas nécessaire d'utiliser des marqueurs chimiques. La pénétration du laser au sein de l'échantillon élimine les artefacts liés à la préparation de surface.

3. Etude Expérimentale de l'état de surface canalaire :

3.1. But de l'expérimentation

La préparation canalaire associe le nettoyage et la mise en forme du système canalaire.

Le succès du traitement endodontique est directement lié aux choix et la maîtrise de la technique instrumentale et des solutions d'irrigation.

Toutes ces constatations ont orienté nos objectifs d'étude qui consistent en une observation et comparaison au MEB de l'aspect des parois canalaire préparées avec deux méthodes de mise en forme différentes ;

La première technique est manuelle mécanisée avec des limes type k en acier inoxydable,

La deuxième technique est mécanisée en rotation continue avec des limes en NiTi.

Le protocole d'irrigation suivi est le même pour les deux techniques et qui comprend :

- Le NaOCl à 3%.
- Le Glyde à 17%.

3.2. Matériels et méthodes :

3.2.1 Matériels

3.2.1.1. Instrumentations :

➤ PROTAPER

Ce système est commercialisé par Dentsply-Maillefer (figure 69)

Cette étude nous a permis de confirmer les descriptions du fabricant :

Il s'agit d'instruments en NiTi utilisés en rotation continue à 300trs/min environ.

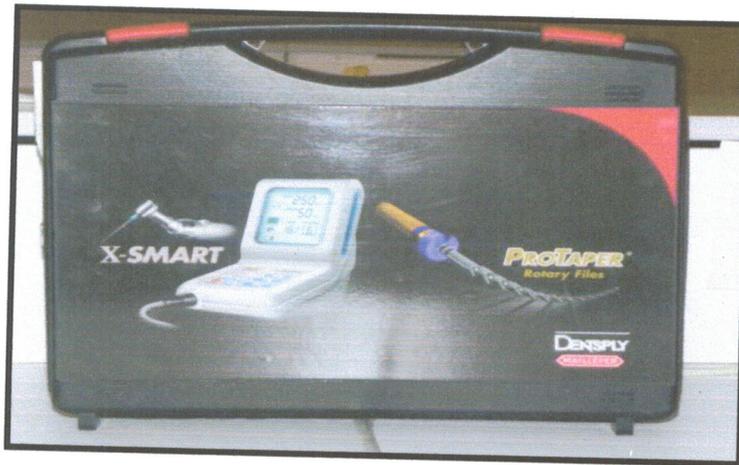


Fig. 69 Boitier complet du ProTaper.

Ce système comporte 6 instruments, 3 Shaping Files et 3 Finishing Files, disponibles en longueurs 21 et 25 mm (à l'exception du SX), présentés dans un séquenceur facilitant l'utilisation et la stérilisation. (Figure 70)

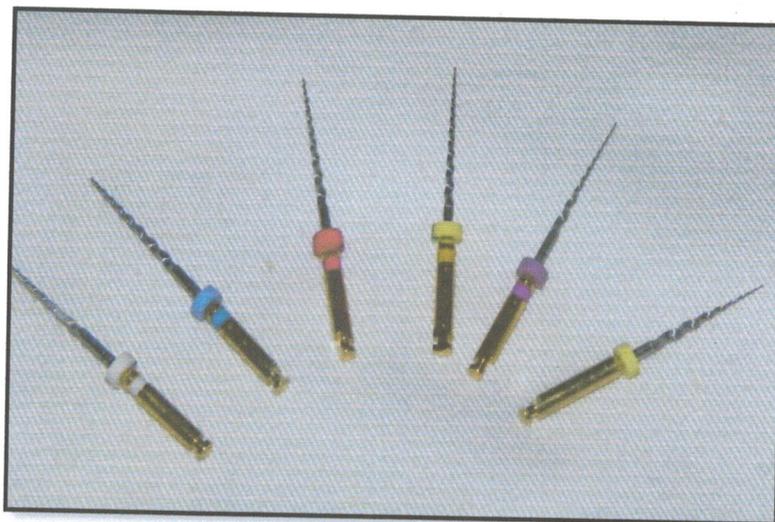


Fig. 70 Les six instruments ProTaper.

Leur manche en métal doré est plus court : 13mm au lieu de 15 mm permettant ainsi un meilleur accès aux dents postérieures. (figure 71)

L'originalité de cet instrument est la multiplicité des conicités sur la lame d'un même instrument.

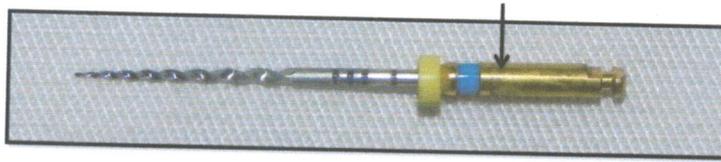


Fig. 71 Lime ProTaper SX

Les principales caractéristiques de cet instrument sont :

- L'angle de coupe très actif
- Section triangulaire convexe réduisant la surface de contact entre la lime et la dentine
- Conicités multiples et progressives de 2% à 19%, cela permet essentiellement d'augmenter l'efficacité de coupe, d'augmenter la masse centrale de l'instrument améliorant ainsi sa résistance à la fracture et aux forces de torsion, Une amélioration de la flexibilité et surtout aucun effet de vissage.
- Angle d'hélice et le pas variables, facilitant la remontée et l'évacuation des débris.
- Pointe apicale modifiée qui trouve son chemin dans le canal sans attaquer la paroi dentinaire, ce qui permet de respecter la trajectoire canalaire.
- La *simplification des séquences opératoires* par la réduction du nombre d'instruments. Ainsi, une seule séquence standard est préconisée pour la majorité des cas cliniques.

➤ Le contre-angle

Les limes Protaper sont utilisables avec tous les moteurs et contre-angles actuellement disponibles permettant de fournir une vitesse de rotation constante comprise entre 300 et 330 trs/mn.

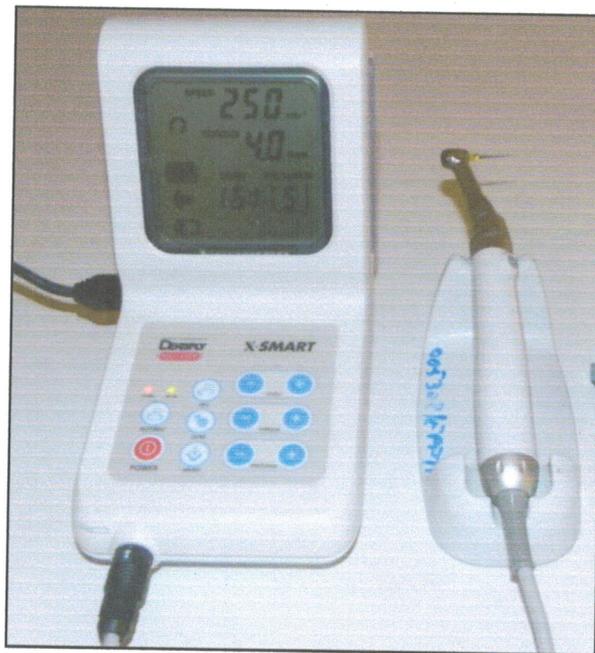


Fig. 72 Moteur Protaper avec contre angle.

➤ Les limes manuels types k (KERR)

C'est un instrument normalisé obtenu par la torsion sur chant d'une matrice quadrangulaire d'acier inoxydable cette torsion importante, donne à la lime des pas serrés.

Certains modèles adoptent une section triangulaire au-dessus de certains calibres (45/100mm pour maillefer).

La lime K diffère de la broche par son nombre de spires plus important.

Un angle d'hélice de 40° en moyenne .figure

Elle est plus rigide que la broche et plus efficace en pénétration.

C'est l'instrument de choix pour le cathétérisme elle réalise le curetage pariétal et même l'élargissement.

La lime torsadée présente quelques inconvénients : la partie active de l'instrument se désenroule dans le sens anti-horaire et la mémoire trop rigide risque de déplacer le foramen apical.

La lime K à une action de raclage sur les parois dentinaires, la meilleure efficacité est retrouvée dans les mouvements de va et vient longitudinaux, cette action de raclage est restreinte dans les mouvements de rotation

Cette lime est actionnée par des rotations de 45° dans le sens horaire et le sens inverse pour la faire progresser dans les canaux fins et en cas d'interférence mais ce mouvement est dangereux pour un instrument obtenu par torsion surtout dans le sens anti-horaire.

➤ *Les autres instruments*

- Fraise boule, et fraise cylindrique en carbure de tungstène.
- Turbine.
- Un Plateau de travail qui contient une précelle et une sonde N°17.

3.2.1.2. Les différentes solutions d'irrigation :

- Hypochlorite de sodium(NaOCl) à 3%

Une solution Hypochlorite de sodium concentré entre 2.5% et 3% est utilisé, de nombreux auteurs ont démontré son efficacité à cette concentration ^(3.41.101.122.)

- EDTA : à 17%.

3.2.1.3. Choix des dents

10 dents humaines, extraites pour des raisons parodontales ou orthodontiques, monoradiculées et apexifiées sont utilisées dans cette expérimentation.

Après l'extraction, ces dents sont curetées grossièrement pour en éliminer les résidus ligamentaires externes. Puis elles sont passées dans de la Bétadine et rincées à l'eau oxygénée. Enfin, elles sont placées l'eau déminéralisée stérile additionnée de thymol.

Il faut noter que dans le cadre de notre étude, le temps entre l'extraction et la préparation des dents ne dépassait pas les deux Jours.

- Critères d'inclusion

Une dent permanente et mature.

Une dent non délabrée avec au moins présence du 1/3 cervical des parois.

- Critères d'exclusion

Absence de résorption radiculaire.

3.2.2. Méthodes :

3.2.2.1 Répartition des échantillons :

L'échantillon global est divisé en 02 types :

- Echantillon témoin
- Echantillon avec préparation canalair.

➤ Echantillon témoin

Deux dents serviront de témoins :

- La Première dent saine, sans lésion carieuse ni abrasion coronaire, elle sera observée au MEB sans irrigation et sans préparation.
- La deuxième dent nécrosée avec une lésion carieuse profonde.

Le diagnostic a été établi cliniquement avant l'extraction qui a été faite pour des raisons prothétiques.

➤ Échantillon avec préparation canalair :

Comporte 8 dents divisées en deux groupes :

- Groupe 01 : Destiné pour la préparation manuelle
- Groupe 02 : Destiné pour la préparation au ProTaper.

Les dents seront réparties dans les deux groupes selon leur ordre d'extraction : La première dent extraite pour le 1^{er} groupe, la deuxième pour le 2^{eme} groupe ainsi de suite.

3.2.2.2. Protocole opératoire

Tout au long des manipulations les dents sont maintenues dans une compresse imbibée de sérum physiologique.

Chaque un des deux binômes se répartissent les échantillons, et se mettent d'accord sur une étape préliminaire commune et sur la technique de préparation ainsi que pour le protocole d'irrigation afin d'obtenir un travail homogène.

➤ Etapes préliminaires communes :

L'accès aux canaux ne se fait pas en sectionnant la couronne, mais en préparant, une cavité d'accès ; celle-ci servira de réservoir pour l'irrigant et permettra ainsi de reproduire les conditions cliniques.

Pour toutes les dents, la réalisation de la cavité d'accès et la préparation initiale sont communes :

- Trépanation de la chambre pulpaire à la fraise boule en carbure de tungstène, sous spray abondant,
- Préparation de la cavité d'accès à la fraise Endo-Z sous spray
- Irrigation au NaOCl 3%, 2cc
- Repérage du canal avec une lime manuelle K n° 10,
- Détermination de la longueur de travail,
- Irrigation au NaOCl 3%, 2cc
- Passage de la lime K N° 15 à la LT,
- Oblitération de l'apex avec un bouchon de cire afin de simuler la barrière des tissus apicaux.

➤ Ampliation :

Comme nous l'avons décrit précédemment, Deux techniques d'ampliation différentes sont utilisées :

- Manuelles avec des limes k pour 4 dents.
- Mécanisées en rotation continue avec les Protaper pour 4 dents.

▪ Séquence instrumentale manuelle :

- Irrigation NaOCl 3%, 2cc

-Ampliation avec les limes k n°15 au n°30. Chaque lime est passée à la LT et utilisée avec un mouvement de rotation dans le sens horaire et de traction verticale lors du retrait.

-Step back avec les limes 35,40 et 45.

-L'irrigation a eu lieu entre chaque passage de lime. La dernière irrigation au NaOCl à 3%, 2cc.

▪ Séquence instrumentale avec e ProTaper :

Le système ProTaper® comporte 6 instruments, 3 Shaping Files et 3 Finishing Files, disponibles en longueurs 21 et 25 mm (à l'exception du SX). (Figure 73a et b)

Shaping Files : destinés à l'ouverture de la trajectoire canalaire, ils présentent une conicité variable croissante. Ainsi, la conicité maximale est située au niveau des portions coronaire et médiane de la partie active (forme en « Tour Eiffel »).

- *Shaping File 1 (S1 - violet)* : présente 12 conicités différentes le long de sa partie active, avec un diamètre de pointe de $18/100^e$. Cet instrument élargit principalement les portions coronaire et médiane du canal, tandis que la pointe, fine, sert de guide.

- *Shaping File 2 (S2 - blanc)* : présente 9 conicités différentes à partir de la pointe (diamètre $20/100^e$). Il est destiné à élargir essentiellement la jonction du 1/3 moyen et du 1/3 apical du canal.

- *Shaping File SX*: existe en une seule longueur (19 mm), et présente 9 conicités différentes le long de sa partie active (diamètre $19/100^e$). *Malgré sa longueur réduite, le Shaping File SX n'est pas un instrument destiné à la reprise de traitement.* Le SX est utilisé dans la partie coronaire du canal pour relocaliser les entrées coronaires. Il est aussi utilisé à la place du S1 et du S2 dans les canaux courts. En effet, dans le cas de canaux courts (moins de 9 mm), la portion la plus large du S1 peut se retrouver à l'extérieur du canal. L'utilisation du S1 est alors remplacée par celle du SX, plus large.

Finishing Files: destinés à la finition apicale, ils présentent des conicités variables décroissantes. Cette caractéristique permet de donner à l'instrument une conicité importante au niveau de la portion apicale de la partie active, sur les 3 premiers millimètres. La conicité s'inverse à partir du 4^e mm, conférant une flexibilité importante au corps de l'instrument.

