



HAL
open science

L'obturation canalaire en endodontie : données actuelles

Théophile Messe

► **To cite this version:**

Théophile Messe. L'obturation canalaire en endodontie : données actuelles. Sciences du Vivant [q-bio]. 2023. hal-04517084

HAL Id: hal-04517084

<https://hal.univ-lorraine.fr/hal-04517084v1>

Submitted on 22 Mar 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



**UNIVERSITÉ
DE LORRAINE**

**BIBLIOTHÈQUES
UNIVERSITAIRES**

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 bibliothèque : ddoc-thesesexercice-contact@univ-lorraine.fr
(Cette adresse ne permet pas de contacter les auteurs)

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>

**ACADÉMIE DE NANCY-METZ
UNIVERSITÉ DE LORRAINE
FACULTÉ D'ODONTOLOGIE DE LORRAINE**

Année [2023]

N° [12850 C]

**THÈSE
POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE**

Présentée et soutenue publiquement le : 10 février 2023

par

**Théophile MESSE
Né le 06 avril 1996 à Nancy (Meurthe-et-Moselle)**

L'obturation canalaire en endodontie : données actuelles

Composition du jury :

Président :

Pr Éric MORTIER

Membres :

Dr Marin VINCENT

Dr Rémy BALTHAZARD

Dr Raphaël HAINOT

Directeur de thèse :

Dr Marin VINCENT

« 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 »

Présidente : Docteur Hélène BOULANGER

Doyen : Docteur Kazutoyo YASUKAWA

Vice-Doyens : Dr Charlène KICHENBRAND – Dr Rémy BALTHAZARD – Dr Mann VINCENT

Membres Honoraires : Dr L. BABEL – Pr. S. DURIVAUX – Pr A. FONTAINE – Pr G. JACQUART – Pr D. ROZENCWEIG - Pr ARTIS

Doyens Honoraires : Pr J. VADOT, Pr J.P. LOUIS

Département odontologie pédiatrique Sous-section 56-01	Mme	JAGER Stéphanie	Maître de conférences *
	M.	PREVOST Jacques	Maître de conférences
	Mme	HERNANDEZ Magali	Maître de conférences *
	M.	HAINOT Raphaël	Chef de clinique des universités – Assistant des hôpitaux
	Mme	HILT Léa	Chef de clinique des universités – Assistant des hôpitaux
	Mme	HOMBOURGER Morgane	Chef de clinique des universités – Assistant des hôpitaux
	M.	MASSON Maximilien	Chef de clinique des universités – Assistant des hôpitaux
Département orthopédie dento-faciale Sous-section 56-01	M.	VANDE VANNET Bart	Professeur des universités *
	Mme	DAMERDJI-BENHABIB Zaheira	Chef de clinique des universités – Assistant des hôpitaux ass. *
	M.	FAWAZ Paul	Chef de clinique des universités associé *
Département prévention, épidémiologie, économie de la santé, odontologie légale Sous-section 56-02	Mme	CLÉMENT Céline	Maître de conférences *
	M.	BAUDET Alexandre	Maître de conférences *
	Mme	CAIONE Mariette	Chef de clinique des universités – Assistant des hôpitaux
	M.	VEYNACHTER Thomas	Chef de clinique des universités – Assistant des hôpitaux*
Département parodontologie Sous-section 57-01	Mme	BISSON Catherine	Professeur des universités *
	M.	JOSEPH David	Maître de conférences *
	Mme	BERBE Ludivine	Chef de clinique des universités – Assistant des hôpitaux*
	Mme	VITALI Marine	Chef de clinique des universités – Assistant des hôpitaux
Département chirurgie orale Sous-section 57-01	Mme	GUILLET-THIBAUT Julie	Maître de conférences *
	M.	BRAVETTI Pierre	Maître de conférences
	Mme	KICHENBRAND Charlène	Maître de conférences *
	Mme	PHULPIN Bérengère	Maître de conférences *
	M.	CLERC Sébastien	Praticien hospitalier universitaire *
	Mme	BECKER Alice	Chef de clinique des universités – Assistant des hôpitaux
	Mme	PEREIRA Laure	Chef de clinique des universités – Assistant des hôpitaux
Département biologie orale Sous-section 57-01	Mme	EGLOFF-JURAS Claire	Maître de conférences *
	M.	MARTRETTE Jean-Marc	Professeur des universités *
	M.	YASUKAWA Kazutoyo	Maître de conférences *
Département dentisterie restauratrice, endodontie Sous-section 58-01	M.	MORTIER Éric	Professeur des universités *
	M.	ENGELS-DEUTSCH Marc	Professeur des universités *
	M.	AMORY Christophe	Maître de conférences
	M.	BALTHAZARD Rémy	Maître de conférences *
	M.	VINCENT Marin	Maître de conférences*
	M.	GIESS Renaud	Maître de conférences associé*
	M.	DAL MAGRO Claire	Chef de clinique des universités – Assistant des hôpitaux
	Mme	DAVRIL Jeanne	Chef de clinique des universités – Assistant des hôpitaux*
	M.	LESIEUR François	Chef de clinique des universités – Assistant des hôpitaux
Département prothèses Sous-section 58-01	M.	DE MARCH Pascal	Maître de conférences
	Mme	CORNE Pascale	Maître de conférences *
	M.	SCHOUVER Jacques	Maître de conférences
	Mme	VAILLANT Anne-Sophie	Maître de conférences *
	M.	HIRTZ Pierre	Enseignant universitaire
	Mme	GERBER Caroline	Chef de clinique des universités – Assistant des hôpitaux*
	M.	JONVEAUX Maxime	Chef de clinique des universités – Assistant des hôpitaux
	Mme	MOUGEL Armande	Chef de clinique des universités – Assistant des hôpitaux
	M.	PERRIN Tom	Chef de clinique des universités – Assistant des hôpitaux
	M.	SYDA Paul-Marie	Chef de clinique des universités – Assistant des hôpitaux
Département fonction-dysfonction, imagerie, biomatériaux Sous-section 58-01	Mme	STRAZIELLE Catherine	Professeur des universités *
	Mme	MOBY (STUTZMANN) Vanessa	Maître de conférences *
	M.	SALOMON Jean-Pierre	Maître de conférences

Souligné : responsable de département

* temps plein

Mis à jour le 07 novembre 2022

Remerciements aux membres du jury

À notre président,

Monsieur le Professeur Éric MORTIER

Docteur en chirurgie dentaire

Docteur de l'université Henri Poincaré en physique-chimie de la matière et des matériaux

Habilité à diriger des recherches

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier

Responsable du département de dentisterie restauratrice, endodontie

Chef du service d'odontologie du CHRU de Nancy

Nous vous remercions de l'honneur que vous nous faites en
présidant le jury de notre thèse.

Vous avez su nous transmettre, à travers votre pédagogie
ainsi que votre rigueur, votre passion de la dentisterie.

Veillez trouver ici l'expression de notre gratitude et de notre
sincère considération.

À notre directeur de thèse,

Monsieur le Docteur Marin VINCENT

Docteur en chirurgie dentaire

Maître de Conférences – Praticien Hospitalier

Docteur de l'université de Lorraine en mécanique et énergétique

Vice-doyen de la faculté d'odontologie de Lorraine

Nous vous sommes profondément reconnaissant d'avoir
accepté la direction de cette thèse et de la confiance que
vous nous avez accordée.

Ce travail n'aurait pas été possible sans votre exigence,
votre pédagogie et également votre sympathie.

Pour cela, et pour notre externat en odontologie
conservatrice, nous tenons à vous exprimer toute notre
gratitude.

À notre juge,

Monsieur le Docteur Rémy BALTHAZARD

Docteur en chirurgie dentaire

Docteur de l'université de Lorraine en sciences des matériaux

Lauréat de l'académie nationale de chirurgie dentaire

Maître de Conférences – Praticien Hospitalier

Vice-Doyen de la faculté d'odontologie de Lorraine

Nous vous remercions sincèrement de votre présence
dans notre jury.

Nous portons une grande estime à votre
investissement auprès des étudiants et à la
pédagogie dont vous avez su faire preuve durant nos
années d'externat.

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

À notre juge,

Monsieur le Docteur Raphaël Hainot

Docteur en chirurgie dentaire

Chef de clinique des Universités – Assistant des hôpitaux

Nous sommes très honoré de votre présence dans
notre jury.

Votre bienveillance, votre sympathie et votre soutien
ont su nous guider jusqu'à ce jour.

Nous tenons à vous exprimer notre reconnaissance et
notre profonde estime.

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction

1. Problématique de l'obturation en endodontie

- 1.1 Objectifs de l'obturation canalaire
- 1.2 Isolation de la dent et mise en forme
- 1.3 Protocole d'irrigation final
- 1.4 Obturation coronaire

2. Matériaux et systèmes d'obturation

- 2.1 Matériaux
- 2.2 Systèmes d'obturation

3. Comparaison des différents systèmes d'obturation

- 3.1 Cahier des charges
- 3.2 Revue de littérature et comparaison des différentes techniques

4. Synthèse et discussion

- 4.1 Tableau synthétique
- 4.2 Discussion des résultats
- 4.3 Proposition d'un protocole clinique

Conclusion

Bibliographie

Références en ligne

Table des matières

Liste des figures

Figure 1 : L'utilisation de la digue permet de rétracter les tissus mous et d'empêcher l'apparition de condensation sur le miroir (Source : document personnel).	17
Figure 2 : Exemple de séquence de limes mécanisées en rotation continue (Source : Dentsply Sirona).....	19
Figure 3 : Exemple de lime unique mécanisée en réciprocity (Source : Dentsply Sirona).	19
Figure 4 : Complexe canalaire d'une première molaire mandibulaire (Source Harris et coll., 2013).....	20
Figure 5 : Dent n°25 : les ramifications apicales ont été efficacement nettoyées grâce à l'utilisation d'hypochlorite de sodium (Source : document personnel).	21
Figure 6 : Exemple d'activateur sonore passif, EndoActivator (Dentsply Sirona) (Source : Henry Schein).	23
Figure 7 : Exemple d'activateur ultrasonique passif, EndoUltra (Micro-Mega) (Source : Henry Schein).	23
Figure 8 : Exemple d'une incisive centrale dont la cavité d'accès endodontique a été obturée avec une résine composite (Source : Dr A.Bordone).	25
Figure 9 : En cas de délabrement trop important de la dent, il faut envisager un ancrage radiculaire afin de supporter la couronne dentaire (Source : Taha et Messer 2016).....	26
Figure 10 : Exemple d'un onlay en céramique recouvrant une cuspidé (Source : Dr V. Thomas-Elkaim).	26
Figure 11 : Les cônes de gutta-percha normalisés ont une conicité et un diamètre apical définis répondant à la norme ISO 6876 (source : FKG).	28
Figure 12 : Exemple de ciment de scellement canalaire à base d'oxyde de zinc eugénol, Pulp Canal Sealer (Source : Kerr).	30
Figure 13 : Ciment à base de résine époxy en seringue auto-mélangeante, MM Seal (Source : Micro-Mega).....	32
Figure 14 : Exemple de ciments contenant de l'hydroxyde de calcium, Sealapex (Source : Kerr).....	33

Figure 15 : Présentation des ciments biocéramiques, à gauche en seringue TotalFill® BC sealer™, à droite poudre/liquide à mélanger BioRoot™ RCS (Sources : FKG et Septodont).....	36
Figure 16 : Exemple de ciment à base de silicone, ici dans une seringue auto-mélangeuse et avec adjonction de microparticules de gutta-percha, Guttaflow® 2 de ROEKO (Source : Coltène).	38
Figure 17 : Correspondance entre la dernière lime utilisée et le cône unique d'obturation (Source : Whitworth 2005).....	41
Figure 18 : Technique de condensation latérale : (a) le canal est mis en forme ; (b) essayage du <i>spreader</i> à la LT moins 1 mm ; (c) insertion du maître-cône ; (d) insertion du <i>spreader</i> et application de la force verticale ; (e-h) condensation latérale et mise en place de cônes accessoires (Source : Gopikrishna et Grossman 2021).	43
Figure 19 : Schéma expliquant la différence entre les techniques à froid et les techniques thermoplastiques : (a) obturation obsolète, au ciment uniquement ; (b) obturation mono-cône ; (c) obturation avec condensation latérale à froid ; (d) obturation thermoplastique (Source : Whitworth 2005)	44
Figure 20 : Exemple d'un thermocompacteur, Revo Condensor®, et son profil en lime H inversé (Source : Micro-Méga).	45
Figure 21 : Protocole de la technique d'obturation par compactage thermomécanique (Source : Les Dossiers de l'ADF 2003)	46
Figure 22 : Exemples d'obturateurs à tuteurs et fours. De gauche à droite : HEROfill® de MicroMega et Thermafil® de Dentsply Sirona (Sources : Micro-Mega et Henry Schein).	48
Figure 23 : Exemple de <i>verifiers</i> Thermafil® de différents diamètres (Source : Henry Schein).	48
Figure 24 : Obturation endodontique à l'aide de la technique à tuteur. (a) vérification du canal avec le verifier ; (b) insertion de l'obturateur chauffé jusqu'à la LT et maintenu en position ; (c) le manche est séparé du reste du tuteur (Source : Whitworth 2005).	49
Figure 25 : Systèmes d'obturation par vague de chaleur et leur embout fouloir. De gauche à droite : SuperEndo™ Alpha II par B&L et System B™ par Synbronendo (Sources : Bisico et Kerr).	51

Figure 26 : Condensation verticale à chaud, downpacking. (a) mise en place du fouloir centré, condensation continue de la gutta-percha et maintien de la force vertical lors du refroidissement ; (b) retrait du fouloir après l'impulsion de chaleur ; (c) fin de l'étape de downpacking, le bouchon apical est en place sur 3,5 à 4,5 mm (Source : Whitworth 2005).	52
Figure 27 : Exemples de système d'injection de gutta-percha chaude. De droite à gauche : Obtura® III et SuperEndo® Beta (Sources : Dentaltix et Bisico).	54
Figure 28 : Activation du maître cône en utilisant des ultrasons (Source : Kim et coll. 2018).	56
Figure 29 : Schéma de l'expérience de percolation bactérienne (Source : Hwang et coll. 2015).	61
Figure 30 : Une partie des résultats de l'observation au microscope confocal à balayage laser. (A) Contrôle positif, canal non obturé, percolation bactérienne complète ; (B) Contrôle négatif, canal obturé et apex scellé avec du vernis à ongles, absence totale de bactérie (Source Hwang et coll. 2015).	61
Figure 31 : Représentation schématique des différents niveaux de pénétration de colorant (Source : Mathur et coll. 2015).	63
Figure 32 : Schéma illustrant la méthode de filtration liquidienne (Source : Oruçoğlu et coll. 2005).	64
Figure 33 : Représentation schématique du modèle de simulation en plastiques (Source : Wolf et coll. 2021).	65
Figure 34 : Dents décalcifiées et déshydratées permettant l'observation du complexe endo-canalair obturé (Source : Barbosa et coll. 2009).	65
Figure 35 : Images obtenues avec la technique de la microscopie à fluorescence (1a) et du microscope optique associé (2a) (Source : Pérez-Alfayate et coll. 2021).	67
Figure 36 : Image obtenue au microscope à balayage électronique de l'interface dentine-ciment de scellement (Source : Migliau et coll. 2022).	68
Figure 37 : Image obtenue grâce à la tomographie par rayon X d'une dent obturée (Source : Li et coll. 2014).	68

Figure 38 : Schéma représentant le test de résistance à la pression. (a) cylindre de dentine radulaire ; (b) cylindre exerçant la pression ; (c) obturation canalair (Source : Ungor et coll. 2006)..... 69

Figure 39 : Vue en coupe grâce au modèle de l'obturation du tiers apical. À gauche : technique par injection ; à droite : technique par condensation verticale à chaud (Source : Natera et coll., 2011). 75

Liste des tableaux

Tableau 1 : Propriétés des familles de ciment de scellement et d'obturation canalaire.	40
Tableau 2 : Avantages et inconvénients des différentes techniques d'obturation canalaire.....	59
Tableau 3 : Synthèse des articles comparant les techniques d'obturation.	83

Liste des abréviations

MTA : *Mineral trioxide aggregate*

PGFA : Pourcentage de remplissage en gutta-percha

PGSA : Pourcentage de remplissage de l'obturation en ciment

Introduction

Le traitement endodontique est un acte majeur et commun en dentisterie. L'objectif d'un traitement endodontique est de désinfecter, mettre en forme et obturer hermétiquement le complexe endo-canalair afin d'empêcher les bactéries de coloniser le tissu péri-apical. Ainsi, l'ultime étape du traitement endodontique est l'obturation canalair. Historiquement, les échecs en endodontie sont associés à une mauvaise obturation canalair (Chybowski et coll. 2018). Il apparaît donc fondamental que l'obturation canalair soit la plus parfaite possible.

