



AVERTISSEMENT

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

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

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

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

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

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

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

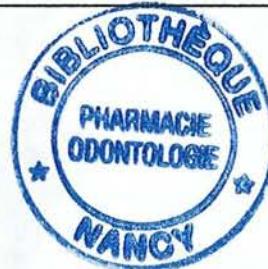
ACADEMIE DE NANCY-METZ

UNIVERSITE DE NANCY I
FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année 2002

Double
N° 36.02

THESE



pour le

DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

par

Olivier CLAUDON

Né le 18 août 1976 à Nancy (54)

**ETANCHEITE APICALE DE CIMENTS CANALAIRES :
REVUE DE LITTERATURE ET EXPERIMENTATION**

présentée et soutenue publiquement le :

14 JUIN 2002

Examinateurs de la Thèse :

M. PANIGHI,	Professeur des Universités	Président
M. A. FONTAINE,	Professeur 1 ^{er} Grade	
<u>M. B. JACQUOT,</u>	Maître de Conférences	Juges
M. O. IZAMBERT,	Ex Assistant Hospitalo-Universitaire	

BU PHARMA-ODONTOL



D 104 060019 4

UNIVERSITE DE NANCY I
FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année 2002

N°

THESE



pour le

DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

par

Olivier CLAUDON
Né le 18 août 1976 à Nancy (54)

36 26393

**ETANCHEITE APICALE DE CIMENTS CANALAIRES :
REVUE DE LITTERATURE ET EXPERIMENTATION**

présentée et soutenue publiquement le :

Examinateurs de la Thèse :

M. PANIGHI,	Professeur des Universités	Président
M. A. FONTAINE,	Professeur 1 ^{er} Grade	
<u>M. B. JACQUOT,</u>	Maître de Conférences	Juges
M. O. IZAMBERT,	Ex Assistant Hospitalo-Universitaire	

Assesseur(s) : Docteur C. ARCHIEN - Docteur J.J. BONNIN

Professeurs Honoraires : MM. F. ABT - S.DURIVAUX - G. JACQUART - D. ROZENCWEIG - M. VIVIER

Doyen Honoraire : J. VADOT

Sous-section 56-01 Odontologie Pédiatrique	Mme D. DESPREZ-DROZ M. J. PREVOST Mlle S. CREUSOT Mme M.J. LABORIE-SCHIELE Mlle A. SARRAND	Maître de Conférences Maître de Conférences Assistant Assistant Assistant
Sous-section 56-02 Orthopédie Dento-Faciale	Mme M.P. FILLEUL Mlle A. MARCHAL Mme M. MAROT-NADEAU Mme D. MOUROT Mlle A. WEINACHER	Professeur des Universités* Maître de Conférences Assistant Assistant Assistant
Sous-section 56-03 Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie légale	M. M. WEISSENBACH	Maître de Conférences*
Sous-section 57-01 Parodontologie	M. N. MILLER M. P. AMBROSINI M. J. PENAUD Mlle A. GRANDEMENGE M. M. REICHERT	Maître de Conférences Maître de Conférences Maître de Conférences Assistant Assistant
Sous-section 57-02 Chirurgie Buccale, Pathologie et Thérapeutique, Anesthésiologie Et Réanimation	M. P. BRAVETTI M. J.P. ARTIS M. D. VIENNET M. C. WANG M. P. GANGLOFF Mme S. KELCHE-GUIRTEN	Maître de Conférences Professeur 2 ^{ème} grade Maître de Conférences Maître de Conférences* Assistant Assistant
Sous-section 57-03 Sciences Biologiques (Biochimie, Immunologie, Histologie, Embryologie, Génétique, Anatomie pathologique, Bactériologie, Pharmacologie)	M. A. WESTPHAL M. J.M. MARTRETTE Mme L. DELASSAUX-FAVOT	Maître de Conférences* Maître de Conférences Assistant
Sous-section 58-01 Odontologie Conservatrice, Endodontie	M. C. AMORY M. A. FONTAINE M. M. PANIGHI M. J.J. BONNIN M. P. BAUDOT Mme L. CUNIN M. J. ELIAS	Maître de Conférences Professeur 1 ^{er} grade * Professeur des Universités* Maître de Conférences Assistant Assistant Assistant
Sous-section 58-02 Prothèses (Prothèse conjointe, Prothèse adjointe partielle, Prothèse complète, Prothèse maxillo-faciale)	M. J.P. LOUIS M. C. ARCHIEN M. J. SCHOUVER Mlle M. BEAUCHAT M. D. DE MARCH M. L.M. FAVOT M. A. GOENGRICH	Professeur des Universités* Maître de Conférences * Maître de Conférences Assistant Assistant Assistant Assistant
Sous-section 58-03 Sciences Anatomiques et Physiologiques Occlusodontiques, Biomatériaux, Biophysique, Radiologie	Mlle C. STRAZIELLE M. B. JACQUOT Mme V. SCHMIDT MASCHINO	Professeur des Universités* Maître de Conférences Assistant

* temps plein - *italique* : responsable de la sous-section

Nancy, le 04.03.2002

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

A NOTRE PRESIDENT DE THESE

Monsieur le Professeur Marc PANIGHI

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur de l'Université H. Poincaré – Nancy I

Habilité à diriger les recherches pour l'Université H. Poincaré – Nancy I

Professeur des Universités

Sous-section : Odontologie Conservatrice - Endodontie

You nous avez fait le très grand honneur
de bien vouloir présider cette thèse.

Nous savons l'intérêt que vous portez à
l'égard des étudiants et des travaux qu'ils
mènent.

Veuillez trouver ici l'expression de nos
remerciements les plus sincères pour la
disponibilité et l'accessibilité dont vous
avez toujours fait preuve à notre égard.

A NOTRE JUGE

Monsieur le Professeur Alain FONTAINE

Chevalier de l'Ordre National Du Mérite

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur en Sciences Odontologiques

Professeur 1^{er} Grade

Sous-section : Odontologie conservatrice - Endodontie

Nous sommes sensibles à l'honneur que vous nous faites en acceptant de juger ce travail. Veuillez trouver ici l'expression de nos remerciements pour votre gentillesse et votre dévouement.

A NOTRE DIRECTEUR DE THESE

Monsieur le Docteur Bruno JACQUOT

Docteur en Chirurgie Dentaire

Maître de Conférences des Universités

Sous-section : Sciences Anatomiques et Physiologiques,
Occlusodontiques, Biomatériaux, Biophysique, Radiologie

Vous nous avez fait l'honneur de bien vouloir diriger et participer à ce travail. Nous admirons la passion dont vous êtes animé pour le domaine des biomatériaux appliqué à la pratique clinique. Veuillez trouver ici l'expression de nos profonds remerciements pour la justesse et la pertinence de vos corrections, pour la rigueur apportée à ce travail et pour la pédagogie dont vous avez fait preuve à notre égard.

A NOTRE JUGE

Monsieur le Docteur Olivier IZAMBERT

Docteur en Chirurgie Dentaire

Ex Assistant Hospitalo-Universitaire

Vous nous avez l'honneur de bien vouloir prendre part au jury.

Vous avez su éveiller en nous le désir d'apprendre ainsi qu'une vision passionnante et ambitieuse de la pratique odontologique.

Pour l'étendue de vos connaissances, pour la disponibilité dont vous avez fait preuve à notre égard et pour le savoir clinique que vous avez pu nous transmettre, qu'il nous soit permis aujourd'hui de vous témoigner notre profonde admiration.

A mes parents

pour leur total dévouement et leur bienfaisance.
Merci

A Ann-Dorothée

mon Amour.

A la mémoire de mes grands-pères

A mes grands-mères et Rosette

A mes deux frères

A toute ma famille bien aimée

A Jean-Luc, Marielle, Max et leurs chameaux

A tous mes amis qui m'entourent

Steph, Fab, Rachel, François, Marie, Jacq's, Hélène, Serge, Murielle,
Romain, Nathalie, Sophie, « les Alexs ».

Pour les belles années d'études passées ensemble

A ceux que l'on oublie pas

Arnaud, Viviane, Yannick et Virginie

Pour les souvenirs inoubliables

Merci à Dimitri pour son aide

Merci

A Olivier Izambert et son équipe

A Huguette Pelsy-Boissonnat

A Mr et Mme ORGELOT

A Lili

SOMMAIRE

INTRODUCTION

1. INTRODUCTION AUX DONNEES ACTUELLES

- 1.1. L'étanchéité**
- 1.2. Les techniques de mesures**
- 1.3. Les ciments**

2. EXPERIMENTATION

- 2.1. Choix des échantillons**
- 2.2. Préparation canalaire**
- 2.3. Obturation canalaire**
- 2.4. Isolation des échantillons**
- 2.5. Essai de percolation apicale**
- 2.6. Observation et mesure de la percolation**
- 2.7. Résultats**

3. DISCUSSION

4. CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION

L'endodontie est un acte thérapeutique conservateur de grande importance dans l'exercice quotidien du chirurgien dentiste. Le traitement radiculaire d'une dent va permettre en effet de la conserver durablement et la qualité du traitement aura donc une importance capitale vis à vis de l'ensemble des soins de la cavité buccale. La dent dépulpée peut être ainsi maintenue dans un état de santé offrant une mise en condition pour d'autres techniques thérapeutiques. (chirurgie, parodontologie, prothèse)

Le but est de remplacer le complexe pulpaire de la dent par une unité biocompatible définitive. L'élimination complète des résidus et des microorganismes pathogènes est nécessaire, préalablement à l'obturation. La technique d'obturation consiste à mettre en place d'un matériau étanche au niveau de l'apex. L'objectif est d'obtenir une herméticité maximale du canal vis à vis des fluides périapicaux pour éviter les risques de réinfections. La percolation apicale est la principale source d'échec des traitements endodontiques (INGLE et TAINTOR, 1985).

La difficulté particulière du traitement endodontique provient de l'anatomie canalaire qui offre un accès limité. En effet, le contrôle de l'acte est rendu compliqué par une visibilité réduite et par la finesse du canal dentaire. La sensibilité tactile acquise par l'expérience du praticien lui permettra d'obtenir des résultats satisfaisants. Pourtant, le contrôle radiographique paraît insuffisant pour évaluer la qualité de l'obturation en terme d'étanchéité et ce n'est qu'à long terme que le praticien pourra réellement apprécier la valeur de sa technique.

La complexité du protocole et la relativité des résultats font de l'endodontie une pratique plus ou moins redoutée par le chirurgien dentiste. Néanmoins, la maîtrise de l'endodontie est indispensable et devient une base pour les autres thérapeutiques.

L'intérêt de cette étude est dans un premier temps de rassembler et de synthétiser les données disponibles dans la littérature scientifique actuelle. La première partie traite des recherches étudiant le phénomène de percolation apicale, et des différentes techniques mises en œuvre pour évaluer l'herméticité des obturations canalaires.

Dans un second temps, un protocole expérimental est mis en place afin de comparer les obturations canalaires réalisées avec quatre ciments différents. Les échantillons sont des racines dentaires naturelles extraites. Dans un soucis de simplicité, il s'agit de dents monoradiculées rectilignes. La percolation apicale est mise en évidence par une technique de coloration et visualisée par section des racines. Les ciments testés sont :

- le ciment SEALITE à base d'eugénol-oxyde de zinc
- le ciment TOPSEAL à base de résine
- le ciment SEALAPEX à base d'hydroxyde de calcium
- le ciment ROEKO Automix à base de silicone

Enfin le chapitre de discussion consiste en l'analyse des résultats et des difficultés rencontrées. Il replace le protocole choisi dans le cadre des études antérieures publiées dans la littérature et dans le contexte clinique.

I. INTRODUCTION AUX DONNEES ACTUELLES

1.L'ETANCHEITE

1.1. Justification d'une étude sur l'étanchéité apicale : intérêts

L'obturation complète du système canalaire par un matériau dont les propriétés physiques et biologiques sont adaptées est le principal but du traitement endodontique. La préparation et le parage du canal ont un rôle essentiel mais le scellement de la région apicale est un acte dont l'efficacité est difficile à estimer *in vivo*. La radiologie au service du praticien n'est malheureusement pas suffisamment précise pour évaluer la qualité d'une obturation endo-canalaire.

INGLE et TAINTOR en 1985 sont cités comme référence par la plupart des auteurs. Ils estiment qu'au moins 59% des échecs endodontiques peuvent être attribués à la percolation apicale induite par un défaut d'étanchéité. La pénétration de microorganismes et de leurs toxines au niveau du canal obturé se traduit par la présence de niches bactériennes à l'abri des défenses de l'organisme. Ce défaut d'étanchéité permet le développement bactérien à l'origine d'infections ou de réinfections périapicales.

Mesurer l'efficacité du traitement endodontique par son étanchéité paraît donc le moyen d'estimer la qualité des différentes et nombreuses techniques utilisées de nos jours (WU et WESSELINK, 1993). D'après ces mêmes auteurs, il semble impossible physiquement d'avoir une herméticité totale. Ils notent par ailleurs que l'on trouve 1 article scientifique sur 4,3 qui traite de l'étanchéité apicale dans les deux journaux endodontiques principaux depuis leur parution (*Journal of Endodontics* et *International Endodontic Journal*).

Ceci nous indique que ce type d'étude constitue une part majeure de la recherche endodontique contemporaine.

1.2. Explication du phénomène de percolation

1.2.1. Notion d'espace entre l'obturation et les parois dentinaires

La percolation bactérienne ou liquidienne s'effectue à l'interface entre les parois ou murs dentinaires et l'obturation. A ce niveau, une multitude de phénomènes rentrent en jeu et des facteurs physico-chimiques participent à la complexité du problème.

On considère les défauts d'obturation comme des vides, des interstices entre les éléments contenus dans le canal et les murs dentinaires. La taille de ces vides va dépendre :

- de la qualité de ces murs dentinaires et de la forme du canal (WU et coll. en 2000)
- de la qualité de l'obturation

La percolation va donc être dépendante de la dimension des interstices comme de la dimension des éléments susceptibles de pénétrer à ce niveau. (KERSTEN et MOORER, 1989)

Par ailleurs, KONTAKIOTIS et coll. en 2001 déterminent qu'à cette échelle, les deux phénomènes principaux en cause sont :

- la diffusion
- la capillarité

Ils intègrent des notions d'hydratation et de tension de surface sur lesquelles nous reviendrons, qui compliquent encore la compréhension de la percolation. Le contenu des interstices est également fondamental puisqu'il détermine le type de phénomène physique responsable de la percolation.

1.2.2. Eléments en cause lors de la percolation : les bactéries et dérivés

La micro-infiltration de fluides dans l'obturation est présente dans tous les cas puisque l'étanchéité parfaite n'existe pas. Pourtant, 90% des thérapeutiques canalaires sont des succès du moins au niveau radiologique KERSTEN et MOORER en 1989. Ces auteurs estiment donc qu'il doit exister une limite critique de percolation à partir de laquelle un problème infectieux apical est inévitable. Leur expérimentation s'intéresse à la taille des particules capables de s'infiltrer et met en évidence la percolation de différents éléments comme :

- une solution de particules de latex de 0.945 µm simulant un streptocoque,
- un fragment de membrane cellulaire bactérienne de poids moléculaire de 10^6 simulant une endotoxine de petite taille.

Ils concluent que la micro-infiltration des agents de grande taille est stoppée par la plupart des traitements endodontiques et que seuls les micro-organismes et produits bactériens de haut poids moléculaire sont essentiels dans le processus pathogène. Leur étude ne permet pas de donner un ordre d'idée de la dimension limite à partir de laquelle les éléments toxiques bactériens peuvent devenir pathogènes dans la situation particulière de l'obturation de la région apicale.

Des éléments passifs participent également à la pathologie. Il s'agit des résidus organiques du tissu pulinaire, de la boue dentinaire produite par l'action mécanique des instruments pendant la préparation et des produits de dégradation périapicaux pouvant servir de nutriments à un développement bactérien potentiel.

Compte tenu de la diversité des éléments potentiellement pathogènes à éliminer, il est indispensable d'avoir pleine conscience de l'importance de la phase d'irrigation et de l'élimination des tissus infectés lors de la préparation endo-canalaire. Le but primordial de cette étape préliminaire est de limiter au maximum la présence résiduelle d'éléments pathogènes au niveau de la totalité du canal.

1.3. Conditions requises pour obtenir l'étanchéité

1.3.1. Facteurs intervenants dans la qualité du traitement canalaire

1.3.1.1. Au niveau de l'élément dentaire

L'anatomie de la dent et la morphologie du système endo-canalaire ont un effet sur l'efficacité du traitement endodontique. Cette composante va jouer sur la qualité de la préparation et de l'obturation.

Dans le cas de canaux courbes, l'intégrité de la circonférence canalaire n'est pas entièrement préparée par les instruments. Les parties concaves sont sous-instrumentées tandis que les parties convexes sont sur-instrumentées. Une anatomie courbe pose le problème du respect de l'homothétie qui est un principe fondamental de la préparation canalaire. Cette homothétie prend toute son importance lors de la phase d'obturation puisque la forme de préparation finale va influencer la qualité de l'obturation. L'anatomie endo-canalaire influence donc par l'intermédiaire de la préparation les rapports entre obturation et préparation qui sont déterminants pour l'étanchéité apicale. (WU et coll. en 2000)

WU et WESSELINK en 2001, estiment que 40% de la surface d'un canal ovale (80% des incisives mandibulaires), n'est ni instrumentée ni complètement obturée.

1.3.1.2. Au niveau de la préparation

De l'instrumentation canalaire dépend en partie la qualité et l'efficacité du traitement canalaire. La préparation est réalisée selon de multiples techniques, anciennes ou plus modernes qui n'ont pas forcément la même efficacité. WU et coll. en 2000 démontrent en comparant les effets de deux techniques (Lightspeed et instrumentation manuelle) sur des canaux courbes que les nouvelles méthodes utilisant des instruments en nickel-titane et un micromoteur ont un certain nombre d'avantages, En effet, ils enregistrent un

taux moins élevé de déplacement du foramen apical (19%) par rapport à l'instrumentation manuelle (87%) dans le cas de canaux présentant une angulation de 21° à 39°. La corrélation entre le déplacement apical et une percolation plus élevée a été également démontrée dans cette étude. Donc dans ce cas, on peut penser que la technique de préparation influence directement l'étanchéité.

WU et coll. en 2000 expliquent la moins bonne étanchéité par une obturation non optimale dans ces cas de préparation difficile. La qualité de l'obturation est réduite du fait de la courbure empêchant une bonne condensation. De plus, le ciment n'épouse pas parfaitement les irrégularités des parois dentinaires et laisse des espaces vides propices à la percolation. La localisation de la courbure elle-même influence les résultats. Plus la courbure est coronaire, plus l'étanchéité est difficile à obtenir. Au contraire, si la courbure finale se situe dans les 3mm apicaux, l'étanchéité est meilleure, les espaces non obturés se limitant à des formes de « culs de sacs ».

L'élimination optimale de la boue dentinaire, couche résiduelle de débris due à l'acte de préparation, améliore de façon non négligeable l'aptitude de l'obturation à être étanche. Les résultats de VASSILIADIS et coll. en 1996 indiquent que la boue dentinaire augmente la pénétration linéaire et volumétrique du colorant et affecte le succès de l'obturation. BEHREND et coll. en 1996 confirment cette position dans leur expérimentation de percolation bactérienne. TIMPAWAT et coll. en 2001 affirment d'après leurs tests d'étanchéité que l'élimination de la boue dentinaire augmente le niveau de percolation mesuré mais pour eux, compte tenu de la faible différence entre les échantillons, le problème de la boue dentinaire n'a pas de signification importante au niveau clinique.

La boue dentinaire est à l'origine de débats entre les scientifiques. Il s'agit d'une couche uniforme de 1 à 2 µm d'épaisseur constituée de débris organiques et inorganiques, adhérente aux parois du canal. Cette couche est produite par l'action mécanique des instruments de préparation canalaire. Le dilemme est de savoir si on doit la préserver ou non. En obturant l'entrée des canalicules dentinaires, elle a un rôle favorable d'isolation des bactéries

contenues dans ces pertuis. Par contre, elle constitue un milieu de choix, favorable au développement bactérien et nuit à l'étanchéité. Par ailleurs, elle interfère avec la condensation et son éviction permet l'ouverture des canalicules autorisant le ciment à s'introduire et à s'adapter plus intimement. WIMONCHIT et coll. en 2002 testent dans leur protocole la présence ou l'absence de boue dentinaire sur des racines obturées. L'étanchéité est mesurée par trois techniques qui sont la coloration passive, la coloration sous pression et le modèle de fluide. Ils concluent que la présence ou l'absence de boue dentinaire n'a pas d'effet significatif sur les résultats pour aucune de ces techniques.

Aujourd'hui, la tendance est à l'élimination de cette boue dentinaire garantie par l'utilisation d'EDTA.

1.3.1.3. Au niveau de la technique d'obturation

Les techniques d'obturation en endodontie sont multiples tant au niveau des matériaux utilisés qu'au niveau de la technique proprement dite.

VEIS et coll. en 1994 réalisent des obturations in-situ sur des dents devant être extraites pour des raisons parodontales ou orthodontiques. Ils comparent une technique peu répandue d'injection de gutta-percha thermoplastique à la technique classique de condensation latérale à la gutta-percha. Cette première technique consiste à injecter la gutta chauffée à l'aide d'une aiguille (23 gauge) le plus apicalement possible dans le canal. L'opérateur réalise ensuite une condensation verticale. Sans obtenir de différence significative sur l'étanchéité des deux échantillons, cette étude permet de visualiser la distribution du colorant (donc de la percolation). Elle est différente dans les deux cas. Le colorant pénètre uniquement à la périphérie de la masse de gutta dans la technique d'injection alors que pour la condensation latérale, la percolation agit en périphérie mais également entre les cônes. Dans le cas de canaux irréguliers, l'injection de gutta permet une meilleure adaptation aux parois et une plus grande homogénéité.

MICHAILESCO et coll. en 1996 comparent l'étanchéité obtenue sur des dents obturées de différentes manières à l'aide d'une technique de percolation bactérienne avec une bactérie fluorescente (*Pseudomonas fluorescens* ATCC 13525). Les différentes obturations sont réalisées par :

- technique simple cône avec un ciment ZOE (type non précisé) inséré au lentulo
- condensation latérale avec le ciment ZOE introduit dans le canal à l'aide d'une lime
- condensation verticale à chaud avec le ciment ZOE
- condensation thermomécanique avec le ciment ZOE (compacteur de McSpadden)

Les résultats suggèrent une meilleure étanchéité lors de la réalisation d'une condensation. Confrontée aux autres techniques de condensation, c'est la condensation latérale qui donne de meilleurs résultats. Les études comparables ont des conclusions identiques sur l'utilité de la condensation mais certaines préconisent la condensation verticale à chaud plutôt que la condensation latérale.