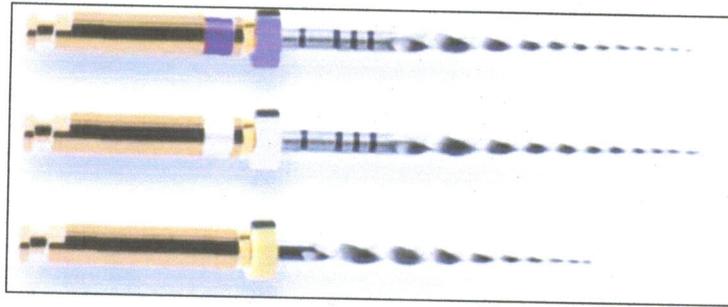


Fig. 73a ProTaper® Shaping Files. De haut en bas : S1, S2 et SX.

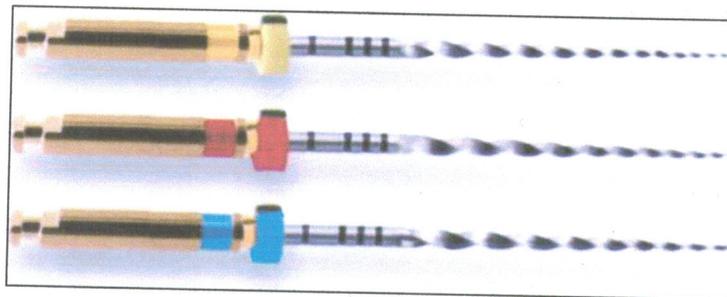


Fig. 73b ProTaper® Finishing Files. De haut en bas: F1, F2 et F3.

Finishing File 1 (F1 - jaune) : présente 2 conicités décroissantes. À partir d'un diamètre de pointe de $20/100^e$ avec une conicité de 7 % sur les 3 premiers mm, la conicité passe à 5,5 % sur le reste de la partie active de l'instrument.

- *Finishing File 2 (F2 - rouge)* : présente 3 conicités décroissantes. À partir d'un diamètre de pointe de $25/100^e$ avec une conicité de 8 % sur les 3 premiers mm, la conicité passe à 6 % sur 2 mm puis à 5,5 % sur le reste de la partie active de l'instrument.

- *Finishing File 3 (F3 - bleu)* : présente 3 conicités décroissantes. À partir d'un diamètre de pointe de $30/100^e$ avec une conicité de 9 % sur les 3 premiers mm, la conicité passe à 7 % sur 2 mm puis à 5 % sur le reste de la partie active de l'instrument.

Protocole d'utilisation du système :

- Irrigation NaOCl à 3%, 2cc.
- Passage du Shapingfile (S1) aux 2/3 de la LT.
- Irrigation NaOCl 3%, 2cc.

- Passage de la lime SX aux 2/3 de la LT.

L'utilisation de la lime SX est facultative. Elle peut être intercalée à n'importe quel moment entre deux utilisations du S1 avec une action de brossage pour extraire la dentine d'une manière sélective, faciliter l'accès canalaire, éloigner le canal de la zone dangereuse de la furcation et éliminer une éventuelle interférence coronaire.

Pour notre expérimentation, nous utiliserons systématiquement cette lime afin de ne pas modifier le nombre de limes utilisé pour chaque dent et par conséquent, le volume de l'irrigant.

- Irrigation NaOCl 3%, 1 cc
- Passage de la lime K n°15 à la LT
- Irrigation NaOCl 3%, 1 cc
- Nouveau passage du S1 mais à la LT
- Irrigation NaOCl 3%, 2cc
- Passage du S2 à la LT
- Irrigation NaOCl 3%, 2cc
- Passage du Finishing file F1 à la LT
- Irrigation NaOCl à 3% 1cc
- Passage du F2 à la LT.
- Irrigation NaOCl 3%, 1 cc
- Evaluation du calibre du foramen avec une lime manuelle K n°25
- Irrigation NaOCl 3%, 1 cc
- Passage du F3 à la LT si le calibre du foramen est supérieur à 25/100^e
- Irrigation NaOCl 3%, 2cc.

Pour notre expérimentation et donc pour les mêmes raisons évoquées ci-dessus, nous achèverons notre ampliation par le passage systématique des F2 et F3. Toutefois, rappelons qu'en pratique, la lime F2 est utilisée si le calibre du foramen apical est supérieur à 20/100^e après évaluation par une lime K n°20. de même le F3 est passé, à condition que le calibre du foramen est > 25/100^e après évaluation par une lime K n°25.

Remarque : En pratique, pour les canaux particulièrement courts (longueur canalaire inférieure à 10mm) la séquence est identique mais simplifiée : la lime SX remplace les deux Shaping Files S1 et S2.

➤ Protocole d'irrigation :

Dans cette étude, on a utilisé le NaOCl à 3% et l'EDTA(Glyde) à 17%.

▪ Hypochlorite de sodium 3% :

L'utilisation d'une seringue plastique type intra musculaire de 2cc et aiguille L=30mm et de 030/100 à usage unique, irriguer avant le premier passage de lime, puis entre chaque lime et après la dernière lime.

Technique : Introduire l'aiguille dans le canal jusqu'au contact avec les parois canalaires puis retirer de 1 à 2 mm pour ménager un espace de flux et de reflux du liquide.

Ejecter lentement et sous faible pression en faisant un mouvement de va-et-vient dans le souci d'apporter de la solution dans toutes les zones canalaires. Le volume de NaOCl total est un paramètre qui sera stable et équivalent pour chaque dent et chaque technique d'ampliation.

▪ Glyde

Après avoir réalisé la cavité d'accès, irriguer avec 2cc de NaOCl à 3% et appliquer le Glyde directement dans la cavité, Le Glyde réagit avec le NaOCl engendrant mie réaction effervescente.

Continuer la pénétration initiale en alternant NaOCl et Glyde entre chaque instrument jusqu'à obtention de la LT.

➤ Séchage

Le séchage des canaux se fait avec des cônes de papier Dentsply-Maillefer référence A022K, diamètres 30 et 35, conicité 4%.

Le calibre de ces cônes est choisi en fonction de chaque canal.

On utilise le nombre de cônes de papier nécessaire pour sécher correctement le canal.

3.2.2.3. Préparation des échantillons pour le MEB

Les différentes étapes de préparation sont :

- Mise à jour du canal
- Fixation et déshydratation.
- Montage.

3.2.2.3.1. Mise à Jour du canal :

La mise à jour du canal a été faite après obturation de la cavité d'accès avec des pointes de papier afin d'éviter toute contamination du canal par des débris de fraisage qui fausseraient les observations.

Une rainure tout autour du collet anatomique de chaque dent et deux rainures verticales, vestibulaire et linguale sur toute la longueur de la racine sont réalisées. Ces pré-sections sont faites avec un disque à séparer monté sur pièce à main. La couronne est alors sectionnée, et Chaque dent est ensuite séparée en deux parties. Le canal est alors mis à nu.

➤ Taille de l'échantillon :

Chaque une des deux parties est sectionnée en trois fragments qui correspondent respectivement au tiers coronaire, moyen et apical.

Chaque fragment doit être obligatoirement aminci et de taille inférieure ou égal à 4 mm, pour avantager l'écoulement des charges électroniques ce qui donne une meilleure visualisation.

Ces fragments sont ensuite dépoussiérés avec un jet d'air très doux.

Remarque : Nous avons choisi de réaliser la mise à jour du canal avant la déshydratation suite aux observations du Docteur Dautel dans son mémoire de D.E.A. En effet, celle-ci avait constaté au cours de son expérimentation, qu'après déshydratation les dents étaient plus cassantes, plus difficiles à fracturer et que des débris dus à la fracture encombraient le canal ce qui perturbait les observations au MEB.

3.2.2.3.2. Fixation et déshydratation

Dès la mise à jour du canal, les échantillons ; sont fixés 24 à 48 heures dans de **Formaldéhyde tamponné** préparée au laboratoire.

Les échantillons sont ensuite rincés pendant 5 minutes dans une solution de PBS, puis placés dans une nouvelle solution de PBS pendant au moins 1 heure, jusqu'à ce qu'ils soient totalement déshydratés.

Pour ce faire, les échantillons sont placés dans des bains **d'alcool éthylique** de concentrations croissantes :

- 20 minutes dans une solution d'alcool éthylique à 80°

- 30 minutes dans une solution d'alcool éthylique à 95°

Puis ils sont immergés **dans l'acétone** pendant 10 minutes.

Enfin, ces échantillons sont conservés dans une solution d'acétone Jusqu'au passage du point critique.

REMARQUE :

Il faut noter que **l'acétone est un puissant solvant**, donc il faut respecter le temps de conservation si non on aura une altération structurale même minime au niveau de l'échantillon ce qui fausserait par conséquent nos résultats photographiques.

Dans le cadre de notre étude, le MEB utilisé ne nécessitait pas de passer par la métallisation, car il fonctionne selon le principe des pressions variables. En effet, la pression autour de l'échantillon étant supérieure à celle dans l'enceinte, la différence de pressions permet aux charges de s'écouler et d'assurer la conduction nécessaire à l'observation.

3.2.2.3.3 Montage

Les échantillons sont montés sur un porte échantillon en métal adapté au MEB, ensuite ils sont fixés à l'aide d'un scotch double face. (Figure 74)

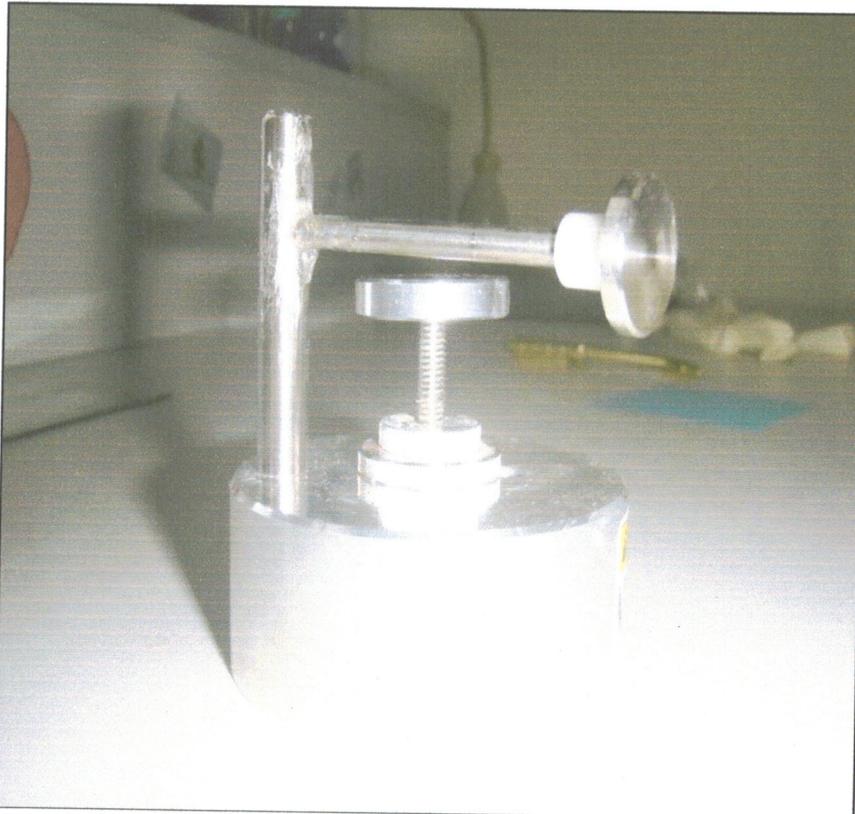


Fig. 74 Porte échantillon adapté au MEB.

3.3. Observations

3.3.1. Principe

Le MEB permet d'observer la surface d'un échantillon préalablement préparé selon les étapes décrites ci-dessus.

Une source de rayonnement émet des électrons incidents qui balaient la surface de l'échantillon.

Cette interaction rayonnement-matière produit différentes émissions d'ondes ou de particules qui expliquent les diverses possibilités d'analyses microscopiques d'un spécimen.

Le vide doit être fait dans la colonne du microscope afin que les électrons ne soient pas déviés par les molécules gazeuses.

3.3.2. Observations

L'observation des dents s'effectue au MEB HITACHI /TM 1000, en image par émission d'électrons rétrodiffusés *B.E.I* sous un voltage de 15000 V.

Chaque échantillon (tiers moyen et apical de chaque dent) est observé, puis une image représentative de la qualité de la préparation est systématiquement enregistrée dans l'ordinateur relié au MEB, TOSHIBA EASY MEDIA I3.

Chaque tiers est observé en au moins deux grossissements : faible ($\times 40$ et $\times 200$) et fort ($\times 1000$ ou $\times 5000$). Si l'observation à faible grossissement permet d'identifier la présence de débris pulpaire ou autres ; l'observation à plus fort grossissement permet de visualiser la boue dentinaire et d'évaluer l'importance de l'ouverture des canalicules dentinaires.

Chaque image a été prise après observation globale de la zone étudiée afin qu'elle soit la plus représentative possible de cette zone.

Nous avons exclu le tiers coronaire afin de réduire le nombre d'échantillon, à cause du facteur temps et du facteur moyen financier.

Ensuite les images seront transférées sur des supports mobiles : CD-ROM.

Ces images sont ensuite analysées séparément par deux observateurs expérimentés, de la faculté de médecine de tlemcen.

Nous avons opté pour une méthode de scoring de débris et de smear layer similaire à celles suivies par Z. METREF^[11], par Hong-Guan Kuah^[51] et ses collaborateurs, et aussi par VAHID ZEND^[50] et ses collaborateurs lors de leurs études, et qui correspondent à une échelle de score allant de 0 à 3.

Score 0. Très peu ou pas de débris.

Score 1. Quelques de débris.

Score 2. Quantité modérée.

Score 3. Beaucoup de débris.