De nombreux matériaux ont été développés afin de solutionner des problèmes cliniques liés aux corps d'obturation et aux ciments endodontiques. Si certains matériaux ont apporté de nouvelles perspectives, d'autres se sont révélés insatisfaisants.

Les techniques d'obturation ont également beaucoup évolué à travers le temps. Certaines méthodes éprouvées par le temps tendent à être remplacées par des techniques plus simples d'utilisation et plus efficaces. Cependant, il est intéressant de se questionner sur l'efficience de ces techniques d'obturation canalair.

L'analyse et la comparaison entre les différentes techniques d'obturation va nous permettre de mieux comprendre les avantages et les limites de chaque technique.

1. Problématique de l'obturation en endodontie

1.1 Objectifs de l'obturation canalaire

La parodontite apicale est une maladie infectieuse liée à la colonisation du système endo-canalaire par des bactéries (Siqueira et Rôças 2008).

La réalisation d'un traitement endodontique a pour but la désinfection du système endo-canalaire de la dent de manière à ce que les tissus péri-apicaux ne soient plus vulnérables face aux attaques du microbiote de la dent (Tomson et Simon 2016).

Cette désinfection du système endo-canalaire passe par le nettoyage, la mise en forme ainsi que l'irrigation (Cwikla et coll., 2005).

Ainsi, l'obturation canalaire étant l'ultime étape du traitement endodontique, elle se doit de pérenniser le travail réalisé, de prévenir tout risque de réinfection en comblant de la façon la plus intime possible l'anatomie tridimensionnelle du canal préalablement préparé (HAS, 2008).

1.2 Isolation de la dent et mise en forme

1.2.1 Isolation de la dent

L'utilisation de la digue en latex lors d'acte de dentisterie a été initiée par le Dr S.C. Barnum en 1864.

La digue dentaire est un prérequis à tout acte de dentisterie conservatrice et spécialement pour les actes liés à l'endodontie. De plus, elle est reconnue comme un standard lors du traitement endodontique par de nombreuses instances professionnelles (Gopikrishna et Grossman 2021) (HAS,2008).

Cette recommandation a été établie pour la première fois en 1923, par la *First District Dental Society*.

La digue dentaire va simplifier la procédure lors du traitement endodontique pour les raisons suivantes (Ahmad 2009) :

- L'accès au site opératoire est plus aisé en écartant les tissus mous ;
- La visibilité du site opératoire est augmentée (Figure 1) ;
- La facilitation du déroulement technique de l'acte, spécialement lors du travail à 4 mains ;
- Le patient garde la bouche ouverte et peut difficilement parler ;
- L'utilisation d'hypochlorite de sodium entraîne moins de désagrément pour le patient, car il y a moins d'écoulement d'irrigant dans la cavité buccale.

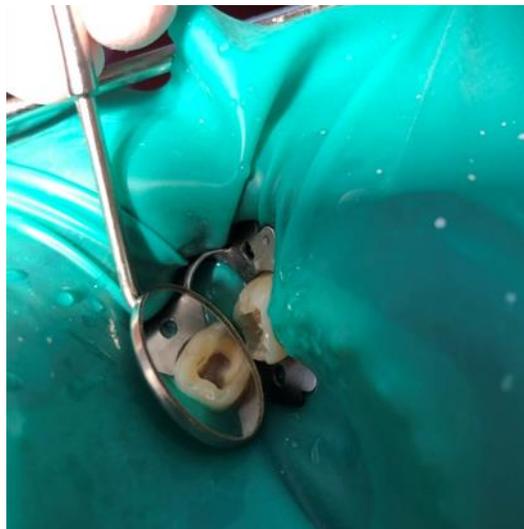


Figure 1 : L'utilisation de la digue permet de rétracter les tissus mous et d'empêcher l'apparition de condensation sur le miroir (Source : document personnel).

L'isolation de la dent par l'utilisation de la digue dentaire permet de limiter d'au moins 70% la part de salive présente dans les aérosols. Un avantage indéniable au vu de la crise sanitaire liée au COVID-19, car l'isolation de la dent diminue le risque d'infection par aérosol pour le praticien (Seron et coll., 2020).

Le champ opératoire permet également de protéger le patient du risque d'ingestion ou d'inhalation accidentel d'instrument. De plus, sa non-utilisation aura des impacts négatifs sur les suites opératoires, notamment avec l'utilisation d'un irrigant non recommandé (Ahmad 2009).

Le rôle majeur des bactéries de la sphère orale dans l'étiologie des parodontopathies apicales est depuis longtemps établi (Fabricius et coll., 1982). De plus, l'utilisation de digue dentaire va permettre d'isoler la cavité d'accès endodontique des fluides oraux.

D'après Van Nieuwenhuysen et coll. (1994), l'utilisation de la digue dentaire est liée à un meilleur pronostic lors d'un retraitement endodontique au même titre que la technique d'obturation et le bon scellement apical. Cependant, il existe peu d'études comparatives car il n'est pas éthiquement possible de réaliser des traitements endodontiques sans digue dentaire. D'après Accorinte et coll.(2006), la non-utilisation de la digue dentaire lors d'un coiffage pulpaire entraîne un moins bon pronostic en lien avec l'invasion bactérienne intervenant pendant le traitement. La digue va donc limiter l'invasion bactérienne du site opératoire.

1.2.2 La mise en forme

La mise en forme canalaire intervient après l'étape de cathétérisme initial. Les principes biologiques et mécaniques de la mise en forme canalaire proposés par Schilder (1974) sont :

- l'élimination de tissu pulpaire et des irritants ;
- la préservation du trajet initial du canal ;
- la préservation des structures apicales ;
- l'aménagement d'une conicité majorée et régulière.

Pour répondre à ces objectifs, la mise en forme du canal est obtenue grâce à l'utilisation de limes endodontiques manuelles et mécanisées (Figures 2 et 3). Les instruments mécanisés peuvent être organisés en séquence (Figure 2) ou en instrument unique (Figure 3). De plus, ces instruments présentent des dynamiques opératoires différentes. Les deux dynamiques les plus représentées sont la rotation continue et la réciprocité.



Figure 2 : Exemple de séquence de limes mécanisées en rotation continue
(Source : Dentsply Sirona).



Figure 3 : Exemple de lime unique mécanisée en réciprocity (Source : Dentsply Sirona).

L'utilisation de limes mécanisées va permettre de :

- baisser significativement la charge bactérienne dans le complexe endo-canaire (Byström et Sundqvist 1981) ;
- moins dévier la trajectoire canalaire grâce à leur alliage nickel-titane que lors d'une mise en forme à l'aide de limes manuelles en acier inoxydable (Peralta-Mamani et coll., 2019) ;

- gagner un temps significatif par rapport à l'instrumentation manuelle (Schafer et coll., 2004 ; Peralta-Mamani et coll., 2019) ;
- permettre une mise en forme canalaire optimale (Peralta-Mamani et coll. 2019) ;
- permettre une mise en forme canalaire plus reproductible (Peters et coll. 2004).

Cependant, malgré le travail de mise en forme, certaines zones restent non travaillées, spécialement dans le tiers apical (Schafer et Lohmann 2002) (Figure 4). La mise en forme canalaire permettra cependant aux solutions d'irrigation d'accéder à ces zones non travaillées pour réaliser une détersion chimique.

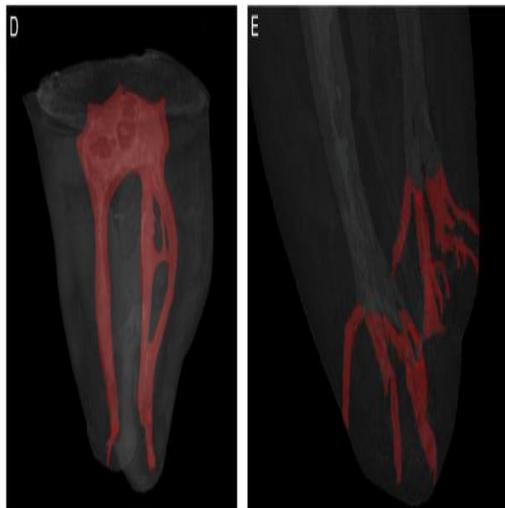


Figure 4 : Complexe canalaire d'une première molaire mandibulaire
(Source Harris et coll., 2013).

Enfin, la mise en forme canalaire génère de la boue dentinaire. Cette dernière est un mélange de dentine, de résidus de pulpe (vitale ou nécrosée), de bactéries et même d'irrigant. Cette boue dentinaire doit être éliminée afin de ne pas créer de bouchon au sein du système canalaire (Schafer et Lohmann, 2002 ; Peralta-Mamani et coll., 2019). L'utilisation de solution d'irrigation tout au long de l'acte endodontique permettra donc, en plus de son rôle principal de désinfection du complexe endo-canalaire, d'éviter certains aléas thérapeutiques tels que des butées ou fausses routes.

1.3 Protocole d'irrigation final

Après la mise en forme canalaire, des bactéries persistent et peuvent mettre en péril la pérennité du traitement endodontique (Vieira et coll., 2012). L'irrigation continue est donc indispensable pour le succès du traitement endodontique. En effet, seul l'irrigation peut venir désinfecter des zones non travaillées après la mise en forme canalaire (Figure 5).



Figure 5 : Dent n°25 : les ramifications apicales ont été efficacement nettoyées grâce à l'utilisation d'hypochlorite de sodium (Source : document personnel).

L'irrigant doit remplir un cahier des charges complexe (Jena et coll., 2015) :

- Il doit avoir une action antimicrobienne sur un large spectre de bactéries ;
- Il doit faciliter l'élimination des résidus de tissus pulpaire ;
- Il doit faire remonter les débris en dehors du canal ;
- Il doit être biocompatible et non toxique ;
- Il doit éliminer la boue dentinaire ;
- Il doit jouer un rôle de lubrifiant tout en ayant la capacité à aller dans les zones non-accessibles aux instruments canaux.

Cependant, aucun irriguant ne remplit complètement ce cahier des charges (Jena et coll., 2015).

L'hypochlorite de sodium est considéré comme le *gold standard* pour l'irrigation canalaire grâce à son action avérée contre les biofilms et sa faculté à dissoudre les éléments organiques (Zehnder 2006). Nous l'utilisons comme un solvant organique.

L'EDTA (acide éthylène diamine tétra acétique) a quant à lui une action sur les matières minérales, c'est un solvant minéral, indépendamment du temps d'application et de la concentration utilisée (Bosaid et coll., 2020).

L'EDTA a une action prouvée sur l'élimination de la boue dentinaire (Zehnder et coll., 2005) et va permettre une meilleure pénétration du ciment de scellement dans les canalicules dentinaires (Morago et coll., 2019).

Après la fin de la phase de préparation canalaire vient l'étape d'irrigation finale. Lors de cette phase, nous allons chercher à maximiser l'effet des irrigants.

Protocole d'irrigation final :

1. Irrigation à l'EDTA 1 mL / canal avec une activation pendant 1 minute / canal.

Après son application, il faut bien rincer et sécher le canal car il existe une interférence entre l'EDTA et l'hypochlorite de sodium. En effet, l'EDTA interagit avec l'hypochlorite de sodium en inhibant mutuellement leur action (Zehnder et coll., 2005).

2. Irrigation à l'hypochlorite de sodium 1 mL / canal avec une activation pendant 1 minute / canal.

Après l'application de l'EDTA, un dernier rinçage à l'hypochlorite de sodium a un effet bénéfique (Yamada et coll., 1983). Il est possible d'activer la solution pour une plus grande efficacité (Caron et coll., 2010).

Il existe différentes méthodes pour activer la solution d'hypochlorite de sodium :

- Technique infrasonore : il est possible d'utiliser un cône de gutta-percha et faire des mouvements de va-et-vient pour produire un effet de pompage dans le canal,

c'est l'activation manuelle. Cette activation manuelle entraîne une meilleure élimination des débris par rapport à la non-activation (Caron et coll., 2010).

- Technique sonore : il est possible d'utiliser un système d'activation sonore passive (Figure 6).



Figure 6 : Exemple d'activateur sonore passif, EndoActivator (Dentsply Sirona)
(Source : Henry Schein).

- Technique ultrasonique : il est possible d'utiliser un système d'activation ultrasonique passif (Figure 7).



Figure 7 : Exemple d'activateur ultrasonique passif, EndoUltra (Micro-Mega)
(Source : Henry Schein).

Lors de l'utilisation d'activateur ultrasonique, il est préférable d'activer la solution en deux temps par rapport à une activation complète en un temps (van der Sluis et coll., 2009). En effet lors de l'activation en deux temps, le renouvellement d'irrigant entre les deux temps d'activation permet de dissoudre et de détacher les débris restants sur les

parois canalaires. De plus, lors de l'utilisation en flux intermittent, l'activation ultrasonore entraîne une élévation de la température de l'hypochlorite de sodium. Cette élévation de température, augmente la dissolution des tissus organiques et influence les mouvements liquidiens.

Ces 3 méthodes donnent des résultats partagés au niveau de la littérature. Il semble que les activations sonique et manuelle avec un cône de gutta-percha produisent les mêmes bénéfices (Caron et coll., 2010). De même, il semble que l'activation passive ultrasonique permet un meilleur nettoyage canalair que l'activation passive sonique pour un temps d'application de seulement 30 secondes par canal (Sabins et coll., 2003 ; Stamos et coll., 1987). L'étude de Wiese et col. (2018) a également permis de montrer que l'activation ultrasonique était supérieure à l'activation sonique en termes de force d'adhérence, d'interface avec la dentine radiculaire et de pénétration intratubulaire du ciment endodontique (Wiese et col. 2018).

Il existe également une technique reposant sur le principe de pression négative qui se veut de limiter le risque de projection d'hypochlorite au-delà du foramen apical (Tomson et Simon 2016). Cependant, lors de l'insertion de l'instrument sans blocage à 2-3 mm de la longueur de travail (LT), le flux d'irrigant ne dépasse pas apicalement de 3 mm la pointe de l'instrument (Malki et coll., 2012).

1.4 Obturation coronaire

Une dent ayant subi un traitement endodontique est une dent présentant une moins grande longévité par rapport à une dent à pulpe vitale (Lazarski et coll., 2001).

La dent est fragilisée par le traitement endodontique, mais surtout par l'éviction carieuse et la réalisation de la cavité d'accès endodontique qui vont entraîner une perte tissulaire non négligeable. L'obturation coronaire de la dent aura alors pour but de minimiser la percolation bactérienne et de renforcer la dent, faisant ainsi diminuer le risque de fracture de cette dernière (Taha et Messer 2016).

Le choix de l'obturation coronaire d'une dent va dépendre de sa situation clinique :

- Pour les dents ayant subi un traumatisme sans fracture, une simple obturation de la cavité d'accès endodontique avec une résine composite est indiquée (Taha et Messer 2016) (Figure 8).



Figure 8 : Exemple d'une incisive centrale dont la cavité d'accès endodontique a été obturée avec une résine composite (Source : Dr A.Bordone).