PATHOMVANICH et EDMUNDSD en 1996, concluent de leur côté qu'il n'existe pas de différence significative en matière d'étanchéité entre la condensation latérale et la technique Thermafil.

ANTONOPoulos et coll. en 1998 étudient la percolation au niveau de racines obturées soit par condensation latérale soit par la technique monocône. Ils utilisent le même ciment pour les deux échantillons (AHplus). La technique de condensation latérale donne de meilleurs résultats mais la différence n'est pas statistiquement significative.

Les études présentes dans la littérature sont nombreuses et variables du fait de la quantité des techniques mises au point. La comparaison des résultats reste difficile du fait que les protocoles sont proches mais jamais parfaitement identiques. De plus, le facteur prépondérant reste l'opérateur et des conclusions précises semblent difficiles à avancer. La technique d'obturation joue certes un rôle très important mais il semble raisonnable de penser qu'un opérateur familiarisé avec une technique classique et qui bénéficie d'un recul clinique pourra optimiser ses traitements canalaires en ayant bien conscience de ces notions d'étanchéité.

1.3.2. Le ciment : le facteur indispensable

MASTER et coll. en 1995 étudient de près la nature des parois canalaires. Ils comparent la qualité d'obturations endodontiques réalisées soit dans le cas de canaux de racines naturelles soit dans le cas de canaux simulés dans des blocs de résine. Ces tests sont réalisés avec de la gutta-percha sans ciment. Les résultats d'étanchéité par coloration donnent entre 70% et 100% de percolation sur la hauteur des échantillons. La gutta-percha n'est donc pas capable d'assurer seule l'étanchéité et son adaptation aux parois canalaire est limitée. L'étanchéité est meilleure au niveau du modèle artificiel en résine par rapport au modèle sur dents naturelles. La percolation totale mesurée pour des parois canalaires présentant des irrégularités et des pertuis confirme le problème d'adaptation et de joint entre la gutta et la dentine. Il y a moins de micro-infiltration entre la gutta et des parois lisses. Le ciment est utilisé pour obturer les irrégularités ou cavités mineures entre le corps de l'obturation et les murs dentinaires. Il agit également comme lubrifiant et permet souvent d'obturer les canaux secondaires ou accessoires. L'étude comparative de LIMKANGWALMONKOL et coll. en 1991 conforte ces propriétés associées au ciment endodontique.

WU et coll. 1994 démontrent avec un modèle de transport de fluide (décrit dans le paragraphe 2.1.2.) que la nature du ciment donne des comportements différents en ce qui concerne leur capacité à sceller un canal. Par exemple, Ketac-Endo, un ciment à base verre-ionomère et Tubli-seal à

base eugénol-oxyde de zinc, se révèlent inefficaces à une épaisseur importante ou utilisés seuls dans un canal. Le comportement du Sealapex (CaOH_2) et de AH26 (à base résine) est plutôt opposé : ils sont plus efficaces en épaisseur importante et ont de meilleurs résultats utilisés comme seul matériau dans le canal.

A partir de ces considérations, WU et WESSELINK en 1995 présentent une étude expérimentale centrée sur le problème de l'épaisseur de ciment. Ils utilisent des sections de racines de dents bovines permettant une bonne reproductibilité. Ils obturent ces canaux avec une masse de gutta-percha calibrée de façon à obtenir des échantillons avec des épaisseurs de ciment différentes de 0,05, 0,25 et 0,3mm. Ces épaisseurs sont pertinentes en regard des moyennes mesurées dans le cas de condensation latérale sur dent humaine qui varient de 0,02 à 0,3 mm dans le tiers apical (WU et coll. 1994). Lors des mesures effectuées après l'obturation, les auteurs ne notent pas de différence significative selon l'épaisseur du ciment. Cette épaisseur prend son importance à long terme comme le montrent les secondes mesures réalisées un an plus tard. L'étanchéité est maintenue plus longtemps par une couche de ciment fine car la destruction de ce dernier entraîne une perte de matériau moins importante. Ceci est confirmé par la comparaison des résultats à J_0 et à $J_{+1\text{an}}$ de ciments ayant des caractéristiques de solubilité et de dégradation différentes. Les ciments solubles se dégradent plus vite et offrent plus de micro-infiltrations vis à vis des fluides périapicaux. Le ciment est l'élément indispensable mais également le plus sollicité. Il paraît donc utile de minimiser sa quantité, cela n'affectant en aucune sorte ses objectifs.

Les phénomènes physico-chimiques au niveau du ciment vont être déterminants sur l'étanchéité à long terme de l'obturation. Les facteurs sont multiples et méconnus mais une obturation sans ciment est une aberration comme le montrent la plupart des échantillons témoins positifs. Les auteurs d'études d'étanchéité valident leur technique de mesure en testant des dents obturées sans ciment qui dans tous les cas sont perméables à 100%.

Par ailleurs, il paraît difficile aujourd'hui de concevoir une obturation canalaire sans gutta-percha uniquement fondée sur un ciment qui va se dégrader plus ou moins vite dans le temps mais assurément beaucoup plus rapidement que la gutta (KERSTEN et MOORER 1989).

Le ciment est l'élément clé des traitements endodontiques actuels. Son étude passionne et mobilise une grande partie de la recherche sur l'étanchéité apicale.

2. LES TECHNIQUES DE MESURES

De nombreuses méthodes sont reportées dans la littérature pour déterminer la percolation apicale. En étudiant ces expérimentations, on remarque que chaque détail de la méthode peut changer significativement les résultats. L'approche employée par la plupart des chercheurs conduit à d'importantes variations des techniques expérimentales (OLIVER et ABBOTT en 1991). Toutefois, une classification peut être établie :

2.1. Les techniques les plus courantes

2.1.1. Pénétration d'un colorant

La méthode par pénétration d'un colorant est la méthode la plus populaire dans la littérature. Le principe réside dans l'idée que le colorant en pénétrant dans les interstices va révéler l'étendue de la percolation possible d'éléments pathogènes. La technique consiste à immerger l'extrémité apicale des racines dans l'agent percolateur pendant une durée définie et de visualiser le colorant par différentes techniques directement au sein du système canalaire. La technique de mesure choisie peut donner soit des données quantitatives, soit des données semi-quantitatives sur la quantité de microfiltration. Il existe d'autres agents percolateurs que les colorants, utilisés dans le même but. Des scientifiques utilisent des bactéries ou des radio-isotopes mais ces techniques étant compliquées à mettre en place, elles sont moins utilisées et seront décrites plus loin.

2.1.1.1. Les différents colorants utilisés

2.1.1.1.1. Le bleu de méthylène

Caractéristiques

Le bleu de méthylène est le colorant le plus communément utilisé dans tout le domaine de la médecine. Au niveau des tests d'étanchéité, il est choisi préférentiellement pour ses caractéristiques de coloration importante, de solubilité dans l'eau et de poids moléculaire très faible. Le bleu de méthylène a un poids moléculaire de 459.76 d'après sa formule chimique $C_{16}H_{18}N_{13}SCl$. Il s'agit d'une molécule de très petite taille (1.34nm) et d'une solubilité très élevée. KERSTEN et MOORER en 1989 s'emploient dans leur étude à comparer la taille des particules utilisées *in vitro* à celle des toxines et bactéries présentes *in vivo*. Ils évaluent l'efficacité du bleu de méthylène par rapport à un produit bactérien de bas poids moléculaire utilisé également comme traceur et concluent que le bleu de méthylène se comporte comme l'acide butyrique, validant ainsi son utilisation. LINKANGWALMONKOL et coll. en 1991 nous rapportent également que le bleu de méthylène n'est pas absorbé par les cristaux d'apatite de la matrice dentinaire et ne réagit pas chimiquement avec les éléments en présence. Les concentrations utilisées varient entre 0.25 et 10% (STARKEY et coll., 1993). Ces auteurs s'intéressent plus particulièrement au pH de la solution. Ils estiment que le bleu de méthylène doit être tamponné à pH 7 pour donner les résultats d'une solution aqueuse et non pas ceux d'un acide qui aurait alors l'inconvénient de dissoudre en partie la composante minérale de la dentine. De nombreuses études expliquaient leurs valeurs élevées de percolation par l'acidité de leur solution de bleu de méthylène (KRELL et MADISON, 1985, GREENE et coll. en 1990). Les conclusions de STARKEY et coll. en 1993 montrent clairement une dissolution de la dentine apicale au bout de 7 jours dans le colorant à pH=1. La supposition d'une plus forte percolation lors de l'utilisation d'un bleu de méthylène acide par rapport à un bleu de méthylène tamponné à pH=7 n'est pourtant pas confirmée. La percolation du colorant est très faible pour un pH inférieur à 2 puis elle augmente linéairement avec l'accroissement du pH des solutions utilisées. La précipitation des cristaux de phosphate de calcium dans les canalicules et à l'interface représente une

explication possible à cette contradiction (confirmée par MORGAN et BAUMGARTNER en 1997). Les matériaux testés ont également une influence dans leur étude sur l'évolution de la percolation en fonction du pH. Par ailleurs, ces auteurs remarquent en mesurant le pH tout au long du protocole que la dentine exposée a un effet tampon sur le colorant. Ils s'appuient ainsi sur les résultats de WANG et HUME en 1988 qui mettent en évidence le pouvoir tampon de l'hydroxyapatite et de la racine entière vis à vis du pH du colorant.

PATHOMVANICH et EDMUNDS en 1996 utilisent du bleu de méthylène à une concentration de 2% et estiment qu'il pénètre mieux que les radio-isotopes. Il a l'avantage d'être détectable à la lumière visible.

MORGAN et BAUMGARTNER en 1997 étudient les caractéristiques du bleu de méthylène employé en chirurgie endodontique. Il est utilisé dans ce cas comme un agent de contraste permettant de confirmer la complète résection, de mettre en évidence la section du canal et d'éventuelles fractures radiculaires. Mais l'effet le plus important est l'action antibactérienne et surtout la déminéralisation de la surface dentinaire de la racine. MORGAN et BAUMGARTNER ont donc voulu étudier précisément les effets de ce colorant en fonction de son temps d'application et de son pH. Ils concluent que le bleu de méthylène n'est pas assez efficace pour éliminer la couche de boue dentinaire produite par la résection, contrairement à l'acide citrique à 50%. Le colorant a néanmoins un pouvoir de déminéralisation non négligeable.

Le phénomène de décoloration

WU et coll. en 1998 s'intéressent au phénomène de décoloration que subit le bleu de méthylène en contact avec les matériaux d'obturation. La pénétration de la solution décolorée n'est pas entièrement visible et les mesures de la longueur de percolation deviennent donc erronées. Pour exprimer simplement la quantité de bleu de méthylène décolorée, ils mesurent la densité optique du bleu de méthylène dans le compartiment où sont immergées les racines. Les phénomènes de diffusion entre ce compartiment et l'interface assurent une décoloration homogène de tout le colorant que les auteurs rapportent aux surfaces en jeu. Pour pouvoir

réaliser ces mesures, les tests sont effectués sur des racines préparées de manière identique, obturées avec des matériaux de base (obturations rétrogrades) :

- eugénol oxyde de zinc
 - hydroxyde de calcium
 - amalgame
 - verre ionomére

Les échantillons sont immergés dans du bleu de méthylène à 1% et à pH=7.0 pendant 24, 48, et 72 heures. La densité optique des réservoirs est mesurée à différents moments à l'aide d'un spectrophotomètre.

Leurs résultats sont les suivants :

- Le bleu de méthylène est instable en milieu alcalin et il est hydrolysé en une forme transparente :

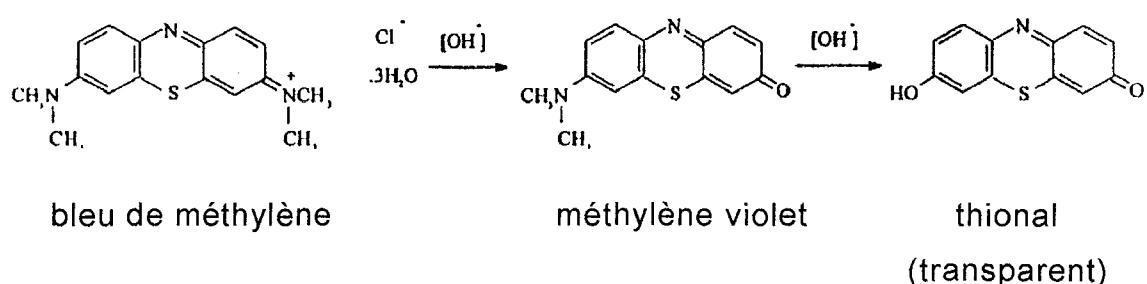
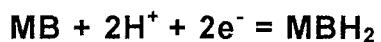


fig.1 : Hydrolyse du bleu de méthylène (WU et coll., 1998)

Cette réaction explique la forte décoloration obtenue dans cette étude par le matériau à base de Ca(OH)₂ après 24 H d'immersion. Ces auteurs remettent ainsi en cause les bons résultats de nombreuses études qui établissent une faible percolation et une bonne étanchéité de ces matériaux

- Le bleu de méthylène qui est coloré dans sa forme oxydée peut-être également réduit :



Il devient alors une forme moins colorée. Par exemple, les matériaux à base d'eugénol oxyde de zinc contiennent des agents réducteurs comme le Zn, Cu, Ag qui réagissent avec le bleu de méthylène.

Selon WU & coll. , la quantité de pénétration de bleu de méthylène ne révèle donc pas la totalité des défauts de l'interface, ce qui justifie l'utilisation d'autres colorants. Même si cette étude est relativement récente (1997), elle est novatrice et la plupart des expérimentations ne tiennent pas compte de ce phénomène.

La décoloration du bleu de méthylène peut également survenir lors de l'utilisation d'une technique de mise en évidence de la percolation par dissolution complète de la racine. VASSILIADIS et coll. en 1996 déterminaient le volume de colorant ayant pénétré dans les racines en dissolvant l'échantillon dans de l'acide nitrique à 35%. Par spectrophotométrie, ils mesuraient la densité de colorant résiduel et quantifiaient le degré de pénétration. Dans leur étude le bleu de méthylène est stable en présence de l'acide jusqu'à 48 heures au-delà desquelles il vire de teinte et devient finalement transparent.

En conclusion, la pertinence de l'utilisation du bleu de méthylène dans ce type de tests d'étanchéité n'est plus à démontrer compte tenu de sa popularité dans la littérature. D'après AHLBERG et coll. en 1995 qui s'interrogent sur sa pertinence au niveau clinique, ce colorant est celui donc les caractéristiques se rapprochent le plus des éléments mis en cause dans les problèmes périapicaux. Il est l'indicateur le plus adéquat pour les micro-organismes et endotoxines de grande taille comme pour les agents toxiques de bas poids moléculaire.

Le recueil que constitue l'étude de WU et WESSELINK en 1993 nous montre que si aucune technique n'est universellement approuvée, la coloration au bleu de méthylène est le protocole le plus répandu.

2.1.1.1.2. Les autres colorants disponibles

Le bleu de méthylène est prédominant dans les protocoles expérimentaux depuis 1980. Toutefois, d'autres colorants ont fait leur apparition comme l'encre de chine (India Ink), l'éosine, la rhodamine B ou le bleu de Prusse (Porcion Brilliant Blue). (WU et WESSELINK, 1993)

AHLBERG et coll. en 1995 confrontent le bleu de méthylène à India Ink sur des échantillons obturés par condensation latérale de gutta-percha avec trois ciments endodontiques différents. Après 7 jours d'immersion et par section longitudinale, ils trouvent une percolation plus importante avec le bleu de méthylène dans les mêmes conditions. Ils concluent que India Ink, de poids moléculaire plus élevé que le bleu de méthylène pénètre moins profondément.

PATHOMVANICH et EDMUNDS en 1996 préfèrent quant à eux utiliser India Ink. Ils estiment que le bleu de méthylène à tendance à se dissoudre en présence de l'acide nitrique nécessaire dans la phase d'éclaircissement de leur étude. Ils notent également que l'appréciation de la

limite de coloration n'est pas précise et suggèrent l'utilisation d'India Ink comme une meilleure alternative.

Dans l'expérimentation de ANTONOPOULOS et ATTIN, 1998, India Ink et un mélange Rhodamine B-resine époxide sont utilisés. Les auteurs expliquent la différence de pouvoir de percolation des deux colorants par le fait que India Ink a un caractère pénétrant plus efficace et une consistance plus fluide.

Enfin, TAMSE et coll. en 1998 comparent la pénétration linéaire de quatre colorants différents dans des obturations identiques : condensation latérale à la gutta-percha avec le ciment Roth's 801. Les colorants testés sont :

- Eosine 1%
- Bleu de méthylène 1%
- Black India Ink
- Porcion Brillant Blue

Les échantillons sont immergés dans les colorants pendant 72 heures sous une pression de 620 mmHg et sectionnés transversalement en coupes de 0.7 mm d'épaisseur. Pour les deux derniers colorants cités, un protocole d'éclaircissement des racines a été également appliqué pour doubler les mesures.

Les différences ne sont pas statistiquement significatives mais le bleu de méthylène pénètre plus que les autres colorants. Porcion Brillant Blue a les valeurs de percolation les plus faibles. Le bleu de méthylène a un poids moléculaire plus faible et pénètre mieux que India Ink qui contient des particules de carbone en suspension de 10µm.

Ceci est en accord avec l'étude référence de KERSTEN et MOORER, 1989 :

Groups	Number of roots	Average dye penetration	SD (mm)	Range (mm)
Cross sections				
A Eosin	20	2.13	0.84	1–3.4
B Methylene Blue	19	2.93	2.00	0.4–6.4
C Black India Ink	19	2.29	1.13	0.4–5.4
D Procion Blue	19	1.88	1.01	0–4.4
Clearing				
E Black India Ink	20	1.33	0.99	0–3
F Procion Blue	20	1.25	0.82	0–3

fig.2 : Percolation de quatre colorants différents
(KERSTEN et MOORER, 1989)

D'autres études démontrent que India Ink colore plus les échantillons et donne plus de précision à la lecture. Le choix du marqueur est controversé et les auteurs multiplient les colorants utilisés, ce qui restreint les possibilités de comparaison entre les études menées. Il est ainsi difficile de se faire une opinion et de choisir le colorant adéquat, selon que l'on se reporte à telle ou telle position. (WU et WESSELINK, 1993).

2.1.1.2. Eléments variants d'une étude à l'autre

La revue de littérature de WU et WESSELINK en 1993 nous montre à quel point les résultats varient d'une étude à l'autre. Dans des protocoles similaires, on constate non seulement que les valeurs de percolation peuvent passer du simple au triple, mais également que les conclusions des études utilisant la méthode de coloration peuvent être totalement contradictoires. Les facteurs en cause sont multiples :

- présence ou non de bulles d'air à l'interface justifiant ou non des conditions particulières opératoires (vide, pression, centrifugation)
- les caractéristiques physico-chimiques du colorant
- l'immersion immédiate ou retardée de l'échantillon dans le colorant
- la technique de visualisation

Tous ces éléments selon la façon dont ils sont pris en compte par l'étude vont orienter les résultats :

2.1.1.2.1. Variation des conditions de pression

Influence des éléments emprisonnés à l'interface :

Ce problème implique l'étude microscopique des événements qui se déroulent lors de la percolation. Pour que le colorant pénètre, il est nécessaire qu'il existe des imperfections de l'adaptation obturation-murs canalaires. Ces imperfections sont constituées par des « vides » présents à l'interface. Pour comprendre la façon dont le colorant pénètre ces vides, il paraît important de se poser la question de leur contenu : il peut s'agir d'air ou d'éléments liquides. La recherche de conditions permettant une

percolation optimale pousse les scientifiques à mettre au point des méthodes permettant d'éliminer ce facteur. En effet, il est clairement admis que les bulles d'air vont inhiber la montée du colorant. Les auteurs ont donc élaboré des modèles de mise sous vide ou sous pression, de centrifugation, pour potentialiser la pénétration du colorant. Pourtant, on doit se poser la question de la pertinence de ces procédés et si ces études ne s'éloignent pas trop des conditions *in vivo*.

WU et coll. en 1994 étudient l'influence de la présence d'air ou de liquide dans les interstices. Ils forment trois groupes expérimentaux pour lesquels ils mesurent la pénétration du colorant après les avoir soumis à des conditions particulières : le premier groupe subit un transport de fluide qui assure une complète élimination de l'air, le second est placé dans le même système mais dans lequel uniquement de l'air est forcé à travers la racine, assurant l'élimination des liquides et le troisième groupe n'est pas modifié. La quantité d'échantillons présentant une percolation totale est plus élevée dans le groupe dont l'hydratation est maximale (transport de fluide).

Group	Number of specimens	Dye penetration	
		full length (8 mm)	incomplete (< 8 mm)
Dye penetration after fluid transport	20	14*	6
Dye penetration after air transport	20	1	19
Dye penetration only	20	4	16

fig.3 : Percolation en fonction de mises en conditions différentes
(WU et coll. en 1994)

Ils concluent donc que l'air emprisonné est clairement le facteur qui interfère avec la percolation du colorant.

MASTER et coll. en 1995 émettent l'idée que la nature poreuse de la dentine permet à l'air emprisonné d'être déplacé par le colorant. Le volume des canalicules dentinaires n'est en effet jamais pris en compte dans les études. Ce volume permettrait donc l'augmentation du phénomène de capillarité en réduisant la force qui s'y oppose, exercée par l'air enchassé. Cette idée n'a pas été reprise depuis dans la littérature.

KONTAKIOTIS et coll. en 2001, se penchent sur la mise en condition des interstices. Cette interrogation prend origine à partir des conclusions de leur étude pilote de 1997 qui confirme la supposition que la présence de bulles d'air dans des capillaires inhibe la pénétration du bleu de méthylène à 1% pendant 72 heures. Ils dégagent ainsi les facteurs essentiels du phénomène, à savoir :

- si les interstices sont remplis d'eau
- si des bulles d'air sont présentes
- si la tension de surface des matériaux est favorable ou non

Les mécanismes de transport du colorant sont de deux types :

La diffusion (ALONSO et FINN, 2001) opère lorsque le colorant est confronté à une masse liquide. La diffusion est le phénomène qui tend à homogénéiser une substance. On parle de diffusion pour les états liquides ou gazeux. Pour que la diffusion ait lieu, il faut que la distribution dans l'espace des molécules de la substance soit non homogène. La diffusion a lieu dans la direction des concentrations décroissantes, et tend par conséquent à uniformiser la distribution moléculaire de la substance diffusante dans tout l'espace. La diffusion, en général, résulte du fait que l'agitation moléculaire produit de nombreux chocs entre les molécules qui sont en conséquence diffusées. Le phénomène est d'autant plus important que le gradient de concentration est élevé et l'équation de Fick définit la relation de proportionnalité entre la densité du courant et la variation de concentration. La constante de proportionnalité est le coefficient de diffusion D qui dépend

de la substance. La deuxième loi de Fick exprime la conservation du nombre de particules.