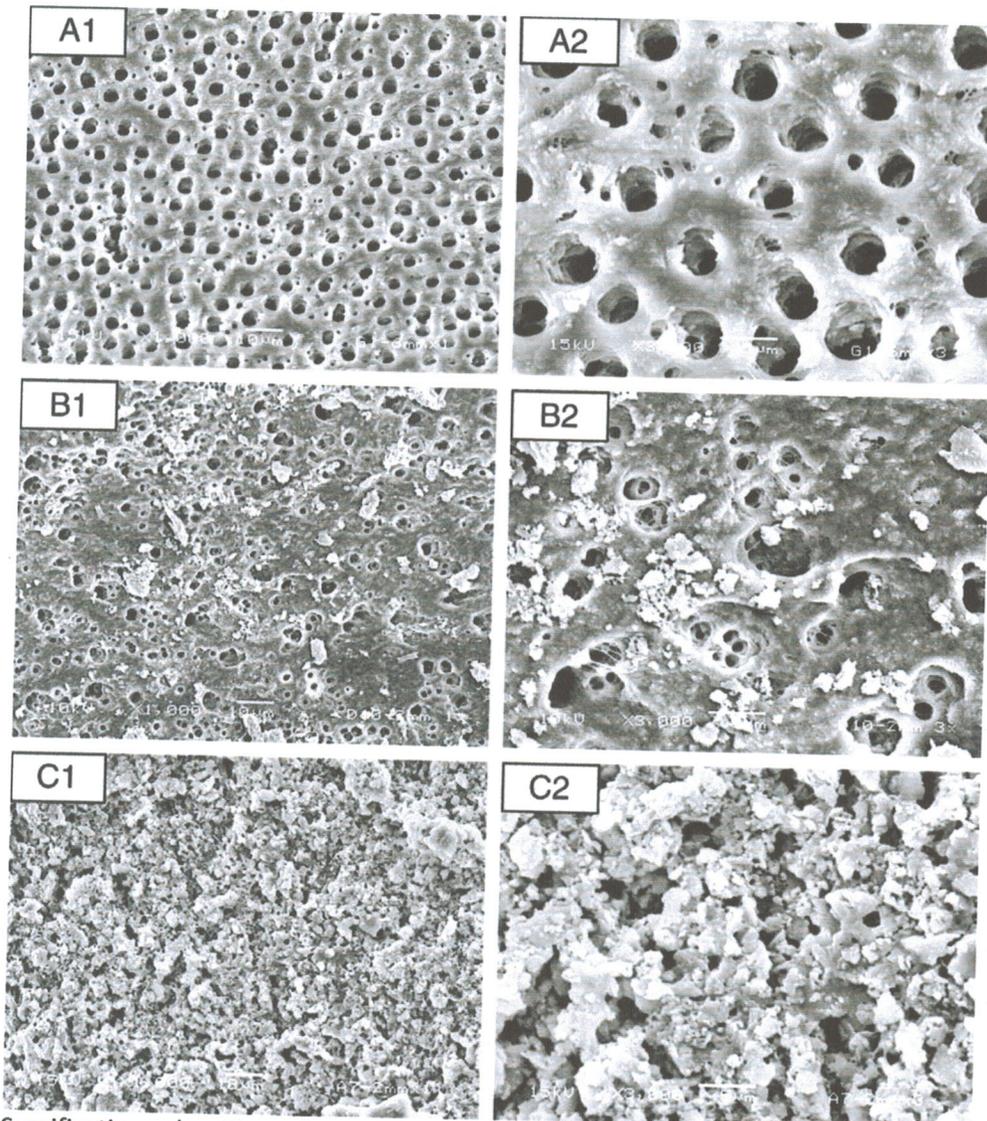
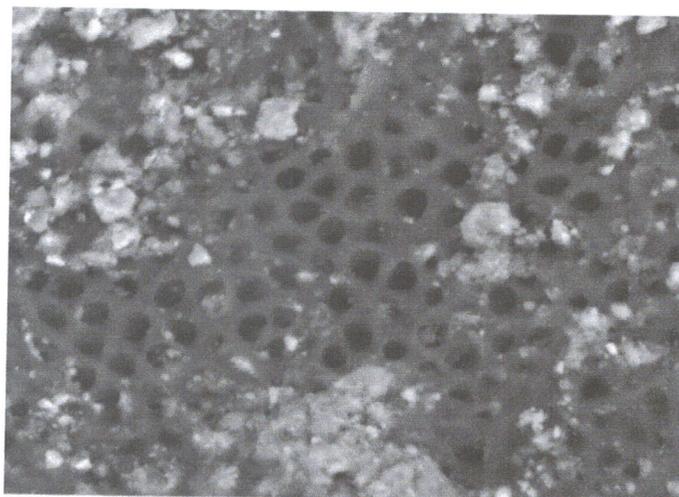


Fig. 75 Scorification selon Hong-Guan Kuah A1. Score 0x1000, A2. Score 0x3000. B1. Score 1x1000. B2. Score 2x3000. C1, C2 Score 3 1000 et 5000. ^[51]

4. Résultats

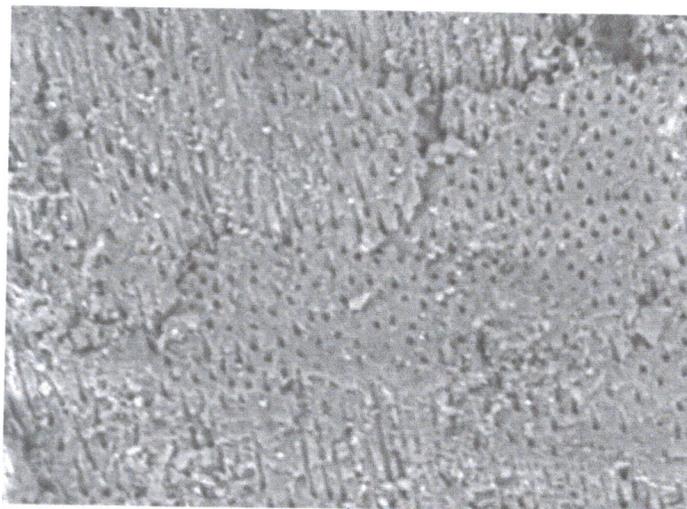
Premier Cas témoin : Dent saine sans préparation et sans irrigation.



2012/06/21 11:07 L D4.2 x3.0k 30 um

TM1000-0068-06-12

Fig. 76a 1/3 moyen de la dent témoin sainex3000.Score 0



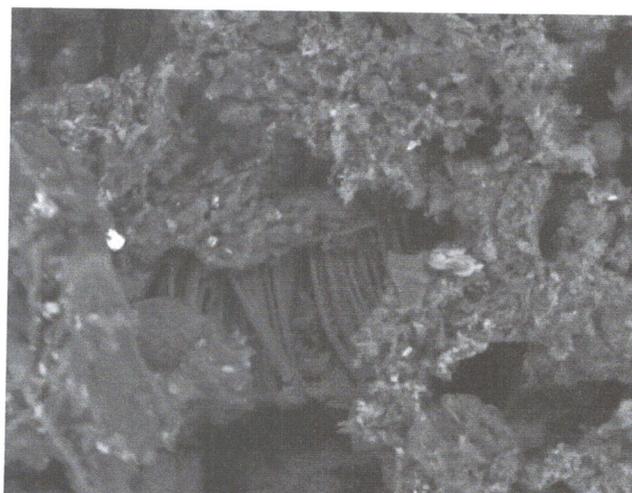
2012/06/21 09:52 D4.1 x1.0k 100 um

TM1000-0052-06-12

Fig. 76b 1/3 apical de la dent témoin sainex1000. Score 0

On remarque l'ouverture des tubulis dentinaires, Score 0, peu de débris qui sont dus à la coupe et du fait de la non utilisation des bains d'ultrasons.

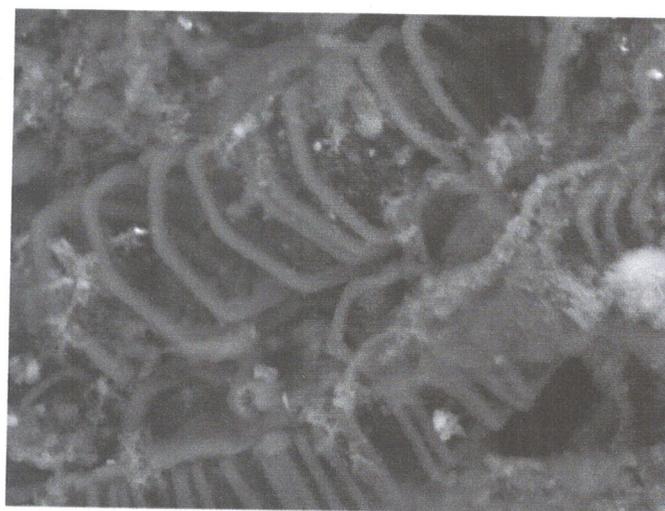
Deuxième Cas témoin : Dent nécrosée sans préparation et sans irrigation.



2012/06/21 09:29 D3.8 x1.0k 100 um

TM1000-0050-06-12

FIG.77a 1/3 apical la dent témoin infectée×1000. Score 3



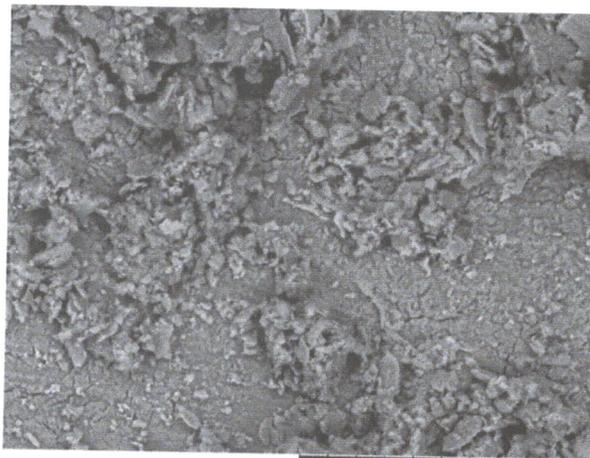
2012/06/21 10:56 L D4.4 x3.0k 30 um

TM1000-0065-06-12

FIG. 77b 1/3 moyen de la dent témoin infectée×3000. Score 3

On note l'obstruction totale des tubulis dentinaire par les débris et la smear layer. Score 3.

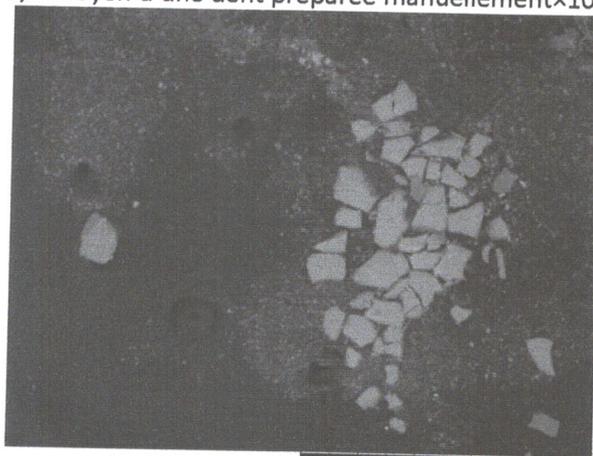
- Comparaison des tiers moyens préparés manuellement VS rotation continue.



2012/06/21 11:47 L D4.7 x1.0k 100 um

TM1000-0076-06-12

FIG. 78a 1/3 moyen d'une dent préparée manuellement x1000. Score 3.



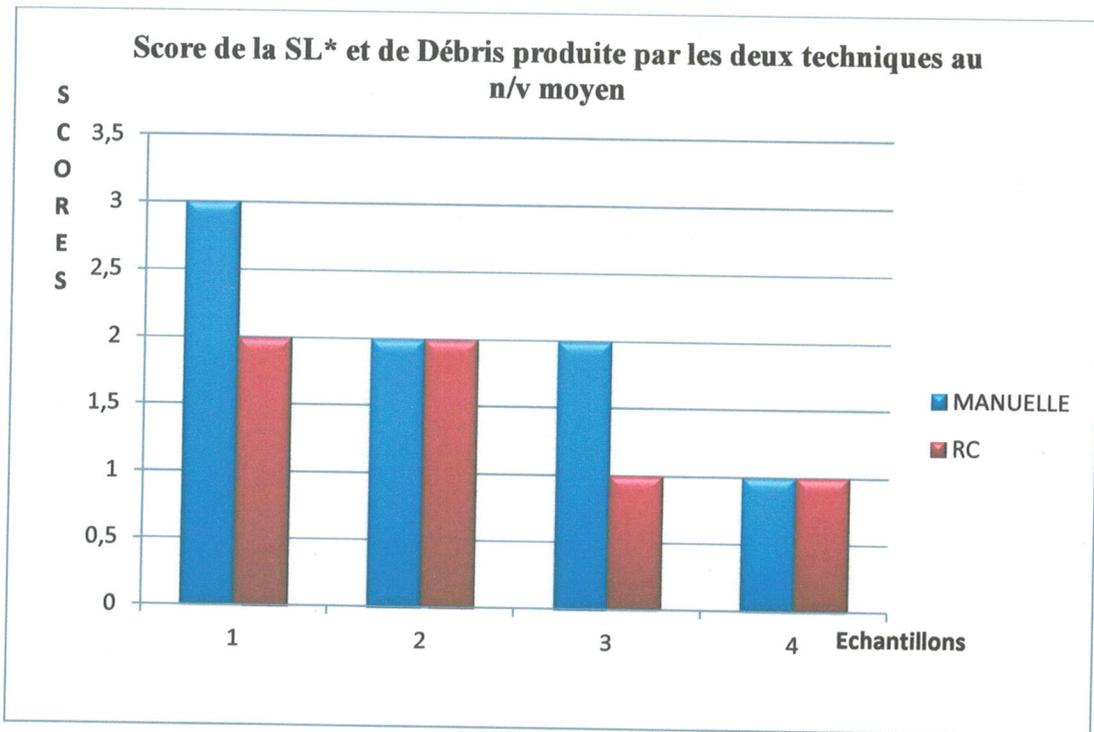
2012/06/21 11:25 L D4.6 x200 500 um

TM1000-0071-06-12

FIG. 78b 1/3 moyen d'une dent préparée au ProTaper x1000. Score 2.