- Pour les dents antérieures, la résine composite est la solution de choix pour l'obturation coronaire. Dans le cas où la dent présente une trop importante perte de substance, il est préférable de réaliser une couronne céramo-céramique qui va souvent demander une moindre préparation et ainsi conserver plus de tissu dentaire. De plus, cette dernière peut être collée et elle est plus esthétique qu'une couronne céramo-métallique (Mannocci et Cowie, 2014) (Figure 9).



Figure 9 : En cas de délabrement trop important de la dent, il faut envisager un ancrage radiculaire afin de supporter la couronne dentaire (Source : Taha et Messer 2016).

- Pour les dents postérieures, la résine composite est indiquée uniquement en cas de cavité occlusale pure. Pour les pertes tissulaires plus importantes, il faudra préférer une restauration indirecte de type onlay/inlay (Figure 10) ou une couronne. Il est d'usage d'utiliser un ciment verre ionomère ou une résine composite pour venir sceller les entrées canalaire et réaliser le fond de cavité (Mannocci et Cowie 2014).



Figure 10 : Exemple d'un onlay en céramique recouvrant une cuspidé (Source : Dr V. Thomas-Elkaim).

2. Matériaux et systèmes d'obturation

2.1 Matériaux

2.1.1 Corps d'obturation

Le matériau d'obturation idéal doit (Grossman 1988) :

- être imperméable à l'humidité ;
- ne pas se rétracter après insertion ;
- être facilement inséré dans le canal ;
- sceller le canal latéralement et jusqu'à l'apex ;
- être bactéricide ou bactériostatique ;
- ne pas colorer les tissus dentaires ;
- être radio-opaque ;
- ne pas être irritant ou agressant pour les tissus péri-apicaux et les structures dentaires ;
- être facilement stérilisable ou être stérile ;
- avoir des solvants en cas de nécessité de reprise de traitement.

Actuellement, il n'existe pas de matériaux qui remplissent pleinement ce cahier des charges.

- Gutta-Percha

La gutta-percha est un dérivé du latex communément utilisé en endodontie. Elle est généralement composée à 75 % d'oxyde de zinc et de 20 % de gutta-percha. Les autres ingrédients sont des agents colorants, radio-opacifiants et collants (Gatewood 2007).

On retrouve la gutta-percha sous forme de cônes non normalisés ou normalisés suivant les normes de l'*International Organization of Standardization* (ISO 6876) (Figure 11).

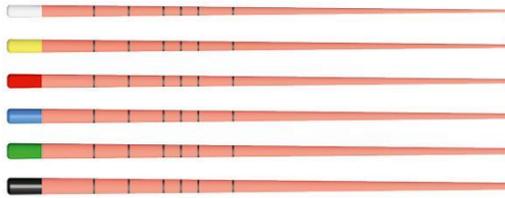


Figure 11 : Les cônes de gutta-percha normalisés ont une conicité et un diamètre apical définis répondant à la norme ISO 6876 (source : FKG).

Bien que les cônes soient normalisés, ils existent des différences importantes en forme et diamètre (Cunningham et coll. 2006). C'est pourquoi il est important de toujours vérifier la similitude de calibre apical entre la lime apicale maîtresse et le maître cône.

La gutta-percha présente plusieurs avantages :

- Il est possible de stériliser à froid un cône de gutta-percha en le trempant au moins 30 secondes dans une solution d'hypochlorite de sodium d'une concentration de 5,25 % (Senia et coll. 1975) ;
- La gutta-percha possède une bonne biocompatibilité (Mitchell 1959) (Sjögren et coll. 1995 ; Hauman et Love 2003) ainsi qu'une bonne étanchéité aux fluides (Yildirim et coll. 2016) ;
- La gutta-percha est facile à manipuler, même pour obturer des canaux complexes. De plus, cette dernière est facile à retirer d'un canal lors d'une désobturation canalaire (Mahmoud et coll. 2016) ;
- La gutta-percha est thermoplastifiable et peut donc bien s'adapter à l'anatomie canalaire. Toutefois, elle ne possède aucune propriété adhésive, c'est pourquoi il est nécessaire d'utiliser un ciment de scellement canalaire en complément (Gatewood 2007). Cependant, les ciments de scellement canalaire ne doivent pas être utilisés pour du remplissage canalaire, contrairement aux familles plus récentes de ciment d'obturation canalaire (de type biocéramique).

- Autres

Historiquement, des matériaux alternatifs utilisés comme corps d'obturation sont apparus au fil des années, tels que les cônes d'argent ou encore des polyesters synthétiques à base de polymères résineux (Mahmoud et coll. 2016). Cependant, ces matériaux n'apportaient aucunes solutions supplémentaires par rapport à la gutta-percha. La gutta-percha reste donc à ce jour le *gold standard* des corps d'obturation endodontique.

2.1.2 Ciments de scellement et d'obturation canalaire

D'après son cahier des charges, un ciment canalaire doit (Grossman 1988) :

- réaliser un scellement hermétique ;
- avoir des propriétés adhésives entre la dentine et le corps d'obturation ;
- être radio opaque ;
- être stable dans le temps, insoluble par les fluides physiologiques ;
- être bactériostatique ou bactéricide ;
- avoir un temps de prise suffisamment long pour l'obturation ;
- être biocompatible et préférentiellement bioactif, il doit induire une formation d'hydroxyapatite au contact du tissu péri-dentaire.

Il existe de nombreux ciments canalaires, nous allons ici les catégoriser par composition.

- Ciment de scellement canalaire à base d'oxyde de zinc eugénol

Le ciment à base d'oxyde de zinc eugénol (Figure 12) est le ciment de scellement canalaire le plus communément utilisé en endodontie. Les différents ciments à base d'oxyde de zinc eugénol commercialisés aujourd'hui sont issus de la formule de Grossman initialement décrite ainsi :

- Poudre : oxyde de zinc, 42 parts ; résine de colophane pour le temps de prise ainsi que la consistance, 27 parts ; sous-carbonate de bismuth, 15 parts ; sulfate de baryum pour la radio-opacité, 15 parts ; borate de sodium, 1 part.
- Liquide : eugénol.



Figure 12 : Exemple de ciment de scellement canalaire à base d'oxyde de zinc eugénol, Pulp Canal Sealer (Source : Kerr).

Très utilisés en endodontie, les ciments à base d'oxyde de zinc eugénol présentent des avantages :

- facilité d'utilisation, sous la forme de poudre liquide avec une gestion aisée de la fluidité du ciment ;
- activité antibactérienne (Willershausen et coll., 2011) ;
- faible coût ;
- temps de travail long ;
- bonne adhésion au cône de gutta-percha (Lee et coll. 2002) ;
- effet anti-inflammatoire lié à l'eugénol (Markowitz et coll. 1992).

Mais les ciments eugénates présentent également des désavantages :

- une moins bonne biocompatibilité liée à la présence d'eugénol (Willershausen et coll., 2011 ; Markowitz et coll. 1992) ;
- une faible adhésion aux tissus péri-canalaires (Lee et coll. 2002 ; Fisher et coll. 2007) ;
- une étanchéité moindre à long terme (Bouillaguet et coll. 2008).

Il existe également des ciments à base d'oxyde de zinc eugénol dans lesquels ont été rajoutés des ingrédients à but thérapeutique, comme le ciment CRCS® (Hygenic· Akron, États-Unis) ou le ciment Bioseal® (OGNA, Muggio, Italie) avec un ajout d'hydroxyapatite. Cependant, aucun effet thérapeutique supplémentaire n'a été rapporté (Komabayashi et coll. 2020).

- Ciment de scellement canalair à base résineuse

Il existe différents ciments de scellement à base résineuse. Le plus utilisé est le ciment à base de résine époxy (Torabinejad et coll. 2016). Les ciments résineux à base bakélite ne sont plus utilisés (Commission des dispositifs médicaux de l'Association Dentaire Française 2014).

Il existe également les ciments à base méthacrylate (Epiphany®, Metaseal®). Ces ciments ne présentent pas d'intérêts majeurs par rapport aux autres ciments de scellement (Kim et coll. 2010). Ces ciments s'utilisent en association avec le corps d'obturation, Resilion® (Resilon Research, Madison, États-Unis), à base de polymères résineux contenant notamment de la résine méthacrylate. L'objectif avec l'utilisation conjointe du Resilion®, est de former une unité monobloc afin d'obturer le complexe endo-canalair (Torabinejad et coll. 2016) Cependant, il n'existe pas d'étude avec un recul clinique suffisant permettant de démontrer la supériorité du Résilion® par rapport à la gutta-percha (Gopikrishna et Grossman 2021). De plus, l'obturation avec un ciment à base méthacrylate combiné au Resilion®, est dure et insoluble, rendant la réalisation du retraitement endodontique très complexe.

Le premier ciment à base de résine époxy a été développé dans les années 1940, c'est le ciment AH 26[®]. En 1993, Spångberg et ses collaborateurs ont prouvé que le ciment AH 26[®] libérait du formaldéhyde, nocif pour l'organisme (Spångberg et coll. 1993). En effet, le formaldéhyde entraîne la nécrose des tissus environnants même en faible quantité. L'évolution se fait par la suite avec le ciment AHplus[®] (Dentsply, Constance, Allemagne), ne libérant pas de formaldéhyde. Les ciments à base de résine époxy peuvent être présentés sous forme de mélange pâte-pâte ou en seringue auto-mélangeante (Figure 13).



Figure 13 : Ciment à base de résine époxy en seringue auto-mélangeante, MM Seal (Source : Micro-Mega).

Ces ciments sont composés de résine époxy de bas poids moléculaire et d'amines, formant lors de la réaction de prise un polymère de résine époxy et d'amine (Komabayashi et coll. 2020).

Ces derniers présentent de nombreux avantages :

- une facilité d'utilisation spécialement en seringue auto-mélangeante ;
- un bon effet antibactérien (Rosa et coll. 2022 ; Saavedra et coll. 2022 ; Mohammadi et Dummer 2011) ;
- un temps de prise long, 8 heures pour le ciment AHPlus[®] (Tanomaru-Filho et coll. 2017) ;
- une bonne force d'adhésion avec la dentine péri-canalair (De-Deus et coll. 2017 ; Franceschini et coll. 2016) ;
- une excellente biocompatibilité (Willershausen et coll. 2011) ;

- une meilleure étanchéité à long terme par rapport au ciment à base d'oxyde de zinc eugénole (Bouillaguet et coll. 2008 ; Tanomaru-Filho et coll. 2017) ;
- une faible solubilité dans l'eau (Flores et coll. 2011; Faria-Júnior et coll. 2013) ;
- une bonne stabilité tridimensionnelle (Tanomaru-Filho et coll. 2017).

Ils présentent également des inconvénients :

- pas d'adhésion avec la gutta-percha (Tay et coll. 2005) ;
- un coût élevé ;
- une moins bonne étanchéité à long terme par rapport aux ciments d'obturation (Bouillaguet et coll. 2008 ; Komabayashi et coll. 2020) ;
- une difficulté de désobturation (Arul et coll. 2021).

- Ciment contenant de l'hydroxyde de calcium

Les ciments contenant de l'hydroxyde de calcium ont été commercialisés pour tirer profit de la biocompatibilité, de l'action ostéogénique et cimentogénique ainsi que de l'effet antimicrobien de l'hydroxyde de calcium (Gopikrishna et Grossman 2021 ; Paula-Silva et coll. 2010). Les effets thérapeutiques de l'hydroxyde de calcium sont possibles grâce à une dissociation en ions hydroxyles et ions calciums. Ces ciments se présentent sous forme de mélange pâte-pâte ou en seringue auto-mélangeante (Figure 14).



Figure 14 : Exemple de ciments contenant de l'hydroxyde de calcium, Sealapex (Source : Kerr).

Ces ciments présentent des avantages :

- une action antibactérienne bonne grâce à un pH élevé (Faria-Júnior et coll. 2013 ; Zhang et coll. 2009) ;
- un temps de prise long ;
- une biocompatibilité correcte (Desai et Chandler 2009 ; Mohammadi et Dummer 2011) ;
- une bio-activité limitée par la libération d'ions calciums induisant la formation de tissu minéralisé ; cependant, ces ciments libèrent peu d'ions calcium (Desai et Chandler 2009) ;
- une légère expansion de prise liée à l'absorption d'eau (Desai et Chandler 2009).

Il n'existe aucune preuve clinique validant l'effet bioactif de ces ciments (Gatewood 2007 ; Gopikrishna et Grossman 2021 ; Desai et Chandler 2009).

Ils présentent également des inconvénients :

- faible force d'adhésion à la dentine péri-canaire (Lee et coll. 2002) ;
- faible force d'adhésion à la gutta-percha (Lee et coll. 2002) ;
- étanchéité ambiguë, mais pas supérieure aux autres ciments de scellement. En effet, les résultats de la littérature divergent concernant l'étanchéité de ces ciments (Desai et Chandler 2009 ; Mohammadi et Dummer 2011) ;
- peu de stabilité dimensionnelle à cause de leur réaction de prise (Gatewood 2007). En effet ces ciments doivent en partie, se dissoudre ou briser des liaisons pour libérer les ions calciums et hydroxyles nécessaires à leur réaction de prise (Desai et Chandler 2009).

- Ciment à base de verre-ionomère

Les ciments à base de verre-ionomère (Figure 15) ont été commercialisés afin d'exploiter la forte adhérence chimique aux surfaces dentinaires des ciments verres ionomères (Gopikrishna et Grossman 2021 ; Gatewood 2007). Ces ciments sont

obtenus en mélangeant une poudre de silicate de verre avec de l'acide polyacrylique contenu dans une solution aqueuse (Komabayashi et coll. 2020).

D'après Zmener et Dominguez 1983, ces ciments possèdent une bonne biocompatibilité, mais un temps de travail court (Gatewood 2007). Cependant, ils sont insolubles avec les solvants endodontiques et difficiles à retirer complètement du canal en cas de retraitement (Gatewood 2007 ; Gopikrishna et Grossman 2021). Les ciments à base de verre ionomère ne sont plus commercialisés.

2.1.3 Ciment d'obturation

La différence importante entre ciment de scellement et ciment d'obturation réside sur la non-obligation d'utiliser un corps d'obturation pour les ciments d'obturation.

- Ciment à base de silicate tricalcique

Les ciments à base de silicate tricalcique sont issus du *Mineral trioxide aggregate* (MTA) qui a été inventé par Torabinejad et White en 1995.

Ces ciments sont composés, d'après le fabricant (Septodont - BioRoot™ RCS) :

- d'une poudre contenant du silicate tricalcique, de l'oxyde de zirconium et de povidone ;
- d'un liquide contenant de l'eau, du chlorure et de polycarboxylate.

Nous pouvons également appeler ces ciments : ciments biocéramiques ou encore ciments hydrauliques. En effet, un matériau céramique est « un matériau manufacturé qui n'est ni un métal ni un produit organique » (Larousse). De plus les biocéramiques sont des matériaux céramiques spécialement élaborés pour un usage thérapeutique (AL-Haddad et Che Ab Aziz 2016).

Ces ciments biocéramiques se présentent sous forme de poudre et de liquide à mélanger ou sous forme d'une pâte pré-mélangée à l'intérieur d'une seringue (Figure 15).



Figure 15 : Présentation des ciments biocéramiques, à gauche en seringue TotalFill® BC sealer™, à droite poudre/liquide à mélanger BioRoot™ RCS (Sources : FKG et Septodont).