La diffusion du colorant va donc tendre selon des lois physiques à homogénéiser la concentration de colorant entre le réservoir d'immersion et les interstices aqueux de l'obturation.

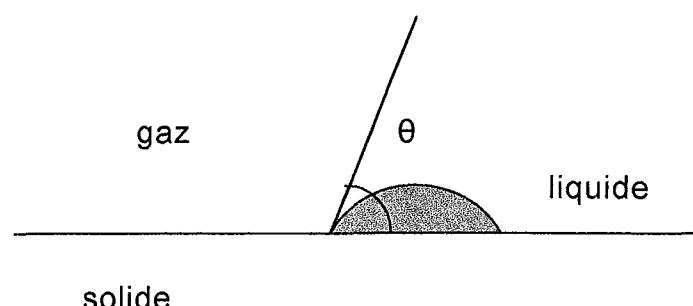
La capillarité (BRICARG et BENOIT, 1975) est définie par la capacité d'un fluide à pénétrer dans un tube fin. La force capillaire est liée au rayon du capillaire.

Ce phénomène est effectif dans les interstices aériens. Il est en rapport avec la taille des interstices et les tensions de surface mises en jeu.

La tension superficielle provient des forces d'attraction mutuelles entre les molécules d'un liquide. Pour les molécules à l'intérieur du liquide, ces forces se produisent dans toutes les directions. Par contre, pour les molécules situées à la surface du liquide, elles ne sont attirées que d'un seul côté. Il en résulte que la surface du liquide prend la valeur la plus petite possible. La force capillaire provient de cette tension superficielle : la loi de Jurin caractérise les phénomènes observés d'un liquide dans un tube fin.

- Un liquide mouillant dans un tube fin va monter dans le tube sous l'action des forces de tension superficielle. Le liquide monte jusqu'à l'équilibre entre la surpression due à la capillarité et le poids du liquide soulevé.
- Le phénomène est inversé dans le cas d'un liquide non mouillant. Il y a une dépression dans le tube capillaire.

Un liquide mouillant se distingue d'un liquide non mouillant par l'angle θ de raccordement entre le liquide et le solide :



Pour l'eau qui est un liquide mouillant, la tension superficielle exprimée en N.m⁻¹ est de 0.073.

Pour le mercure, la tension superficielle est de 0.49 N.m⁻¹ : il est non mouillant.

Pour l'éther, la tension superficielle est de 0.017 N.m⁻¹ : il s'agit d'un liquide très mouillant.

La pénétration du colorant au niveau de l'obturation est régit par cette loi physique.

Les principes de capillarité et de diffusion cohabitent et il est donc d'un grand intérêt de savoir dans quelle mesure les résultats des expérimentations vont être influencés.

Ces mêmes auteurs (KONTAKIOTIS & coll., 2001) mettent donc en place un protocole d'étude qui permet de mesurer la percolation d'un colorant dans des conditions modifiées : soit une hydratation maximale, soit un assèchement complet de l'interface. Ils en déduisent que le bleu de méthylène pénètre plus loin dans des interstices déshydratés que dans des interstices remplis de liquide. Ils concluent que la capillarité permet un transport plus efficace du colorant par rapport au phénomène de diffusion et sont ainsi en totale contradiction avec les études initiales de WU et coll. en 1994. Ils expliquent leur divergence de résultats par le fait que WU et coll. utilisent une pression de 0.1 atm avec laquelle l'élimination de l'eau leur paraît insuffisante. Ils exercent quant à eux une pression de 0.6 atm .

Par ailleurs, KONTAKIOTIS et coll., 2001 mettent en évidence le rôle de la tension de surface des matériaux et l'importance des surfaces de contact : lors de l'utilisation de vaseline inhibant toutes les tensions de surfaces, les phénomènes de diffusion et de capillarité sont impossibles et la pénétration de colorant est fortement réduite voire inexistante.

Enfin, les études de KONTAKIOTIS et coll. en 2001 émettent une réflexion intéressante : la force capillaire est inversement proportionnelle à la largeur de l'interstice. Le colorant va donc révéler une percolation plus importante dans le cas d'une obturation ne laissant qu'un faible interstice, par rapport à une obturation moins intime avec les parois canalaires. Dans ces conditions, une percolation de grande amplitude n'indique pas forcément une mauvaise étanchéité mais peut-être une interface étroite potentialisant l'infiltration du colorant mais pas celle des éléments pathogènes de plus grosse taille. Aucun autre auteur n'a soulevé cette incohérence depuis.

Influence des conditions de pression appliquées pendant la percolation

Compte tenu de ces considérations, un grand nombre d'auteurs ont concentré leurs recherches sur les effets de l'air emprisonné. Ils ont mis au point des procédés divers permettant de l'éliminer ou de réduire ses effets. On distingue trois techniques principales utilisées par les auteurs. Il s'agit de la percolation passive, de la centrifugation et de la mise sous conditions particulières de pression.

La percolation sous l'influence de la pression :

L'application de conditions de pressions particulières consiste soit à augmenter soit à diminuer la pression préalablement ou pendant l'immersion de l'échantillon dans le colorant. La majeure partie des auteurs modifiant les conditions de pressions la réduisent dans le but d'éliminer l'air emprisonné. L'application d'une pression élevée directement sur le colorant pendant l'immersion semble être inefficace et n'est pratiquement pas employée dans les publications répertoriées pour cette étude. Les scientifiques mettent au point un dispositif relativement simple :

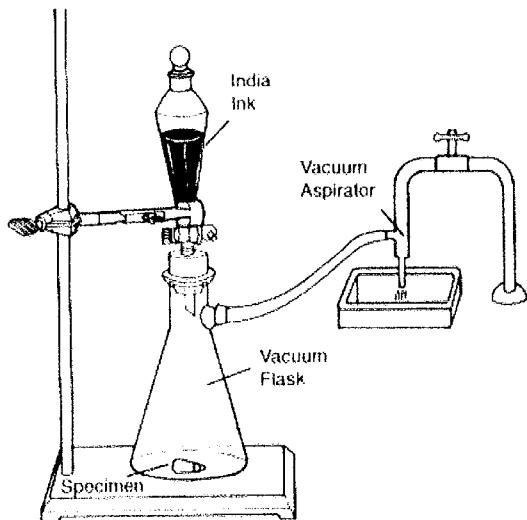


fig.4 : Modèle de mise sous pression réduite, (RODA et GUTMANN, 1995)

SPANGBERG et coll. en 1989 imaginent un modèle de canal artificiel créé dans du ciment endodontique. Ils insèrent un fil de ligature orthodontique dans un tube fraîchement obturé à l'aide du ciment (AH26). Ce fil est retiré après la prise complète du ciment, créant ainsi un vide clos et standardisé pour tous les échantillons (deux diamètres de fil sont comparés). Les auteurs ne cherchent pas à reproduire les conditions in-vivo mais à standardiser le protocole à l'aide d'un modèle reproductible qui permet d'étudier le seul facteur pression. Ils mettent alors en évidence l'efficacité de l'élimination de l'air contenu dans l'obturation par un procédé de réduction de pression (vide relatif). Une pression maintenue à 100 mtorr (soit 13,3 Pa) permet de potentialiser la percolation du colorant au niveau de ce modèle (100%). Par ailleurs, la percolation passive est plus importante dans le cas des trous calibrés à 0,51 mm de diamètre par rapport à ceux de 0,28 mm (52,7 contre 26,3% de la hauteur des échantillons en moyenne), ce qui est

contradictoire par rapport aux caractéristiques classiques de la capillarité décrites dans le paragraphe précédent par KONTAKIOTIS & coll.. En fait, il s'agit d'un cas particulier. L'air emprisonné inhibe les phénomènes responsables de la percolation et son élimination permet la percolation complète du colorant. Les vides créés dans ce modèle comme les interstices présents dans le cas d'obturations endodontiques, sont des culs de sacs dans lesquels l'air emprisonné empêchera la pénétration du colorant tant qu'il ne sera pas dissout dans le fluide ou évacué préalablement.

OLIVER et ABBOTT en 1991, mettent en compétition trois conditions de test d'étanchéité avec un colorant dans des tubes capillaires préparés de la même façon (ciment + fil de ligature):

- percolation passive
- centrifugation
- pression réduite de 26 mmHg (soit 3458 Pa)

Pour ces auteurs, l'utilisation de conditions passives est insuffisante et même incohérente par rapport à la centrifugation et au « vide » qui se révèlent nettement plus efficaces pour augmenter la pénétration du colorant.

Groupe	Percolation passive	Centrifugation	Pression réduite
Moyenne de percolation en % de la hauteur de la racine	20.7	91.7	100

fig 5 : Percolation en fonction des conditions de pression (OLIVER et ABBOTT, 1991)

MASTER et coll., 1995 citent les études précédentes réalisées sur la question de l'air emprisonné et de l'effet de l'application de vide pour l'éliminer. Ils reprochent à ces études d'être pour la plupart effectuées sur des modèles artificiels de tubes en verre ou en résine, canaux artificiels et ils estiment que ces surfaces sont fortement différentes de la dentine canalaire préparée. Leur protocole compare donc un modèle de tube en verre et des racines dentaires préparées, soumis ou non au «vide». Une partie de l'échantillon est alors connectée à une pompe à vide appliquant une réduction de 25 mmHg pendant 3 mn. Le colorant est ensuite introduit dans les mêmes conditions pendant 10 mn puis les échantillons sont laissés passivement 72 heures dans le colorant. MASTER et coll., 1995 en déduisent que l'application de vide avant et pendant le test d'étanchéité augmente la quantité de colorant et donc que la capacité à révéler les défauts d'herméticité est optimisée. Les obturations réalisées dans les racines naturelles sont moins étanches que les mêmes réalisées dans les tubes en verre quelles que soient les conditions de pression. Les tests de percolation dans des tubes et racines vides donnent les mêmes résultats.

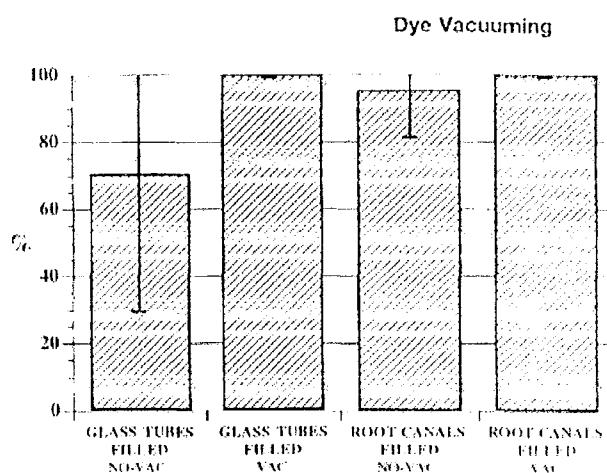


fig.6 : Percolation en % de la hauteur de l'échantillon, (MASTER et coll., 1995)

RODA et GUTMANN en 1995 poussent alors les recherches sur la réduction de pression en la diminuant beaucoup plus. Comme dans tous les protocoles, ils enduisent les échantillons avec un vernis à l'exception de l'extrémité apicale afin d'éviter toute interférence (percolations n'étant pas en rapport avec le foramen apical). Ils s'aperçoivent alors que l'air contenu dans l'obturation va s'échapper. La différence de pression entre l'air emprisonné dans l'obturation et l'air extérieur provoque des modifications structurales ayant tendance à rétablir l'équilibre. L'harmonisation des pressions répondant à des lois physiques fondamentales va s'opérer par des destructions à l'intérieur même de l'obturation, qui n'ont pas de justification clinique et qui vont altérer de façon importante l'intégrité et la qualité de cette obturation. Ces artefacts vont alors être source d'erreur en permettant une percolation supérieure par rapport aux conditions *in vivo*. La légitimité de l'utilisation de pression réduite pourrait donc être mise en doute provoquant des extensions artificielles. RODA et GUTMANN en 1995 s'opposent donc aux affirmations de la plupart des auteurs contemporains à cette étude. Ils n'estiment pas que l'utilisation du vide ait une pertinence du point de vue clinique d'autant plus que leurs mesures ne concluent pas à une différence significative entre deux groupes avec et sans application de pression réduite.

Le phénomène observé au niveau interne a lieu également au niveau externe, provoquant alors des modifications dans la structure des couches de vernis. Les auteurs s'aperçoivent alors des problèmes externes inhérents à l'application de pression réduite sur le protocole expérimental. Les modifications structurales de l'obturation se retrouvent au niveau du vernis et posent le problème de défauts d'étanchéité du vernis à proximité de l'apex. On peut alors imaginer facilement la présence de percolations anormales liées à ce défaut. La variation des conditions de pression provoque donc des effets importants sur la structure de l'ensemble de l'échantillon. Ces effets paraissent difficilement appréciables et ajoutent un facteur de variation supplémentaire.

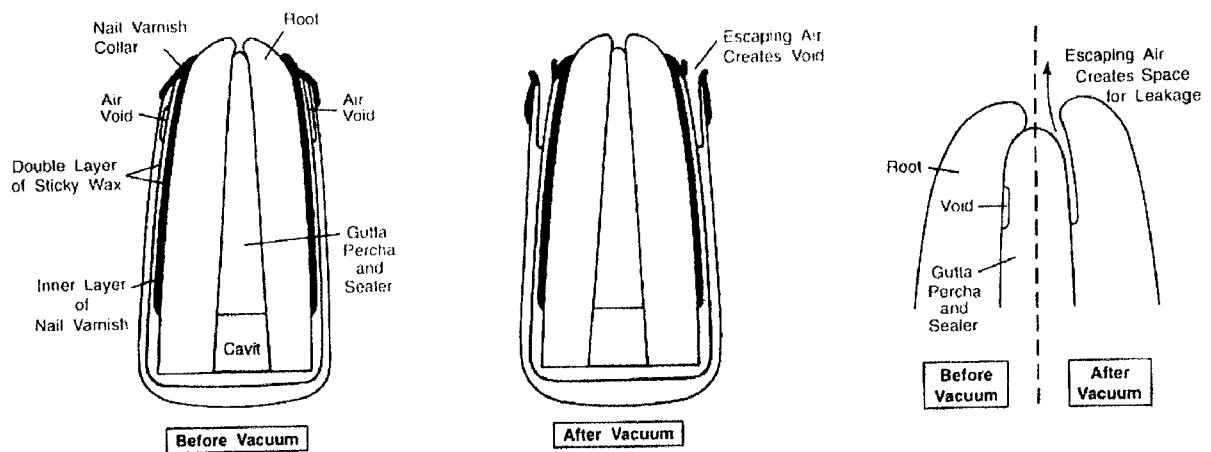


fig.7 : Influence de la pression sur l'intégrité de l'échantillon, (RODA et GUTMANN en 1995)

PATHOMVANICH et EDMUNDS, 1996 (n°1) font partie des rares auteurs qui testent les racines par coloration sous une pression positive. Ils appliquent une pression de 2 bar pendant 5 mn puis réalisent le test en percolation passive. Leurs résultats montrent une percolation supérieure par rapport aux conditions passives ou à la centrifugation mais les différences ne sont pas statistiquement significatives.

La percolation par centrifugation :

LIMKANGWALMONKOL et coll. en 1991 et 1992 se consacrent plus particulièrement à la centrifugation. Le procédé consiste à placer l'échantillon, inclus entièrement dans le colorant dans une éprouvette qui sera soumise à la force centrifuge par rotation dans un dispositif spécifique.

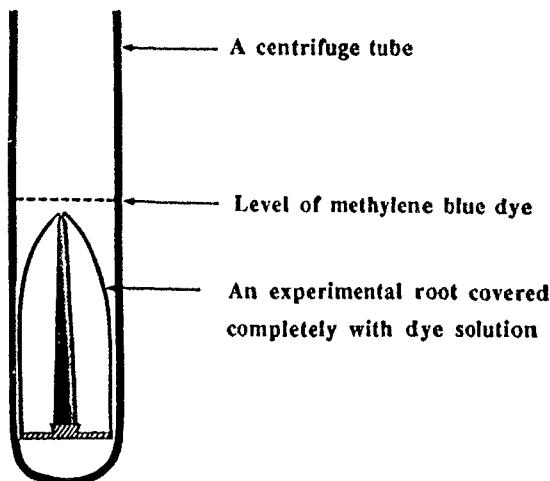


fig.8 : Modèle de centrifugation (LIMKANGWALMONKOL et coll., 1991)

La centrifugation exerce une pression sur le colorant et force en quelque sorte sa pénétration à l'interface dent-obturation. Selon LIMKANGWALMONKOL et coll., 1991, et OLIVER et ABBOTT, 1991, la centrifugation est plus efficiente que les méthodes passives. La centrifugation constitue pour eux une accélération du phénomène de percolation effectif dans des conditions passives. Comme LIMKANGWALMONKOL en 1991, PATHOMVANICH et EDMUNDS estiment que la centrifugation permet une simple accélération du phénomène de percolation passive alors que les techniques de vide et de pression ont plus de conséquences sur la structure et l'adaptation de l'obturation.

La percolation passive :

PATHOMVANICH et EDMUNDS en 1996 (n°1) mettent en compétition dans un test d'étanchéité trois techniques utilisant des conditions de pression différentes avec la technique de coloration passive. Ils utilisent l'India ink et opèrent après une semaine de séchage du ciment :

- percolation passive

Le groupe d'échantillon est plongé de deux millimètres verticalement dans le colorant.

- centrifugation

Les dents sont totalement immergées dans un tube rempli de colorant et sont centrifugées à 1658 g pendant 10mn.

- pression réduite et percolation passive

Les échantillons sont plongés dans 2 mm de colorant sous pression réduite à 7.98 Pa pendant 15 mn puis sous pression atmosphérique 48 heures.

- pression et percolation passive

Les dents sont placées en contact avec le colorant dans un flacon où la pression est élevée à 2 bars pendant 5 mn, puis elles sont laissées 48 heures sous pression atmosphérique.

Les résultats obtenus sont peu significatifs et n'apportent pas de réponses définitives. La centrifugation, le «vide» ou la pression sont des conditions qui pour l'auteur, ont moins d'influence sur les résultats que les problèmes de préparation, d'obturation et d'anatomie radiculaire. Ces auteurs estiment quand même que la percolation passive est une technique moins révélatrice des problèmes d'étanchéité par rapport aux autres techniques utilisées mais semble suffisamment pertinente dans le cadre d'une étude comparative. Le même protocole réalisé par les mêmes auteurs la même année (PATHOMVANICH et EDMUNDS, 1996 n°2) mais utilisant le bleu de méthylène et des modèles artificiels ne donne pas des résultats aussi neutres. Les modèles en résine employés permettent une meilleure standardisation et le bleu de méthylène est plus pénétrant. Ces deux facteurs sont sans doute à l'origine des résultats plus éloquents (conclusions de MASTER et coll. en 1995). Les mesures de percolation classent par ordre croissant la méthode passive, la centrifugation, et l'application d'une pression au niveau de leur capacité à révéler les défauts d'herméticité. Toutefois, les différences ne sont pas statistiquement significatives.

D'autres auteurs (ANTONOPoulos et coll., 1998) mettent au point des méthodes plus complexes avec un plus grand nombre de facteurs en jeu (technique d'obturation, colorants, conditions de pression) :

- échantillon n°1 : exposé à India ink passivement pendant 7 jrs
- échantillon n°2 : exposé à India ink sous pression réduite 10mn
- échantillon n°3 : exposé à un colorant à base de résine epoxy et de rhodamine B sous une pression de 200 Mpa

Les résultats de ces études s'opposent aux précédentes études et révèlent une plus forte percolation pour les dents exposées aux conditions de pression atmosphérique normale ou de pression réduite par rapport aux dents mises sous pression élevée. Les auteurs en contradiction avec la majorité des chercheurs sur le sujet expliquent leurs résultats par le fait qu'ils utilisent des colorants différents pour les trois échantillons. Le mélange résine époxy-rhodamine B n'a pas les mêmes qualités pénétration que India ink et il durcit définitivement tandis que India ink peut encore progresser pendant la phase d'éclaircissement utilisée par ces auteurs.

En conclusion, l'application de conditions de pression particulières s'éloigne des conditions périapicales *in vivo* et amène de nouvelles sources de variations et d'artéfacts décrites par RODA et GUTMANN, 1995. La prise en compte ou non de l'air emprisonné dans l'obturation dépend donc de l'auteur et il n'existe pas encore de réponse définitive. Certains auteurs estiment que la percolation ne peut-être mesurée sans éliminer l'air emprisonné (MASTER et coll., 1995, OLIVER et ABBOTT, 1991) et d'autres étudient et démontrent les problèmes de modifications structurales liées à ces conditions particulières (RODA et GUTMANN, 1995). Il semble que les résultats des études comparant les protocoles de percolation passive ou sous pression réduite ne montrent pas de différences assez significatives pour justifier une pression réduite (PATHOMVANICH et EDMUNDS, 1996 (n°1)). De plus, en s'éloignant des conditions *in vivo* et en incluant des facteurs supplémentaires de variations (structurales), la mise sous pression réduite ou positive ne semble pas appropriée dans le cadre d'études comparatives. Enfin ces techniques interfèrent également avec la

technique de mesure de la percolation proprement dite en nuisant à l'intégrité du vernis. La centrifugation paraît plus neutre et n'entraîne pas de modifications structurales. L'utilisation de pression semble présenter plus d'inconvénients que d'avantages et ne paraît donc pas justifiée. La centrifugation et la percolation passive semblent être proches entre elles et plus pertinentes dans le cadre d'études comparatives.

2.1.1.2.2. Variation du type de colorant employé

Le choix du colorant va avoir une influence importante sur les résultats des tests d'étanchéité. Les propriétés physico-chimiques des colorants et leur diversité vont déterminer un potentiel de pénétration plus ou moins élevé. Le paragraphe 2.1.1.1.2 résume les principaux courants de pensées des chercheurs dans ce domaine. L'utilisation du bleu de méthylène reste toutefois la plus répandue et constitue une valeur sûre permettant de comparer des études entre elles ce qui paraît en revanche difficile dans le cas de tests d'étanchéité employant des colorants distincts. Les colorants peuvent présenter différentes tailles moléculaires, différentes charges ioniques, différents pH ou différentes réactivités chimiques. Ils vont réagir différemment en présence ou non de la boue dentinaire, en fonction des variations de température pendant le cycle expérimental. Par exemple, le bleu de méthylène, s'il est acide peut provoquer une déminéralisation de la dentine et avoir des conséquences structurales sur l'échantillon étudié.

La concentration du colorant a également un rôle à jouer mais aucune étude ne compare des concentrations différentes d'un même colorant dans un seul protocole.