Premier observateur :

Techniques	Echantillon N°01	Echantillon N°02	Echantillon N°03	Echantillon N°04
MANUELLE	3	2	2	1
RC**	2	2	1	1

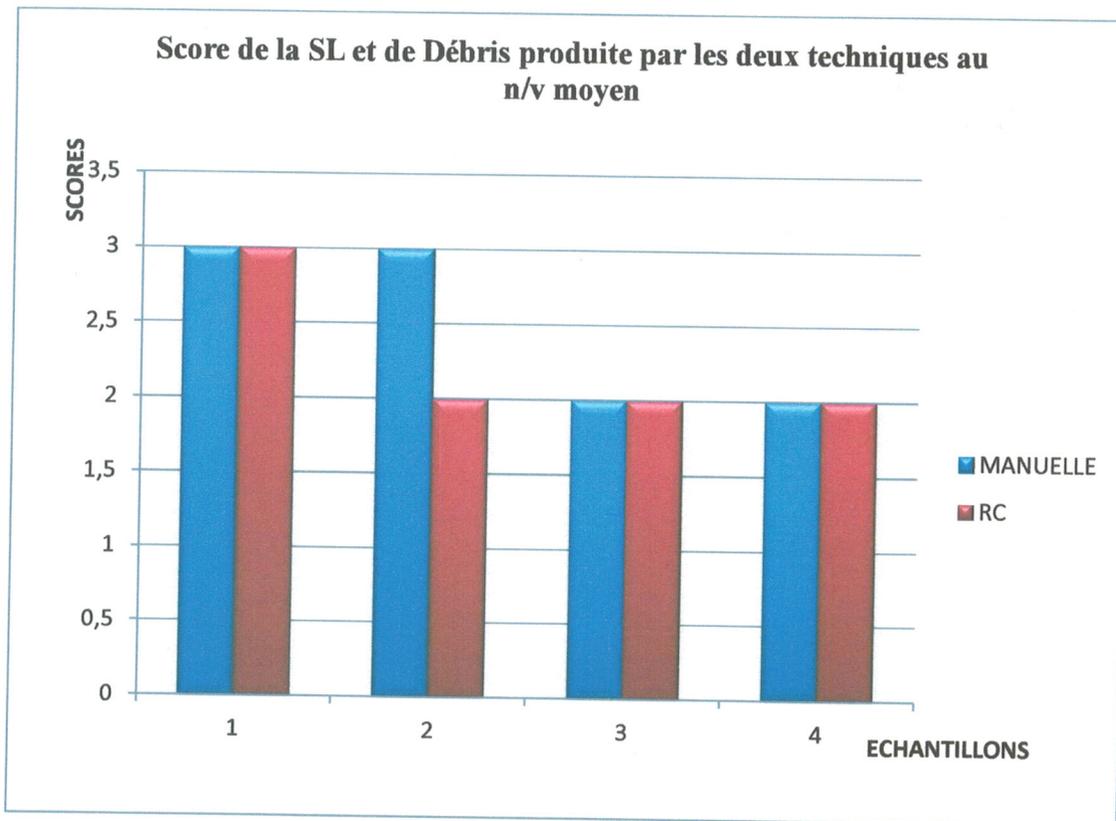


*SL : Smear layer

** : Rotation Continue.

Deuxième observateur :

Techniques	Echantillon N°01	Echantillon N°02	Echantillon N°03	Echantillon N°04
MANUELLE	3	3	2	2
RC**	3	2	2	2



➤ Comparaison des tiers apicaux préparés manuellement VS rotation continue.

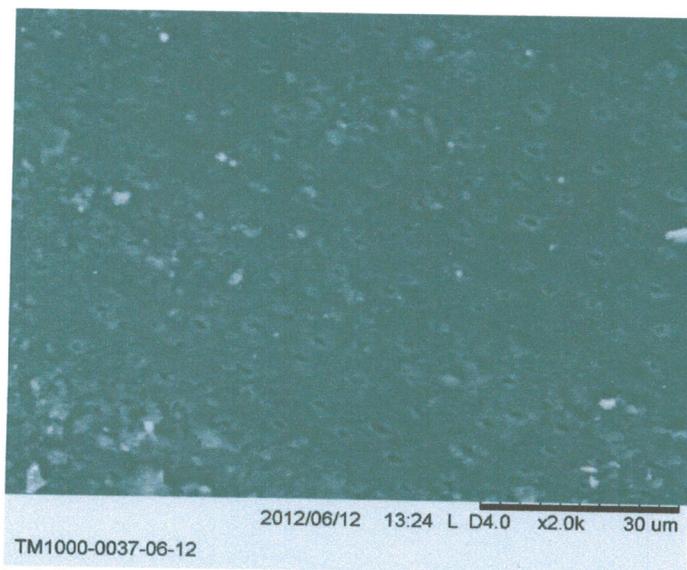
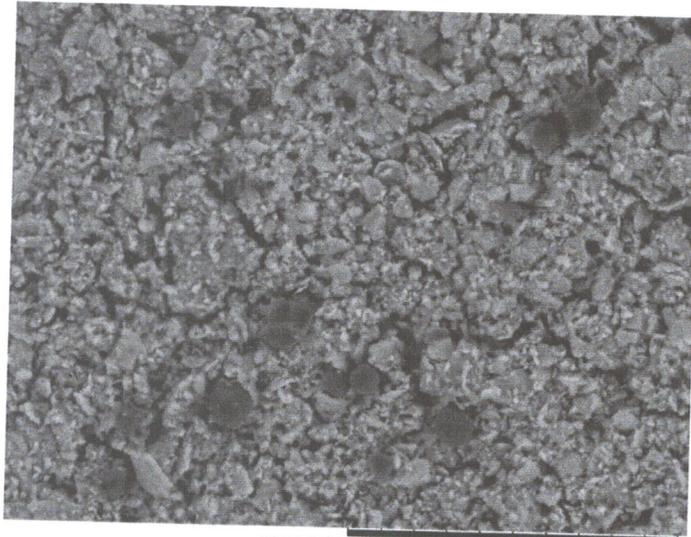


FIG.79a 1/3 apical d'une dent préparée en rotation continue au ProTaperx2000. Score 1



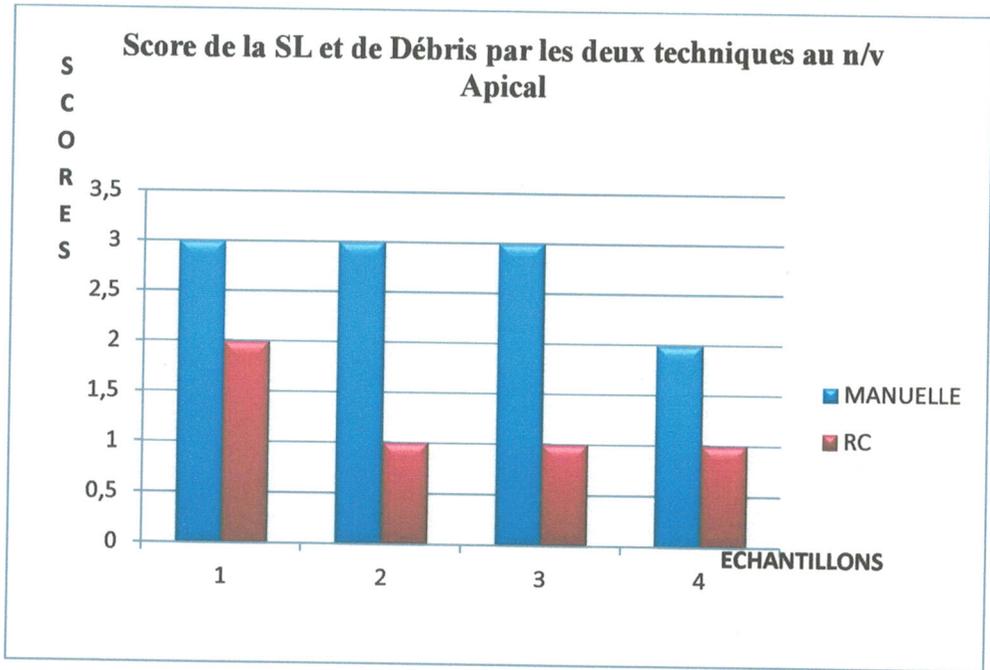
2012/06/21 11:57 L D4.1 x1.0k 100 um

TM1000-0078-06-12

FIG.79b 1/3 apical d'une dent préparée en manuelle x1000.Score 3

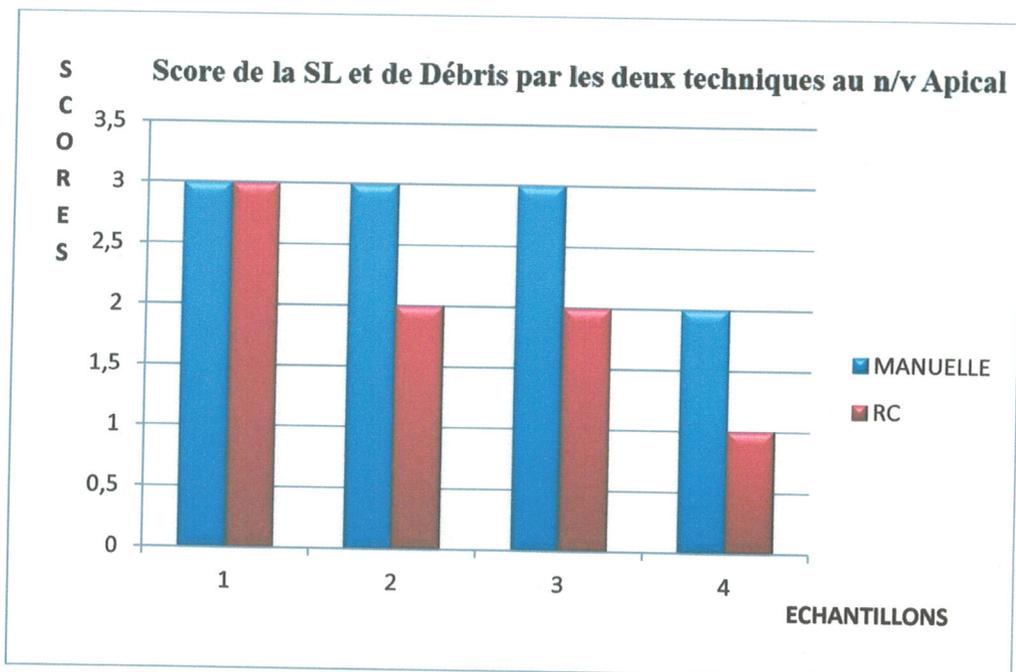
Premier observateur :

Techniques	Echantillon N°01	Echantillon N°02	Echantillon N°03	Echantillon N°04
MANUELLE	3	3	3	2
RC**	2	1	1	1

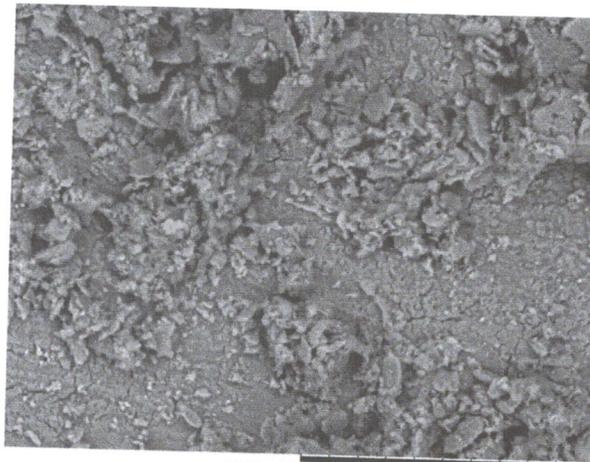


Deuxième observateur :

Techniques	Echantillon N°01	Echantillon N°02	Echantillon N°03	Echantillon N°04
MANUELLE	3	3	3	2
RC**	3	2	2	1

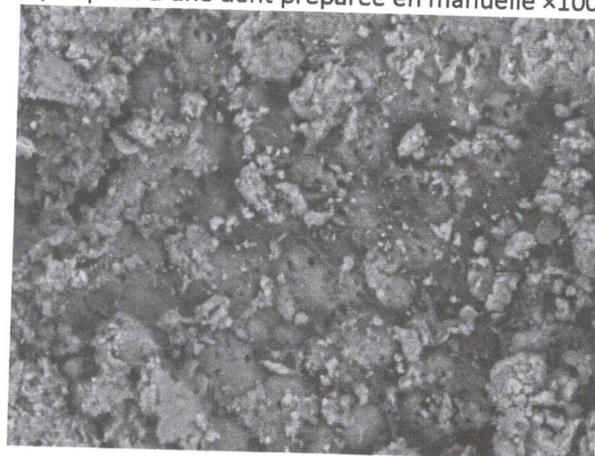


➤ Comparaison des tiers moyens et apicaux préparés manuellement :



TM1000-0076-06-12

FIG. 80a 1/3 apical d'une dent préparée en manuelle x1000.Score 2

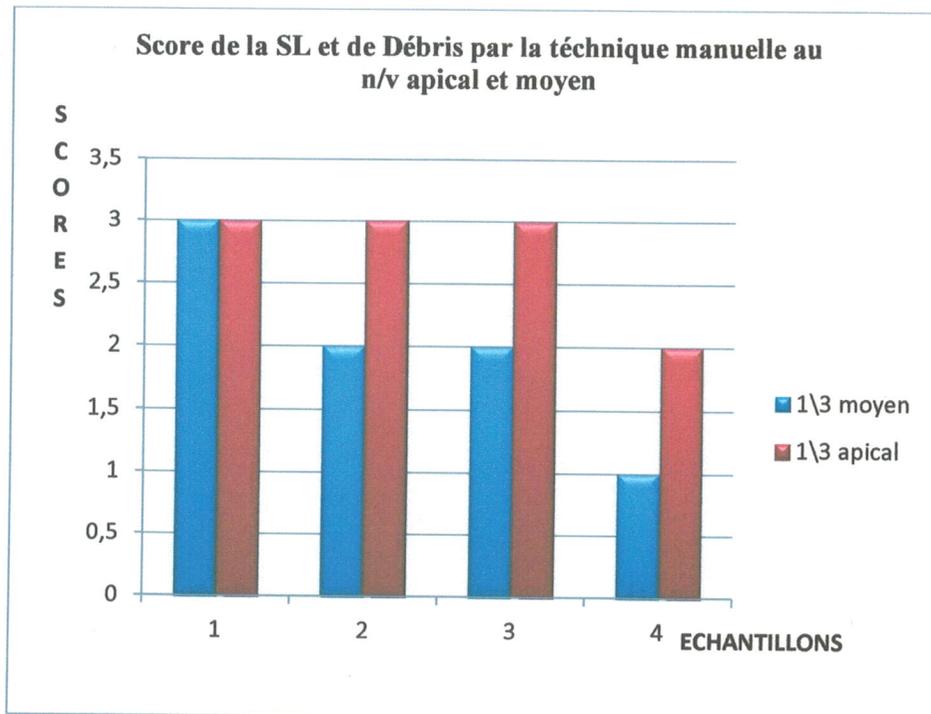


TM1000-0106-05-12

FIG. 80b 1/3 moyen d'une dent préparée en manuelle x1000.Score 1

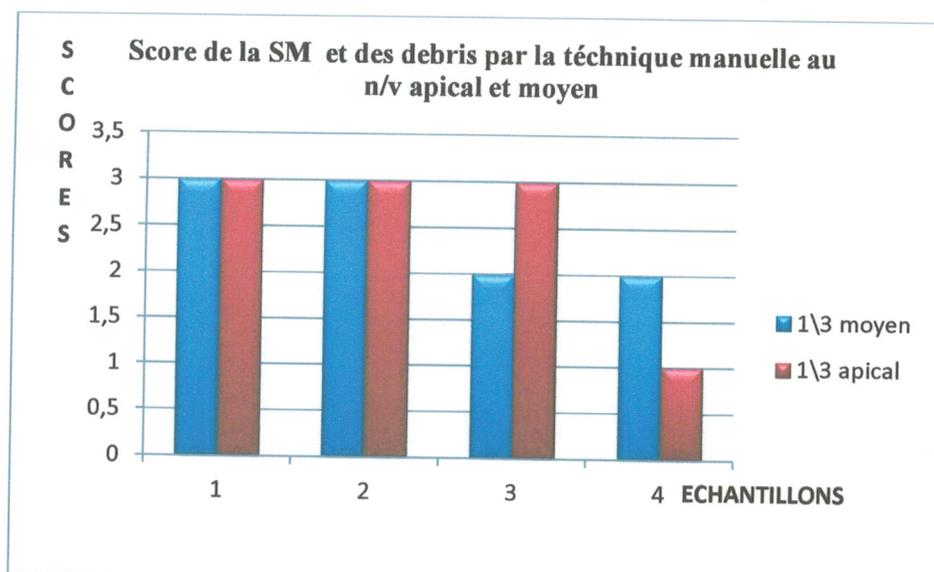
Premier observateur :