Ces ciments possèdent de nombreux avantages :

- une facilité d'utilisation (Komabayashi et coll. 2020), spécialement pour les seringues où le ciment est prémélangé ;
- une action antibactérienne forte (par le relargage d'hydroxyde de calcium lors de la réaction de prise) équivalente aux ciments à base résineuse époxy (Willershausen et coll. 2011 ; Wuersching et coll. 2022 ; Liu et coll. 2022). Cependant, d'après Singh et coll. (2016), les ciments biocéramiques possèdent un meilleur effet antibactérien sur *E. faecalis* que les ciments à base d'oxyde de zinc eugénol et les ciments à base résineuse. Cette meilleure action antibactérienne émanerait de la libération d'hydroxyde de calcium lors de la réaction de prise et de leur pH fortement alcalin ;
- un temps de prise long (exemple pour le ciment Septodont - BioRoot™ RCS où le fabricant évoque un temps de prise entre 45 minutes et 4 heures) (Komabayashi et coll. 2020 ; AL-Haddad et Che Ab Aziz 2016 ; Lee et coll. 2017) ;
- une bonne force d'adhésion à la dentine péri-canalaire, équivalente aux ciments de scellement à base résineuse (Yap et coll. 2017 ; Madhuri et coll. 2016 ; Al-Hiyasat et Alfirjani 2019) ;

- une bonne biocompatibilité grâce à la présence de phosphate de calcium qui est le composant inorganique principal des tissus durs (AL-Haddad et Che Ab Aziz 2016), ainsi les ciments biocéramiques sont ostéogéniques (Bae et coll. 2010 ; Bryan et coll. 2010). D'après Wuerschling et coll. (2022), les ciments biocéramiques possèdent une excellente biocompatibilité.
- un scellement apical étanche et un film interstitiel fin entre la dentine et le corps d'obturation (Khalil et coll. 2016). En effet, ces ciments possèdent une bonne mouillabilité (Ha et coll. 2018) ;
- une bonne stabilité dimensionnelle (Zhou et coll. 2013) ;
- une forte bio-activité, en effet ces ciments engendrent une précipitation des cristaux d'hydroxyapatites, en résulte la formation d'une barrière minéralisée à l'apex (Gomes-Filho et coll. 2009 ; Roberts et coll. 2008). En effet, le pH alcalin engendre une précipitation des ions phosphates (Khalil et coll. 2016 ; Aguilar et Linsuwanont 2011) ;
- une solvabilité avec le chloroforme qui facilite la désobturation (Oltra et coll. 2017) ;
- une indication pour le traitement des résorptions radiculaires (Eskandari et coll. 2022) ;
- une indication dans le cas de perforation radiculaire. Les ciments biocéramiques conventionnel (MTA, Biodentine®) sont indiqués en première intention (Torabinejad et coll. 2018). Cependant dans les cas où l'utilisation de ciment biocéramique conventionnel s'avère complexe, les ciments d'obturation biocéramique, peuvent être utilisés pour le traitement de perforations radiculaires (Aminov et coll. 2012). .

Cependant, ces ciments présentent également des désavantages, qui sont les suivants :

- un coût élevé ;
- une difficulté lors de la désobturation (Oltra et coll. 2017) ;

- une nécessité, si la restauration a besoin d'un ancrage canalaire, de réaliser l'ancrage canalaire après le durcissement total du ciment, c'est-à-dire entre 1 semaine et un mois (Septodont - BioRoot™ RCS).

- Ciment à base de silicone

Les ciments à base de silicones sont apparus en 1972 (Davis et coll. 1972). Ils sont composés majoritairement de polydimethylsiloxane et d'un catalyseur au platine. Apparus en tant que ciments de scellement, les ciments à base de silicone se sont vu ajouter du silicate de calcium dans leur formulation et sont aujourd'hui des ciments d'obturation (Figure 16).



Figure 16 : Ciment à base de silicone, ici dans une seringue auto-mélangeuse et avec adjonction de silicate de calcium, Guttaflow® bioseal de ROEKO (Source : Coltène).

Ces ciments ont des avantages :

- une simplicité d'utilisation ;
- un temps de travail adéquat, avec un temps de prise court (Gandolfi et coll. 2016) ;
- une bonne biocompatibilité (Briseño et Willershausen 1991 ; Silva et coll. 2015) ;
- un scellement apical étanche (Jain et coll. 2014) et un film interstitiel fin entre la gutta-percha et les parois dentinaires car ces ciments ont une bonne mouillabilité (Zhou et coll. 2013) ;
- une bonne stabilité dimensionnelle (Zhou et coll. 2013) ;

- une faible solubilité (Gandolfi et coll. 2016 ; Komabayashi et coll. 2020) ;
- une expansion de prise (Flores et coll. 2011).

Mais ils présentent également des désavantages :

- un coût élevé ;
- une absence de liaison avec la dentine (Komabayashi et coll. 2020) ;
- une absence d'effet antibactérien (Wainstein et coll. 2016).

- Synthèse

Il existe de nombreux ciments endodontiques. Il est donc important de synthétiser leurs différentes propriétés (Tableau 1) afin de mieux comprendre leurs avantages et leurs limites.

- Tableau 1 : Propriétés des familles de ciments de scellement et d'obturation canalair.

	Facilité d'utilisation	Anti-bactérien	Coût	Temps de travail	Adhésion à la gutta-percha	Adhésion à la dentine	Bio-compatibilité	Étanchéité	Stabilité	Bioactif	Désobturation	Expansion de prise
Oxyde de zinc Eugénol	++	+	++	+	++	-	-	-	-	+/= (1)	=	-
Résine	+/- (2)	++	-	+	-	++	++	++	+	=	--	-
Hydroxide de calcium	=	=	=	+	-	-	=	-	-	+/= (3)	=	+/= (4)
Biocéramique	+/- (2)	++	--	+	(5)	++	++	++	++	++	--	= (6)
Silicone	+	-	-	+	(5)	-	+	+	+	=	=	++

(1) effet anti-inflammatoire ; (2) avantage avec les seringues auto-mélangeantes ; (3) effet bioactif minime et non prouvé cliniquement ; (4) expansion reste minime ; (5) ciment d'obturation donc utilisation sans gutta-percha possible ; (6) pas d'effet d'expansion de prise mais induction de tissu minéralisé ; (++) avantage important ; (+) avantage ; (=) neutre ; (-) désavantage ; (--) désavantage important.

2.2 Systèmes d'obturation

Tous les systèmes d'obturation ont pour objectif de forcer la gutta-percha à épouser intimement l'anatomie endo-canaulaire complexe pour *in fine* obtenir une obturation tridimensionnelle dense, étanche et stable. La plasticité de la gutta-percha va lui permettre de se déformer de façon irréversible lors de l'application d'une contrainte mécanique ou thermomécanique. Contrairement à la viscosité, qui va s'opposer à sa déformation en limitant son écoulement. La plasticité est inversement proportionnelle, en fonction de la température de la gutta-percha, à la viscosité (Gopikrishna et Grossman 2021).

2.2.1 Techniques à froid « classiques »

- Technique mono-cône

Dans les années 1960, la technique mono-cône a été développée avec le développement de la norme (ISO 3630) pour les corps d'obturation ainsi que pour les instruments endodontiques (Ingle 1961).

La technique consiste à utiliser un cône de gutta-percha présentant le même diamètre de pointe que la dernière lime utilisée lors de la mise en forme canalaire. Préalablement, le canal est enduit de ciment de scellement à l'aide du maître-cône, d'une lime K ou d'un bourre-pâte (Lentulo®) puis le cône unique est placé dans le canal et sera scellé par une couche fine et homogène de ciment dans le canal, du moins théoriquement (Figure 17).

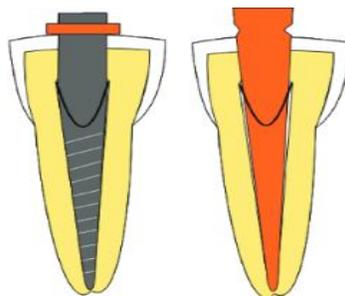


Figure 17 : Correspondance entre la dernière lime utilisée et le cône unique d'obturation
(Source : Whitworth 2005).

Cette technique présente des avantages :

- une rapidité d'utilisation par rapport à la condensation latérale à froid (Gordon et coll. 2005) ;
- un faible coût ;
- une facilité d'utilisation ;
- un scellement apical correct (Darcey et coll. 2016) ;
- une indication pour les canaux présentant des courbures modérées (Iglecias et coll. 2017) ;
- des résultats similaires à la condensation latérale à froid (Darcey et coll. 2016 ; Whitworth 2005).

Mais elle présente également des inconvénients :

- un remplissage peu important en gutta-percha et un remplissage en ciment de scellement très important (Schäfer et coll. 2016) entraînant un manque de stabilité dimensionnelle de l'obturation (Whitworth 2005) ;
- une absence de contrôle de la reproductibilité (Whitworth 2005) ;
- une incidence importante de vides endodontiques dans l'obturation (Neuhaus et coll. 2016).

- Technique de condensation latérale

Afin d'optimiser le volume de gutta-percha et de diminuer le volume de ciment de scellement, la technique de condensation latérale a vu le jour. Cependant, les bénéfices de cette technique par rapport à l'obturation mono-cône n'ont pas été établis (Whitworth 2005).

Pour l'obturation par condensation latérale, l'instrument de pression, le *spreader*, doit être au préalable sélectionné et essayé, il est réglé à la longueur de travail (LT) moins 1 mm (Sakkal et coll. 1991). Lors de l'obturation, le canal est enduit de ciment de scellement puis le maître-cône est inséré dans le canal. Le praticien introduit ensuite le

spreader entre le maître-cône et les parois canalaires en appliquant une force verticale pendant dix à soixante secondes (Sakkal et coll. 1991). Enfin, le *spreader* est retiré avec un mouvement de rotation. Dans l'espace vide créé par le *spreader*, un cône accessoire est mis en place avant de réitérer la même manipulation. L'opération continue tant que le spreader s'insère dans le canal à plus de 2-3mm (Figure 18).

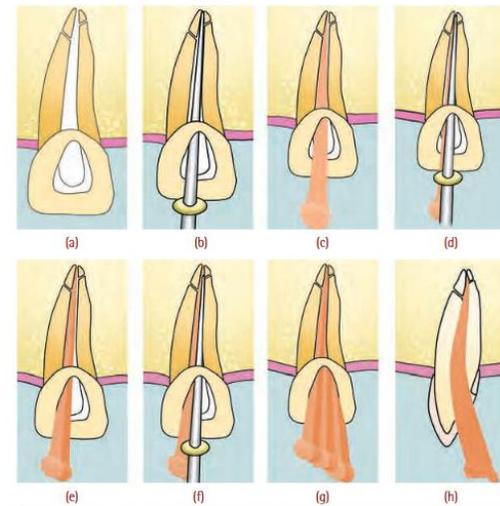


Figure 18 : Technique de condensation latérale : (a) le canal est mis en forme ; (b) essai du *spreader* à la LT moins 1 mm ; (c) insertion du maître-cône ; (d) insertion du *spreader* et application de la force verticale ; (e-h) condensation latérale et mise en place de cônes accessoires (Source : Gopikrishna et Grossman 2021).

Cette technique d'obturation possède des avantages :

- un faible coût ;
- un bon contrôle apical (Darcey et coll. 2016).

Cette technique possède de nombreux inconvénients :

- aucun contrôle de la reproductibilité (Whitworth 2005) ;
- chronophage ;
- instabilité dimensionnelle (Whitworth 2005) liée à un important remplissage en ciment de scellement (Pérez-Alfayate et coll. 2021) ;

- incidence élevée de vides endodontiques (Suassuna et coll. 2018) ;
 - difficile à utiliser dans les canaux présentant une courbure ou un changement de diamètre important (Suassuna et coll. 2018) ;
 - risque de fracture de la dent lors de la condensation (Buchanan 2015 ; Capar et coll. 2015).
- L'introduction des techniques « à chaud »

Les techniques dites « classiques » n'offrent aucun contrôle de la reproductibilité de l'obturation, pas de stabilité dimensionnelle et une solubilité trop importante (Whitworth 2005). En effet, ces inconvénients sont directement imputables à une trop grande quantité de ciment qui va se rétracter à court terme et se résorber à moyen terme (Ørstavik et coll. 2001). L'utilisation des techniques « à chaud » s'est donc imposée afin de pouvoir obturer au mieux le système endo-canalair. Ces techniques reposent sur la propriété thermoplastique de la gutta-percha. Effectivement, sous contrainte thermomécanique, la gutta-percha va s'adapter au mieux à l'anatomie du canal (Figure 19).

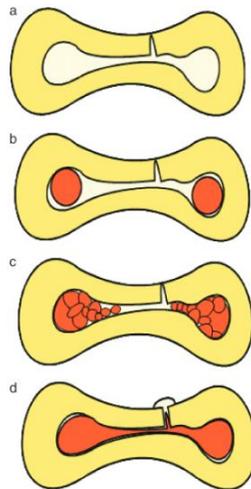


Figure 19 : Schéma expliquant la différence entre les techniques à froid et les techniques thermoplastiques : (a) obturation obsolète, au ciment uniquement ; (b) obturation mono-cône ; (c) obturation avec condensation latérale à froid ; (d) obturation thermoplastique (Source : Whitworth 2005)

2.2.2 Compactage thermomécanique et technique hybride

La technique d'obturation thermomécanique a été introduite en 1975 par Mc Spadden (Sakkal et coll. 1991). Cette technique repose sur l'utilisation d'un thermocompacteur (Figure 20) et d'un contre angle d'une vitesse comprise entre 10k et 15k tours par minute (Gopikrishna et Grossman 2021). La chaleur entraînée par la friction va baisser la viscosité de la gutta-percha et la thermo-plastifier. Le thermocompacteur permet ensuite de propulser apicalement la gutta-percha thermo-plastifiée grâce à sa géométrie de lime H inversée.



Figure 20 : Exemple d'un thermocompacteur, Revo Condensor®, et son profil en lime H inversé (Source : Micro-Méga).

Le protocole opératoire de cette technique se décompose ainsi (Vincent 2011) :

- Au préalable, le maître-cône est calibré à la LT - 1 mm et le compacteur doit aller à la LT moins 1,5 mm et sans blocage ;
- Premièrement, le canal est enduit d'une fine couche de ciment et le maître-cône y est inséré ;
- Deuxièmement, le thermocompacteur à l'arrêt, est mis en place le long du maître-cône jusqu'à ressentir une légère friction ;
- Troisièmement, le micromoteur est démarré dans le sens horaire et entraîne un ramollissement de la gutta-percha. En exerçant une pression verticale, le compacteur atteint la LT - 1,5 mm. Le compacteur est laissé en position pendant 5 à 10 secondes ;
- Dernièrement, le thermocompacteur toujours en mouvement est retiré du canal en exerçant une pression le long d'une paroi (Figure 21).

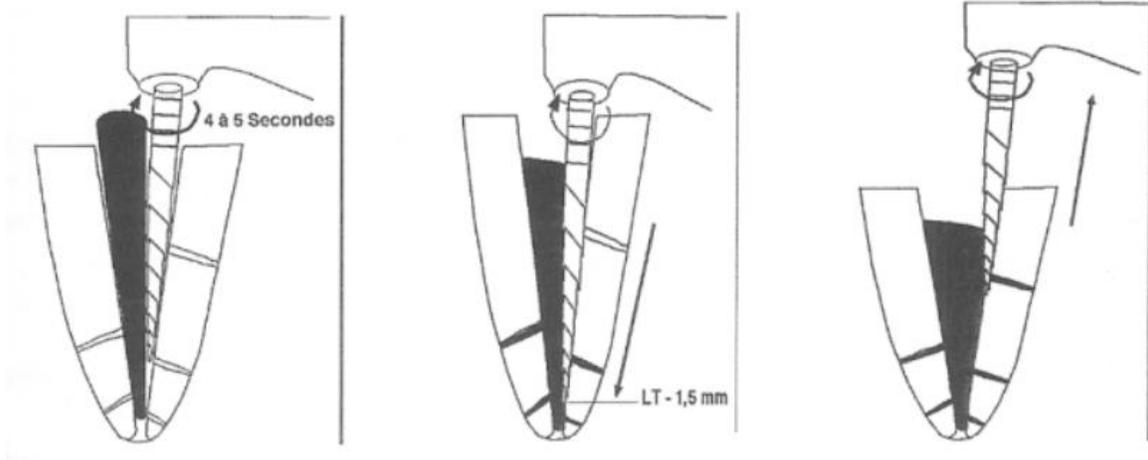


Figure 21 : Protocole de la technique d'obturation par compactage thermomécanique
(Source : Les Dossiers de l'ADF 2003)

Pour les canaux larges, si l'intégralité du canal n'est pas obturée, on y insère un ou plusieurs cônes de gutta-percha et on repasse un second thermocompacteur d'un diamètre environ 4 fois supérieur au premier.