2.1.1.2.3. Variation du délai avant immersion et du temps d'immersion

Au niveau du délai avant immersion, aucune référence n'a été établie pour déterminer le temps après lequel les échantillons doivent être immergés dans la solution colorante. Les délais présents dans la littérature vont de un jour à 200 jours, la raison la plus fréquemment citée étant celle du délai nécessaire à la prise du ciment (POLLARD et coll., 1990).

Leur étude se penche sur le problème du temps de maturation du ciment. Trois groupes ont été séparés :

- immersion rapide
- immersion après stockage à 100% d'humidité pendant 24 heures
- immersion après stockage à 100% d'humidité pendant 7 jours

La durée d'immersion des trois groupes dans India ink est de 7 jours.

Ils ne trouvent aucune différence significative entre les trois groupes et en déduisent que la rétraction et le temps de prise du ciment ne sont pas des facteurs critiques au niveau de la qualité de l'étanchéité d'une obturation canalaire. Ces conclusions paraissent hâtives mais les auteurs affirment que le ciment utilisé (Roth's 801) ne présente aucun changement volumétrique jusqu'à 30 jours après mélange (d'après WIENER et SCHILDER, 1971), ce qui expliquerait leurs conclusions. Mais ce n'est pas le cas de tous les ciments endodontiques. Une étude plus précise avec un ciment aux caractéristiques connues pourrait être menée pour conclure sur le fait que l'on peut ou non immerger les racines immédiatement après obturation.

KARAGOZ-KUCUKAY et coll. en 1993 réalisent des tests de percolation sur des racines obturées avec de la gutta-percha et un ciment endodontique ("calciobiotic root canal sealer"). L'immersion dans le colorant

(India ink) est réalisée soit immédiatement soit après un délai de 72 heures. Leurs résultats ne montrent aucune différence significative au niveau de la quantité de percolation pour les deux échantillons. Ils sont en accord avec POLLARD et coll., 1990.

Par ailleurs, on distingue deux manières d'opérer pour la phase de coloration proprement dite. Soit les échantillons sont plongés directement dans le colorant dilué, soit ils sont mis en percolation dans un milieu à 100% d'humidité et trempés dans un deuxième temps dans le colorant. Il n'apparaît pas de différence essentielle au niveau des résultats entre les deux protocoles.

L'autre variable retrouvée dans les études concerne le temps d'immersion. Les auteurs recensés depuis 10 ans n'ont pas adopté de durée d'immersion standard. Les durées respectées par les auteurs vont de 24 heures à 2 semaines.

DELIVANIS et CHAPMAN en 1982 comparent deux méthodes classiques de mesure de l'étanchéité apicale (colorants et radio-isotopes) à une technique d'électrochimie plus récemment mise au point. La technique d'électrochimie (décrise dans le paragraphe 2.1.2.) leur permet alors de lire de façon continue la valeur de perméabilité de l'obturation canalaire. Ils comparent également ces valeurs aux valeurs ponctuelles relevées pour les autres techniques. Ces auteurs appliquent un courant de 20 Volts sur une période de 30 jours et obtiennent la courbe suivante :

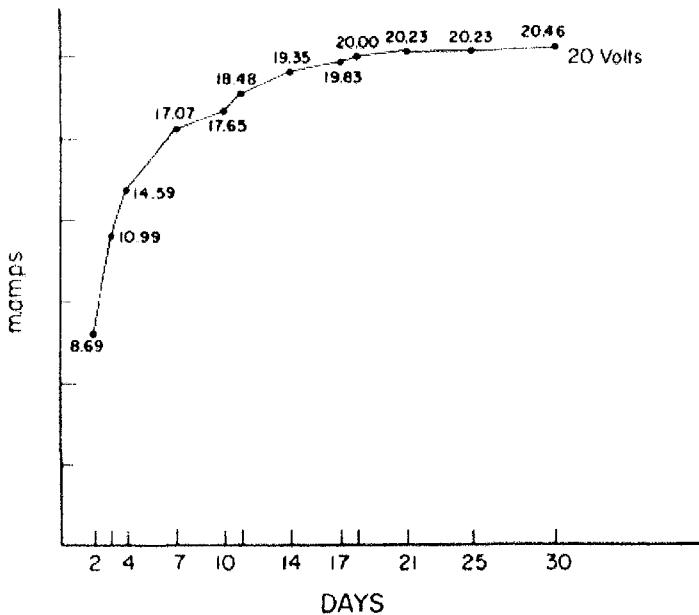


fig. 9 : mesure par électrochimie de la percolation en fonction de la durée d'immersion : (DELIVANIS et CHAPMAN, 1982)

Ils montrent donc clairement qu'il y a une augmentation importante pendant les dix premiers jours et que la valeur maximale de percolation est quasiment obtenue après 11 à 14 jours d'immersion. En conséquence, ces auteurs estiment que la durée d'immersion de 2 jours appliquée fréquemment dans les études n'est pas suffisante pour atteindre une valeur de percolation significative.

CHOHAYEB en 1992 utilise deux colorants (India ink et Prussian blue), chacun pendant 1 ou 2 semaines. Il ne détecte quant à lui aucune différence entre les deux périodes d'immersion ni pour un colorant ni pour l'autre. HOSOYA et coll. obtiendront la même conclusion en 2000 à partir de leurs résultats à 1 ou 4 semaines d'immersion.

Mais ZMENER et coll. en 1997 testent deux ciments par coloration en immergeant les échantillons dans du bleu de méthylène à 5% pendant 2, 4 ou 10 jours. Les valeurs obtenues pour les deux ciments augmentent régulièrement en fonction de la durée d'immersion.

24 H	RODA et GUTMANN, 1995 DE ALMEIDA et coll., 2000 KONTAKIOTIOS et coll., 2001 WU et coll., 1994 POMMEL et coll., 2001
48 H	PATHOMVANICH et EDMUNDS, 1996 MATLOFF et coll. , 1982 BARTHEL et coll., 1999 WIMONCHIT et coll., 2002
72 H	TAMSE et KATZ, 1998 MASTER et coll., 1995 VEIS et coll., 1994 SLEDER et coll., 1991
4 jours	LYROUDIA et coll., 2000
5 jours	CHERNG et coll., 2001
7 jours	ANTONOPOULOS et coll., 1998 AHLBERG et coll., 1995 VASSILIADIS et coll., 1995 SIQUEIRA et coll., 1995 STARKEY et coll., 1993 SPANGBERG et coll., 1989 OLIVER et ABBOTT, 1991
2 Semaines	PORKAEW et coll., 1990

fig. 10 : Durées d'immersion des autres études utilisées dans notre travail

2.1.1.2.4. Variation de la technique de visualisation

La technique de coloration passive offre différentes manières de recueillir les mesures. Les résultats sont influencés par la méthode utilisée pour les obtenir. On distingue des techniques bien différenciées qui ont chacunes leurs avantages et inconvénients. WU et WESSELINK en 1993, font le point dans leur revue de littérature sur ces techniques :

- Techniques apportant des données semi-quantitatives.

Elles sont basées sur l'appréciation visuelle et sur la supposition que la pénétration linéaire d'un traceur va indiquer l'étendue des défauts d'interface avec tous les problèmes que cela implique :

- Coupes longitudinales
- Coupes transversales, perpendiculaires au grand axe de la dent
- Technique d'éclaircissement

Ces techniques produisent des données partielles et présentent un fort degré de variation.

- Techniques apportant des données quantitatives.

Elles sont basées sur l'appréciation du volume mesuré du traceur ayant pénétré.

- Dissolution de la dentine et du cément dans de l'acide nitrique

Il existe d'autres techniques permettant d'obtenir des données quantitatives mais elles ne font pas appel à la coloration et sont étudiées ultérieurement.

Les données quantitatives, opposées aux semi-quantitatives, sont d'après WU et WESSELINK plus reproductibles, plus comparables et plus pertinentes. Ces protocoles n'ont pas les mêmes conditions d'application et ne sont pas comparables au niveau des moyens à mettre en œuvre.

La technique par coupe longitudinale :

C'est la technique la plus simple à mettre en œuvre. Elle consiste en la coupe au milieu de la racine selon le grand axe de la dent à l'aide d'un couteau cylindrique diamanté à haute vitesse. AHLBERG et coll., 1995 mesurent la pénétration linéaire du colorant avec un stéreomicroscope ($\times 15$) et une réglette de précision. Les inconvénients de la technique pour ces auteurs sont :

- le problème de « lavage » de l'échantillon lié à l'irrigation abondante pendant la coupe. Le colorant est susceptible d'être dilué.
- la nécessité de multiplier les axes de coupe dans le cas de canaux courbes.

Ils utilisent néanmoins la coupe longitudinale car elle permet une vue d'ensemble de la percolation. Elle montre l'étendue du colorant, sa répartition verticale mais aussi son épaisseur. Ils estiment également que la mesure de la limite de percolation est suffisamment précise, ce qui n'est pas l'opinion la plus partagée. LIMKANGWALMONKOL et coll. en 1992 utilisent un microscope à grossissement plus élevé ($\times 50$). Pour eux, l'appréciation de la percolation à partir d'un seul plan n'est pas suffisante. Les irrégularités éventuelles comme les canaux secondaires ou les fissures-fractures sont difficiles à détecter et l'étude de canaux courbes est impossible dans des conditions rigoureuses.

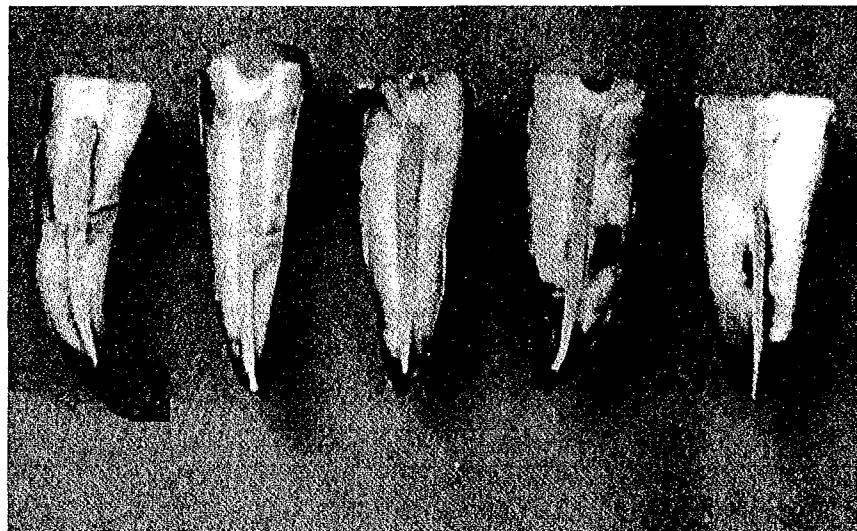


fig. 11 : coupes longitudinales, (LIMKANGWALMONKOL et coll. en 1992)

La technique de coupe horizontale ou transversale

Il s'agit du même principe de section et de visualisation directe mais les coupes se font perpendiculairement au grand axe de la racine. Le matériel nécessaire est un microtome diamanté. LIMKANGWALMONKOL et coll., 1991 réalisent une coupe tous les 0.5 mm en direction coronaire jusqu'à ce qu'il ne trouve plus de colorant dans les sections.

- La qualité de l'obturation est estimable à chaque niveau et toute la périphérie est lisible : l'information est beaucoup plus complète.
- Les canaux secondaires et les fissures sont bien visibles. La largeur de l'instrument de coupe entraîne également une perte de données et l'irrigation a les mêmes conséquences que pour les coupes longitudinales. TAMSE et coll., 1998 sectionnent tous les 0.7 mm tandis que WU et coll., 2001 ne réalisent que deux coupes, à 2 et 4 mm de l'apex.

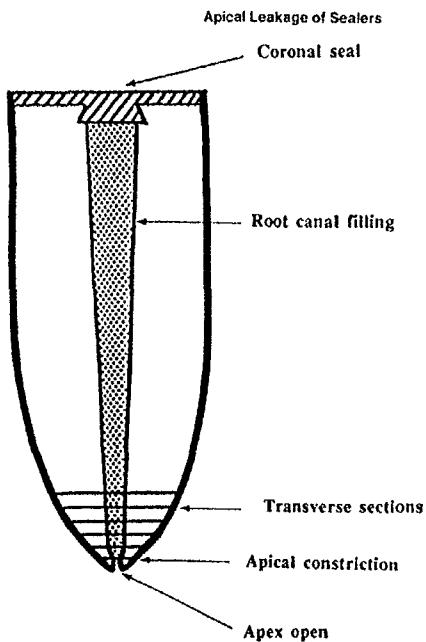


fig.12 : coupes transversales, (LIMKANGWALMONKOL et coll. en 1991)

La technique d'éclaircissement

Cette technique est née pour pallier les inconvénients des techniques précédentes et en particulier ceux liés à la destruction partielle des échantillons. Le principe est de conserver l'intégrité de la racine en la rendant transparente. Les mesures sont enregistrées par la suite sur toute la périphérie avec un stéréomicroscope et une règle graduée. TAMSE et coll. en 1998 trouvent des résultats similaires en comparant la technique d'éclaircissement à la technique de coupe transversale.

POLLARD et coll., 1990 utilisent la technique d'éclaircissement de ROBERTSON et coll., 1980 qui tient lieu de référence pour la plupart des auteurs. La racine est déminéralisée dans de l'acide nitrique à 5 % pendant 3 à 5 jours puis déshydratée dans de l'alcool méthylique à 99,8 % pendant 3 jours. ROBERTSON et coll., 1980 décrivent un processus de déshydratation plus complexe : une nuit dans de l'alcool éthylique à 80 %, une heure dans l'alcool à 90% et enfin, 3 fois 3 heures dans l'alcool éthylique à 100 %. Les bains d'acide et d'alcool sont renouvelés régulièrement. Les dents sont finalement stockées dans du méthyl salicylate qui complète le processus d'éclaircissement après deux heures de trempe. Elles seront observées

rapidement en dehors du méthyl salicylate ou directement dans le liquide car la transparence est rapidement réversible en milieu extérieur.

ROBERTSON et coll., 1980 vantent les avantages de la technique par rapport à ce qui existait auparavant :

- Rapidité relative : environ 5 jours
- Simplicité de l'équipement et de la technique
- Produits utilisés peu toxiques et plus tolérants vis à vis des colorants

Les difficultés rencontrées résident dans la limite de décalcification à laquelle il faut arrêter le procédé. Le problème se résout avec une méthode empirique en arrêtant la réaction 24 heures après que l'émail ait été déminéralisé. La déshydratation insuffisante se traduit quant à elle par des zones opaques illisibles.

Pourtant la technique reste plutôt longue à mettre en place et nécessite une surveillance accrue des réactions. La difficulté réside dans le compromis entre une déminéralisation suffisante et une dissolution périphérique de la dent raisonnable pour son exploitation (en particulier au niveau de l'apex). De plus, la lecture de niveaux de percolation faibles paraît assez difficile compte tenu des problèmes de transparence et de déminéralisation apicale.

La coloration reste le moyen le plus évident et le plus simple pour mettre en évidence les défauts d'étanchéité d'une obturation endo-canalaire. Pourtant, elle est sensible à une quantité importante de facteurs difficilement maîtrisables qui dévaluent l'intérêt des résultats. C'est pour cette raison que d'autres techniques plus précises et plus maîtrisées ont été mises en œuvre. Elles s'éloignent pourtant des conditions *in vivo* et pour cette raison, elles n'enlèvent rien à la pertinence et à l'utilisation toujours effective des tests par coloration.

2.1.2. Le modèle par microfiltration de fluide

La méthode de microfiltration de fluide est adaptée en endodontie à partir d'une technique développée en 1976 par PASHLEY pour l'étude de la dentine et de sa perméabilité. Elle est utilisée aujourd'hui pour comparer l'efficacité de matériaux d'obturation à retro, de matériaux de restauration temporaire et des techniques d'obturation canalaire. Depuis 1998, cette technique suscite un grand intérêt compte tenu du nombre croissant d'articles parus dans les périodiques. Le principe de base est d'appliquer à la racine connectée à un tube, de l'eau sous pression. Le transport de fluide à travers la racine transcrit le niveau d'étanchéité de l'obturation. Une bulle d'air insérée dans le tube se déplace avec le fluide et la mesure de son déplacement permet d'estimer le volume d'eau filtrée. Les pressions exercées sont variables et les durées d'épreuves vont de 1 mn à 3 heures. Ces deux paramètres sont à prendre en compte comme facteurs influençant les résultats. La valeur obtenue est exprimée en volume par unité de temps ($\mu\text{l.mn}^{-1}$). (POMMEL et CAMPS, 2001)

WU et coll. en 1993 et 1994 reprennent le modèle expérimental. La racine obturée est connectée dans sa partie coronaire à un tube rempli d'eau sous pression. À l'extrémité apicale, elle est soudée à un tube capillaire de 20 μl et de 170 mm de longueur, également rempli d'eau. La bulle d'air joue le même rôle que précédemment. Les variations de températures n'ont pas d'influence tant qu'elles sont limitées à 2°C. Dans le cas de variations thermiques importantes, on peut soit corriger au fur et à mesure, soit se mettre dans des conditions de températures régulées.

Les auteurs ont amélioré le modèle en adaptant une seringue (voir schéma) pour introduire la bulle d'air et surtout l'ajuster dans le capillaire à la graduation de départ. Les connections des tubes sont réalisées en les chauffant et en les collant avec de la colle cyanocrylate. Une pression d'air est appliquée sur le tube du côté coronaire (10 KPa dans ce cas). Le volume déterminé permet d'estimer la taille des défauts d'interface à l'aide de la formule de Poiseuille (WU et coll., 1993) :

$$V = \pi P r^4 / 8 L \eta$$

avec L la longueur de l'interstice en m
 r le rayon de l'interstice en m
 P la pression exercée en Pa
 η la viscosité du liquide en Pa.s (10^{-3} pour de l'eau)
 V le volume en m.s⁻¹

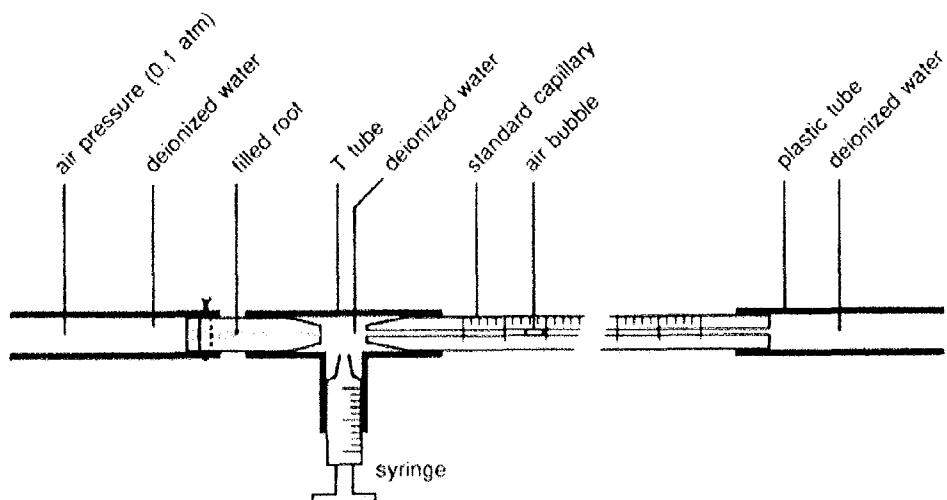


fig.13 : Modèle de microfiltration de fluide, (WU et coll. 1994)

Ce procédé peut également être adapté à un transport d'air pour étudier les effets de la pression sur l'obturation. Les avantages de la méthode sont appréciables (POMMEL et coll. 2001) :

- Les échantillons ne sont pas détruits et sont réutilisables.
- Il n'y a pas d'aléas liés à l'appréciation humaine.
- Les résultats sont précis et reproductibles.
- Il n'y a pas d'interaction d'un élément extérieur (taille moléculaire, pH, problème d'affinité chimique...)

La quantité de filtration diminue avec l'augmentation de la durée d'application. Le mouvement de la bulle est irrégulier et les auteurs préfèrent augmenter la durée à une heure. Par contre, le volume filtré augmente avec l'augmentation de pression exercée et ils estiment qu'il faudrait exprimer les

valeurs en $\mu\text{l}^{-1}.\text{min}^{-1}.\text{cmH}_2\text{O}^{-1}$ pour comparer les résultats d'études différentes. Par ailleurs, le diamètre du tube capillaire influence la quantité de déplacement de la bulle ainsi que la précision de lecture. En effet, plus le tube est fin, plus la bulle se déplace et plus la lecture est précise. La fonction principale de ces expérimentations est de comparer des échantillons entre eux et la standardisation n'est toujours pas une réalité.

WU et coll. en 1993 et 1994 estiment que la méthode de micro-infiltration de fluide est plus sensible que la percolation de colorant ou de bactéries expérimentales.

2.2. Les techniques moins courantes

2.1.1. Pénétration d'autres traceurs que les colorants

2.1.1.1. Utilisation de bactéries

L'utilisation de bactéries comme traceur répond à un désir de validité au niveau clinique. En effet, la taille du traceur idéal est celle de bactéries ou de produits bactériens. Les colorants sont-ils des indicateurs trop critiques compte tenu de leur petite taille ? (BARTHEL et coll., 1999). De plus, cette méthode prend en compte les capacités intrinsèques des bactéries.

Le principe est simple mais la mise en œuvre réclame des conditions expérimentales particulières. Il faut manipuler des milieux bactériens avec précaution et avoir le matériel permettant de travailler en évitant toute contamination. Les espèces bactériennes sont choisies pour leurs caractéristiques :

- de fluorescence : MICHAILESCO et coll. en 1996 amplifient l'énergie émise par la fluorescence de *Pseudomonas fluorescens* et établissent un spectre d'émission permettant de déterminer la quantité de percolation bactérienne.

- de coloration particulière : FAYYARD et coll. en 1987 utilisent *Serratia marcescens* qui produit une couleur rouge caractéristique permettant de déterminer si le développement bactérien est bien lié à la percolation ou s'il s'agit d'une contamination.
- de taille adéquate : BEHREND et coll. en 1996 utilisent *Proteus vulgaris* car sa taille est particulièrement proche de celle des espèces mises en cause dans les contaminations *in vivo*. De plus cette bactérie est mobile.
- de pertinence clinique : BARTHEL et coll. en 1999 utilisent *Staphylococcus epidermidis* car il est présent dans la cavité buccale et dans les canaux, il est facile à mettre en évidence et à développer en culture.

Le modèle expérimental peut être variable selon les auteurs. Le plus répandu consiste à mettre en relation l'extrémité apicale de la racine avec un milieu contenant la bactérie-marqueur et d'observer le passage des bactéries à travers l'obturation par le développement bactérien dans le compartiment coronaire (BARTHEL et coll., 1999). D'autres auteurs inoculent le compartiment coronaire (WU et coll., 1993, BEHREND et coll., 1996). MICHAILESCO et coll. en 1996 mettent la racine entièrement dans le milieu puis observent après section longitudinale la pénétration bactérienne dans l'obturation.