Préparation Manuelle	Echantillon N°01	Echantillon N°02	Echantillon N°03	Echantillon N°04
1/3 Moyen	3	2	2	1
1/3 Apicaux	3	3	3	2

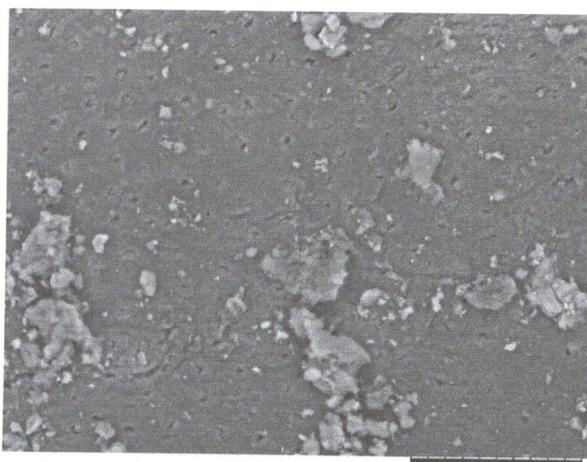


Deuxième observateur :

Préparation Manuelle	Echantillon N°01	Echantillon N°02	Echantillon N°03	Echantillon N°04
1/3 Moyen	3	3	2	2
1/3 Apicaux	3	3	3	1

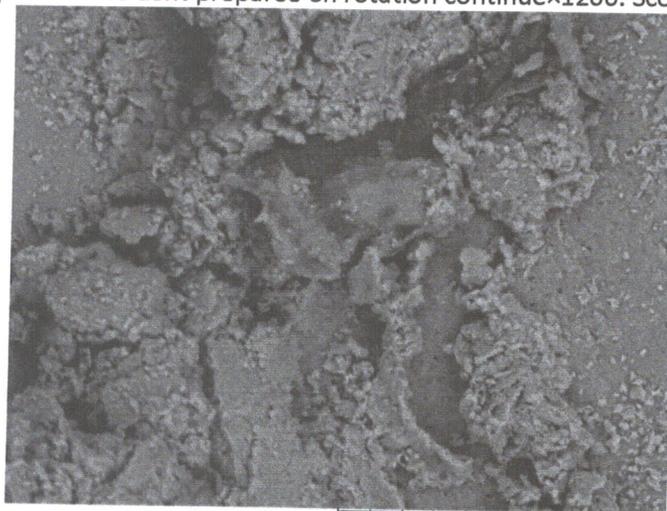


- Comparaison des tiers moyens et apicaux préparés en rotation continue:



TM1000-0104-05-12

FIG. 81a 1/3 apical d'une dent préparée en rotation continue x1200. Score 1

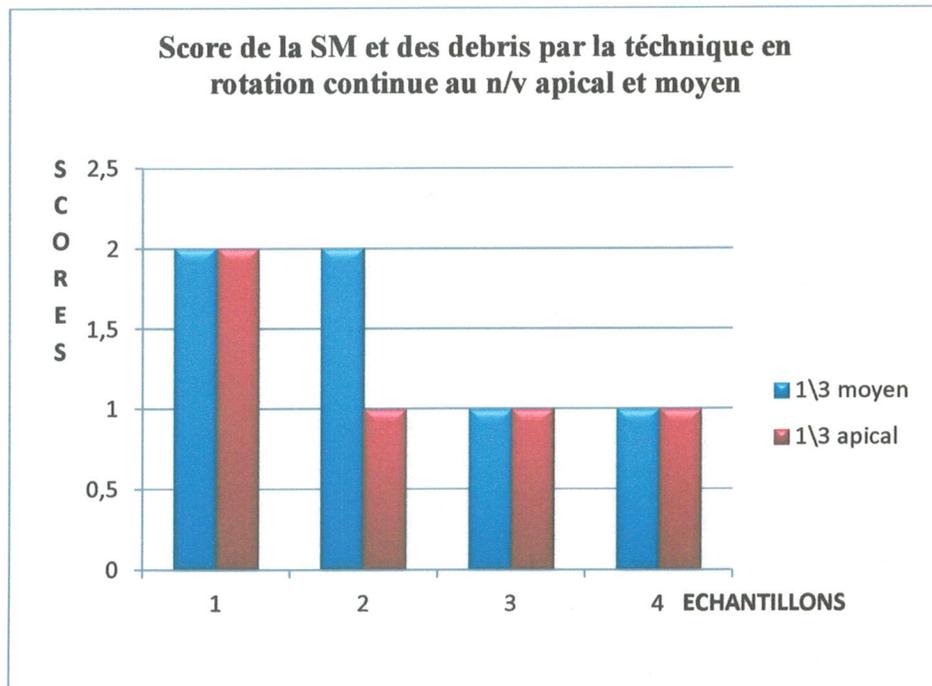


TM1000-0070-06-12

FIG. 81b 1/3 moyen d'une dent préparée en rotation continue x1200. Score 3

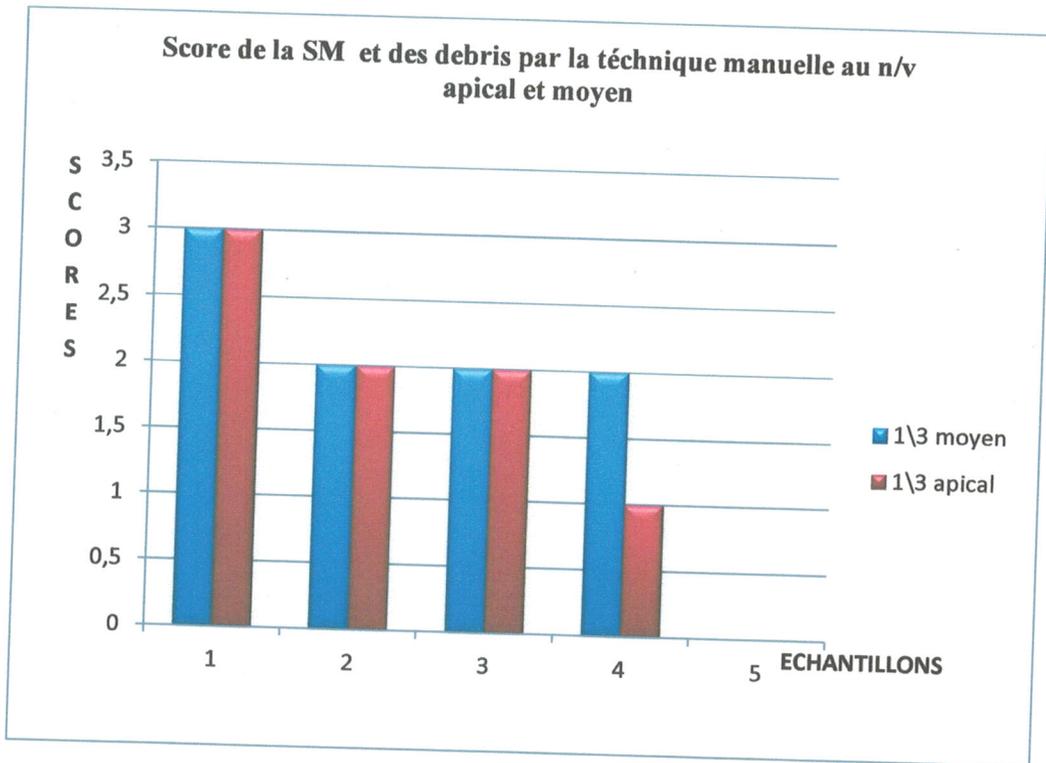
Premier observateur :

préparation en rotation continue	Echantillon N°01	Echantillon N°02	Echantillon N°03	Echantillon N°04
1/3 Moyen	2	2	1	1
1/3 Apicaux	2	1	1	1



Deuxième observateurs

préparation en rotation continue	Echantillon N°01	Echantillon N°02	Echantillon N°03	Echantillon N°04
1/3 Moyen	3	2	2	2
1/3 Apicaux	3	2	2	1



5. Discussion

5.1. L'échantillon :

Nous avons prévu de faire cette étude sur un échantillon de 30 dents pour chaque technique mais les conditions de travail au niveau du laboratoire de physique et le facteur temps ne nous ont pas permis d'observer la totalité des dents composants l'échantillon.

5.2. Discussion des résultats :

L'évaluation des images microscopiques a été faite indépendamment par chaque observateur sans qu'il sache la technique et le niveau correspondants à l'image.

L'analyse des résultats obtenus au niveau des deux observateurs souligne que l'ampliation avec l'instrumentation manuelle au niveau des tiers moyens et apicaux produit plus de débris et de Smear layer qu'avec la préparation en rotation continue au Protaper. Ceci s'explique par la conicité majorée du ProTaper qui donne une forme conique au canal favorisant la remontée et l'évacuation des débris.

D'autre part on a constaté que l'ampliation manuelle au niveau des tiers moyens produit nettement moins de débris et de boue dentinaire qu'au niveau apical.

De plus un bouchon de débris au niveau apical a été observé sur une dent préparée avec la technique manuelle.

Ceci suggère que l'instrumentation manuelle ne permet pas la remontée des débris.

Nos résultats confirment les conclusions obtenues par Z. METREF^[11] dans son étude^[11] et par VAHID ZEND et ses collaborateurs^[51] qui soulignent l'efficacité de la mise en forme canalaire en rotation continue par rapport à la manuelle.

Il confirme aussi les résultats obtenus par F. OUDGHIRI^[10] et ses collaborateurs dans leur étude clinique en obtenant beaucoup plus de guérisons des

parodontites apicales chroniques en préparant avec les instruments NiTi en rotation continue qu'avec les instruments en acier inoxydable manuellement.

Les même auteurs on soulignés au niveau de leur étude expérimentale, que la trajectoire canalaire initiale était significativement plus maintenue après préparation en rotation continue avec le NiTi, qu'avec préparation en manuelle avec l'acier inoxydable.

Une étude sur un échantillon beaucoup plus important nous aura permis d'établir le degré de significatif à nos résultats et de souligné l'efficacité de la technique de préparation avec les instruments NiTi en rotation continue par rapport à la préparation manuelle avec les instruments en acier inoxydable

6. Conclusion

L'endodontie est un des rares domaines qui auront vécu autant d'évolutions aussi radicales ces dernières années. L'abandon de la norme ISO, jusque-là universelle et in-détrônable, l'utilisation d'instruments en Nickel-Titane, leur activation en rotation continue, les nouvelles conicités, permettent une simplification de l'approche de l'endodontie, une sécurité, une reproductibilité et une fiabilité remarquables dans le traitement des canaux à courbes sévères. Le plus important aussi, est que cette nouvelle endodontie est accessible à tout praticien qui veut se donner la peine de respecter des objectifs biologiques et mécaniques incontournables.

Toutefois, le succès de toute thérapeutique endodontique dépend essentiellement de la préparation canalaire, étant donné que l'obturation tridimensionnelle hermétique est liée au parage et à la mise en forme du canal.

Avec l'avènement des instruments en NiTi, de nouveaux horizons sont désormais ouverts devant l'endodontie moderne.

Les publications récentes relatives aux techniques associant une instrumentation en Nickel-Titane à un mouvement de rotation continue montrent leur supériorité dans l'aptitude au centrage sur le trajet canalaire^[14]. Notre étude vient confirmer les résultats retrouvés au niveau de la plus part des études antérieures. Notamment celle expérimentale de Z. Metref et celle clinique de F. Oudgiri, soulignant la supériorité, de la technique de préparation canalaire en rotation continue avec des instruments en NiTi, par rapport à la préparation manuelle en acier inoxydable.

L'inconvénient majeur est actuellement le risque de fracture, surtout au niveau des grandes courbures. D'autres études peuvent améliorer les systèmes instrumentaux, soit par une meilleure utilisation des séquences instrumentales soit par des techniques plus spécifiques à cette partie complexe du système canalaire.