Le profil en lime H inversé va entraîner la gutta-percha ramollie apicalement et latéralement, il est donc important de régler le thermocompacteur à la LT - 1,5 mm pour éviter l'extrusion de gutta-percha par l'apex (Gopikrishna et Grossman 2021).

La technique hybride avec compactage latéral et thermocompactage a pour but de limiter l'extrusion de matériaux d'obturation par l'apex. Le compactage latéral du tiers apical va servir de bouchon à la gutta-percha thermo-plastifiée (Tagger et coll. 1984). Le thermocompactage viendra ensuite compléter les 2/3 coronaires du canal principal et ses irrégularités. Le protocole opératoire reste le même mais, avant de réaliser le thermocompactage, on réalise un compactage latéral maître-cône.

Cette technique présente des avantages :

- la rapidité d'obturation ;
- un faible coût ;
- un remplissage tridimensionnel du canal.

Elle présente également des inconvénients :

- La bonne utilisation de la technique nécessite un apprentissage pour le praticien. En effet, le thermocompacteur ne va pas immédiatement travailler quand il est inséré. Il doit être maintenu en place quelques secondes sinon la friction ne sera pas assez importante pour ramollir la gutta-percha (Tagger et coll. 1984) ;
- L'opérateur n'a pas de moyens de vérification du bon déroulement de l'obturation, hormis radiographiquement, contrairement au compactage latéral où il peut marquer sur le maître cône la LT à atteindre (Tagger et coll. 1984) ;
- Le risque important de rupture instrumentale. En effet, les premières générations de thermocompacteur étaient particulièrement fragiles (Kerekes et Rowe 1982 ; O'Neill et coll. 1983). Ce problème a été majoritairement solutionné avec la deuxième génération de thermocompacteur (Laurent 1982) ;
- Le risque d'extrusion de matériau dans le tissu péri-apical, inhérent à toutes les techniques thermoplastiques (Darcey et coll. 2016) ;
- Cette technique est difficilement applicable sur les canaux présentant des courbures, mais est appropriée pour les canaux droits (Tagger et coll. 1984).

De surcroît, les résultats du thermocompactage sont mitigés. En effet, d'après Harris et coll. (1982), la technique combinée a engendré les mêmes vides endodontiques que le compactage latéral à froid, et une moins bonne reproductibilité. De même, Hopkins et coll. (1986) n'ont pas démontré de différence significative en termes de vides endodontiques, entre la condensation latérale à froid et le thermocompactage. *A contrario*, Tagger et coll. (1984), ont démontré que la technique combinée entraîne une meilleur étanchéité par rapport à la condensation latérale à froid.

2.2.3 Technique à tuteur

Introduit par Johnson en 1978, la technique reposait initialement sur l'utilisation de la lime apicale maîtresse, utilisée comme tuteur pour la gutta-percha chauffée. Actuellement, la technique utilise des tuteurs en plastique recouverts de gutta-percha

de phase α de bas poids moléculaire. Ces tuteurs sont chauffés par l'intermédiaire d'un four pour permettre la thermo-plastification de la gutta-percha (Figure 22).



Figure 22 : Exemples d'obturateurs à tuteurs et fours. De gauche à droite : HEROfill® de MicroMega et Therafil® de Dentsply Sirona (Sources : Micro-Mega et Henry Schein).

Le matériel et le protocole opératoire sont similaires pour les différents systèmes d'obturation à tuteurs présents sur le marché. Pour le matériel, il est nécessaire d'avoir des *verifiers*, des obturateurs, le four associé, la fraise en acier associée et des fouloirs à compactage vertical.

Le protocole opératoire (Tomson et coll. 2014) :

- Une fois la mise en forme canalaire réalisée, le praticien utilise un instrument de vérification, le *verifier* (Figure 23), pour choisir la taille de l'obturateur. Ce *verifier* est semblable au tuteur en plastique de l'obturateur mais n'est pas enduit de gutta-percha. Il doit atteindre la LT tout en présentant un *tug-back* au retrait. L'obturateur correspondant est immergé dans l'hypochlorite de sodium afin d'être stérilisé.



Figure 23 : Exemple de *verifiers* Therafil® de différents diamètres (Source : Henry Schein).

- L'obturateur est chauffé dans le four associé et le canal est enduit de ciment de scellement.
- L'obturateur chauffé, est descendu, dans un mouvement fluide et continu, dans le canal jusqu'à la LT. Il est maintenu en place, pendant une dizaine de secondes, pendant le refroidissement de la gutta-percha pour éviter des lacunes à cause de la rétraction de prise de cette dernière.
- Le manche est séparé du reste du tuteur avec la fraise en acier à pleine vitesse et sans spray.
- Une dernière condensation verticale à froid est réalisée au niveau de l'entrée canalaire à l'aide d'un fouloir.

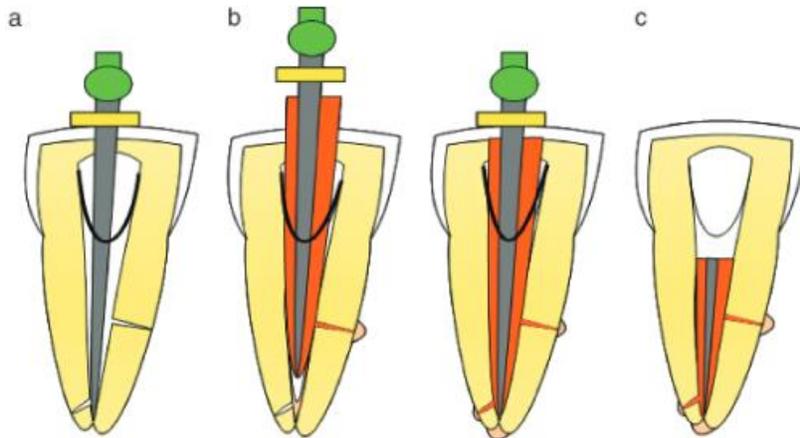


Figure 24 : Obturation endodontique à l'aide de la technique à tuteur. (a) vérification du canal avec le verifier ; (b) insertion de l'obturateur chauffé jusqu'à la LT et maintenu en position ; (c) le manche est séparé du reste du tuteur (Source : Whitworth 2005).

Le tuteur en plastique possède une rainure sur toute sa longueur afin de faciliter le retraitement. Cependant, le retraitement reste complexe, tout comme la réalisation d'un ancrage radiculaire. C'est pourquoi le système GuttaCore® a été mis sur le marché. Le tuteur n'est pas en plastique mais en gutta-percha réticulée qui d'après le fabricant permet « de lier les chaînes de polymères et de transformer la gutta-percha pour la rendre plus solide, tout en conservant ses meilleures caractéristiques ». D'après

Fracchia et coll. (2020), le retraitement avec un tuteur en gutta-percha réticulé est beaucoup moins chronophage que celui avec un tuteur en plastique. Le système GuttaCore®, *in-vitro*, présente un meilleur scellement apical par rapport aux obturateurs avec des tuteurs en plastique (Polesel et coll. 2021). De plus, Neuhaus et coll. (2016), montrent que les tuteurs en plastique sont plus susceptibles de se positionner contre les parois canalaires, entraînant la mise en place d'interfaces plastique / paroi canalaire.

Les avantages de l'obturation à tuteur sont :

- rapidité, la condensation latérale à froid prend environ 20 minutes de plus par dent (Whitworth 2005) ;
- facilité de mise en œuvre ;
- reproductibilité ;
- indication pour les canaux complexes, courbes et longs (Whitworth 2005) ;
- excellente obturation tridimensionnelle grâce à la thermo-plasticité de la gutta-percha (Zogheib et coll. 2013) avec un joint de ciment de scellement fin (Clinton et Van Himel 2001) ;
- absence de risque de fracture de la dent, en effet il n'y a pas force importante appliquée lors de l'obturation (Blum et coll. 1998).

Les inconvénients :

- coût élevée ;
- nécessité d'avoir plusieurs systèmes d'obturateurs en fonction des systèmes de mise en forme utilisés ;
- complexité de la désobturation surtout avec les tuteurs en plastique (Darcey et coll. 2016) ;
- opérateur dépendant (Buchanan 2015) ;
- risque important d'extrusion dans les tissus péri apicaux (Clinton et Van Himel 2001 ; Peng et col. 2007), inhérent aux techniques thermoplastiques.

2.2.4 Technique par vague de chaleur

La technique par vague de chaleur ou condensation verticale à chaud a été introduite par Schilder en 1967 afin d'obturer de façon tridimensionnelle le complexe endocanalair et pas uniquement le canal principal.

Cette solution d'obturation canalair a connu des évolutions au cours du temps. Actuellement, l'utilisation d'un instrument chauffé aux alentours de 200 °C pour compacter la gutta-percha est privilégiée par rapport aux *plugger* et *heat carrier* initialement utilisés dans la technique décrite par Schilder (Figure 25).



Figure 25 : Systèmes d'obturation par vague de chaleur et leur embout fouloir. De gauche à droite : SuperEndo™ Alpha II par B&L et System B™ par Synbronendo (Sources : Bisico et Kerr).

Au préalable, le maître cône est calibré à l'aide d'une radiographie maître-cône en place, de la sensation tactile de résistance au retrait ou *tug-back*, et en le mesurant à la LT – 1 mm. Le maître cône doit valider ces trois critères.

Il existe différents embouts fouloirs avec des conicités croissantes (4 %, 6 %, 8 %, 10 %, 12 %). L'embout fouloir correspondant à la conicité de la dernière lime apicale maîtresse est présélectionné. Puis l'embout est inséré dans le canal et doit atteindre la LT – 3,5/4,5 mm sans être bloqué contre les parois canalaires. Si l'embout est trop fin alors le risque d'extrusion est accru. Cependant si l'embout est trop large, il ne pourra pas thermo-plastifier le maître-cône dans sa partie apicale (Guess et coll. 2003; Buchanan 2004).

Le protocole opératoire se décompose en 2 phases, le *Donwpacking* et le *Backfilling* :

Downpack (Figure 26)

- Le maître-cône préalablement enduit de ciment à l'extrémité, est inséré dans le canal, également enduit de ciment de scellement.
- L'excédent de gutta-percha est sectionné à chaud à l'aide du fouloir à l'entrée du canal. Puis le fouloir chauffé à 200°C est centré au niveau du canal puis introduit dans ce dernier. Dans un mouvement fluide et continu, le fouloir est descendu jusqu'à la longueur prédéterminée LT – 2 mm.
- La source de chaleur est éteinte et la pression verticale est maintenue pendant 10 secondes afin de compenser la rétraction lors du refroidissement de la gutta-percha.
- Le fouloir est extrait du canal après une activation flash de 1 seconde de la source de chaleur.
- La gutta-percha est finalement condensée avec un *plugger* à froid (type fouloir Machtou).

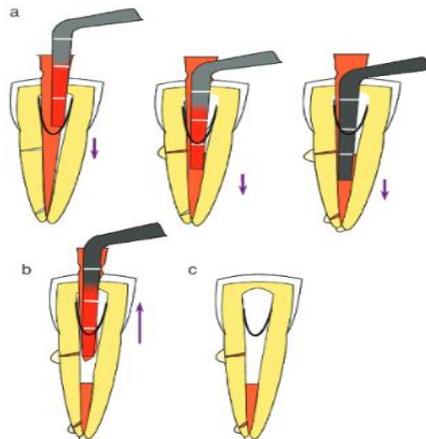


Figure 26 : Condensation verticale à chaud, downpacking. (a) mise en place du fouloir centré, condensation continue de la gutta-percha et maintien de la force verticale lors du refroidissement ; (b) retrait du fouloir après l'impulsion de chaleur ; (c) fin de l'étape de downpacking, le bouchon apical est en place sur 3,5 à 4,5 mm

(Source : Whitworth 2005).

Backfil

Après avoir enduit de ciment de scellement et mis en place dans le canal un cône accessoire calibré au diamètre du fouloir, le fouloir chauffé à 100 °C vient condenser ce dernier jusqu'à la moitié de sa hauteur. Une dernière condensation sera réalisée à froid avec un *plugger*.

Le *backfilling* peut être réalisé avec des cônes accessoires chauffés et compactés, à l'aide de gutta-percha injectée ou encore par thermocompactage.

Cette technique d'obturation présente de nombreux avantages :

- reproductibilité ;
- excellente obturation tridimensionnelle et un joint de ciment de scellement fin et homogène (Whitworth 2005) ;

Mais le système par condensation vertical à chaud présente des inconvénients :

- le coût initial élevée (Darcey et coll. 2016) ;
- le temps d'obturation long ;
- le risque de fracture radiculaire incombant aux techniques de condensation induisant des forces verticales supplémentaires et non physiologiques à la dent (Whitworth 2005) ;
- le risque d'extrusion apicale de matériel d'obturation inhérent aux techniques thermoplastiques (Hoskinson et coll. 2002) ;
- la température élevée qui impacte les propriétés physiques de certains ciments de scellement, notamment les ciments à base résineuse et les ciments à base de silicate tricalcique (Qu et coll. 2016).

2.2.5 Technique par injection

La technique par injection de gutta-percha chaude consiste à utiliser un « pistolet » afin d'injecter à l'aide d'une aiguille de la gutta-percha chauffée (Figure 27). La gutta-percha est livrée en bâtons. Le « pistolet » permet de maintenir à la bonne température la gutta-percha. De plus, il existe différentes tailles d'aiguilles (ou canules) en fonction de la taille du canal.



Figure 27 : Exemples de système d'injection de gutta-percha chaude. De droite à gauche : Obtura® III et SuperEndo® Beta (Sources : Dentaltix et Bisico).

La technique d'obturation avec injection de gutta-percha chaude est utilisée en *backfilling*, en association avec une autre technique d'obturation ou en *totalfilling* sans association à une autre technique d'obturation.

Le protocole opératoire ci-dessous décrit une obturation complète avec injection de gutta-percha chaude (Ansari et coll. 2012) :

- L'aiguille sélectionnée doit pouvoir atteindre la LT - 3 à 5 mm.
- L'unité est allumée, on charge le « pistolet » avec un nouveau bâton de gutta-percha qui est chauffé à la température donnée par le fabricant.
- Afin de préchauffer l'aiguille, une petite quantité de gutta chaude est éjectée.

- L'aiguille est positionnée dans le canal à la LT- 3 à 5 mm. L'injection de gutta-percha se fait sans pression apicale et se limite à 3-4 mm. Le premier incrément est condensé avec un fouloir à froid.
- L'obturation est complétée par des apports incrémentaux de 3-4 mm de gutta-percha, injectés et foulés, jusqu'à l'obturation complète du canal.

Cette technique d'obturation présente des avantages :

- reproductibilité ;
- bonne obturation tridimensionnelle grâce à la thermo-plasticité de la gutta-percha chauffée (Darcey et coll. 2016).

Cependant cette technique présente des inconvénients :

- coût élevé (Darcey et coll. 2016) ;
- risque d'extrusion apicale de matériaux d'obturation inhérent aux techniques thermoplastiques ;
- qualité du scellement apical contestée. En effet d'après Emmanuel et coll., 2013, aucune différence significative n'a été relevée au niveau du scellement apical entre la condensation latérale à froid et l'obturation en *totalfil* avec un système d'injection de gutta-percha ;
- chronophage car la préparation et le nettoyage requièrent un temps supplémentaire.