Avant les tests, les dents sont stérilisées dans un stérilisateur à oxyde d'éthylène à environ 55°C pendant 4 heures.

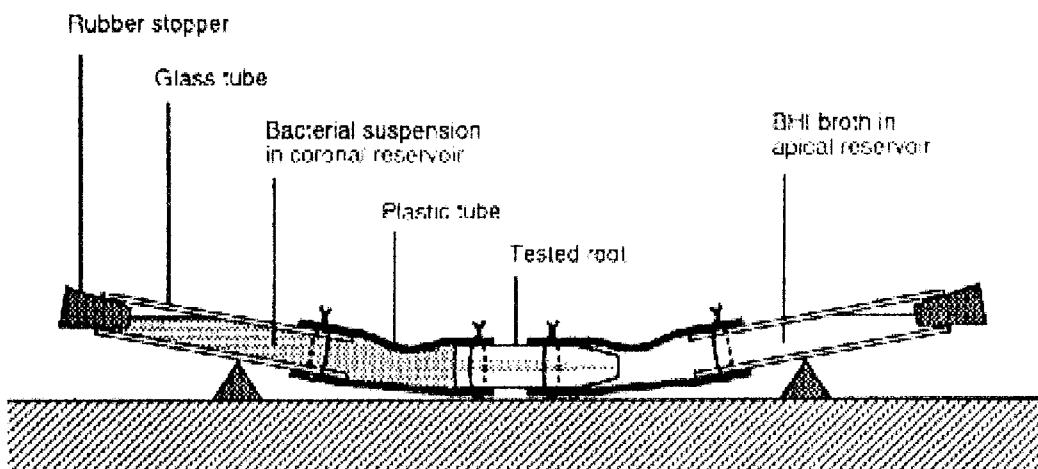


fig.14 : Modèle de percolation bactérienne, (WU et coll., 1993)

Ces études nous donnent une approche qualitative. Soit les bactéries passent, soit elles ne passent pas. On compare donc deux échantillons par le nombre de racines perméables par rapport au nombre de racines que les bactéries n'ont pas traversé. La fluorimétrie appliquée à la technique de percolation bactérienne nous apporte quant à elle des données semi-quantitatives.

L'espèce bactérienne choisie et la durée d'incubation des racines dans le milieu de culture influencent les résultats et les études sont difficilement comparables entre elles.

BARTHEL et coll., 1999 comparent la technique des colorants avec celle des marqueurs bactériens. Ils estiment que la petite taille du marqueur n'est pas synonyme d'un indicateur plus critique (qui pénètre plus). Pour eux, des facteurs comme la charge ionique, le pH, les changements de température et les capacités intrinsèques des bactéries jouent un rôle au niveau de l'obturation qui ne peut pas être simulé par une solution aqueuse. Les bactéries vivantes ont des aptitudes particulières à changer de forme, de taille, à se déplacer plus ou moins rapidement et à se dupliquer.

Le choix de la bactérie utilisée pour l'expérimentation est donc déterminant. L'aptitude à la mobilité de la bactérie est particulièrement

important puisqu'elle va influencer directement son déplacement au niveau de l'interstice. La pénétration du marqueur va devenir dans ce cas une pénétration "active" par rapport à l'infiltration "passive" d'un colorant par exemple. Il paraît donc intéressant d'utiliser des bactéries dans le but de se rapprocher des conditions *in vivo*. Le choix d'une bactérie présente *in vivo* et en cause dans la pathologie périapicale semble alors pertinent.

2.1.1.2. Utilisation de traceurs radioactifs

Les radio-isotopes peuvent être employés comme méthode efficace et précise pour tester les obturations canalaires. Après obturation, les racines sont immergées dans une solution d'iode : I^{131} pendant 24 heures puis inclus dans de la résine acrylique (HOLLAND et coll., 1974). Ces blocs sont sectionnés longitudinalement et les « tranches » sont mis en contact étroit avec des films radiologiques dentaires pendant 24 heures. L'extension de l'infiltration visible sur les films est alors mesurée. Ce protocole simple a été largement décliné par d'autres chercheurs au niveau du choix du traceur comme au niveau de la technique de lecture.

MALTOFF et coll. en 1982 comparent trois radio-isotopes entre eux et face au bleu de méthylène. Les trois traceurs sont :

- calcium Ca^{45}
- urée au C^{14}
- albumine à l'iode I^{125}

La dilution des traceurs est réalisée dans du bleu de méthylène à 2 %. Les racines sont ainsi exposées aux deux marqueurs. Cette dilution est précise afin d'obtenir une activité de 0,02 à 0,04 mc/ml (millicuries/millilitres). Les mesures sont également effectuées sur les échantillons sectionnés longitudinalement en les plaçant sur des films radiosensibles. La percolation de colorant est directement mesurée à son niveau le plus coronaire. Dans tous les cas, le bleu de méthylène pénètre plus que les isotopes. L'urée au C^{14} présente une percolation plus élevée que Ca^{45} et l'albumine I^{125} , mais qui reste de l'ordre de 65 % de celle du colorant. Les auteurs ont voulu utiliser les radio-isotopes en partant du fait qu'ils étaient aptes à pénétrer plus

profondément mais leurs résultats contredisent formellement ces considérations. CANALDA-SAHLI et coll. en 1992 utilisent le technétium métastable Tc⁹⁹ qui est détecté par un système de caméra à radiation γ relié à un système informatique de synthèse des données. Les auteurs mettent en avant l'avantage qu'a cette technique de ne pas modifier ni altérer en aucune sorte l'intégrité de la racine. La détection est externe, simple, objective et rapide. DANIN et coll. en 1992 utilise du glucose au C¹⁴. La radioactivité est graduellement mesurée par un compteur de scintillation et les données sont mesurables sur une durée extensible. Enfin, HAIKEL et coll. en 1999 utilisent de l'I¹²⁵, sectionnent les racines sans pression (45 mn par coupe) et lisent l'émission de rayons avec un compteur assisté par ordinateur. La mise en œuvre de tels procédés requiert un équipement important.

2.1.2. La technique par électrochimie

Selon JACOBSON et coll. en 1976, cette technique permet une évaluation rapide, quantitative de la percolation apicale en direction coronaire. Le protocole expérimental est le suivant. la racine obturée est isolée jusqu'à 3 mm de l'apex avec une résine. Une anode en acier est introduite dans la cavité d'accès coronaire après un séchage méticuleux et pénètre les 2 premiers millimètres de l'obturation. Cette anode est maintenue en position à l'aide d'un matériau plastique isolant et reliée à un ampèremètre. La racine est placée dans un bain de chlorure de potassium dans lequel est plongée la cathode inoxydable. Le principe réside dans la réalisation d'une pile électrique due à la corrosion galvanique entre le chlorure de potassium et l'anode. Cette corrosion se traduit par un courant électrique continu qui s'établit lors du passage de l'électrolyte à travers l'obturation. Le délai entre l'immersion et l'apparition du courant nous donne le taux de pénétration de l'électrolyte et l'amplitude du courant nous indique le degré de pénétration. Les mesures sont enregistrées pendant 21 jours. Après 11 jours, les quatre racines montrent un courant continu de 0,2 microampères. A 21 jours, la moyenne des courants mesurés est de 2,0 microampères.

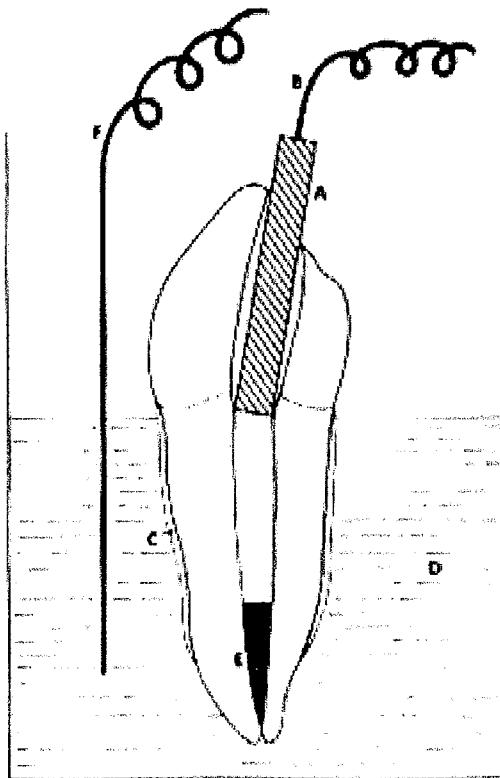
Le courant est mesuré à l'aide de la loi d'ohm :

$$E = IR$$

avec E la différence de potentiel mesurée

R la résistance standard de 10 000 ohms

I le courant en microampères



- A. Steel rod (anode)
- B. Lead to zero-resistance ammeter
- C. Stopping-off medium (Lacomite Resin)
- D. 1% Potassium Chloride
- E. Gutta-percha root filling
- F. Stainless steel tape cathode with lead to zero-resistance ammeter

fig.15 : modèle de mesure par électrochimie (JACOBSON et coll., 1976)

DELIVANIS et CHAPMANN en 1982, utilisent le même schéma et s'assurent du contact entre l'anode et la gutta-percha par un contrôle radiographique. Par contre, ils appliquent une différence de potentiel aux échantillons de 10 ou 20 Volts et mesurent le courant électrique en milliampères.

POMMEL et coll. en 2001 mettent en oeuvre une méthode d'électrochimie reposant sur le même principe. L'anode est un fil de platine de 0.8 mm de diamètre placé dans la cavité d'accès noyée d'une solution de NaCl à 0.01mol/l. La cathode en platine est trempée dans le bac rempli du même électrolyte où sont immergés les 5 mm apicaux des racines obturées. Les deux électrodes sont connectées à un potentiomètre appliquant un courant alternatif de 5mV à une fréquence de 1 Hz à 10 kHz. Le courant passant à travers la racine est mesuré pour permettre le calcul d'impédance qui est la valeur en ohms représentant le quotient de la tension par l'intensité. A partir des mesures du courant et de la différence de potentiel, la résistance spécifique de chaque spécimen est donc obtenue. Les mesures durent 3 à 5 mn et sont réalisées à 1 jour, à 1 et 2 semaines. Après 2 semaines, la stabilisation de la résistance est atteinte, correspondant à l'absorption maximale de solution par l'obturation.

La technique électrochimique en courant continu nécessite le passage de l'électrolyte pour qu'une mesure puisse être effectuée. De plus, les mesures peuvent être influencées par des phénomènes de polarisation.

La technique électrochimique en courant alternatif permet d'enregistrer une progression partielle de l'électrolyte.

3. LES CIMENTS D'OBTURATION ENDO-CANALAIRES

Le choix du ciment va être un élément important dans la réalisation de l'obturation canalaire. Chaque praticien a accès à un grand nombre de préparations différentes dans le commerce. Au-delà des marques et fournisseurs différents, on distingue des familles de ciments, associés en fonction de leur composition de base. Dans le commerce, il existe les ciments à base :

- d'eugénol oxyde de zinc (ZOE) : Ils sont les plus répandus et les plus utilisés.
- d'hydroxyde de calcium
- de résine époxyde
- de verre ionomére
- de phosphate de calcium, de silicone, à utilisation plus marginale ou plus récente

Le choix réalisé par le praticien dépend de facteurs multiples. Dans un premier temps, les habitudes instituées pendant sa période de formation déterminent les premiers ciments utilisés de façon significative. Par la suite en fonction de l'intérêt et des moyens de recherche que se donne le praticien, il va pouvoir essayer et analyser différents ciments. L'aspect pécuniaire joue un rôle inévitable. Ensuite, la facilité de préparation et de mise en œuvre va être l'élément primordial pour le praticien qui porte une attention particulière au coté pratique, rapide et reproductible du mélange. Enfin, l'étude de la littérature endodontique va permettre au praticien d'appréhender les qualités physico-chimiques de biocompatibilité des ciments, les problèmes de cytotoxicité et les propriétés physiques et mécaniques de scellement. Les ciments sont comparés dans un grand nombre d'articles dans la littérature. Des différences sont mises en évidence au niveau des diverses qualités qui leurs sont demandées en relation avec les impératifs de la thérapeutique endodontique.

3.1. Les ciments à base eugénol-oxyde de zinc

Au niveau des propriétés physico-chimiques de ces ciments, HALIMI et coll. en 1990 réalisent une étude dont l'objectif est d'apprécier la capacité de 4 ciments à base ZOE à présenter le meilleur compromis entre différentes qualités :

- aptitude à l'étalement, l'écoulement, à prendre rapidement
- herméticité
- stabilité dimensionnelle
- l'absorption d'eau

Ces qualités sont mesurées in-vitro par des tests sur plaque de verre ou en éprouvette. Les auteurs sont confrontés au problème des variations de consistance des ciments obtenus par mélange poudre/liquide. Ils choisissent d'établir une consistance standard correspondant au sens clinique des praticiens réalisant le mélange poudre/liquide selon leurs habitudes. BENATTI et coll. en 1978 utilisaient des dosages appréciés et répétés par des opérateurs aguerris à la consistance idéale. Les fabricants ne transmettent pas le dosage précis pour lequel les qualités du mélange sont optimales mais chaque opérateur avec l'habitude est capable de reproduire la même consistance.

Les caractéristiques d'un ciment sont liées et s'entremêlent :

- l'épaisseur du film de ciment doit être la plus fine possible
- cette épaisseur influence le temps de prise (l'augmente)
- l'écoulement du ciment est nécessaire au niveau des anfractuosités sous la pression de la gutta percha. Il dépend de l'épaisseur du film, du temps de prise et des qualités rhéologiques du produit.
- la prise rapide permet d'améliorer l'herméticité
- l'absorption d'eau favorise l'herméticité par expansion du ciment mais cette notion mise en évidence à partir d'un modèle de seringue doit être confrontée à d'autres paramètres comme les

variations dimensionnelles, les forces d'adhésion à l'interface et la solubilité du ciment.

Pour BENATTI et coll., 1978, les temps de prise différents n'influencent pas la qualité de l'obturation et les variations dimensionnelles (contraction linéaire) ne sont pas significatives : Ils concluent pourtant que ceci n'est valable que pour une consistance idéale. Plus la texture d'un ciment ZOE est fluide, plus la contraction de prise sera élevée. Le problème fondamental posé par ces études est le problème du choix et de la reproduction de la consistance du ciment. Aujourd'hui, les fournisseurs créent de plus en plus des systèmes de dosage précis comme les embouts mélangeurs ou les systèmes prédosés.

Les qualités mécaniques et physico-chimiques des ciments dépendent davantage des éléments ajoutés à la composition que des agents thérapeutiques. Pour cette raison, on pourra trouver plusieurs ciments ZOE de qualité de scellement et d'herméticité différente selon la marque et le fournisseur.

Au niveau de sa biocompatibilité, le ciment ZOE tire ses propriétés biologiques de l'eugénol. L'action optimale du ZOE au niveau périapical requiert une dose faible permettant la destruction bactérienne et un effet anti-inflammatoire sur les cellules sous-jacentes à la lésion (les cellules en contact direct sont détruites). HASHIEH et coll. en 1999 mesurent la quantité d'eugénol dégagée par une obturation canalaire avec un ciment ZOE (SEALITE). Ils mesurent par spectrophotométrie la diffusion d'eugénol dans un milieu où sont immergés les 2 mm apicaux des racines obturées. Leurs résultats donnent une concentration moyenne de $C = 2.63 \cdot 10^{-4}$ M d'eugénol diffusé. Ils affirment que l'eugénol a des propriétés anti-inflammatoires et analgésiques pour une concentration comprise entre 10^{-8} et 10^{-5} M. Il est cytotoxique au-delà de 10^{-3} M. La concentration mesurée dans leur expérimentation correspond donc au domaine d'action favorable de l'eugénol. La concentration intracanalaire largement supérieure à 10^{-3} M assure une action bactéricide efficace. Ils constatent que la libération d'eugénol par l'obturation chute ensuite de façon exponentielle et devient quasiment nulle à 1 mois. Pour MARKOWITZ et coll., 1992, le succès clinique dépasse le

caractère histologique des études animales montrant une toxicité importante et ils s'accordent à dire que les qualités anti-inflammatoires, antibactériennes et analgésiques sont prédominantes vis à vis du potentiel de toxicité

Nous avons choisi le ciment SEALITE car il est considéré comme un ciment référence dans la pratique endodontique. HALIMI et coll. en 1990 réalisent des tests sur plaque de verre et en éprouvettes avec différents ciments dont le SEALITE. Il présente de bonnes qualités d'étalement assurant un film fin, un temps de prise de 1 heure (in vitro), mais présente une absorption d'eau très faible. Le SEALITE ne répond pas à toutes les exigences d'un ciment idéal mais il est considéré par ces auteurs comme un bon ciment endodontique. HAIKEL et coll. en 1999 utilisent une technique de pénétration de lysozyme à l'iode I^{125} pour tester la percolation de plusieurs ciments. Le SEALITE comparé aux autres ciments donne des résultats satisfaisants jusqu'à 14 jours. Après ce délai, les auteurs constatent une perte d'étanchéité qu'ils associent à un problème d'instabilité tridimensionnelle et de solubilisation du ciment.

Le SEALITE est un ciment très utilisé depuis plusieurs années et reste une référence. Il est utilisé à ce titre dans de nombreuses études pour comparer les nouveaux ciments. Ces qualités de biocompatibilité sont bonnes et ses propriétés physico-chimiques lui confèrent une herméticité satisfaisante.

3.2. Les ciments à base d'hydroxyde de calcium

L'hydroxyde de calcium en soins dentaires est utilisé avec succès dans différentes circonstances comme le coiffage pulpaire, la pulpotomie, l'apexification, les perforations ou encore les résorptions. Le principe d'inclure de l'hydroxyde de calcium dans un ciment endodontique est naturellement venu à l'esprit des chercheurs avec l'objectif de combiner des capacités de scellement avec un effet médicamenteux.

Au niveau des propriétés physico-chimiques, TAGGER et coll. en 1988 ainsi que SLEDER et coll. en 1991 posent le problème de la libération d'éléments actifs (OH^-) forcément liée à une certaine solubilité du ciment. Un grand nombre d'études (TAGGER et coll. en 1988) montrent une solubilité importante de cette forme de ciment, mettant en doute les capacités de scellement et d'étanchéité. SLEDER et coll. s'interrogent alors sur la valeur d'un ciment à base hydroxyde de calcium (Sealapex) au niveau de son étanchéité à long terme. Leur test d'étanchéité mesure la percolation après 2 et 32 semaines d'immersion dans une solution saline renouvelée régulièrement. Ils démontrent que Sealapex n'est pas plus soluble dans le temps que les autres ciments (comparé ici avec un ZOE), et ils émettent l'hypothèse que le phénomène de dissolution reste limité *in vivo* du fait de l'interface de faible dimension entre le ciment et les fluides périapicaux. SIQUEIRA et coll. en 1995 étudient l'étanchéité, le pH et le fluage de ciments à base hydroxyde de calcium. Pour eux, la solubilité de ces ciments n'entrave pas l'étanchéité du scellement apical pour les mêmes raisons de surface de contact faible. De plus, la libération initiale d'ions hydroxyles induit une fermeture biologique par formation de tissus durs minimisant donc à long terme la dissolution. Leurs données indiquent que les ciments à base hydroxyde de calcium ont de bonnes propriétés physico-chimiques, comparé à un ciment ZOE couramment utilisé.

Au niveau de sa biocompatibilité, l'hydroxyde de calcium est caractérisé par son pH élevé (12,5) qui lui confère ses propriétés essentielles. Le pH alcalin qu'il transmet dans l'environnement lui permet d'être bactéricide. Le pH alcalin lié à la libération d'ions hydroxyles (OH^-) stimule la néoformation des tissus durs et participe à la guérison (coiffage, perforation, résorption...). Son utilisation comme médicament intracanalaire est largement répandu et le premier ciment à base d'hydroxyde de calcium date de 1980. Il paraît alors être une bonne alternative au ciment à base ZOE, assez irritant, afin d'améliorer la biocompatibilité de l'obturation. MEYRON et BROOK en 1990 émettent des doutes sur la capacité des ciments à base hydroxyde de calcium à promouvoir les effets réels de l'hydroxyde de calcium du fait de la présence de nombreux autres ingrédients dans sa composition. Les

différentes propriétés des ciments à base d'hydroxyde de calcium ont été étudiées plus récemment par différents auteurs. MIRANDA ESBERARD et coll. en 1996 mesurent le pH à la surface radiculaire 3 à 120 jours après obturation avec différents ciments à base hydroxyde de calcium. Ils obtiennent le pH à l'aide d'une micro électrode placée 10 mn dans une petite cavité réalisée en surface de la racine, remplie d'eau distillée pour la mesure. Le pH ne monte pas de façon significative avec les trois ciments testés alors que le test sur des racines obturées avec de la pâte d'hydroxyde de calcium pur révèle un pH très alcalin diffusant par les canalicules jusqu'en surface. Les auteurs expliquent que la libération d'ions OH⁻ est faible après la prise du ciment.

Les ciments à base d'hydroxyde de calcium montrent donc des intérêts non négligeables. Les études récentes démontrent qu'ils possèdent des propriétés physico-chimiques satisfaisantes mais la question de la solubilité et de l'étanchéité divise les chercheurs. Les qualités recherchées liées aux propriétés de l'hydroxyde de calcium pur, paraissent difficiles à mettre en place sous la forme d'un ciment endodontique. Pour cette raison, ce type de ciment ne tient pas ses promesses et n'obtient pas le succès espéré chez les praticiens.

Nous avons choisi de tester SEALAPEX qui est un des ciments à base hydroxyde de calcium les plus utilisés. LEONARDO et coll. en 2000, mesurent les activités antibactériennes de différents ciments placés dans des boîtes de Pétri en contact avec plusieurs souches bactériennes en cause dans la pathologie périapicale. SEALAPEX montre une bonne efficacité et particulièrement au contact de *S.faecalis* pour laquelle son activité bactéricide et nettement meilleure que celle des ciments classiques (ZOE, résine, endomethasone ...). ORSTAVIK et coll. en 2001 comparent un grand nombre de ciment (11) au niveau de leur stabilité dimensionnelle pendant la prise. Le SEALAPEX leur a posé des problèmes pratiques de mise en œuvre pendant l'expérimentation car son processus de prise n'a pas permis de créer comme pour les autres ciments des cylindres stables de dimension spécifique. Les échantillons (cylindres de ciment) paraissant presque stables après leur mélange ont tout de même été testés et se sont complètement désintégrés

après quelques jours en milieu humide interdisant toute mesure. Malgré cela, ces auteurs reconnaissent ses qualités et ses bons résultats au niveau clinique et biologique. ALLAN et coll. en 2001 étudient le temps de prise du SEALAPEX. Ils obturent des racines avec de la gutta percha et SEALAPEX par condensation latérale et sectionnent longitudinalement des échantillons régulièrement après une semaine. Les racines sont placées à 37 °C et 100 % d'humidité. Parallèlement, ils déposent pour chaque spécimen le même mélange sur une plaquette et le laissent prendre à l'air libre. La mesure de la consistance du ciment est réalisée concomitamment sur les racines et sur les plaquettes à l'aide d'une aiguille à la main pendant 8 semaines. Les dents et plaquettes sont classées selon trois critères : «pas pris», «partiellement pris» et «complètement pris». Les résultats donnent un temps de prise long du SEALAPEX et d'autant plus long dans les conditions cliniques. Il prend sur les plaquettes à 1 semaine et n'est complètement pris dans les racines à 4 semaines.