1. **Laure BERGER** ; LE BIOFILM BACTERIEN ENDODONTIQUE. ; Thèse d'état de docteur en chirurgie dentaire NANCY2010 [15-28], [58 62]
2. **J . VREVEN, H ; NOEL** dans La Dent Normale Et Pathologique chapitre 8 ;
Editions De Boeck Université, Bruxelles 2001.
3. **SIQUEIRA JF** ;Microbial Causes Of Endodontic Flare-Ups.International endodontic journal,36-453-463.2003
4. **SIQUIERA JF, LOPES HP**;Bacteria onThe Apical Root Surfaces Of Untreated Teeth With Periradicular Lesions: A Scanning Electron Microscopy Study. IntEndod J 2001: 34: 216–220
5. **NAIR PNR**; Light and Electron Microscope Studies Of Root Canal Flora And Periapical Lesions. J Endod1987: 13: 29–33.
- 6.**NACOUJ.JMA, MOUMOUNI**;ETUDE DES TRAITEMENTS ENDODONTIQUES DES DENTS À MORPHOLOGIE COMPLEXE: CAS DES CANAUX COURBES.Thesed'état de docteur de chirurgie dentaire DAKAR1998.
7. **DOUGHERTY WJ, BAE KA, WATKINS BJ, BAUMGARTNER JC**; Black-Pigmented Bacteria In Coronal And Apical Segments Of Infected Root Canals. J Endod1998: 24: 356–358.
8. **TR PITT FORD, JS RHODES**; Endodontics Problem-Solving In Clinical Practice.journal of endodontics. vol. 30, no. 8, august 2004
9. **WILHELM-J.PERTOT STEPHANE SIMON** ; Réussir Le Traitement Endodontique ; Quintessence international 2003.
10. **OUUGHIRI FOUAD** ; Evaluation clinique de la préparation canalaire au nickel titane en rotation continue, dans les traitements des lésions périapicales de première intention. Thèse de doctorat d'état Tlemcen.2010
11. **METREF ZOUHIR** ; Développement des méthodes expérimentales d'évaluation des systèmes NiTi en rotation continue.Thèse de doctorat d'étaten chirurgie dentaire Oran 2008.
12. **OUUGHIRI FOUAD, SERRADJ SID AHMED** ;Guide pratique d'endodontie.Polycopies d'endodontie Tlemcen 2007

13. **ANTA SECK** ; Evaluation Clinique De La Préparation Canalaire Au Pro Taper Et De L'obturation Endocanalaire Avec Le Système Thermafil : Expérience Clinique A Propos De 50 Cas.DAKAR 2005
14. **MARMOTTE VALERIE** ;APPORT DE LA ROTATION CONTINUEEN ENDODONTIE, NANCY. Thèse de doctorat d'état en chirurgie dentaire2000.
- 15.**STEPHANE SIMON** ; avec la collaboration de WILLEM-OSEPH PERTOT.Endodontie traitements volume 01.M/24750.
16. **MATTHIAS ZEHNDE**;Root Canal Irrigants,Volume Root Canal IrrigantsNumber 5, May 2006 .
- 17.**DHANYAKUMAR N. M. VASUNDHARA SHIVANNA**; SEM evaluation of smear layer formation after using three different nickel titanium rotary instruments-endowave, K3 and protaper - An invitro study"
18. **JEAN MARRIE VULCAIN, MARTINE GUIGAND, ANNE DAUTEL** ; Réalités cliniques Vol.6 n°2 1995 pp.215-225.
- 19.**EMMANUELLE NOIRRIT-ESCLASSAN** ; Etude de l'interface et de l'étanchéité endocanalaire après collage de tenons fibrés radiculaires. 2009
20. **LEIF TRONSTAD** ; Endodontie clinique Traduction française Professeur pierre Laudenbach 617.6-128/22.
21. **David H. Pashley, Richard Walton, and Harold C. Slavkin**; Histology And Physiology Of The Dental Pulp;DE 06427 from the National Institute of Dental and Craniofacial Research
22. **KISHOR GULABIVALA, BINA PATEL, GLYNIS EVANS & YUAN-LING NG**.Effects of mechanical and chemical procedures on root canal surfaces.Endodontic Topics 2005, 10, 103–122
23. **MICHAEL HULSMANN, OVE A. PETERS & PAUL M.H. DUMMER**;Mechanical preparation of root canals: shaping goals, techniques and means. EndodonticTopics 2005, 10, 30–76
- 24.**Elsevier SAS** ; Pathologie endodontique. Ensemble pulpo-dentinaire. Clinique dentinaire - La dentine découverte.Odontologie [23-020-B-10] 1989 Éditions Scientifiques et Médicales
25. **Z. METREF.S.A.SERRADJ .D.BOUTER** ; Etude de la dentine pariétale après l'utilisation d'un système NiTi en rotation continue et un protocole d'irrigation optimisé19/04/201.

26. **JC Hess, E Médioni, G Vené** ; Pathologie endodontique. Ensemble pulpo-dentinaire. Clinique pulpaire. 1989 Éditions Scientifiques et Médicales Elsevier SAS.
27. **JC Hess, E Médioni, G Vené** ; Pathologie endodontique. Ensemble pulpo-dentinaire. Gangrènes pulpaires. Odontologie [23-020-C-10].
28. **R.M.LOVE, H.F.JENKINSON**, INVASION OF DENTINAL TUBULES BY ORAL BACTERIA. 2002
29. The smear layer in endodontic, international Journal of Endodontic doi:10.1111/j.1365-2591.2009.01627.
30. **Lea Assed Bezerra da Silva**. Scanning Electron Microscopic Preliminary Study of the Efficacy of SmearClear and EDTA for Smear Layer Removal after Root Canal Instrumentation in Permanent Teeth. American Association of Endodontists. /j.joen .2008 doi:10.1016.
31. **Hong-Guan Kuah**; The Effect of EDTA with and without Ultrasonics on Removal of the Smear Layer. 2009 American Association of Endodontists. doi:10.1016/j.joen.2008.12.007
32. **C. S. Teixeira, M. C. S. Felipe & W. T. Felipe**; The effect of application time of EDTA and NaOCl on intracanal smear layer removal: an SEM analysis International Endodontic Journal. 2005
33. **MERCEDES PÉREZ-HEREDIA, CARMEN MARÍA FERRER-LUQUE**; The Effectiveness of Different Acid Irrigating Solutions in Root Canal Cleaning After Hand and Rotary Instrumentation. The American Association of Endodontists. doi:10.1016/j.joen.2006.05.016
34. **Ching S. Wang, Roland R. Arnold**. Clinical Efficiency of 2% Chlorhexidine Gel in Reducing Intracanal Bacteria. The American Association of Endodontists. doi:10.1016/j.joen.2007.07.010
35. **JEAN-MARIE LAURICHESSE, FRANÇOIS MAESTRONI, JACQUES BREILLAT** ; ENDODENTIE CLINIQUE. 55-78
36. **R. Arbab-Chirani, V. Chevalier, S. Arbab-Chirani, S. Calloch** ; Instrumentation canalaire de préparation. 28-725-A-10.
37. **ELENA BASTARASH** ; Structure Et Propriétés Des Alliages A Mémoire De Forme Titane-Nickel Nanocristallins Obtenus Par Traitements Thermomécaniques ; Thèse D'état De Docteur en physique, Suisse 2005

38. **L. JORDAN, P. ROCHER** ; Les alliages Nickel-Titane (NiTi) Société Francophone de Biomatériaux Dentaires 2009.

39. **ARNAUD EBLE** ; La Fracture Des Instruments D'endodontie En Nickel-Titane 2010.

40. **Hani F. Ounsi ,Thakib Al-Shalan**; Quantitative and Qualitative Elemental Analysis of Different Nickel–Titanium Rotary Instruments by Using Scanning Electron Microscopy and Energy Dispersive Spectroscopy the American Association of Endodontists. doi:10.1016/j.joen.2007.09.09

41. **JC HESS, E MEDIONI, G VENE**;Thérapeutique endodontique. Ensemble pulpodentinaire.Pulpotomie. Odontologie[23-035-D-10]

42. **ALEXANDRE SANDRI CÂMARA**,Flexibility and Torsional Strength of ProTaper and ProTaper Universal Rotary Instruments Assessed by Mechanical Tests.American Association of Endodontists. doi:10.1016/j.joen.2008.10.006

43. **MARKUS HAAPASALO, TRUDE UDNAS, & UNNI ENDAL**; Persistent recurrent and acquired infection of the root canal system post-treatment.ENDODONTIC TOPICS 2003

44. **SAULIUS DRUKTEINIS, IRENA BALCIUNIENE**;A scanning electron microscopic study of debris and smear layer remaining following use of AET instruments and K flexofiles.Institute of Odontology, Faculty of Medicine, Vilnius University, Vilnius, Lithuania.

45. **DEBORAH CLARK-HOLKEA, DAVID DRAKEB, RICHARD WALTONC, ERIC RIVERAC, JANET M. GUTHMILLERD** ;Bacterial penetration through canals of endodontically treated teeth in the presence or absence of the smear layer.2003 Elsevier Science Ltd.

46. **JEERAPHAT JANTARAT, KALLAYA YANPISET, CHOLTACHA HARNIRATTISAI**; Evaluation of Smear Layer Removal by A New EDTA Formula on Root Canal Dentin: A Scanning Electron Microscopic Study.

47. **IN-SOO JEON LARZ S. W. SPÅNGBERG**; Smear layer production by 3 rotary reamers with different cutting blade designs in straight root canals: A scanning electron microscopic study

48. (<http://fr.wikipedia.org/wiki/St%C3%A9r%C3%A9omicroscope>) consulté le 15/06/2012 à 22h30.

49. **J. FAERBER** ;Microscopie électronique à balayage, Microanalyse X par sonde électronique.

50. **VAHID ZEND,MYRIAM BIDAR,PARI GHAZIANI.** A Comparative Investigation Of The Smear Layer Following Preparation Of Root Canals Using Nickel Titanium Rotary And Hand Instruments.

51. **HONG-GUAN, JEEN-NEE LUI, PATRICK S.K. TSENG KUAH,** the Effect of EDTA with and without Ultrasonics on Removal of the Smear Layer.American Association of Endodontists.
doi:10.1016/j.joen.2008.12.2007

8. Table des figures

- Fig.1.** Localisation des ramifications du canal selon De DEUS.....Page 3
- Fig.2.** 1925: HESS. W Anatomy of the root canals of teeth in the permanent dentition. J. Bale sons & Daniel son Ed. , London.page 7
- Fig.3.** Représentation schématique en coupe longitudinale de la jonction cémento-dentinaire selon KUTTLERpage 9
- Fig.4.** Représentation schématique en coupe longitudinale des différentes configurations canalaire au sein d'une racine.....page 9
- Fig.5.** Représentation schématique en coupe longitudinale de l'image radiographique des différents 13types de canaux selon LAURICHESSE, CHAPELLE et GRIVEAU.....page 12
- Fig.6.** configuration canalaire selon Weine.Page 13
- Fig.7.** Surface prédentinaire avec un aspect fibreux développé et présentant l'émergence de nombreux tubulis et de canaux accessoire..... Page 16
- Fig.8.** Calcosphérites (MEB× 1000) présentant une structure tubulaire et un aspect globuleux.....page 18
- Fig.9.** section horizontale de la dentine mature permettant d'observer les tubulis. Cette section est proche de la pulpe, ce qui explique le nombre et la taille de ces tubulis page 19
- Fig.10.** Description schématique de la structure de la dentine circumpulpaire. Page 20
- Fig.11.** diagramme montrant la pulpe périphérique et ses principaux éléments. page 21
- Fig.12.** :Développement bactérien polymorphe en surface prédentinaire page 23

Fig.13. Distribution pariétale de la matrice extracellulaire non minéralisée par niveau radiculaire chez l'homme.....	page 24
Fig.14 . Canal latéral (MEB 20) situé en zone médiane et présentant une trajectoire rectiligne.....	page 25
Fig.15. Canal accessoire (MEB ×30) associé à un canal secondaire, situés en zone apicale et présentant des trajectoires rectilignes.....	page 26
Fig.16. Extirpation pulpaire et vue au MES de la séparation de la pulpe de la surface dentinaire.....	page 27
Fig.17. Vue Au MES montrant des tissus pulpaires séchée et des restes de tissu pulpaire nécrotique sur la paroi du canal, dans un cas de formation d'une boue en forme de couche.....	page 28
Fig.18. Coupe démontrant la capacité de nettoyage insuffisant, avec beaucoup de débris restant et du tissu pulpaire.....	page 28
Fig.19. vue générale d'un canal préparé au protaper.....	page 29
Fig.20. Vue générale d'un canal préparé manuellement.....	page 29
Fig. 21. Coexistence de plusieurs stades d'inflammation dans une même pulpe. INF : tissu inflammatoire.NP : abcès, nécrose de liquéfaction de la pulpe. Présence de calcifications intra pulpaires.....	page 31
Fig.22. Les sites de l'invasion bactérienne de la dentine	Page 40
Fig. 23. Vues au microscope électronique à balayage montrant l'organisation bactérienne a l'intérieur d'un canal infecté. canal.....	page 41
Fig. 24. les micro-organismes pénètrent les tubulis dentinaires sous forme de chaînes (Drake and al, 1994).....	page 43
Fig. 25 . Protection pulpaire par de la sclérose tubulaire, la formation zones mortes.....	page 45

Fig. 26 .La dentine normale est à droite : elle est aisément identifiable par sa structure tubulaire régulièrement agencée Une sorte d'arc-boutant de dentine réactionnelle lui est accolée. Celle-ci contient moins de tubules, dispose plus irrégulièrement. La limite entre les deux est marquée par une ligne basophile, plus sombre. La formation de cette dentine réactionnelle n'a pu contenir l'invasion bactérienne provoquant la nécrose de la pulpe
.....page 46

Fig.27. Pulpite chronique compliquée d'une poussée aiguë (a). La partie inférieure de la pulpe contient un exsudat inflammatoire chronique, constitué de lymphocytes, de polynucléaires et de macrophages ayant phagocyté des débris cellulaires et des granules d'hémosidérine (c). La partie supérieure est nécrotique (b), avec formation d'un exsudat aigu purulent, constitué de polynucléaires qui se désintègrent.....page 47

Fig. 28. Vues (méthylène tache bleu) montrant une pulpe morte avec un front de colonisation bactérienne de la surface dentinaire et commence à pénétrer dans les tubulies dentinaires.....page 48

Fig. 29. Vues au MEB montrant un bio film bactérien sus-jacent de la surface canalaire à partir duquel les cellules bactériennes semblent pénétrer dans les tubulis dentinaires.....page 49

Fig. 30. La plus ancienne obturation canalaire. Radiographie d'une incisive maxillaire avec un fil en bronze implanté dans le canal sur les restes du squelette d'un guerrier Nabatique enterré dans le désert du Negef il y a plus de 2200 anspage 52

Fig.31. Aspects majeurs du contrôle de l'infection en Odontologie.....page56

Fig. 32. Les quatre parois permettent de maintenir en permanence la solution d'irrigation dans la cavité d'accès.....page 59

Fig. 33a. La réalisation de la cavité d'accès consiste en la suppression de l'ensemble des tissus dentaires et des matériaux de reconstitution, situés entre le plafond de la chambre pulpaire et sa projection sur la face occlusale.....page 60

Fig. 33b . Après matérialisation des cornes pulpaires sur la face occlusale, la cavité idéale est dessinée avec une fraise boule diamantée.....page 60

Fig. 33c . La cavité est approfondie en direction de la chambre pulpaire jusqu'à l'effraction d'une corne pulpaire. La corne pulpaire découverte est mise en évidence avec la sonde DG16®page 61

Fig. 33d . Il reste alors une fine bande de tissus durs à supprimer. La fraise boule long col (Fraise LN® en tungstène - Dentsply-Maillefer), montée sur contre angle, est utilisée en retrait, sous contrôle visuel permanent.....page 61

Fig. 33e .Les parois sont mises de dépouille puis régularisées. La fraise Endo Z® (Dentsply-Maillefer) est recommandée. Sa pointe mousse permet de s'appuyer sur le plancher sans risquer de le perforer.....page 61

Fig. 33f . La cavité terminée permet un accès direct aux canaux, tout en préservant au maximum les tissus dentaires (ici en vue vestibulolinguale; noter que la cavité est au centre de la dent).....page 61

Fig. 34.Limite apicale de la préparation et de l'obturation canalair. Les flèches indiquent les jonctions cémento-dentinaire.....page 62

Fig. 35. schéma du principe de résistance de la 1ère génération de localisateur d'apex (principe de résistance).