2.2.6 Technique biocéramique

La technique d'obturation biocéramique repose sur l'utilisation des ciments d'obturation à base de silicate tricalcique. Les ciments biocéramiques peuvent s'utiliser en remplissage total. Cependant, il est recommandé de les utiliser uniquement avec une technique d'obturation à froid. En effet, l'élévation de température engendrée par une technique d'obturation à chaud pourrait extraire l'eau et modifier les propriétés de prise des ciments biocéramiques (Crozet et Gaudin 2021). L'utilisation d'un corps d'obturation, tel qu'un cône de gutta-percha en 4%, est utile pour pouvoir améliorer la

pénétration tubulaire du ciment (Eymirli et coll. 2019). Il permet également de pouvoir réaliser un ancrage canalaire ou encore de laisser la possibilité de retraiter endodontiquement.

Contrairement aux techniques décrites précédemment, l'objectif est de maximiser la proportion de ciment, car les avantages de cette technique d'obturation émanent de l'usage des ciments biocéramiques et leurs bioactivités.

D'après Prati et Gandolfi en 2015, la technique mono-cône engendre une moins bonne répartition du ciment par rapport à la condensation latérale à froid. Afin de prévenir le risque de vides endodontiques, lors de l'obturation il est recommandé d'appliquer un mouvement de piston avec le maître-cône. Ainsi, la pression hydraulique augmente, permettant une meilleure répartition du ciment dans le système endo-canalaire (Crozet et Gaudin 2021). Il est possible également d'activer le maître-cône avec des ultrasons ce qui, d'après Kim et coll. (2018), entraîne une meilleure répartition de ciment (Figure 28). Aujourd'hui, la technique mono-cône ne devrait être utilisée qu'avec les ciments biocéramiques.

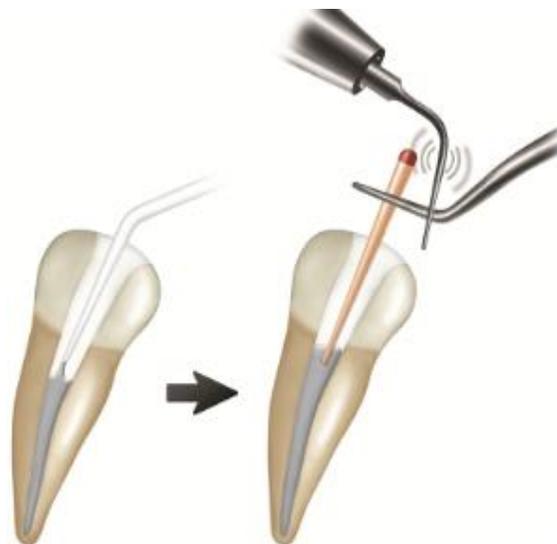


Figure 28 : Activation du maître cône en utilisant des ultrasons
(Source : Kim et coll. 2018).

Le protocole opératoire est similaire au protocole de l'obturation mono-cône. Cependant un rinçage final avec de l'eau stérile ou du sérum physiologique, à la suite du protocole d'irrigation finale est nécessaire. En effet, il existe une interaction avec les ions hypochlorites de l'hypochlorite de sodium. Le ciment biocéramique a également besoin d'un taux d'humidité plus important pour sa réaction de prise. Ainsi une seule pointe de papier sèche et propre est nécessaire, avant l'application du ciment, au lieu de deux pointes sèches et propres.

De plus le ciment biocéramique est mis dans le canal, dans la majorité des cas, avec une seringue. Dans les cas de conditionnement poudre/liquide (BioRoot™ RCS®), le ciment biocéramique peut être mélangé puis mis en place dans une seringue ou être conditionné en seringue auto-mélangeuse (Crozet et Gaudin 2021)

Les avantages de cette technique d'obturation sont :

- le gain de temps ;
- la facilité d'utilisation ;
- l'indication pour les canaux présentant d'importantes courbures ;
- les avantages inhérents aux ciments biocéramiques ;
- l'absence de risque de fracture radiculaire, aucune force excessive n'est appliquée.

Les inconvénients de l'obturation mono-cône avec les ciments biocéramiques :

- le coût important lié au matériau ;
- le retraitement complexe. En effet, différentes études ont décrit des résultats mitigés concernant la possibilité de désobturation. Toutefois, en utilisant un maître-cône, ce dernier pourra guider les instruments de désobturation. Ainsi, afin d'obtenir la perméabilité apicale, il ne faudra désobturer qu'1 mm de ciment (Crozet et Gaudin 2021). En cas de défauts lors du traitement endodontique tels que des fausses routes et butées par exemple, le retraitement sera difficile voire impossible ;

- le risque de vides endodontiques inhérent à la technique d'obturation mono-cône et particulièrement dans des canaux présentant des changements de diamètre de la lumière canalaire (résorptions internes) ;
- la réalisation d'ancrage radiculaire dans une fenêtre impérative, impossible dans la même séance et après le durcissement total du ciment, c'est-à-dire entre 1 semaine et 1 mois (d'après les recommandations du fabricant).
 - Synthèse des propriétés des techniques d'obturation

De nombreuses techniques d'obturations ont été inventées au cours du temps. Elles possèdent toutes des avantages et des inconvénients qu'il est nécessaire de synthétiser (Tableau 2).

- Tableau 2 : Avantages et inconvénients des différentes techniques d'obturation canalair.

Technique	Exemple de système(s)	Avantages	Inconvénients
Mono-cône	Cône de gutta-percha normalisé	Simple ; Rapide ; Coût ; Canaux complexes.	Vides endodontiques ; Stabilité dimensionnelle ; Reproductibilité.
Condensation latérale à froid	Cône de gutta-percha normalisé ; Cônes accessoires ; <i>Spreader</i>	Bon contrôle apical ; Coût.	Vides endodontiques ; Fracture radiculaire ; Canaux complexes ; Reproductibilité ; Stabilité dimensionnelle ; Temps.
Compactage thermo-mécanique	Thermocompacteur	Bonne obturation en 3D ; Temps ; Coût.	Rupture instrumentale ; Extrusion, Reproductibilité ; Canaux complexes ; Technicité.
À tuteur	Thermafil ; Guttacore ; HEROfill	Rapide ; Bonne obturation en 3D ; Reproductibilité ; Fracture radiculaire ; Canaux complexes ; Facile.	Risque extrusion ; Désobturation ; Technicité ; Coût.
Condensation verticale à chaud	System B, SuperEndo Alpha II	Bonne obturation en 3D ; Reproductibilité.	Coût ; Risque d'extrusion ; Temps ; Température élevée ; Fracture radiculaire.
À injection	Obtura III ; SuperEndo Bêta	Bonne obturation en 3D ; Reproductibilité.	Risque d'extrusion ; Coût ; Temps ; Scellement apical.
Biocéramique	BioRoot RCS ; Totafill BC	Temps ; Facile ; Canaux complexes ; Fracture radiculaire ; Biocéramique.	Coût ; Désobturation ; Vides endodontiques ; Ancrage radiculaire.

3. Comparaison des différents systèmes d'obturation

3.1 Cahier des charges

Dans la littérature, plusieurs critères cliniques sont utilisés afin de pouvoir comparer objectivement les différents systèmes d'obturation. Ce sont des critères de réussite qui participent à la qualité de l'obturation endodontique.

3.1.1 Scellement apical et étanchéité apicale

L'objectif du traitement endodontique est d'empêcher le passage des bactéries dans le complexe endo-canalair. Ainsi, la totalité du complexe endo-canalair doit être hermétiquement obturée. Le scellement apical doit être hermétique afin d'éviter « des voies de sortie » aux bactéries (Kaul et coll. 2021). Le scellement apical étanche est donc un critère de réussite du traitement endodontique et différents tests permettent de l'évaluer.

- Test de percolation bactérienne

Afin d'évaluer l'étanchéité du scellement apical, certains tests utilisent la percolation bactérienne. Ici, deux tests sont décrits, un quantitatif et un qualitatif.

Tests quantitatifs :

Hwang et coll. (2015) utilisent un test de percolation bactérienne quantitatif afin de comparer différentes techniques d'obturation. Le canal est obturé et le ciment de scellement utilisé est couplé avec un traceur fluorescent.

Les bactéries *Enterococcus faecalis* sont mises en culture dans un milieu nutritif, en milieu anaérobie et à 37 °C. Elles sont mises en suspension dans une solution tampon phosphate saline et marquées par un traceur cellulaire fluorescent.

L'apex de la dent obturée est plongé dans un tube en plastique contenant les bactéries marquées. Le spécimen est mis en incubation à 37 °C pendant 14 jours (Figure 29).

Des coupes transverses sont réalisées à 1,2 mm et 3 mm de l'apex. Ces coupes sont analysées au microscope confocal à balayage laser (Figure 30). Chaque coupe est divisée théoriquement en 8 secteurs avec un score associé en fonction de la fluorescence :

- Vert : marqueur des bactéries ;
- Bleu : marqueur du ciment de scellement.

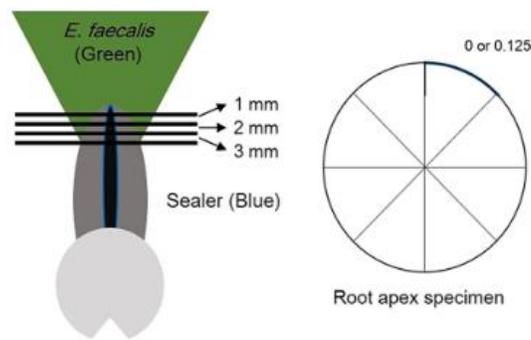


Figure 29 : Schéma de l'expérience de percolation bactérienne (Source : Hwang et coll. 2015).

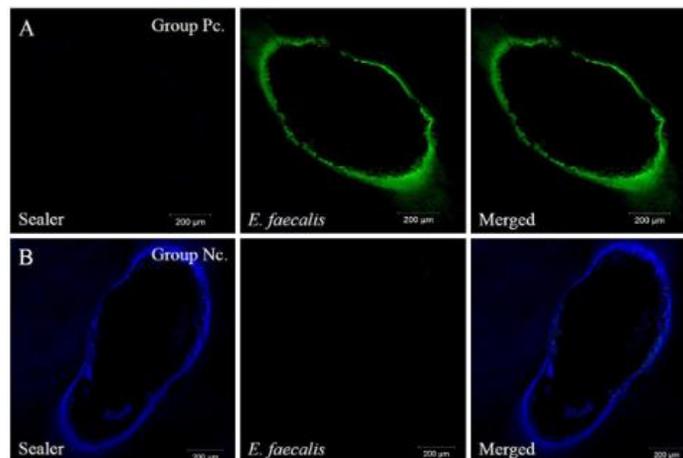


Figure 30 : Une partie des résultats de l'observation au microscope confocal à balayage laser. (A) Contrôle positif, canal non obturé, percolation bactérienne complète ; (B) Contrôle négatif, canal obturé et apex scellé avec du vernis à ongles, absence totale de bactéries (Source : Hwang et coll. 2015).

Test qualitatif :

Mathur et coll. (2015) utilisent un test de percolation bactérienne qualitatif. Des dents monoradiculées sont obturées avec différentes techniques. La couronne anatomique est ensuite séparée de la racine. Les racines sont mises en place dans un environnement clos, composé de deux tubes stériles s'emboîtant parfaitement.

Lors de l'expérience, le tube en position coronaire contient une solution de mobilité et les bactéries. Le tube contenant la racine de la dent est rempli avec une solution de mobilité uniquement. Ainsi, le complexe endo-canalair est la seule voie de passage, pour les bactéries, du tube coronaire au tube apical. On place les échantillons en incubation à 37 °C en position verticale.

La solution de mobilité apicale est quotidiennement inspectée. Si la solution devient trouble alors le système endo-canalair obturé a subi une percolation bactérienne et des bactéries sont présentes dans le tube apical, pourtant stérile au départ.

- Test de pénétration de colorants

Des tests de pénétration de colorants peuvent aussi être utilisés afin d'analyser le scellement étanche du canal et de l'apex. Ainsi, Gernhardt et coll. (2007) immergent des dents obturées dans du bleu de méthylène à 5% pendant 7 jours. Les dents sont sectionnées dans le sens longitudinal, puis sont analysées avec un microscope optique, permettant de déterminer la pénétration linéaire du colorant (Figure 31). Le test de pénétration de colorant peut être réalisé avec différents colorants.

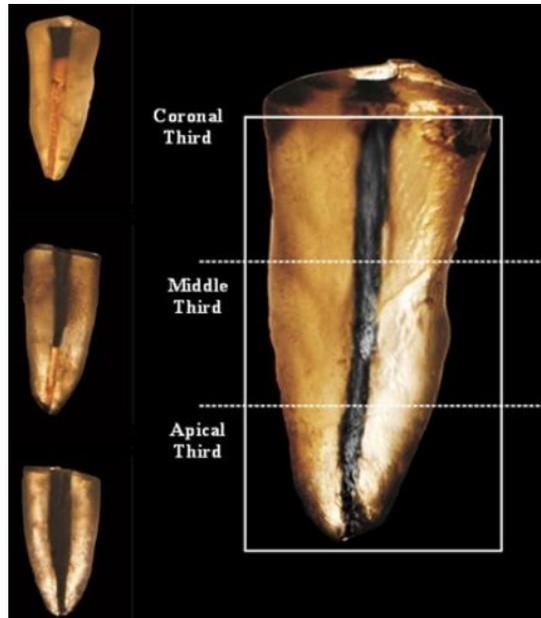


Figure 31 : Représentation schématique des différents niveaux de pénétration de colorant (Source : Mathur et coll. 2015).

- Test de filtration liquidienne

Le test de filtration liquidienne consiste à étudier le mouvement d'une bulle d'air dans une pipette, dans un système sous pression. Une nouvelle méthode de filtration liquidienne a été décrite par Oruçoğlu et coll. en 2005.

Après avoir réalisé l'obturation du canal et l'avoir stockée pendant 7 jours à 100 % d'humidité et à 37 °C, la dent est fixée hermétiquement au bout d'un tube en plastique. La pression dans le système est constante, assurée par une bouteille d'oxygène reliée à un manomètre. Tout le système apical à l'échantillon est rempli d'eau distillée.

Lors de l'expérience, le mouvement liquidien au travers de la racine obturée se traduit par le mouvement de la bulle d'air, enregistré par l'ordinateur grâce à la réfraction du laser. Le mouvement linéaire de la bulle d'air est converti, par le logiciel, en mouvement de nanolitre au travers de la racine. La quantité de liquide ayant traversé la racine est exprimée en $\mu\text{L}/\text{cmH}_2\text{O}/\text{min}^{-1}$ (Figure 32).

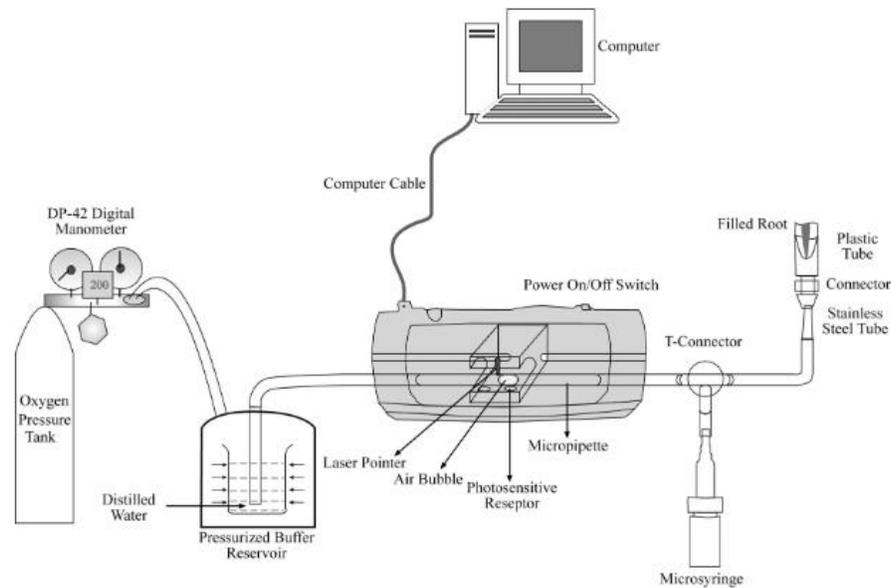


Figure 32 : Schéma illustrant la méthode de filtration liquidienne
(Source : Oruçoğlu et coll. 2005).