Le SEALAPEX présente donc des qualités physico-chimiques très moyennes au niveau de sa stabilité et de son temps de prise. Ses qualités antibactériennes et anti-inflammatoires lui confèrent par ailleurs une bonne action clinique et une biocompatibilité certaine. Les résultats cliniques sont insuffisants dans la littérature pour évaluer réellement la qualité du SEALAPEX. Il semble être particulièrement efficace à court terme dans le processus de cicatrisation mais les problèmes de stabilité poseraient des problèmes à long terme. (WALTIMO et coll., 2000)

3.3. Les ciments à base de verres ionomères

LEE et coll., 1997, LAHL et coll., 1999, ZMENER et DOMINGEZ en 1983, FRIEDMAN et coll. en 1995

Les qualités des verres ionomères ont été adaptées au scellement endodontique en 1991. Les verres ionomères ont une bonne biocompatibilité et assurent une adhérence aux parois canalaires (à l'hydroxyapatite). Cette adhérence permet un renforcement dans le cas de racines fracturées. Leur résistance à la résorption par les fluides tissulaires est élevée et ils ont une

très bonne stabilité de scellement. FRIEDMAN et coll. en 1995 montrent dans leur étude clinique que leur efficacité est comparable à celle des ciments conventionnels. LEE et coll., 1997 estiment que les capacités d'étanchéité sont comparables aux autres types de ciments plus couramment utilisés. Ces ciments ont en revanche les inconvénients d'un temps de travail court et d'une dureté qui rend les reprises de traitement très difficiles.

3.4. Les ciments à base de résine

Au niveau des propriétés physico-chimiques, les ciments à base résine ont des avantages liés à leurs propriétés physiques de stabilité et d'étanchéité. BRISENO et WILLERHAUSEN en 1991 décrivent des qualités de scellement aussi bonnes voire meilleures que les autres types de ciments. ORSTAVIK et coll. en 2001 mesurent des variations dimensionnelles importantes à court et à long terme des ciments à base résine dans l'eau in vitro (4 à 5 % sur les 4 premières semaines).

Au niveau de la biocompatibilité, les ciments à base de résine dont les principaux représentants sont AH₂₆, AH_{plus} et Topseal présentent une certaine cytotoxicité liée au formaldéhyde libéré qui tend à être réduite au cours des améliorations opérées sur ces ciments (KOULAOUZIDOU et coll. en 1998). HUANG et coll. en 2001 déterminent un potentiel mutagène important pour ce type de ciment. En effet, la libération de formaldéhyde entraîne une génotoxicité élevée comparativement aux autres types de ciments endodontiques.

Nous avons choisi de tester TOPSEAL, un ciment à base résine qui est la dernière évolution des ciments AH₂₆ et AH_{plus}. HUANG et coll., 2001 estiment que TOPSEAL présente des avantages au niveau de l'herméticité et de la stabilité dimensionnelle mais il fait preuve d'une génotoxicité bien supérieure aux autres familles de ciments. LEONARDO et coll., 1999 confirment ces constatations et précisent que le formaldéhyde volatile et toxique se fixe à des composants de la résine. Ils le mettent en évidence sous

la forme de paraformaldéhyde. KOULAOUZIDOU et coll. en 1998, montrent une évolution positive dans le développement de TOPSEAL par rapport à AH₂₆ et AH_{plus}. En effet, il paraît moins cytotoxique dans leurs conditions expérimentales (mis en contact avec des cultures cellulaires). HAIKEL et coll. en 1999 dans leur test de percolation avec traceur radioactif concluent que le TOPSEAL a les meilleures capacités de scellement comparé à SEALITE et SEALAPEX. ORSTAVIK et coll. en 2001 mesurent une expansion réduite pour AH_{plus} ou TOPSEAL de 0,4 % sur 4 semaines mais ils ne deviennent pas stables avant plusieurs mois.

3.5. Les ciments à base silicone

Ces ciments sont récents et nous n'avons trouvé que peu d'études s'intéressant à leurs caractéristiques et à leur étanchéité.

Au niveau des propriétés physico-chimiques et selon ORSTAVIK et coll. en 2001, le ciment à base silicone est stable. Ces auteurs mesurent les variations dimensionnelles de ciments endodontiques plongés dans l'eau sur une durée de 48 semaines. ROEKOSEAL présente une expansion de prise modérée de 0,2 % au bout de 4 semaines et reste stable ensuite. Il ne sort pas de la normalité par rapport aux autres ciments et sa stabilité est bonne, ce qui est un atout pour l'herméticité.

Au niveau de la biocompatibilité, BRISENO et WILLERHAUSEN en 1991 étudient la cytotoxicité d'un ciment précurseur à base silicone (LEE ENDO-FILL, Lee Pharmaceutical, El Monte, CA) en mesurant la capacité de synthèse de protéines par des fibroblastes placés au contact de ce matériau. Le ciment présente une toxicité modérée qui a tendance à augmenter à la fin de la réaction de prise (11^{ième}jour). Le problème est que cette toxicité est constante et irrite les tissus périapicaux à long terme, contrairement aux ciments ZOE ou hydroxyde de calcium dont la toxicité n'excède pas une certaine durée.

Nous avons choisi de tester le ROEKO Automix car il est récent. Il constitue un intérêt particulier dans cette étude puisque nous le comparons aux autres familles de ciments au niveau de ses capacités d'étanchéité.

II. EXPERIMENTATION

Quarante incisives ou canines humaines sont utilisées dans ce protocole expérimental. Le canal de chaque échantillon est préparé puis obturé en utilisant quatre ciments différents. Quatre groupes ont donc été formés selon le ciment d'obturation utilisé :

- SEALITE	Pierre Roland, France
- TOPSEAL	Dentsply, Maillefer
- SEALAPEX	Kerr
- ROEKOSEAL-Automix	Roeko

Ces groupes ont alors tous subi un test d'étanchéité identique basé sur la mise en évidence de la percolation liquidienne par un colorant. L'estimation de la quantité de micro filtration à l'intérieur de l'obturation est réalisée après section longitudinale des échantillons permettant une lecture visuelle directe.

Les ciments testés appartiennent à des familles de ciments bien distinctes au niveau de leur composition de base.

Le but initial de l'expérimentation est ainsi de comparer l'efficacité des ciments d'obturation au niveau de leur étanchéité à partir d'un protocole simplifié permettant d'isoler un unique facteur : le ciment d'obturation. Les étapes de préparation canalaire et d'obturation sont réalisées par un seul et même opérateur.

2.1. CHOIX DES ECHANTILLONS

Le choix des échantillons s'est effectué sur des racines de dents naturelles extraites. Un premier examen radiologique a permis de vérifier l'intégrité du système endo-canalaire et la maturation complète au niveau de l'apex. La majorité des dents n'étaient pas ou que peu délabrées dans la mesure où les lésions carieuses de faible importance au niveau coronaire n'affectent pas l'expérimentation. L'extraction de dents saines survient en grande partie dans le cas de problèmes parodontaux. Le choix s'est porté sur des dents monoradiculées présentant un canal de taille adaptée pour la lecture de percolation et un canal rectiligne pour standardiser au maximum la préparation canalaire. Des canines et incisives maxillaires ont été retenues ainsi que des canines mandibulaires. Ces dents ont été conservées dans une solution de thymol à 1 % après avoir été débarrassées des débris organiques parodontaux sur la surface de la racine. Les échantillons ont été numérotés de 1 à 20, gravé sur la face vestibulaire en deux séries de 20 dents chacune,

2.2. PREPARATION CANALAIRE

2.2.1. Trépanation et mise en forme de la cavité d'accès

Les dents sont trépanées à l'aide d'une fraise poire de 10 /10 mm de diamètre (KOMET 830.010) sur turbine et sous spray. Le point de trépanation se situe au tiers médian de la surface palatine.

La mise en forme de la cavité d'accès est réalisée avec une fraise conique diamantée bague rouge en respectant les principes de mise en continuité des parois camérales avec les parois canalaires en éliminant tout surplomb.

L'insertion d'une lime K de cathétérisme de 10/100 de mm permet de vérifier la continuité du canal ainsi que la perméabilité apicale.

2.2.2. Préparation canalaire proprement dite

La préparation canalaire est réalisée à l'aide d'instruments de type rotatif en nickel-titane, montés sur contre angle (ANTHOGYR 1/128). Les instruments utilisés sont les GT Rotary Files de MAILLEFER à une vitesse de rotation de 312 tr/mn. La technique par crown-down est mise en place à partir d'une série d'instruments précise et répétitive possible grâce à l'homogénéité des échantillons. La séquence fit appel à quatre instruments dans cet ordre :

- GT Accessory Files : 12/35 bague noire
Il procède à l'élargissement de la partie coronaire du canal en l'évasant pour permettre un accès en ligne droite sans interférences.
- GT Rotary Files : 10/20 bague rouge
- GT Rotary Files : 08/20 bague jaune
- GT Rotary Files : 06/20 bague blanche

Le diamètre de préparation est donc amené à 20/100 de mm pour tous les échantillons, à une longueur de travail déterminée à l'avance à l'aide de la lime manuelle 10/100 mm. Dans les cas où il était difficile d'atteindre la limite de préparation avec le dernier instrument, il suffisait de renouveler la séquence instrumentale 10/20 – 08/20 autant de fois nécessaires pour parvenir à la préparation complète.

Une irrigation avec de l'hypochlorite de sodium à 5% (NaOCl) est pratiquée entre chaque passage d'instrument pour assurer l'élimination des débris, une dissolution des résidus organiques et une antisepsie du canal.

L'action mécanique des instruments rotatifs fut améliorée par la lubrification du canal avant leur passage à l'aide de : Glyde File Prep. (EDTA)

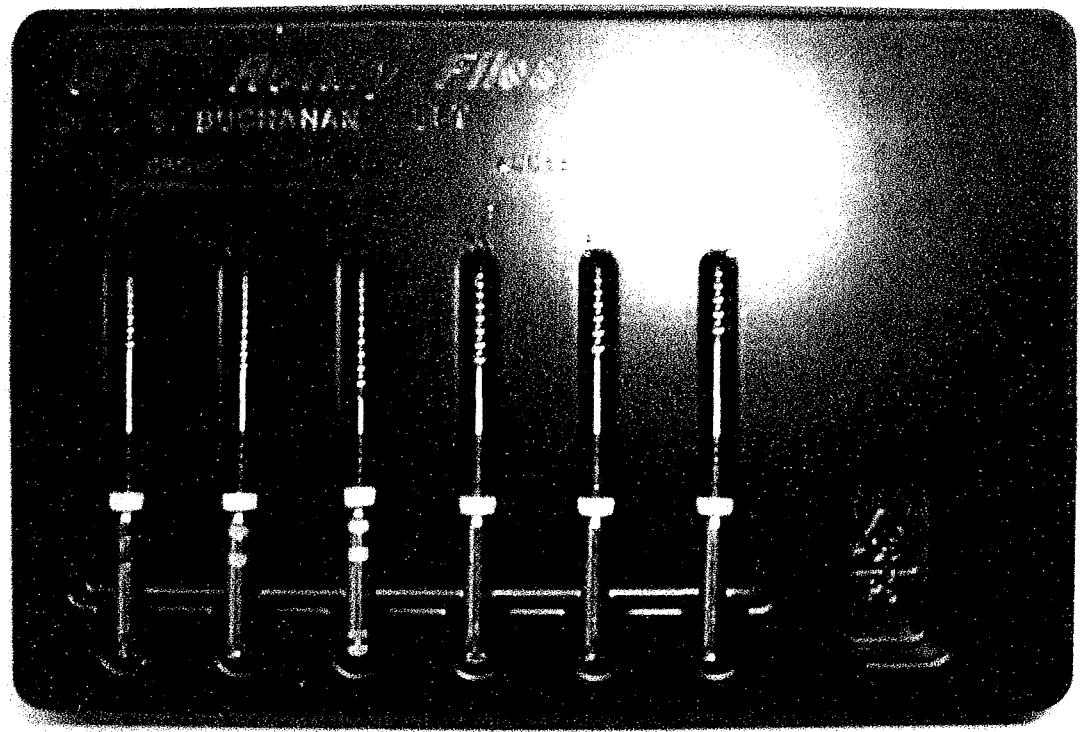


fig. 16 : Instruments rotatifs en NiTi GT Rotary Files de Dentsply Maillefer

2.3. OBTURATION CANALAIRE

2.3.1. Répartition des groupes

L'expérimentation est réalisée en deux séries distinctes pour des raisons de commodité opératoire.

Pour chaque série de 20 dents, quatre groupes de 5 racines sont obturés avec quatre ciments différents.

- Groupe A : dent numéro 1,2,3,4 et 5
 - Groupe B : dent numéro 6,7,8,9 et 10
 - Groupe C : dent numéro 11,12,13,14 et 15
 - Groupe D : dent numéro 16,17,18,19 et 20
-
- Groupe A' : dent numéro 1',2',3',4' et 5'
 - Groupe B' : dent numéro 6',7',8',9' et 10'
 - Groupe C' : dent numéro 11',12',13',14' et 15'
 - Groupe D' : dent numéro 16',17',18',19' et 20'

La répartition des échantillons dans chaque groupe est faite au hasard au moment de la numérotation aléatoire des racines avant leur préparation canalaire mais pour plus d'homogénéité, nous avons cherché à uniformiser la répartition des types de dent.

- Groupes A et A' obturés avec Topseal
- Groupes B et B' obturés avec Sealapex
- Groupes C et C' obturés avec Roeko Automix
- Groupes D et D' obturés avec Sealite

Quatre spécimens sont préparés dans les mêmes conditions et servent d'échantillons témoins. Deux racines sont obturées uniquement avec de la gutta-percha et forment les témoins positifs. Les deux autres sont totalement recouvertes par deux couches de vernis et forment les témoins négatifs.

2.3.2. Préparation des ciments

Le ciment TOPSEAL de chez Dentsply/Maillefer est un ciment à base résine qui se présente sous la forme de deux tubes contenant deux pâtes crémeuses. Le mélange de la pâte activatrice avec la pâte base en quantités égales est spatulé sur un bloc de mélange. On obtient un ciment rapidement homogène avec une texture facilement reproductible.

Pâte A	Pâte B
Résine époxyde	Adamantane amine
Tungstate de calcium	N,N-Dibenzyl-5-oxanonane-diamine-1,9
Oxyde de zirconium	TCD-Diamine
Aérosil	Tungstate de calcium
Oxyde de fer	Oxyde de zirconium
	Aérosil
	Huile de silicone

D'après HUANG et coll., 2001

Le ciment SEALAPEX de chez Kerr est un ciment à base hydroxyde de calcium présenté également sous la forme de deux tubes de pâtes faciles à mélanger dans des conditions reproductibles. Le mélange obtenu a une viscosité plus élevée que le ciment précédent.

Pâte A et B mélangées	
Dioxyde de calcium (CaO_2)	24 %
Sulfate de barium (BaSO_4)	20 %
Oxyde de zinc (ZnO)	7%
Résines de salicylate	
Sulphonamide d'éthyl toluène	

D'après les données du fabricant

Le ciment SEALITE de chez Pierre Roland est issu de la spatulation d'une poudre et d'un liquide. La poudre est incorporée jusqu'à atteindre la consistance idéale. La consistance de ce ciment est la plus aléatoire et la plus subjective.

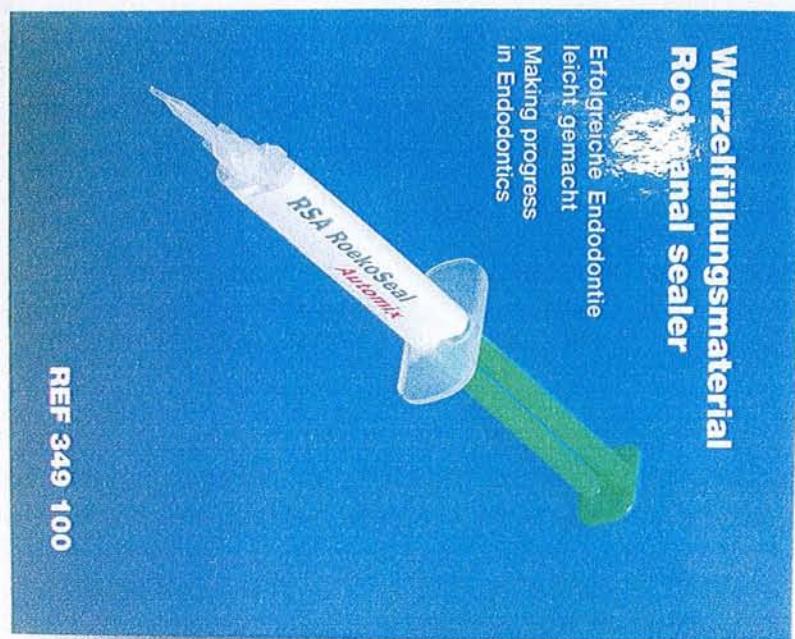
Poudre	Liquide
Oxyde de zinc (ZnO)	46 %
Poudre d'argent	24 %
Diiodothymol	12 %
Excipient	18 %
	Eugénol
	Baume du Canada
	Excipient
	13 %
	7 %

D'après HALIMI et coll., 1990

Le ciment ROEKO Automix de chez Roeko est un ciment à base de silicones par addition. Il est le plus facile à utiliser car il est présenté sous la forme d'un pistolet muni d'embouts mélangeurs à usage unique. Ces embouts assurent un mélangé homogène précisément renouvelé à chaque obturation.

Silicone de type addition
Polydiméthylsiloxane
Huile de silicone
Huile de paraffine
Acide hexachloroplatinique (catalyseur)
Dioxyde de zirconium

D'après les données du fabricant



roeko

RSA RoekoSeal **Automix**

fig.18 : présentation des ciments



Les dents préparées sont rincées et le cône de gutta-percha est ajusté à la limite de travail. L'obturation est réalisée selon la technique monocône, particulièrement adaptée à une préparation conique régulière apportée par les instruments de rotation continue. Une double induction a été effectuée (apport de ciment dans le canal directement et sur le cône avant sa mise en place).

Les canaux radiculaires sont séchées grossièrement à l'air puis à l'aide de pointes de papier 20/100 mm. Les racines sont alors enduites de ciment à l'aide d'un lentulo monté sur contre-angle bague-verte.

Le cône est ensuite enduit de ciment avant d'être introduit dans le canal jusqu'à sa position ajustée. Une petite extrusion de ciment à l'apex fut remarquée pour la majeure partie des échantillons et toutes les précautions furent prises pour préserver la zone apicale de tout contact, en particulier avant la prise du ciment. Aucune compaction ou condensation n'est effectuée, et le cône est laissé en place intégralement pendant la suite du protocole. La qualité des obturations a été estimée par radiographie. Un délai d'une semaine est respecté pour s'assurer du séchage et de la prise complète des ciments. Les échantillons sont stockés en milieu humide à 37°C.

2.4. ISOLATION DES ECHANTILLONS

Les dents sont isolées à l'aide d'un vernis réparti uniformément sur la surface radiculaire à l'exception de l'extrémité apicale. Les surfaces en contact avec le colorant sont ainsi limitées à celles nous intéressant directement pour l'étude de l'étanchéité apicale. La pose du vernis au pinceau est difficile au niveau de la manipulation et les racines sont isolées sans risque jusqu'à 1,5 mm. Ce problème est développé plus loin dans la discussion. Deux couches de vernis sont appliquées, chacune après le séchage complet de la précédente. (Vernis à ongle GEMEY Express-Finish rouge)

2.5. ESSAI DE PERCOLATION APICALE

Le bleu de méthylène est utilisé comme colorant et préparé à la concentration de 1 % à partir de bleu de méthylène en poudre : 1 g de poudre pour 100 ml d'eau distillée. L'immersion dans le colorant est réalisée en fixant les dents verticalement, apex en bas sur une plaque de support à l'aide de colle cyanoacrylate. Pour standardiser la profondeur d'immersion pour tous les échantillons, les dents ont été sectionnées horizontalement au niveau coronaire en prenant comme référence la dent la plus petite. Les échantillons sont alors immersés sur une hauteur égale à 15 mm. Le test de percolation dure une semaine puis les dents sont rincées abondamment à l'eau courante et sèchent pendant une semaine.

2.6. OBSERVATION ET MESURE DE LA PERCOLATION

L'observation de la percolation est réalisée par section longitudinale des échantillons. Deux rainures sont effectuées sur les faces mésiales et distales à l'aide d'une fraise diamantée fine pénétrant de chaque côté, à partir de l'apex jusqu'à la partie coronaire. Ces deux tranchées atteignent le ciment de l'obturation. La dent est alors séparée en deux à l'aide d'une spatule.

La percolation du colorant est mesurée en millimètres par microscopie optique à un grossissement X 20, qui est un grossissement dans la moyenne de ceux utilisés dans la littérature. La moyenne de la hauteur de percolation est définie pour chaque ciment ainsi que les écart-types.