Fig.36.Morphologiesdesparties apicales dessystèmes radiculaire d'une

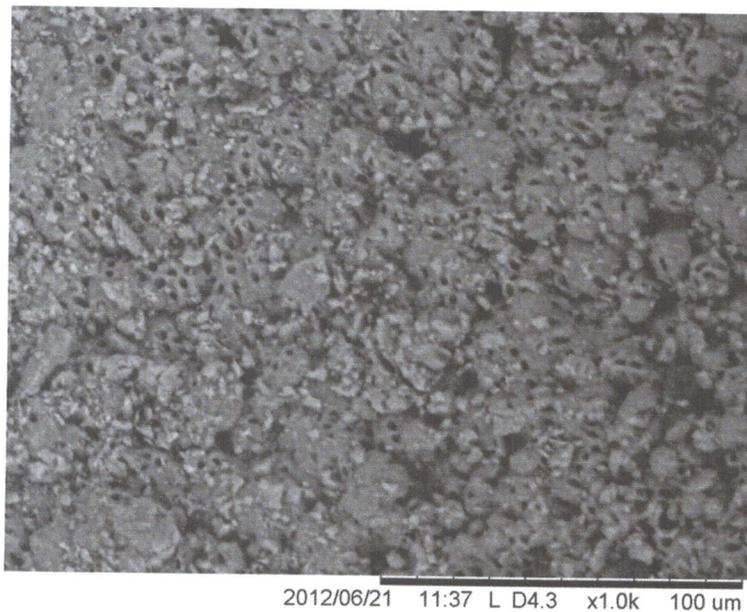
- prémolaire maxillaire et canine décrit par Meyerpage 64
- Fig.37.**Divers Ramifications de la partie apicale, montrant la complexité du système canalaire.....page 64
- Fig.38.**Vues au microscope électronique à balayage de parois canalaires (a) recouverte de boue dentinaire (smear layer).....page 69
- Fig.39a.** Vue au microscope électronique à balayage de parois canalaires après élimination de la boue dentinaire grâce à l'irrigationpage 69
- Fig.39b.** Vue au microscope électronique à balayage de parois canalaires après élimination de la boue dentinaire.....page 70
- Fig.40.** Aiguille non agressive à évacuation latérale 30/100, vue au SEM (M. Zehnder 2006).....page 71
- Fig.41.**Section longitudinal d'un canalicule dentinaire obstrué par de la « smear plug » (SP) issue de la « smear layer » (SL) bordant le canalicule et la surface dentinaire (C .S. Wang 2007).....page 73
- Fig.42.** Une conicité adéquate avec un foramen le plus étroit est plus souhaitable que lesur élargissement apicalpage 74
- Fig. 43.** Diamètre d'un instrument en acier inoxydable ISOpage 75
- Fig. 44.** Instruments à diamètre de pointe identique (30/100) et des conicités différentes.....page 75
- Fig. 45.** Progression des diamètres par mm, dans le cas d'une conicité de 4% (à gauche) et de 6% (à droite),.....page 76
- Fig. 46.**Instrument manuel et notion de conicité. 1. Manche ; 2. tige ; 3. lame active ; 4. pointe ; 5. conicité : 2 %. $D2 = D1 + 16 \times 0,02$page 80

Fig. 47. schématisation des règles de la normalisation des instruments endodontique	page 82
Fig. 48. Diagramme de la transformation martensitique et l'effet mémoire de forme des alliages NiTi (thompson 2000)	page 84
Fig. 49. phénomène de superélasticité (Thompson 2000).....	page 84
Fig. 50. Représentation du comportement extensible de l'acier inoxydable (en haut) et des alliages NiTi (en bas) et des mécanismes de déformation élastique.....	page 85
Fig.51. Elargissement canalaire à la broche selon Hess	page 89
Fig. 52. Préparation canalaire en flamme	page 90
Fig.53. Ampliation selon Laurichesse, quatre phases dans l'ordre chronologique	page 91
Fig.54. Technique des forces équilibrées (balanced force technique).....	page 95
Fig. 55. comparaison des diamètres obtenus dans les derniers mm d'un canal, à diamètre apical égal	page 96
Fig. 56. Radiographie rétroalvéolaire d'une canine mandibulaire, avec un Protaper F3 de diamètre #30 et de conicité 9% dans le canal à la longueur de travail. Notons à droite, l'augmentation du diamètre de la préparation à 3mm de cette longueur (Markus et al 2003).....	page 97
Fig. 57. Fort grossissement de la radiographie rétroalvéolaire de la racine d'une 2ème prémolaire obturée (Markus et al 2003).....	page 98
Fig. 58a. Les instruments à conicité constante présentent une progression uniforme du diamètre le long des spires,.....	page 99
Fig. 58b. Les instruments à conicité variable ne présentent pas une progression uniforme du diamètre. La conicité variable peut être croissante (à gauche) ou décroissante	page 99

- Fig. 59a** Vue au microscope électronique à balayage d'un instrument (Profile) à méplat radiant, de profil (A) et en section (B).....page 100
- Fig. 59b** Vue au microscope électronique à balayage d'un instrument coupant (Hero 642) sans méplat radiant.....page 100
- Fig. 60a** ProTaper® Shaping Files. De haut en bas : S1, S2 et SX.....page 103
- Fig. 60b** ProTaper® Finishing Files. De haut en bas: F1, F2 et F3.....page 103
- Fig. 61** En bleu, (a) conicité variable croissante et (b) conicité variable décroissante. Les pointillés permettent la comparaison avec une conicité constante.....page 104
- Fig. 62** Schématisation de l'obturation canalaire.machtou.....page 105
- Fig. 63** Canal obturé à la gutta perchapage 106
- Fig. 64** Vue au microscope électronique à balayage d'une paroi du canala près l'extirpation pulpaire. Absence d'enduit pariétal et on note l'ouverture nette des tubulis dentinairespage 111
- Fig. 65** Vue au microscope électronique à balayage montrant la fermeture totale des entrées tubulaire par de la smear layer.....page 111
- Fig. 66.** Smear plugspage 112
- Fig. 67.** Loupe binoculaire ou stéréomicroscope.....page 115
- Fig. 68.** les composants essentiels d'un microscope électronique à balayage.....page120
- Fig. 69.** Boitier complet du ProTaper.....page129
- Fig. 70.** Les six instruments ProTaper.....page 129
- Fig. 71.** Lime ProTaper SX.....page130
- Fig. 72.** Moteur Protaper ave contre angle.....page131

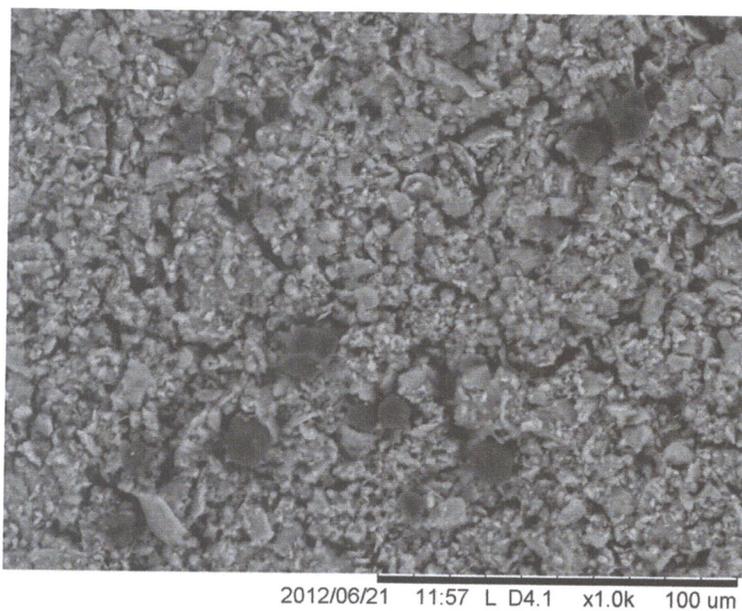
Fig. 73a. ProTaper® Shaping Files. De haut en bas : S1, SX.....	page136
Fig.73b. ProTaper® Finishing Files. De haut en bas: F1, F2 et F3.....	page136
Fig. 74. Porte échantillon adapté au MEB.....	page141
Fig. 75. Scorification selon Hong-Guan.....	page143
Fig. 76a. 1/3 moyen de la dent témoin sain×3000.Score0.....	page 144
Fig. 76b .1/3 apical de la dent témoin sain×1000. Score 0.....	page 144
FIG.77a. 1/3 apical la dent témoin infectée×1000. Score 3	page 145
FIG. 77b. 1/3 moyen de la dent témoin infectée×3000.....	page 145
FIG. 78.a 1/3 moyen d'une dent préparée manuellement×1000. Score 3	page 146
FIG. 78b. 1/3 moyen d'une dent préparée au ProTaper ×1000. Score 2	page 146
FIG.79a 1/3 apical d'une dent préparée en rotation continue au ProTaper Score 1.....	page 148
FIG.79b 1/3 apical d'une dent préparée en manuelle Score 3	page 149
FIG. 80a1/3 apical d'une dent préparée en manuelle ×1000.....	page 151
FIG. 80b 1/3 moyen d'une dent préparée en manuelle ×1000.....	page 151
FIG. 81a 1/3 apical d'une dent préparée en rotation continue×1200.	page 153
FIG. 81b 1/3 moyen d'une dent préparée en rotation continue.....	page 153

9. Annexes



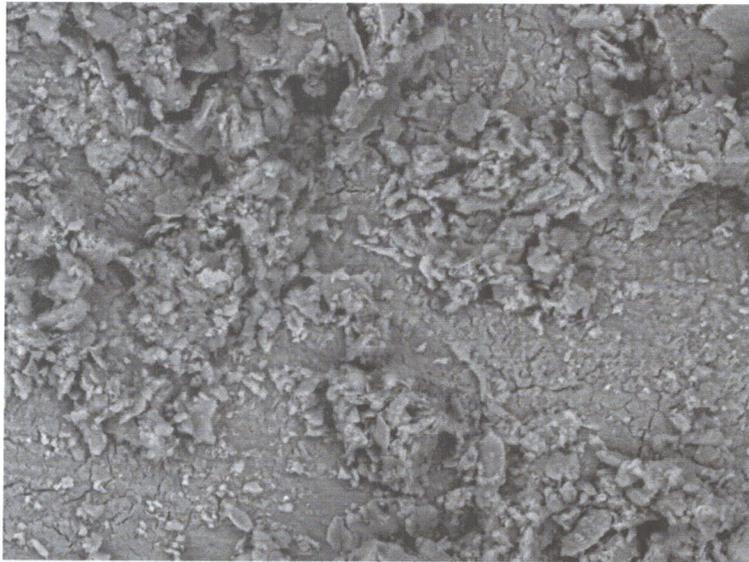
TM1000-0074-06-12

image par MEB du tiers moyen d'un canal préparé manuellement avec un score de 1



TM1000-0078-06-12

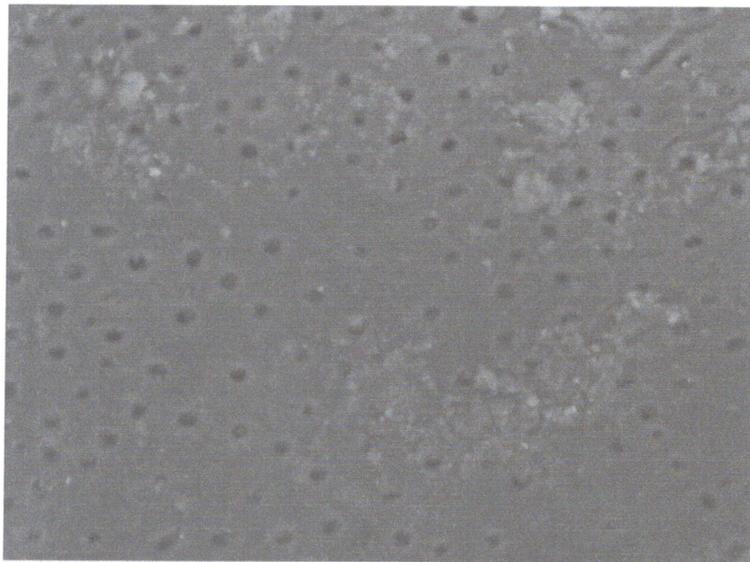
image par MEB de la partie apical d'un canal préparé manuellement avec un score de 3