- Test de pénétration d'isotope radioactif

Le test de pénétration d'isotope est un test dérivé du test de pénétration de colorant, cependant cette méthode est quantitative. Dans l'article de Marques-Ferreira et coll. (2017), les dents sont obturées puis immergées dans une solution contenant des radioisotopes. Les échantillons sont ensuite analysés par scintigraphie en utilisant une caméra gamma.

3.1.2 Capacité à sceller les canaux accessoires

Lors de la mise en forme endodontique, au moins un tiers du complexe endo-canaulaire n'est pas mécaniquement instrumenté (Basrani et Haapasalo 2012). L'obturation endodontique doit donc permettre l'oblitération des canaux accessoires et des canalicules dentinaires afin d'empêcher le passage des bactéries dans le canal principal et de venir isoler les bactéries résiduelles du reste du complexe endo-canaulaire pour assurer la pérennité du traitement endodontique. Ainsi, différents tests ont été créés afin d'analyser le scellement des canaux accessoires.

Dans l'étude de Wolf et coll. (2021), des modèles sont utilisés afin d'évaluer le scellement des canaux accessoires. Bien que l'utilisation de modèle s'éloigne de la réalité clinique, ils permettent de s'affranchir de contraintes anatomiques, comme la présence irrégulière de canaux accessoires. Ce modèle permet l'évaluation de la capacité à sceller les canaux secondaires de façon quantitative et qualitative (Figure 33).

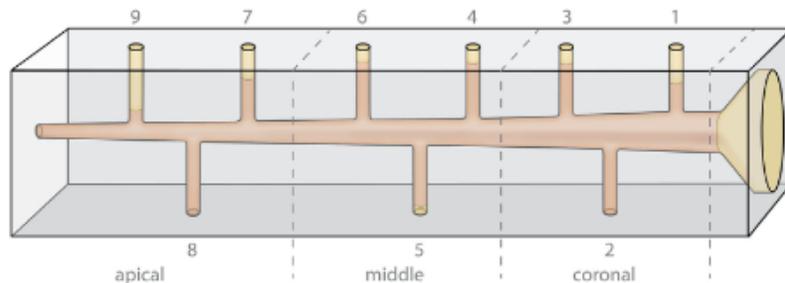


Figure 33 : Représentation schématique du modèle de simulation en plastiques
(Source : Wolf et coll. 2021).

Plus fréquemment, la comparaison du scellement des canaux accessoires se fait de manière qualitative. Barbosa et coll. (2009) déshydratent et décalcifient les dents obturées afin de les rendre transparentes et d'observer l'obturation des canaux accessoires (Figure 34).

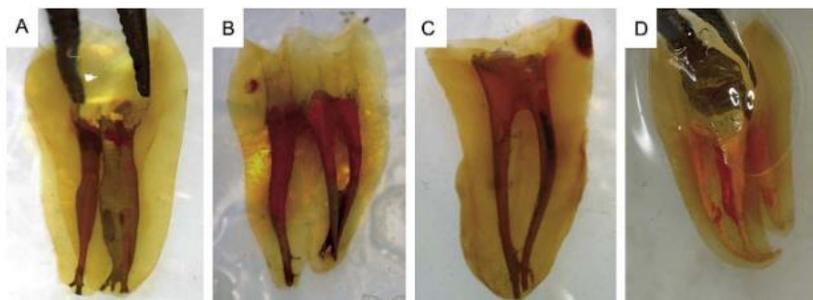


Figure 34 : Dents décalcifiées et déshydratées permettant l'observation du complexe endo-canaulaire obturé (Source : Barbosa et coll. 2009).

Des coupes sont aussi réalisées sur des dents obturées, puis observées au microscope optique.

3.1.3 Densité de l'obturation

La densité d'obturation et l'absence de vides endodontiques est un critère clinique pertinent permettant de décrire la qualité de l'obturation endodontique. En effet, les vides endodontiques, même de 1 % du volume total de l'obturation, sont assez larges pour une pénétration bactérienne et sont donc néfastes (Ørstavik et coll. 2001 ; Li et coll. 2014).

Le pourcentage de remplissage en gutta-percha (PGFA) par rapport au pourcentage de remplissage de l'obturation en ciment (PGSA) est un critère important également. En effet, à l'exception des ciments d'obturation, les ciments de scellement ne restent pas tridimensionnellement stables dans le temps par rapport à la gutta-percha tridimensionnellement stable. À l'inverse, un joint de ciment de scellement est important à conserver, car la gutta-percha n'adhère pas à la dentine péri-canalair.

Pour comparer la densité d'obturation, différentes méthodes existent, des méthodes destructives et non destructives.

- Méthodes destructives

Il est possible de réaliser des sections transversales, à intervalles réguliers, du canal traité. Les coupes sont photographiées avec un appareil couplé à un microscope en grossissement x40. Puis, les photographies des coupes sont traitées avec un logiciel de photographie afin d'obtenir le PGFA, le PGSA et le taux de vide (Gordon et coll. 2005).

Dans l'article de Pérez-Alfayate et coll. (2021), les dents sont obturées avec des techniques d'obturation différentes mais avec le même ciment de scellement (AHplus) dans lequel est ajouté de la rhodamine B en microdosage.

Trois coupes sont ensuite réalisées correspondant aux trois tiers anatomiques du canal, tiers coronaire, médian et apical. Ces coupes sont observées à l'aide d'un microscope confocal à balayage laser et permet d'observer la fluorescence de la rhodamine B. Un microscope optique x30 sera également utilisé dans un deuxième temps (Figure 35). Puis les images obtenues sont analysées avec un logiciel d'image. Ainsi, on obtient le

PGFA et le PGSA pour chaque technique d'obturation. Le pourcentage de vides endodontiques est calculé grâce au PGFA et PGSA.

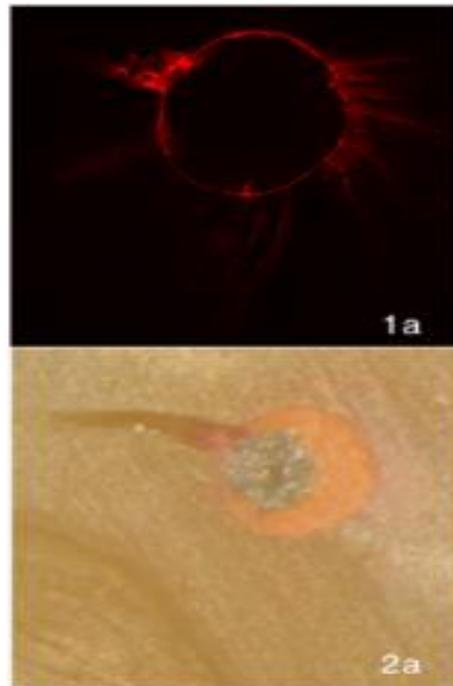


Figure 35 : Images obtenues avec la technique de la microscopie à fluorescence (1a) et du microscope optique associé (2a) (Source : Pérez-Alfayate et coll. 2021).

Dans une étude de Migliau et coll. (2022), des coupes sont également réalisées à chaque tiers de la racine obturée. Cependant, l'analyse se fait avec un microscope à balayage électronique au niveau de l'interface entre la dentine péri-radriculaire et le ciment de scellement. Un logiciel calcule le pourcentage de vides endodontiques, le PGFA et le PGSA au niveau de l'interface, à partir des dimensions des vides endodontiques comparées au périmètre de l'interface dentine-ciment (Figure 36).



Figure 36 : Image obtenue au microscope à balayage électronique de l'interface dentine-ciment de scellement (Source : Migliau et coll. 2022).

- Méthodes non-destructives

Dans l'article de Li et coll. (2014), la densité de l'obturation est étudiée grâce à la microtomographie aux rayons X qui permet de reconstruire en trois dimensions un échantillon. Les vides endodontiques dans l'obturation sont observés grâce à cette imagerie. Dans cette étude, le microscope électronique à balayage est également utilisé car la microtomographie manque de résolution pour distinguer avec précision les limites des différents matériaux d'obturation (Figure 37).

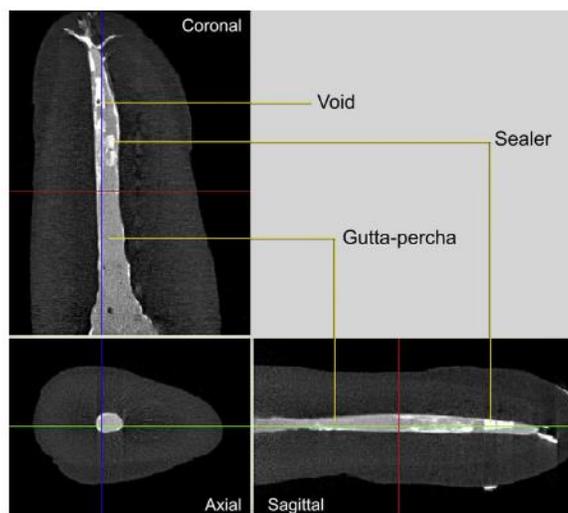


Figure 37 : Image obtenue grâce à la tomographie par rayon X d'une dent obturée (Source : Li et coll. 2014).

3.1.4 Force de liaison à la dentine péri-radriculaire

La force de liaison à la dentine péri-radriculaire est un critère clinique important pour une obturation endodontique. En effet, Tagger et coll. (2002), décrivent déjà le rôle important d'une forte liaison afin d'assurer le maintien du scellement hermétique du canal.

Pour analyser ce critère clinique, le test *Push out test* est le plus utilisé. En effet, ce test mécanique entraîne des forces plus homogènes et moins de variabilité en comparaison avec le test de mise en tension d'un échantillon (Soares et coll., 2008). De plus les résultats sont reproductibles et le test nécessite peu de matériel (Ungor et coll. 2006).

Pour réaliser le test de résistance à la poussée ou *Push out test*, le canal est obturé avec une technique d'obturation et un ciment de scellement donné. Des coupes calibrées sont réalisées transversalement dans la racine dentaire obturée.

Un cylindre exerçant la pression est mis en place de telle sorte qu'il presse uniquement le matériel d'obturation et non la dentine péri-canalair (Figure 38). Le test est réalisé avec une poussée mesurée. Le test est considéré comme terminé lorsque l'obturation est extrudée hors du cylindre dentinaire de test. Afin d'exprimer la poussée en MPa, la pression enregistrée, lors de l'extrusion des matériaux d'obturation est divisée par le périmètre de l'obturation.

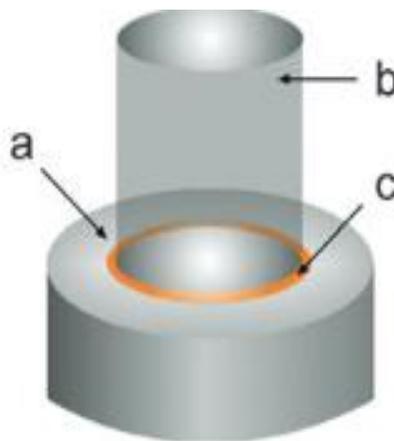


Figure 38 : Schéma représentant le test de résistance à la pression. (a) cylindre de dentine radriculaire ; (b) cylindre exerçant la pression ; (c) obturation canalaire (Source : Ungor et coll. 2006).

Ce test est particulièrement utile pour comparer la force d'adhésion d'un ciment. En effet, la gutta-percha ne possède pas de capacité d'adhésion à la dentine péri-radriculaire.

3.2 Revue de littérature et comparaison des différentes techniques

Dans la littérature, beaucoup d'articles ont comparé les différents systèmes d'obturation en fonction de critères cliniques pertinents ; le but est d'essayer de mieux comprendre les différents systèmes d'obturations endodontiques.

3.2.1 Techniques à froid

Dans la littérature, de nombreux auteurs ont comparé les techniques d'obturation « à froid » par rapport aux techniques d'obturation thermoplastiques « à chaud » en fonction des critères cliniques vus précédemment.

- La densité d'obturation

Dans l'étude de Schäfer et coll. (2016), des prémolaires monoradiculées sont traitées avec différents systèmes de mise en forme : manuel, rotation continue et deux systèmes en réciprocité. Les canaux dentaires sont obturés avec différents systèmes : technique mono-cône adaptée, technique à tuteur en gutta réticulée et technique à condensation latérale à froid. La densité d'obturation et les taux de remplissage sont analysés avec un microscope optique. Les résultats indiquent que les différences de PGFA et PGSA à 2 mm de l'apex ne sont pas significatives. Cependant, la technique d'obturation à tuteur produit un meilleur PGFA au tiers médian et coronaire par rapport aux autres techniques. De plus, la quasi-totalité, plus de 96 %, des canaux obturés avec un tuteur ne présentent aucun vide endodontique. La technique mono-cône est la technique avec le plus faible PGFA et le plus important PGSA.

Dans l'article de Pérez-Alfayate et coll. (2021), des canaux de molaires mandibulaires présentant des courbures, entre 20° et 89°, sont traités et obturés avec les techniques de condensation latéral à froid, mono-cône avec ciment biocéramique et technique à tuteur en gutta-percha réticulée et à tuteur en plastique. La densité d'obturation est

étudiée avec la microscopie en fluorescence et un microscope optique. Les résultats montrent que la technique de condensation latérale à froid est la technique qui produit le plus de vides endodontiques par rapport aux techniques à tuteur et mono-cône avec un ciment biocéramique.

Dans l'article de Iglecias et coll. (2017), l'objectif est de comparer la présence de vides endodontiques, dans des canaux présentant des courbures entre 25° et 35°, obturés avec les techniques de condensation verticale à chaud et mono-cône. Les obturations sont analysées avec la tomographie à rayons X. Les résultats démontrent un même pourcentage de vides endodontiques. À l'exception du tiers coronaire des canaux, avec une meilleure densité d'obturation pour la technique verticale à chaud.

Dans l'étude de la pénétration du ciment dans la dentine péri-canaulaire de Dasari et coll. (2020), les auteurs décrivent une meilleure pénétration du ciment et une meilleure adaptation au canal avec la technique de condensation verticale à chaud par rapport aux techniques de condensation latérale à froid et à injection de gutta-percha thermoplastique. De plus, la technique de condensation à froid entraîne la moins bonne adaptation et le plus de vides endodontiques.

Dans l'article de Li et coll. (2014), des canaux ovalaires de prémolaires sont obturés avec les techniques de condensation latérale à froid, verticale à chaud et à tuteur en gutta-percha réticulée. Cette étude démontre, grâce à la microtomographie aux rayons X et au microscope à balayage électronique, que les techniques thermoplastiques produisent moins de vides endodontiques et un PGSA moindre par rapport à la condensation latérale à froid.

Dans la publication de Neuhaus et coll. (2016), l'objectif est de comparer la technique de condensation latérale à froid par rapport à la technique avec tuteur (en plastique et en gutta-percha réticulée) en fonction de la densité d'obturation sur des canaux présentant des courbures à 25°. Les résultats dévoilent une meilleure densité d'obturation avec un PGSA moindre et moins de vides endodontiques avec les obturations avec tuteur par rapport à la technique mono-cône. De la même manière, Mancino et coll. (2021), comparent la qualité de l'obturation de cinq techniques d'obturations : mono-cône, mono-cône et biocéramique, condensation verticale à chaud

et à tuteur en plastique et en gutta-percha réticulée. La densité d'obturation des différentes obturations, dans des canaux ovalaires, est analysée. Ainsi, les auteurs montrent que la technique mono-cône engendre le plus de vides endodontiques indépendamment du ciment utilisé.