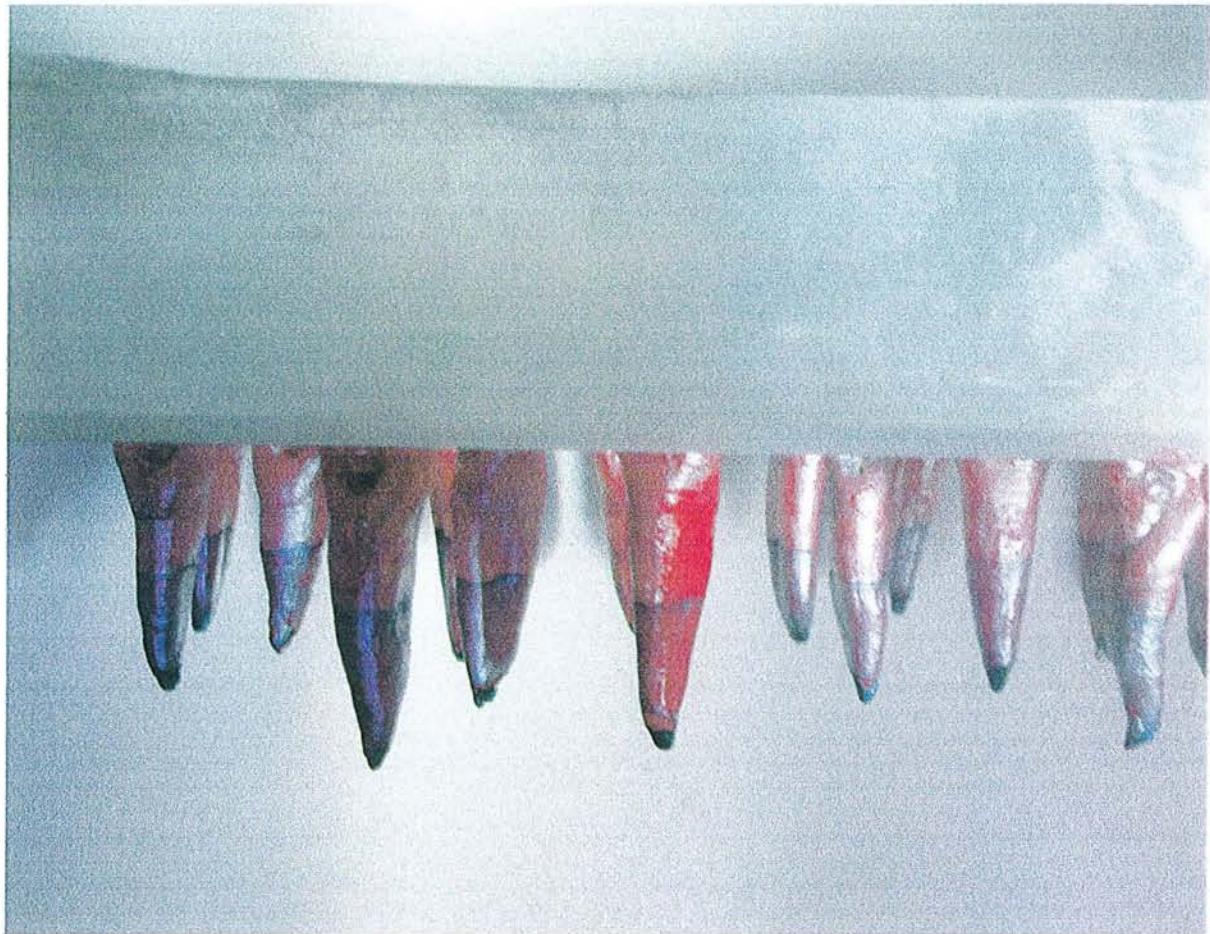


fig.19 : échantillons sur leur support après immersion

2.7. RESULTATS

Les témoins positifs percolent tous sur 100 % de la hauteur.

Les témoins négatifs ne montrent aucune percolation.

Groupes de ciments	SEALAPEX ^a	TOPSEAL ^b	SEALITE ^c	ROEKO ^d
Moyenne et écart-type en mm	1.63 ± 0.65 ^{bcd}	1.14 ± 0.35 ^{ad}	1.25 ± 0.17 ^{ad}	0.92 ± 0.21 ^{abc}

Moyennes et écart-types des hauteurs de percolation mesurées pour chaque ciment

Les résultats ont été comparés à l'aide du test non paramétrique de Kruskal-Wallis suivi par un test de comparaisons multiples.

Les différences sont significatives pour $p < 0,05$ et les lettres minuscules représentent les groupes entre lesquels la différence est statistiquement significative.

- SEALAPEX présente une percolation supérieure aux autres ciments et la différence est statistiquement significative.
- Il n'y a pas de différence significative entre TOPSEAL et SEALITE
- ROEKO présente une percolation inférieure aux autres ciments et la différence est statistiquement significative.

III. DISCUSSION

Les mesures de percolation relevées sont relativement faibles pour l'ensemble des échantillons. Quelques échantillons montrent une percolation plus marquée dont l'origine paraît difficile à déterminer compte tenu de leur distribution faible et non significative. Le SEALAPEX présente les valeurs de percolations les plus élevées et paraît moins étanche dans le cadre de ce protocole. Ce résultat confirme les problèmes de stabilité et de solubilité de la composition à base d'hydroxyde de calcium en milieu humide décrits par TAGGER et coll. en 1988, SLEDER et coll. en 1991 et s'oppose à SIQUEIRA et coll. en 1995.

TOPSEAL et SEALITE donnent des valeurs de percolation similaires comme dans l'étude de BRISENO et WILLERHAUSEN, 1991. Le SEALITE montre qu'il est de bonne qualité et justifie son utilisation. TOPSEAL confirme ses capacités de scellement à 1 semaine. Les variations dimensionnelles se poursuivent pendant plusieurs mois (ORSTAVIK et coll. en 2001).

ROEKOSEAL Automix présente les meilleurs résultats. Ses propriétés physico-chimiques dans ce cadre opératoire lui confèrent de bonnes qualités d'étanchéité.

Au niveau du choix du protocole, il se révèle déterminant dans les conclusions que va apporter une expérimentation de ce type. Le protocole a été défini pour éliminer au maximum les paramètres autres que le facteur ciment. La percolation est un phénomène complexe au niveau physico-chimique et dynamique. Sa compréhension n'est que partielle et la standardisation et la reproductibilité de l'expérimentation permettent de minimiser les facteurs non contrôlés.

L'utilisation de dents à l'anatomie similaire répond à ce besoin de standardisation. L'homogénéité de l'anatomie canalaire va limiter au maximum les variations au niveau de l'alésage et de l'obturation décrites par WU et WESSELINK en 2001. Des incisives et canines maxillaires ont donc été choisies comme échantillons. Elles présentent une anatomie assez régulière avec un canal unique et large. Néanmoins, la standardisation reste limitée à ce niveau car il persiste tout de même des variations. Les canaux des incisives et canines présentent par exemple une section plus ou moins ovale. Ces variations visibles sur les radiographies de contrôle réalisées après obturation dans le sens mésio-distal et vestibulo-palatin influent sur la préparation et l'obturation. Ces préoccupations rejoignent les travaux de WU et coll. en 2000 qui constatent l'influence de l'anatomie canalaire sur la qualité de l'obturation au niveau de son étanchéité.

Cette limite à la standardisation liée aux échantillons choisis peut également être liée à la qualité intrinsèque de la dentine en rapport direct avec l'interface. La minéralisation et l'orientation des canalicules dentinaires sont variables d'une dent à l'autre et sont probablement déterminants dans les phénomènes de percolation.

Certains auteurs (SPANGBERG et coll., 1989, OLIVER et ABBOTT, 1991) estiment que ces variations sont trop importantes et choisissent d'utiliser des modèles de canaux artificiels qui sont en fait de simples tubes en matière plastique. Cette démarche répond à un souci de standardisation optimale mais ne paraît pas très pertinente cliniquement car en éliminant les variations liées à l'échantillon, elle élimine complètement une partie des conditions expérimentales correspondant au cadre de la recherche.

L'expérimentation sur dents naturelles s'éloigne déjà des conditions *in vivo* trop difficiles à reproduire fidèlement et les tests réalisés sur modèles artificiels ne paraissent significatifs que dans un cadre comparatif purement physico-chimique. MASTER et coll. en 1995 comparent deux protocoles de mesure d'étanchéité sur des dents naturelles et sur des canaux artificiels créés dans des blocs de résine et concluent que la nature de l'interface influe de façon importante sur la percolation. WU et WESSELINK en 1995 standardisent les problèmes d'anatomie mais conservent la nature de l'interface. Ils utilisent pour ce faire des racines de dents bovines sectionnées et calibrées. Ce protocole paraît satisfaisant mais il est peu répandu dans la littérature. L'utilisation de dents naturelles anatomiquement proches reste la solution de choix.

Au niveau de la préparation canalaire, la standardisation paraît optimale du fait de l'utilisation de la technique d'alésage par rotation continue. Cette technique assure en effet un diamètre standard de préparation et une conicité homogène entre les différents échantillons. L'alésage mécanisé limite au maximum les aléas liés à la manipulation et à l'opérateur. La préparation des échantillons est réalisée dans un seul temps opératoire pour que l'opérateur puisse acquérir un entraînement et une certaine régularité.

Au niveau de la technique d'obturation, l'utilisation d'un unique cône calibré répond également à ce désir de reproductibilité en évitant les variations opératoires plus probables dans une technique de condensation par exemple. De plus, cette technique est particulièrement appropriée à la technique d'alésage à conicité régulière. Cette synergie entre la préparation et l'obturation permet de façon simple et répétitive de réaliser une obturation endo-canalaire de bonne qualité. L'ajustage du cône n'est nécessaire que pour un nombre limité d'échantillons et l'épaisseur de ciment est maîtrisée pour tous les échantillons. Une particularité de cette bonne adaptation entre la gutta et les parois canalaires est la pression exercée par le cône sur le

ciment. Cette pression a pour conséquence une extrusion du ciment à l'apex sous la forme d'une petite masse sphéroïde. Ce phénomène systématique dans cette expérimentation n'est jamais relaté dans la littérature pour des techniques similaires. Pourtant, il s'agit de la zone la plus importante pour l'étanchéité et ce phénomène se situe au siège même de la microinfiltration dans le système canalaire. La démarche à suivre concernant cette extrusion reste un point d'interrogation sans réponse. Dans un souci de rapprochement avec les conditions *in vivo*, il peut paraître judicieux de laisser ce « capuchon » apical en place même si ce choix ne prend pas en compte la pression liée aux tissus périapicaux et aux interactions du ciment dans ce milieu différent de l'air libre. Si on décide de l'éliminer, selon quelles règles peut-on altérer l'intégrité de l'obturation, par quels moyens et à quel moment ? Le risque de créer des artefacts paraissant trop important dans cette étude, l'extrusion de ciment a été conservée et protégée pendant le stockage entre les différentes étapes.

La viscosité des ciments, importante au niveau des qualités physico-chimiques est facilement reproductible pour TOPSEAL, SEALAPEX et surtout ROEKO. La maîtrise de la texture du SEALITE est plus difficile et a été permise par la mesure de la masse de poudre associée pour une goutte de liquide.

Au niveau de la technique de mesure d'étanchéité, la technique expérimentale une fois définie ne présente pas de problèmes de reproductibilité. C'est dans le choix de la technique que réside la difficulté.

La technique par coloration au bleu de méthylène a été choisie dans un souci de simplicité opératoire car elle ne nécessite pas de matériel particulier comme les techniques plus poussées (utilisant des bactéries ou des radio-isotopes). Pour des raisons de temps et de facilité d'exploitation des résultats, la coloration au bleu de méthylène est la technique fiable la plus répandue dans la littérature (WU et WESSELINK, 1993). Le choix du colorant s'oriente naturellement vers le bleu de méthylène dont les caractéristiques se rapprochent le plus des éléments mis en cause dans les problèmes périapicaux (AHLBERG et coll., 1995). Au niveau des conditions de pression,

les recherches ont abouti à des systèmes de mise en conditions particulières des échantillons. La majorité de ces protocoles sont mis en place dans le but de potentialiser la percolation du colorant et on peut s'interroger sur la pertinence clinique de cette démarche. Néanmoins, d'après les études de PATHOMVANICH et EDMUNDS en 1996, la percolation passive est moins révélatrice des problèmes d'étanchéité. Ces mêmes auteurs relativisent la nécessité d'utiliser des techniques visant à augmenter la pénétration du colorant et estiment que les conditions de pression appliquées pendant le test de percolation ont moins d'influence que les problèmes de préparation, d'obturation et d'anatomie canalaire. La pression relative à l'immersion dans le colorant paraît donc suffisante dans le cadre de notre étude. Elle est homogène pour l'ensemble des échantillons car ils sont immersés sur une même hauteur de 15 mm.

Au sujet de la coloration passive au bleu de méthylène, il s'agit d'une technique fiable, simple à mettre en œuvre, répandue et donc plus facilement comparable dans la littérature. La concentration de 1% peut paraître faible en comparaison avec les données que l'on trouve dans la littérature mais il n'existe pas de standardisation à ce niveau. Les colorants semblent suffisamment pénétrants pour que leur concentration ne joue qu'un rôle mineur. Cette constatation peut être corrélée au fait que le phénomène de capillarité semble prédominant par rapport à la diffusion. PATHOMVANICH et EDMUNDS en 1996 estiment que le bleu de méthylène pénètre mieux que les radio-isotopes. La concentration de 1% choisie paraît être satisfaisante compte tenu de ces éléments. Le phénomène de percolation testé dans cette étude peut être simplifié par la comparaison avec la progression d'une colonne de bleu de méthylène dans un capillaire.

Au sujet des délais d'attente entre les différentes phases, les temps de séchages sont identiques à la majorité des études. La durée d'immersion dans le colorant est quant à elle portée à une semaine, ce qui représente une durée élevée par rapport à celles observées dans la littérature. Les études de DELIVANIS et CHAPMAN en 1982 et de ZMENER et coll. en 1997 sur la

dynamique du phénomène de percolation incitent à prolonger l'immersion à au moins une semaine.

Au sujet de la durée de percolation, l'immersion pendant une semaine a pour but dans cette étude de reproduire le phénomène de percolation *in vivo*. Pour des problèmes de reproduction des conditions, l'ensemble des facteurs influents ne sont pas présents mais la standardisation et la reproductibilité du protocole permettent de minimiser ces insuffisances. Par contre, il est nécessaire de se replacer dans le cadre de l'étude dont le but est de comparer la capacité des ciments endodontiques à obturer le système canalaire et donc à maintenir ou à promouvoir la santé physiologique de la zone périapicale. Dans ce contexte, on doit se demander quelle valeur peut avoir un test reproduit sur une durée très faible par rapport aux réalités cliniques. Le but ultime est de permettre la stabilité du soin sur plusieurs années et les facteurs de modifications à long terme de l'obturation prennent ainsi toute leur valeur. L'étanchéité à temps 0 ou 1 semaine de l'obturation préfigure sans doute la qualité de l'obturation mais il semblerait pertinent d'étudier plus profondément les facteurs de vieillissement, de dégradation de l'obturation. Ceci inclut donc les qualités physico-chimiques des ciments et en principe la solubilité mais aussi les éléments biologiques du tissu périapical susceptibles d'altérer l'obturation.

Au sujet de la visualisation du niveau de percolation, la section longitudinale montre l'étendue de la coloration. La limite de coloration est suffisamment précise comme l'affirment ALHBERG et coll. en 1995. Par rapport à une section de part en part avec un disque, la technique de section sur chaque face et la séparation par fracture au niveau même de l'obturation permet d'éviter un trop grand « lavage » de la coloration.

Par ailleurs, prenant en considération le faible niveau moyen de percolation mesuré sur les échantillons, la technique d'éclaircissement aurait montré des limites. Il paraît difficile de visualiser une percolation faible (inférieure à 2 mm) au niveau apical compte tenu des problèmes de transparence et de déminéralisation liés à cette technique.

Les problèmes en relation avec la pose du vernis sont rarement relatés dans les protocoles expérimentaux. L'utilisation d'un vernis à ongle classique épais permet d'assurer une complète herméticité des zones recouvertes. Deux couches successives sont apposées méthodiquement à l'aide d'un pinceau. La coloration du vernis permet une précision dans cette opération mais ses propriétés d'étalement rendent les choses plus difficiles. Les auteurs préconisent de s'arrêter à 1 mm de l'apex, ce qui paraît périlleux si l'on veut éviter tout risque de recouvrement apical et d'artéfacts. D'un autre côté, les images de percolation nous font soupçonner des microinfiltrations au niveau des parties radiculaires non recouvertes.

Cette étape semble être étudiée de façon insuffisante par rapport aux conséquences qu'elle peut avoir sur les résultats. Les auteurs référencés dans cette étude décrivent des limites entre 1 et 3 mm. Sur 10 études recensées, 4 donnent une limite à 1 mm, 5 à 2 mm et 1 entre 2 et 3 mm. Par ailleurs, s'ajoute le problème d'une interférence potentielle avec l'extrusion de ciment par le foramen apical.

Au niveau de l'obturation proprement dite et dans le cadre de ce protocole opératoire, l'étanchéité des obturations réalisées est bonne. La technique de préparation associée à l'obturation avec un monocône calibré semble offrir de bons résultats dans ces conditions. On peut penser que l'association des techniques de préparation et d'obturation permet de minimiser l'épaisseur de ciment, ce qui est un facteur de réussite d'après WU et WESSELINK, 1995. L'épaisseur fine de ciment permet de potentialiser les qualités physico-chimiques des ciments. Une qualité principale qui entre en jeu est le retrait de prise limité. Ce retrait de prise à l'origine d'une mauvaise herméticité sera d'autant plus réduit si l'épaisseur de ciment est faible. Par ailleurs, la solubilité du ciment et son potentiel d'absorption d'eau sont en interrelation au contact d'un fluide. L'absorption peut permettre par une augmentation de volume une meilleure adaptation de l'obturation par un contact plus étroit entre le ciment et les parois canalaires mais aussi engendrer des modifications structurales néfastes pour la qualité de l'interface. En revanche, la solubilité du ciment va être un facteur négatif. Une

épaisseur fine limite la perte de matériau liée à la solubilité et n'influe pas sur les avantages liés à l'absorption.

Ces qualités physico-chimiques des ciments sont importantes mais sont difficilement comparables sur dents naturelles du fait de nombreux autres facteurs en cause. Il s'agit de problèmes :

- de compositions différentes des échantillons, de nature différente de la dentine, de l'orientation des microtubules.
- d'interfaces suffisamment variables pour introduire des facteurs de variations importants.

Par contre, les expérimentations mieux standardisées sur modèles artificiels permettent ces comparaisons. Les techniques d'étude testant des ciments durcis dans des seringues offrant des épaisseurs plus importantes peuvent déterminer les qualités physico-chimiques de rétraction de prise, de solubilité, d'absorption d'eau et d'énergie de surface. Les ciments peuvent donc être ainsi comparés mais les résultats sont malheureusement difficiles à mettre en relation avec la situation in-vivo même si ces propriétés jouent un rôle important. Par exemple, le phénomène de capillarité est directement relié à l'énergie de surface du matériau d'obturation.

La qualité de l'interface ne se restreint pas à la qualité du ciment. La dentine des parois canalaires joue un rôle tout aussi important. Il s'agit du domaine où la standardisation est la plus difficile à estimer. Quelle épaisseur de dentine va être éliminée par l'alésage ? Quelle qualité et quel type de dentine va être en contact avec le ciment ? L'élimination de la boue dentinaire est le seul élément reproductible dans le protocole expérimental. Selon VASSILIADIS et coll. en 1996, la boue dentinaire est un élément défavorable pour l'étanchéité et l'utilisation d'EDTA paraît justifiée pour améliorer la qualité de ces surfaces dentinaires.

Au sujet de la technique d'obturation monocône, on peut imaginer que son efficacité est indissociable d'une préparation à conicité régulière telle que le permet la technique de rotation continue avec instruments NiTi. L'obturation avec un seul cône n'a apparemment jamais suscité d'enthousiasme à l'époque où la référence en terme de préparation était la préparation manuelle. Cette technique comparée alors à la technique

d'obturation par condensation latérale ne présente pas les caractéristiques d'une bonne adaptation de l'obturation contre les parois canalaires, d'une pression exercée sur le ciment. On peut penser aujourd'hui que ces inconvénients sont palliés dans le cas d'un alésage plus régulier correspondant à la conicité du cône calibré.

Cette technique doit encore faire ses preuves mais cette étude laisse présager compte tenu d'une bonne étanchéité globale des échantillons que la technique d'obturation avec un simple cône calibré associé à une préparation canalaire de conicité régulière de type rotation continue est efficace.

Au niveau des différents éléments entrant dans la composition des ciments, il peut exister des interférences de type réactions chimiques avec les autres matériaux utilisés dans la technique. La décoloration du bleu de méthylène décrite par WU et coll. en 1998 montrent une influence importante des ciments à caractère alcalin vis à vis du colorant. Les résultats peuvent être modifiés de façon significative. PATHOMVANICH et EDMUNDS en 1996 modifient leur protocole pour éviter des interactions liées à leur technique. Le bleu de méthylène a tendance à se dissoudre en présence de l'acide nitrique utilisé pour la phase d'éclaircissement. Ce genre d'interférences liées aux réactions entre les éléments mis en présence par l'expérimentation n'est exprimée que par quelques auteurs qui modifient leur protocole en conséquence. Ces constatations ne sont pourtant pas prises en considération par les autres auteurs et paraissent donc isolées. Il paraît ainsi difficile de donner une valeur précise à ces théories pourtant largement justifiées, la majorité des auteurs ne les prenant pas en compte. La non standardisation pose ici le problème du choix du protocole pour lequel la littérature présente des divergences d'opinion importantes. Ce problème reconnu par certains auteurs comme WU et coll. les pousse à axer leurs recherches sur les moyens de standardiser les techniques de mesure d'étanchéité. Le but est d'obtenir des données précises mettant en place des techniques appropriées aux paramètres expérimentaux choisis par les auteurs. Cette standardisation des techniques permettrait de comparer les

études entre elles, ce qui est difficilement réalisable de façon rigoureuse aujourd’hui. Lorsque l’on compare deux études de même type dans la littérature, les différences de protocoles sont telles que le rapprochement entre les deux ne se fait que de manière partielle, approximative ou extrapolée mais en tout cas jamais recevable scientifiquement. La recherche dans ce domaine implique des chercheurs de pays différents avec des formations différentes et des écoles différentes et la standardisation parfaite des techniques paraît utopique.

CONCLUSIONS

Dans le cadre de cette étude, les ciments présentent une bonne étanchéité compte tenu des faibles niveaux de percolation mesurés.

SEALAPEX présente des résultats inférieurs aux autres ciments et apparaît moins étanche à une semaine.

TOPSEAL et SEALITE ne donnent pas de valeurs statistiquement différentes entre eux mais montrent des qualités d'étanchéité supérieures à SEALAPEX.

ROEKO est le ciment le plus étanche dans cette étude comparative et les échantillons des groupes « ROEKO » présentent des hauteurs moyennes de percolations inférieures à celles des autres groupes.

Les bons résultats globaux d'étanchéité suggèrent une efficacité satisfaisante des techniques de préparation et d'obturation.

Le ciment joue un rôle central au niveau de l'obturation endo-canalaire et la technique de préparation conjuguée à la technique d'obturation semblent potentialiser ses qualités intrinsèques en limitant au maximum son épaisseur.

Le protocole expérimental paraît efficace pour comparer ces quatre ciments dans de bonnes conditions de reproductibilité.

L'étanchéité du traitement endodontique apporte une donnée partielle sur la qualité du ciment employé. Le ciment en contact avec du tissu vivant doit également présenter des aptitudes à rester au contact sans induire de réactions iatrogènes. Ces éléments sont résumés sous le terme de biocompatibilité qui réunit l'ensemble des objectifs donnés à un matériau hétérogène placé en contact du tissu vivant.