2012/06/21 11:47 L D4.7 x1.0k 100 um

TM1000-0076-06-12

image par MEB du tiers moyen d'un canal préparé manuellement avec un score de 3



2012/06/12 13:45 L D3.9 x2.0k 30 um

TM1000-0041-06-12

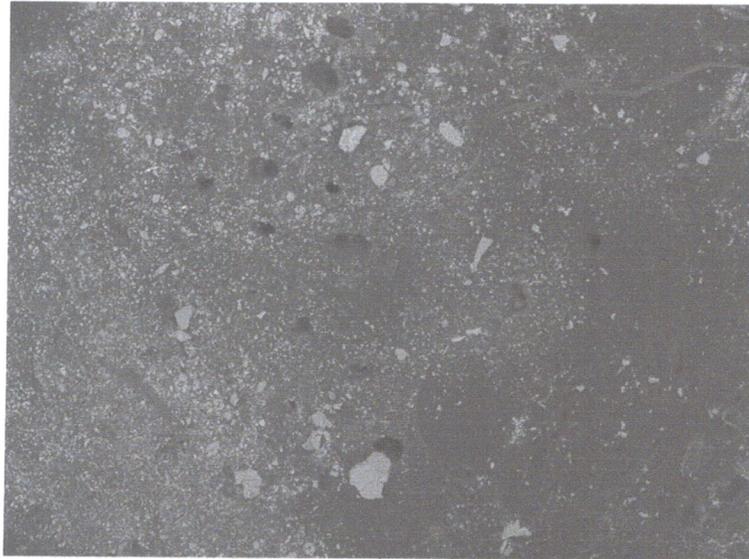
Image par MEB du tiers apicale d'un canal préparé manuellement avec un score de 1



2012/06/12 13:44 L D4.0 x500 200 um

TM1000-0040-06-12

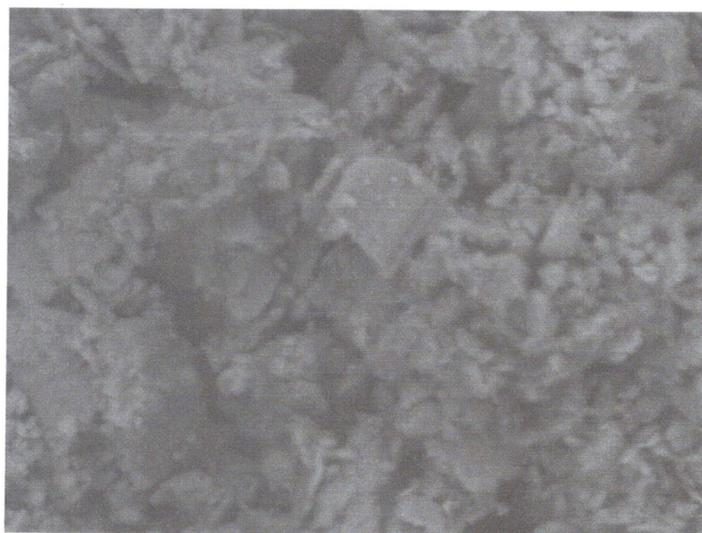
image par MEB de la partie apical d'un canal préparé manuellement avec un score de 1



2012/06/21 12:04 L D5.1 x200 500 um

TM1000-0079-06-12

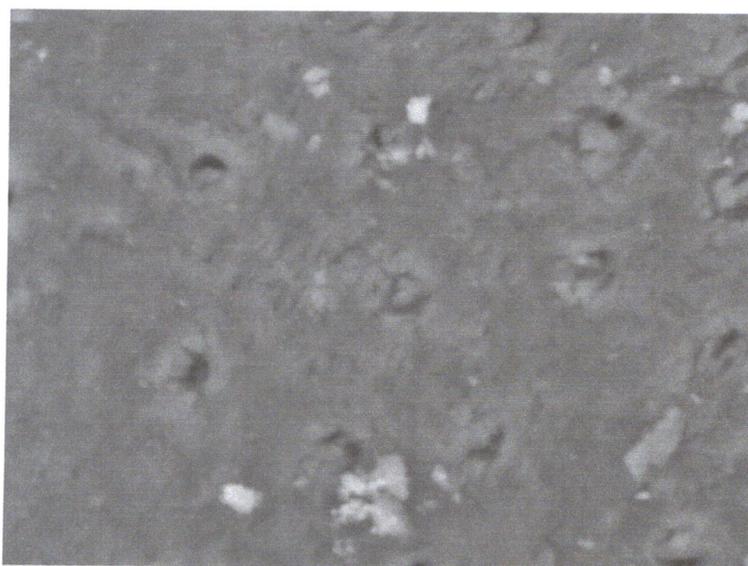
image par MEB de la partie apical d'un canal préparé manuellement avec un score de 1



2012/05/23 14:27 L D4.3 x2.0k 30 um

TM1000-0095-05-12

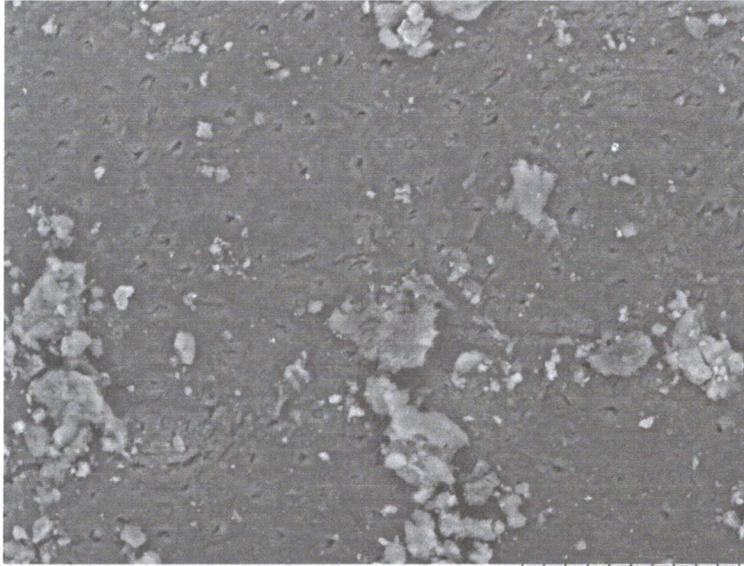
image par MEB du tiers moyen d'un canal préparé manuellement avec un score de 3



2012/05/23 15:13 L D4.6 x5.0k 20 um

TM1000-0105-05-12

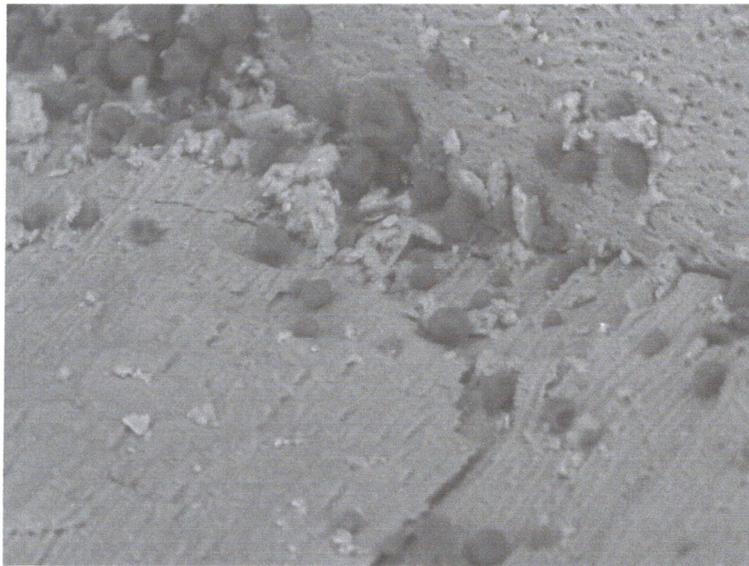
image par MEB du tiers moyen d'un canal préparé manuellement avec un score de 2



2012/05/23 15:12 L D4.6 x1.2k 50 um

TM1000-0104-05-12

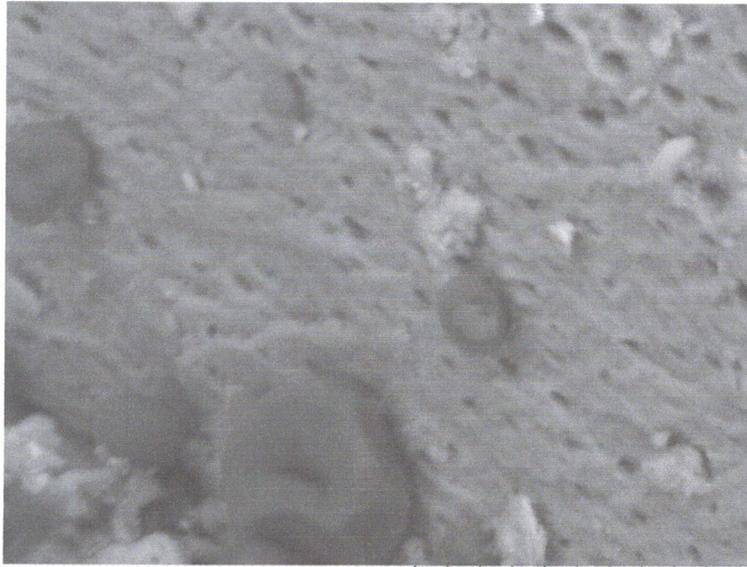
image par MEB du tiers apical d'un canal préparé par le protaper avec un score de 2



2012/06/21 10:41 L D4.8 x1.0k 100 um

TM1000-0061-06-12

image par MEB du tiers apical d'un canal préparé par le protaper avec un score de 2



2012/06/21 10:43 L D4.8 x3.0k 30 um

TM1000-0062-06-12

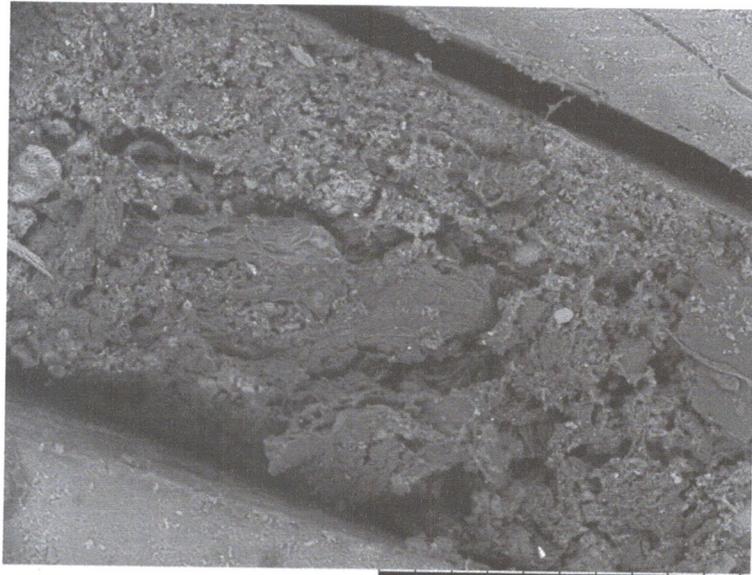
image par MEB du tiers moyen d'un canal préparé par le protaper avec un score de 2



2012/06/21 11:25 L D4.6 x200 500 um

TM1000-0071-06-12

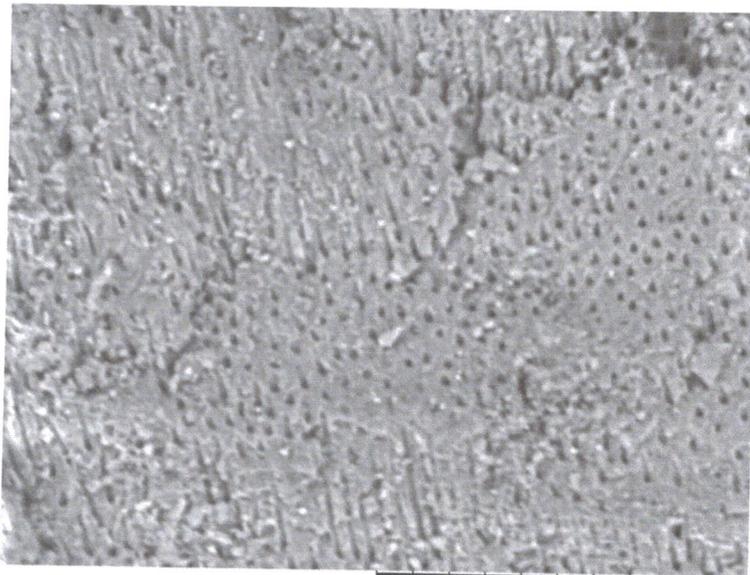
image par MEB du tiers moyen d'un canal préparé par le protaper avec un score de 1



2012/06/21 09:27 D4.0 x200 500 um

TM1000-0049-06-12

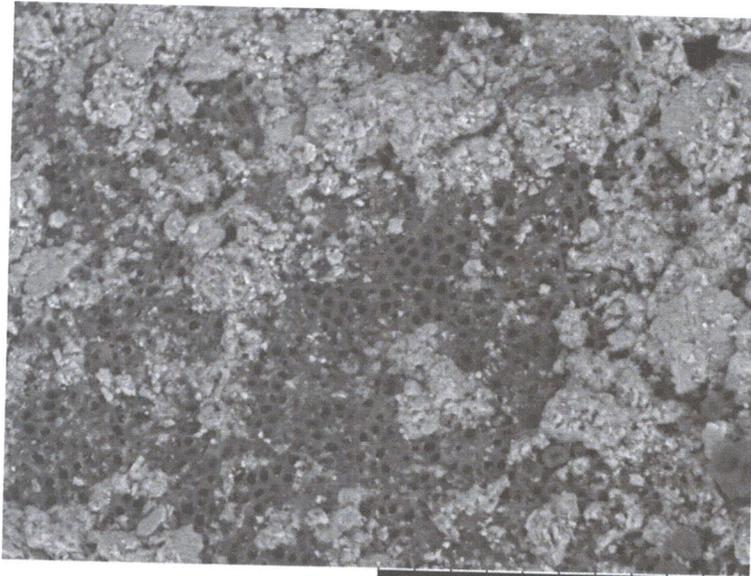
Image du tiers apicale par le MEB d'une dent témoin infecté



2012/06/21 09:52 D4.1 x1.0k 100 um

TM1000-0052-06-12

Image du tiers apicale par le MEB d'une dent témoin saine



2012/06/21 11:05 L D4.1 x1.0k 100 um

TM1000-0067-06-12

Image du tiers moyen par le MEB d'une dent témoin saine



2012/06/21 10:54 L D4.3 x1.0k 100 um

TM1000-0064-06-12

Image du tiers moyen par le MEB d'une dent témoin infecté