TABLE DES MATIERES

Introduction	1
---------------------	---

I. INTRODUCTION AUX DONNEES ACTUELLES 4

1.1. L'ETANCHEITE 5

1.1.1. Justification d'une étude sur l'étanchéité apicale : intérêts	
1.1.2. Explication du phénomène de percolation	
1.1.2.1. Notion d'espace entre l'obturation et les parois dentinaires.	
1.1.2.2. Eléments en cause lors de la percolation : les bactéries et dérivés	
1.1.3. Conditions requises pour obtenir l'étanchéité	
1.1.3.1. Facteurs intervenants dans la qualité du traitement canalaire	
1.1.3.1.1. Au niveau de l'élément dentaire	
1.1.3.1.2. Au niveau de la préparation	
1.1.3.1.3. Au niveau de la technique d'obturation	
1.1.3.2. Le ciment : le facteur indispensable	

1.2. LES TECHNIQUES DE MESURES 15

1.2.1. Les techniques les plus courantes	15
1.2.1.1. Pénétration d'un colorant	15
1.2.1.1.1. Les différents colorants utilisés	
1.2.1.1.1.1. Le bleu de méthylène	
1.2.1.1.1.2. Les autres colorants disponibles	
1.2.1.1.2. Eléments variants d'une étude à l'autre	23
1.2.1.1.2.1. Variation des conditions de pression	
1.2.1.1.2.2. Variation du type de colorant employé	
1.2.1.1.2.3. Variation de la durée et du délai d'immersion	
1.2.1.1.2.4. Variation de la technique de visualisation	
<u>La technique par coupe longitudinale :</u>	
<u>La technique de coupe horizontale ou transversale</u>	
<u>La technique d'éclaircissement</u>	
1.2.1.2. Le modèle par microfiltration de fluide	47

1.2.2. Les techniques moins courantes	49
--	-----------

1.2.1.1. Pénétration d'autres traceurs que les colorants	
1.2.1.1.1. Utilisation de bactéries	
1.2.1.1.2. Utilisation de traceurs radioactifs	
1.2.1.2. La technique par électrochimie	53

1.3. LES CIMENTS D'OBTURATION ENDO-CANALAIRES	56
1.3.1. Les ciments à base eugénol-oxyde de zinc	57
1.3.2. Les ciments à base hydroxyde de calcium	59
1.3.3. Les ciments à base de verres ionomères	62
1.3.4. Les ciments à base résine	63
1.3.5. Les ciments à base silicone	64
II. EXPERIMENTATION	66
2.1. CHOIX DES ECHANTILLONS	68
2.2. PREPARATION CANALAIRE	68
2.2.1. Trépanation et mise en forme de la cavité d'accès	
2.2.2. Préparation canalaire proprement dite	
2.3. OBTURATION CANALAIRE	71
2.3.1. Répartition des groupes	
2.3.2. Préparation des ciments	
2.3.3. Technique expérimentale	
2.4. ISOLATION DES ECHANTILLONS	76
2.5. ESSAI DE PERCOLATION APICALE	77
2.6. OBSERVATION ET MESURE DE LA PERCOLATION	77
2.7. RESULTATS	79
III. DISCUSSION	80
IV. CONCLUSIONS	91

BIBLIOGRAPHIE

AHLBERG K.M.F., ASSAVANOP P., TAY W.M.
A comparison of the apical dye penetration patterns shown by methylene blue and India ink in root-filled teeth
Int. Endod. J., 1995, 28 : 30-4

ALONSO M., FINN E.J.
Physique générale 1. Mécanique et thermodynamique : 2^{ième} éd.
Paris : Dunod, 2001.-538 p.

ALLAN N.A., WALTON R.C., SCHAEFFER M.A., SCHAFFER A.
Setting times for endodontic sealers under clinical usage and in vitro conditions
J. Endod., 2001, 27 : 421-3

ANTONOPOULOS K.G., ATTIN T., HELLWING E.
Evaluation of the apical seal of root canal fillings with different methods
J. Endod., 1998, 24 : 655-8

BARTHEL C.R., MOSHONOV J., SHUPING G., ORSTAVIK D.
Bacterial leakage versus dye leakage in obturated root canals
Int. Endod. J., 1999, 32 : 370-5

BEHREND G.D., CUTLER C.W., GUTMAN J.L
An in-vitro study of smear layer removal and microbial leakage along root-canal fillings
Int. Endod. J., 1996, 29 : 99-107

BENATTI O., STOLF W.L., RUHNKE L.A.
Verification of the consistency, setting time, and dimensional changes of root canal filling materials
Oral surg., 1978, 46: 107-13

BRICARD J., BENOIT H.
Eléments de physique
Paris : Flammarion, 1975 .-779 p.

BRISENO B.M., WILLERSHAUSEN B.
Root canal sealer toxicity on human gingival fibroblasts: II. Silicone and resin-based sealers
J. Endod., 1991, 17 : 537-40

CANALDA-SAHLI C., BRAUN-AGUADE E., SENTIS-VILALTA J., AGUADE-BRUIX S.
The apical seal of root canal sealing cements using a radionuclide detection technique
Int. Endod. J., 1992, 25 : 250-256

CHERNG A.M., CHOW L.C., TAKAGI S.
In vitro evaluation of a calcium phosphate cement root canal filler/sealer
J. Endod., 2001, 27 : 613-5

- CHOHAYEB A.A.
Comparison of conventional root obturation techniques with thermafil obturators
J. Endod., 1992, 18 : 10-2
- DANIN J., LINDER L., SUND M.L., STROMBERG T., TORSTENSON B.,
ZETTERQVIST L.
Quantitative radioactive analysis of microleakage of four different retrograde fillings
Int. Endod. J., 1992, 25 : 183-8
- DE ALMEIDA W.A., LEONARDO M.R., TANOMARU FILHO M., SILVA L.A.B.
Evaluation of apical sealing of three endodontic sealers
Int. Endod. J., 2000, 33 : 25-7
- DELIVANIS P.D., CHAPMAN K.A.
Comparison and reliability of techniques measuring leakage and marginal penetration
Oral surg., 1982, 53 : 410-16
- FAYYAD M.A., BALL P.C.,
Bacterial penetration around amalgam restorations
J. Prosthet. Dent., 1987, 57 : 571-4
- FRIEDMAN S., LOST C., ZARRABIAN M., TROPE M.
Evaluation of success and failure after endodontic therapy using a glass ionomer cement sealer
J. Endod., 1995, 21 : 384-90
- FUSS Z., WEISS E.I., SHLHAV M.
Antibacterial activity of calcium hydroxide-containing endodontic sealers on Enterococcus faecalis in vitro
Int. Endod. J., 1997, 30 : 397-402
- GREENE H.A., WONG M., INGRAM T.A.
Comparison of the sealing ability of four obturation techniques
J. Endod., 1990, 16 : 423-8
- HAIKEL Y., WITTENMEYER W., BATEMAN G., BENTALEB A., ALLEMAN C.
A new method for the quantitative analysis of endodontic microleakage
J. Endod., 1999, 25 : 172-7
- HALIMI P., CAMPS J., ROCHE M., PROUST J-P.
Etude des propriétés physico-chimiques de quatre ciments de scellement endodontique
Rev.Fr.Endod., 1990, 9 : 35-42
- HASHIEH I.A., POMMEL L., CAMPS J.
Concentration of eugenol apically released from zinc oxide-eugenol-based sealers
J.Endod., 1999, 25 : 713-5

HOLLAND R., SOUZA V., ABDALLA T., RUSSO M.C.
Sealing properties of some root filling materials evaluated with radioisotope
Aust. Dent. J., 1974, 19 : 322-5

HOSOYA N., NOMURA M., YOSHIKUBO A., ARAI T., NAKAMURA J., COX C.F.
Effect of canal drying methods on the apical seal
J. Endod., 2000, 26 : 292-4

HUANG T.H., LEE H., KAO C.T.
Evaluation of the genotoxicity of zinc oxide eugenol-based, calcium hydroxide-based, and epoxy resin-based root canal sealers by comet assay
J. Endod., 2001, 27 : 744-8

HUME W.R.
The pharmacologic and toxicological properties of zinc oxide eugenol
J. Am. Dent. Assoc., 1986, 113 : 789-91

INGLE J.I., TAINTOR J.F.
Endodontics .- 3nd ed.
Philadelphia :Lea & Febiger, 1985.-881p

JACOBSON S.M., VON FRAUNHOFER J.A.,
The investigation of microleakage in root canal therapy
Oral surg., 1976, 42 : 817-23

KARAGOZ-KUCUKAY I., KUCUKAY S., BAYRILI G.
Factors affecting apical assessment
J. Endod., 1993, 19 : 362-5

KERSTEN H.W., MOORER W.R.
Particles and molecules in endodontic leakage
Int. Endod. J., 1989, 22 : 118-24

KONTAKIOTIS E.G., GEORGOPOLOU M.K., MORFIS A.S.
Dye penetration in dry and water-filled gaps along root fillings
Int. Endod. J., 2001, 34 : 133-6

KONTAKIOTIS E.G., WU M.K., WESSELINK P.R.
Effect of calcium hydroxide dressing on seal of permanent root filling
Endod. Dent. Traumatol., 1997, 13 : 281-4

KOULAOUZIDOU EA., PAPAZISIS KT., BELRES P., GEROMICHALOS GD.,
KORTSARIS AH.
Cytotoxicity of three resin-based root canal sealers: an in-vitro evaluation
Endod. Dent. Traumatol., 1998, 14 : 182-5

KRELL K.V., MADISON S.

Comparison of apical leakage of teeth obturated with a calcium phosphate cement or Grossman's cement using lateral condensation

J. Endod., 1985, 11 : 336-9

LAHL M.S., TITLEY K.C., TORNECK C.D., FRIEDMAN S.

Scanning electron microscopy study of the interface of glass ionomer cement sealers and conditioned bovine dentine

J. Endod., 1999, 25 : 743-6

LEE C., HARANDI L., COBB C.M.

Evaluation of glass ionomer as an endodontic sealant: an in vitro study

J. Endod., 1999, 23 : 209-12

LEONARDO M.R., DA SILVA L.A., FILHO M.T.

Release of formaldehyde by four endodontic sealers

Oral surg., 1999, 88 : 221-5

LEONARDO M.R., DA SILVA L.A., FILHO M.T., BONIFACIO K.C., ITO I.Y.

In vitro evaluation of antimicrobial activity of sealers and pastes used in endodontics

J. Endod., 2000, 26 : 391-4

LIMKANGWALMONKOL S., ABBOTT P.V., SANDLER A.B.

Apical dye penetration with four root canal sealers and gutta percha using longitudinal sectioning

J. Endod., 1992, 18 : 535-9

LIMKANGWALMONKOL S., BURTSCHER P., ABBOTT P.V., SANDLER A.B., BISHOP B.M.

A comparison study of the apical leakage of four root canal sealers and laterally condensed gutta-percha

J. Endod., 1991, 17 : 495-9

LYROUDIA K., PANTELIDOU O., MIKROGEORGIS G., CHATZIKALLINIKIDIS C., NIKOPOULOS N., PITAS I.

The use of 3D computerized reconstruction for the study of coronal microleakage

Int. Endod. J., 2000, 33 : 243-7

MARKOWITZ K., MOYNIHAN M., LIU M., KIM S.

Biologic properties of eugenol and zinc oxide-eugenol

Oral surg., 1992, 73 : 729-37

MASTERS J., HIGA R., TORBINEJAD M.

Effects of vacuuming on dye penetration patterns in root canals and glass tubes

J. Endod., 1995, 21 : 332-4

MATLOFF I.R., JENSEN J.R., SINGER L., TABIBI A.

A comparison of methods used in root canal sealability studies

Oral surg., 1982, 53 : 203-8

MEYRON S.D., BROOK A.M.

In vitro comparison of the cytotoxicity of twelve Endodontic materials using a new technique

Int. Endod. J., 1990, 23 : 203-10

MICHAILESCO P.M., VALCARCEL J., GRIEVE A.R., LEVALLOIS B., LERNER D.

Bacterial leakage in endodontics: an improved method for quantification
J. Endod., 1996, 22 : 535-9

MIRANDA ESBERARD R., CARNES D.L., E.DEL RIO C.

pH changes at the surface of root dentin when using root canal sealers containing calcium hydroxide

J. Endod., 1996, 22 : 399-401

MORGAN L.A., BAUMGARTNER J.C.

Demineralization of resected root-ends with methylene blue dye

Oral surg., 1997, 84 : 74-8

OLIVER C.M., ABBOTT P.V.

Entrapped air and its effects on dye penetration of voids

Endod. Dent. Traumatol., 1991, 7 : 135-38

ORSTAVIK D., NORDAHL I., TIBBALLS J.I.

Dimensional change following setting of root canal sealer materials

Dent. Mater., 2001, 17 : 512-19

1: PATHOMVANICH S., EDMUNDS D.H.

The sealing ability of Thermafil obturators assessed by four different microleakage techniques

Int. Endod. J., 1996, 29 : 327-34

2: PATHOMVANICH S., EDMUNDS D.H.

Variation in the microleakage produced by four different techniques in root fillings in a simulated root canal model

Int. Endod. J., 1996, 29 : 156-62

POLLARD B.K., WELLER R.N., KULILD J.C.

A standardized technique for linear dye leakage studies: immediate versus delayed immersion times

Int. Endod. J., 1990, 23 : 250-3

POMMEL L., CAMPS J.

Effects of pressure and measurement time on the fluid filtration method in endodontics

J. Endod., 2001, 27 : 256-8

POMMEL L., JACQUOT B., CAMPS J.

Lack of correlation among three methods for evaluation of apical leakage

J. Endod., 2001, 27 : 347-50

PORKAEW P., RETIEF D.H., BARFIELD R.D., LACEFIELD W.R., SOONG S.
Effect of calcium hydroxide paste as an intracanal medicament on apical seal
J. Endod., 1990, 16 : 369-74

POWERS J.M., FARAH J.W., CRAIG R.G.
Modulus of elasticity and strength properties of dental cements
Quantitative radioactive analysis of microleakage of four different retrograde fillings
J. Am. Dent. Assoc., 1976, 92 : 588-91

ROBERTSON D., LEEB., MCKEE M., BREWER E.
A clearing technique for the study of root canal systems
J. Endod., 1980, 6 : 421-4

RODA R.S., GUTMAN J.L.
Reliability of reduced air pressure methods used to assess the apical seal
Int. Endod. J., 1995, 28 : 154-62

SIQUEIRA J.F., FRAGA RC., GARCIA PF.
Evaluation of sealing ability, pH and flow rate of three calcium hydroxide-based sealers
Endod. Dent. Traumatol., 1995, 11 : 225-8

SLEDER F.S., LUDLOW M.O., BOHACEK J.R.
Long-term sealing ability of a calcium hydroxide sealer
J. Endod., 1991, 17 : 541-3

SONAT B., DALAT D., GUNHAN.
Periapical tissue reaction to root fillings with Sealapex
Int. Endod. J., 1990, 23 : 46-52

SPANGBERG L.S.W., ACIERNO T.G., YONGBUM CHA B.
Influence of entrapped air on the accuracy of leakage studies using dye penetration methods
J. Endod., 1989, 15 : 548-51

STARKEY D.L., ANDERSON R.W., PASHLEY D.H.
An evaluation of the effect of methylene blue dye pH on apical leakage
J. Endod., 1993, 19 : 435-9

TAGGER M., TAGGER E., KFIR A.
Release of calcium and hydroxyl ions from set Endodontic sealers containing calciumhydroxide
J. Endod., 1988, 14 : 588-91

TAMSE A., KATZ A., KABLAR F.
Comparison of apical leakage shown by four different dyes with two evaluating methods
Int. Endod. J., 1998, 31 : 333-7

TIMPAWAT S., VONGSAVAN N., MESSER H.H.
Effect of removal of the smear layer on apical microleakage
J. Endod., 2001, 27 : 351-3

VASSILIADIS L., LIOLIO E., KOUVAS V., ECONOMIDES N.
Effect of smear layer on coronal microleakage
Oral surg., 1996, 82 : 315-20

VEIS A.A., MOLYVDAS A., LAMBRIANIDIS T.P., BELTES P.G.
In vitro evaluation of apical leakage of root canal fillings after in situ obturation with thermoplasticized and laterally condensed gutta percha
Int. Endod. J., 1994, 27 : 213-7

WALTIMO T .M., BOIESEN J., ERIKSEN H.M., ORSTAVIK D.
Clinical performance of 3 endodontic sealers
Oral surg., 2001, 92 : 89-92

WANG J.D., HUME W.R.
Diffusion of hydrogen ion and hydroxyl ion from various sources through dentin
Int. Endod. J., 1988, 21 : 17-26

WIENER B.H., SCHILDER H.
A comparative study of important physical properties of various root canal sealers
Oral surg., 1971, 32 : 928-37

WIMONCHIT S., TIMPAWAT S., VONGSAVAN N.
A comparison of techniques for assessemement of coronal dye leakage
J. Endod., 2002, 28 : 1-4

WU M.K., DE GEE A.J., WESSELINK P.R
Leakage of four root canal sealers at different thicknesses
Int. Endod. J., 1994, 27 : 304-8

WU M.K., DE GEE A.J., WESSELINK P.R.
Fluid transport and dye penetration along root canal fillings
Int. Endod. J., 1994, 27 : 233-38
WU M.K., DE GEE A.J., WESSELINK P.R., MOORER W.R.
Fluid transport and bacterial penetration along root canal fillings
Int. Endod. J., 1993, 26 : 203-8

WU M.K., FAN B., WESSELINK P.R.
Leakage along apical root fillings in curved root canals. Part 1: Effect of apical transportation on seal of root fillings
J. Endod., 2000, 26 : 210-6

WU M.K., KASTAKOVA A., WESSELINK P.R.
Quality of cold and warm gutta-percha fillings in oval canals in mandibular premolars
Int. Endod. J., 2001, 34 : 485-491

WU M.K., KONTAKIOTIS E.G., WESSELINK P.R.
Decoloration of 1% methylene blue solution in contact with dental fillings materials
J. Dent., 1998, 26 : 585-9

WU M.K., WESSELINK P.R.
Endodontic leakage studies reconsidered. Part 1: Methodology, application and relevance
Int. Endod. J., 1993, 26 : 37-43

WU M.K., WESSELINK P.R., BOERSMA J.
A 1-year follow-up study on leakage of four root canal sealers at different thicknesses
Int. Endod. J., 1995, 28 : 185-9

ZMENER O., DOMINGUEZ F.V.
Tissue response to a glass ionomer used as an endodontic cement
Oral surg., 1983, 56 : 198-205

ZMENER O., SPIELBERG C., LAMBERGHINI F., RUCCI M.
Sealing properties of a new epoxy resin-based root-canal sealer
Int. Endod. J., 1997, 30 : 332-4



CLAUDON (Olivier).- Etanchéité de ciments canalaires. Revue de littérature et expérimentation.

Nancy 2002 : 104 f.

Th. : Chir.-Dent. : Nancy : 2002

Mots-clés : Etanchéité
Ciments canalaires
Bleu de méthylène

CLAUDON (Olivier).- Etanchéité de ciments canalaires. Revue de littérature et expérimentation.

Th. : Chir.-Dent. : Nancy : 2002

Quarante dents extraites sont préparées selon la technique de rotation continue et obturées à l'aide d'un cône de gutta-percha calibré et de ciment endodontique. Quatre ciments différents sont testés par la même technique. Les percolations de colorant observées sont faibles. SEALAPEX donne les moins bons résultats, TOPSEAL et SEALITE sont plus étanches et ROEKO présente la meilleure herméticité dans le cadre de ce protocole. La technique expérimentale de mesure de l'étanchéité apicale est comparée aux données actuelles de la littérature sur le sujet.

JURY :	Président : M. PANIGHI	Professeur des Universités
	Juge : A. FONTAINE	Professeur 1 ^{er} Grade
	Juge : <u>B. JACQUOT</u>	Maître de Conférences
	Juge : O. IZAMBERT	Ex Assistant

ADRESSE DE L'AUTEUR :

Olivier CLAUDON
139 rue Jeanne D'Arc
54000 NANCY



FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

Jury : Président : M. PANIGHI – Professeur des Universités
Juges : A. FONTAINE – Professeur de 1^{er} Grade
B. JACQUOT – Maître de Conférences des Universités
O. IZAMBERT – Ex Assistant Hospitalier Universitaire



THESE POUR OBTENIR LE DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

présentée par: Monsieur CLAUDON Olivier

né(e) à: NANCY (Meurthe-et-Moselle)

le 18 Août 1976

et ayant pour titre : «Etanchéité apicale de ciments canalaire : revue de littérature et expérimentation»

Le Président du jury,

M. PANIGHI

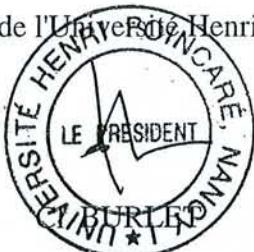
Le Doyen
de la Faculté de CHIRURGIE Dentaire
FACULTÉ DE CHIRURGIE Dentaire
96, av. de l'Université
Le Doyen
Pr. J.P. LOUIS

Le Doyen
Pr. J.P. LOUIS

Autorise à soutenir et imprimer la thèse

NANCY, le 27 mai 2002 n° 1366

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



UNIVERSITÉ HENRI POINCARÉ - NANCY 1
24-30, rue Léonard B.P.3069 54013 Nancy cedex

Télé: 83 32 81 81 Fax: 83 32 95 90

Adresse électronique : _____ @presn1.u-nancy.fr

CLAUDON (Olivier).- Etanchéité de ciments canalaires. Revue de littérature et expérimentation.

Nancy 2002 : 104 f.

Th. : Chir.-Dent. : Nancy : 2002

Mots-clés : Etanchéité

Ciments canalaires

Bleu de méthylène

CLAUDON (Olivier).- Etanchéité de ciments canalaires. Revue de littérature et expérimentation.

Th. : Chir.-Dent. : Nancy : 2002

Quarante dents extraites sont préparées selon la technique de rotation continue et obturées à l'aide d'un cône de gutta-percha calibré et de ciment endodontique. Quatre ciments différents sont testés par la même technique. Les percolations de colorant observées sont faibles. SEALAPEX donne les moins bons résultats, TOPSEAL et SEALITE sont plus étanches et ROEKO présente la meilleure herméticité dans le cadre de ce protocole. La technique expérimentale de mesure de l'étanchéité apicale est comparée aux données actuelles de la littérature sur le sujet.

JURY :	Président	: M. PANIGHI	Professeur des Universités
	Juge	: A. FONTAINE	Professeur 1 ^{er} Grade
	Juge	: <u>B. JACQUOT</u>	Maître de Conférences
	Juge	: O. IZAMBERT	Ex Assistant

ADRESSE DE L'AUTEUR :

Olivier CLAUDON
139 rue Jeanne D'Arc
54000 NANCY