Dans l'étude de la densité d'obturation de Gordon et coll., 2005, des modèles en résine présentant des courbures comprises entre 30° et 58° et des canaux mésiaux de molaires mandibulaires sont mis en forme en 6 % de conicité puis obturés avec les techniques mono-cônes et par condensation latérale à froid. Les résultats indiquent que la technique d'obturation avec un mono-cône adapté à la conicité terminale du canal engendre les mêmes pourcentages de remplissage que la condensation latérale à froid. Cependant, l'obturation avec un mono-cône est nettement plus rapide.

- Le scellement apical

Dans l'article de Gernhardt et coll. (2007), des incisives monocanales sont mises en forme et obturées avec les techniques de condensation latérale à froid, condensation verticale à chaud, obturation avec tuteur et deux ciments de scellement à base résineuse. L'étanchéité du scellement apical est analysée. Les résultats indiquent que le ciment AHplus engendre un meilleur scellement apical par rapport au ciment EndoRez. De plus, les techniques à chaud entraînent un meilleur scellement apical que la condensation latérale à froid. De même, dans leur article analysant le scellement apical des techniques de condensation latérale à froid et par techniques à tuteur en plastique en gutta-percha réticulée, Vadachkoria et coll. (2019), décrivent un meilleur scellement du tiers apical avec les techniques à tuteur. Le meilleur scellement apical a été décrit pour la technique à tuteur en gutta-percha réticulée.

- Force de liaison avec la dentine péri-canalair

Dans l'article de Moinuddin et coll. (2019), des dents antérieures maxillaires sont traitées et obturées avec les techniques par condensation latérale à froid et d'injection de gutta-percha thermoplastique. Les échantillons sont soumis au test de résistance à la poussée. Les résultats indiquent une meilleure liaison à la dentine avec technique

d'injection de gutta-percha thermoplastique par rapport à la condensation latérale à froid avec le même ciment, AHplus. Cependant, l'article de Dabaj et coll. (2018) montre une meilleure liaison du ciment AHplus en condensation latérale à froid par rapport à la technique d'injection de gutta-percha thermoplastique.

- Capacité à sceller les canaux accessoires

Dans l'étude de Wolf et coll. (2021), l'objectif est d'analyser la capacité des différentes techniques d'obturation à sceller les canaux accessoires et de démontrer la supériorité des techniques thermoplastiques à sceller les canaux accessoires. Ainsi, des modèles simulant un canal droit, avec des canaux accessoires répartis le long du canal, sont mis en forme et obturés avec les techniques de condensation verticale à chaud et latérale à froid. Les auteurs rapportent qu'avec la condensation verticale à chaud, une obturation complète des canaux accessoires est observée dans plus de 85% avec du ciment mais aussi de la gutta-percha. Contrairement à la condensation latérale à froid, où seulement 61,1% des canaux accessoires sont scellés par du ciment.

Dans l'article de Peng et coll. (2007), des critères cliniques sont étudiés comme le résultat à long terme d'une obturation, la présence de douleur post-opératoire, l'extrusion de matériau par l'apex et la qualité de l'obturation. Les auteurs ne décrivent pas de différences entre les techniques d'obturation à chaud et la condensation latérale à froid à part pour la présence plus importante d'extrusion de matériau d'obturation pour les techniques « à chaud ».

3.2.2 Techniques à chaud

Les techniques d'obturations thermoplastiques, « à chaud », engendrent des résultats nettement supérieurs en termes de densité d'obturation, de scellement apical et de scellement des canaux accessoires, par rapport aux techniques classiques, comme vu précédemment. Cependant, dans la littérature, de nombreux auteurs ont comparé les différentes techniques thermoplastiques entre elles.

- Densité d'obturation

Dans l'article de Weis et coll. (2004), les canaux mésiaux de molaires mandibulaires sont mis en forme et obturés. L'objectif de l'étude est d'analyser la finesse du joint de ciment de scellement et la présence de vides endodontiques. La technique d'obturation à tuteur engendre un joint de ciment de scellement plus fin et moins de vides endodontiques par rapport aux techniques de condensation latérale et verticale à chaud.

Dans l'article de Pérez-Alfayate et coll. (2021), des canaux de molaires mandibulaires présentant des courbures entre 20° et 89° sont mis en forme et obturés. La densité d'obturation est analysée par microscopie à fluorescence et microscope optique. La technique à tuteur en plastique engendre plus de vides endodontiques que la technique à tuteur en gutta-percha réticulée et la technique mono-cône et biocéramique. La technique biocéramique induit le PGSA le plus important.

L'article de Gençoğlu (2003), après l'analyse de la densité d'obturation de différentes techniques d'obturation au niveau du tiers apical, conclut que la technique d'obturation à tuteur en plastique engendre un meilleur PGFA par rapport aux techniques de condensation latérale à froid et verticale à chaud.

Dans l'article de Li et coll. (2014), des canaux ovalaires de prémolaires sont obturés avec les techniques de condensation latérale à froid, verticale à chaud et à tuteur en gutta-percha réticulée. Cette étude démontre, grâce à la microtomographie aux rayons X et au microscope à balayage électronique que dans des canaux ovalaires de prémolaires l'obturation à tuteur en gutta-percha réticulée produit moins de vides endodontiques que l'obturation par condensation verticale à chaud. Cette différence n'est toutefois pas statistiquement significative. La technique à tuteur en gutta-percha réticulée présente également une simplicité d'utilisation par rapport à la condensation verticale à chaud.

Dans l'étude de Natera et coll. (2011), l'objectif est de comparer la capacité des techniques par condensation verticale à chaud et injection de gutta-percha thermo-plastifiée, à s'ajuster à des défauts artificiellement créés au tiers apical. Cette étude

utilise un modèle artificiel, séparable en deux moitiés mimant une canine maxillaire. Lors de l'expérience, les auteurs remarquent que la condensation verticale à chaud produit beaucoup plus de vides endodontiques et ne parvient pas à épouser les irrégularités réalisées au niveau apical (Figure 39).

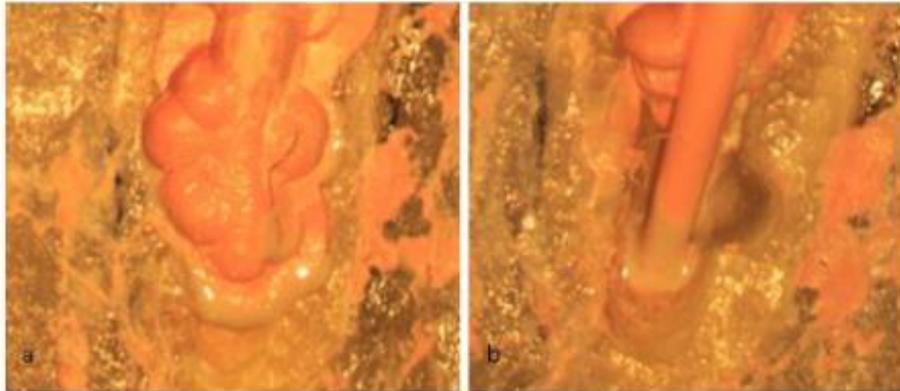


Figure 39 : Vue en coupe grâce au modèle de l'obturation du tiers apical. À gauche : technique par injection ; à droite : technique par condensation verticale à chaud (Source : Natera et coll., 2011).

Cette incapacité est directement liée à l'enfoncement limite du *plugger* chaud dans le canal et à la mauvaise conduction thermique de la gutta-percha. La chaleur induite par le *plugger* ne permet pas de thermoplastifier le cône de gutta-percha. Ainsi dans la partie apicale de l'obturation, la technique par condensation verticale à chaud engendre les mêmes résultats que la technique mono-cône, comme l'a également souligné Iglecias et coll. (2017).

Dans l'article de Mancino et coll. (2021), des canaux distaux de molaires mandibulaires ayant une forme ovale sont mis en forme et obturés avec cinq techniques d'obturation différentes : condensation verticale à chaud, à tuteur en plastique, à tuteur en gutta-percha réticulée, mono-cône avec un ciment de scellement et mono-cône avec un ciment biocéramique. Des coupes sont réalisées dans les canaux obturés à 2 et 4 mm de l'apex. Ces coupes sont ensuite observées avec un microscope optique et un microscope électronique à balayage pour analyser les PGFA, PGSA et l'incidence de vides endodontiques. Les résultats indiquent que la technique à tuteur engendre une

meilleure obturation avec un PGFA plus important, un PGSA faible et peu de vides endodontiques. La condensation verticale à chaud à 2 mm de l'apex produit significativement plus de vides endodontiques et un PGSA plus important. En effet, dans les coupes réalisées à 2 et 4 mm, la gutta-percha thermoplastique est totalement absente, ce qui confirme les résultats de Natera et coll. (2011) et de Iglecias et coll. (2017).

Dans l'article de De-Deus et coll. (2006), des incisives centrales maxillaires sont mises en forme et obturées avec différents systèmes d'obturation. Des coupes sont réalisées à 2 et 4 mm de l'apex et la densité d'obturation apicale est étudiée au microscope optique. Les résultats montrent que la technique d'obturation à tuteur entraîne un plus important PGFA par rapport aux techniques par condensation verticale à chaud et latérale à froid.

Dans la publication de Neuhaus et coll. (2016), la densité d'obturation des techniques de condensation latérale à froid et à tuteur, en plastique et en gutta-percha réticulée, est analysée sur des canaux présentant des courbures à 25°. Les résultats dévoilent une densité d'obturation similaire entre les techniques à tuteur en plastique et en gutta-percha réticulée. Cependant, une différence hautement significative est remarquée en considérant la position des tuteurs. En effet pour la technique à tuteur en plastique, les tuteurs finissent majoritairement contre une paroi dentinaire, ce qui est problématique car l'obturation n'est plus assurée par de la gutta-percha mais par le tuteur plastique.

Dans l'étude de Holmes et coll. (2021), des répliques imprimées en trois dimensions d'incisives centrales maxillaires sont mises en forme et obturées avec différentes techniques. La densité d'obturation est analysée par nano tomographie par rayons X. Les résultats indiquent que la technique d'obturation à tuteurs en gutta-percha réticulée produit le moins de vides endodontiques par rapport aux techniques de condensation verticale à chaud, latérale à froid, mono-cône avec un ciment de scellement et mono-cône avec un ciment biocéramique.

- Scellement apical

Dans l'étude de Marques-Ferreira et coll. (2017), des dents monoradiculées et découronnées sont mises en forme, obturées et plongées dans une solution contenant des radio isotopes. L'analyse est réalisée grâce à la scintigraphie. Les résultats indiquent que les techniques à tuteurs en plastique et en gutta-percha réticulée montrent un résultat au niveau du scellement apical similaire à la technique de condensation verticale à chaud. Cependant, la condensation verticale à chaud présente une légère supériorité mais elle n'est pas statistiquement significative.

L'étude de Vadachkoria et coll. (2019), après avoir analysé le scellement apical entre la technique de condensation latérale à froid et techniques à tuteurs en plastique et en gutta-percha réticulée, conclut que la technique à tuteur en gutta-percha réticulée engendre une meilleure obturation par rapport aux deux autres techniques d'obturation.

Dans l'étude de Mathur et coll. (2015), des dents monoradiculées sont mises en forme et obturées avec les techniques par condensation latérale à froid, condensation verticale à chaud, hybride avec condensation latérale et verticale à chaud et par tuteur en plastique. L'étanchéité apicale de l'obturation canalair est testée avec le test de percolation bactérienne et de pénétration de colorant. La technique d'obturation à tuteur induit une meilleure étanchéité par rapport aux trois autres méthodes.

Dans l'article de Hwang et coll. (2015), le scellement apical des techniques de condensation verticale à chaud, à tuteur de gutta-percha réticulée, mono-cône + biocéramique et à injection de ciment d'obturation + mono-cône (Guttaflow) est évalué avec un test de percolation bactérienne et par microscopie à fluorescence. Les auteurs ont montré que les techniques par condensation verticale à chaud et à tuteur engendrent un scellement apical similaire dans le cas de prémolaires monoradiculées. De plus, les techniques d'obturation mono-cône et biocéramique possèdent un PGSA plus important mais un scellement apical similaire aux techniques « à chaud ». Seule la technique à injection de ciment d'obturation + monôcone de engendre un scellement apical moindre.

- Scellement des canaux accessoires

Dans la publication de Dasari et coll. (2020), les auteurs décrivent une meilleure pénétration du ciment et une meilleure adaptation au canal avec la technique de condensation verticale à chaud par rapport aux techniques par condensation latérale à froid et à injection de gutta-percha thermoplastifiée.

- Désobturation

Dans la publication de Beasley et coll. (2013), des racines mésiales de molaires mandibulaires sont mises en forme et obturées avec trois techniques : technique à tuteur en gutta-percha réticulée, à tuteur en plastique et par condensation verticale à chaud. Dans un deuxième temps ces racines sont désobturées. Le temps pour atteindre la longueur de travail et le temps pour désobturer complètement la racine sont enregistrés. Les résultats démontrent que la désobturation de l'obturation avec un tuteur en gutta-percha réticulée prend nettement moins de temps. Une différence significative d'environ 10 minutes a été constatée.

3.2.3 Technique biocéramique

Les ciments biocéramiques sont une innovation technique en endodontie. Leur utilisation permet de simplifier l'obturation (Crozet et Gaudin 2021). Dans la littérature, des comparaisons en fonction des critères cliniques ont été réalisées afin de mieux comprendre leurs avantages et leurs limites par rapport aux autres techniques d'obturation.

- Force de liaison à la dentine péri-canalalaire

Dabaj et coll. (2018) démontrent à l'aide d'un test de résistance à la pression que les ciments biocéramiques possèdent une meilleure force de liaison avec la dentine radiculaire lors d'une utilisation avec la technique de condensation latérale à froid par rapport à la technique de condensation verticale à chaud. Cependant, Gade et coll. (2015) montrent que la force de liaison à la dentine péri-canalalaire des ciments biocéramiques est augmentée avec l'utilisation de la technique à condensation verticale

à chaud par rapport à la technique de condensation latérale à froid. Enfin, Al-Hiyasat et Alfirjani (2019), démontrent que les techniques d'obturation, qu'elles soient verticale à chaud, mono-cône ou par condensation latérale à froid, n'ont pas d'effet sur la force de liaison à la dentine des ciments biocéramiques.

Dans l'étude de DeLong et coll. (2015), des dents monoradiculées sont traitées et obturées avec les techniques mono-cône et par condensation vertical à chaud avec des ciments biocéramiques. Un test de résistance à la pression est ensuite réalisé. Les résultats montrent une perte de force de liaison lors d'une obturation par condensation verticale à chaud par rapport à la technique mono-cône + ciments biocéramiques.

- Densité d'obturation

Dans l'article de Ko et coll. (2020), des prémolaires monoradiculées sont mises en forme et obturées avec les techniques d'obturation mono-cône + ciment biocéramique, mono-cône + ciment biocéramique et activation ultrasonore et condensation verticale à chaud. L'obturation des canaux accessoires est observée après avoir déshydraté et décalcifié la dent. Pour la densité d'obturation, la comparaison est réalisée grâce à la microtomographie par rayons X. Les résultats ne montrent pas de différence d'obturation pour les canaux accessoires en fonction des techniques d'obturation. Cependant, la technique avec mono-cône et activation ultrasonique produit la même densité d'obturation que la technique par condensation verticale à chaud. La technique mono-cône seule est la technique ayant produit le plus de vides endodontiques dans son obturation.

Dans l'article de Mancino et coll. (2021), des canaux distaux de molaires mandibulaires ayant une forme ovalaire sont mis en forme et obturés avec cinq techniques différentes d'obturation : condensation verticale à chaud, à tuteurs en plastique et en gutta-percha réticulée, mono-cône avec un ciment de scellement et mono-cône avec un ciment biocéramique. Des coupes sont réalisées dans les canaux obturés à 2 et 4 mm de l'apex. Ces coupes sont ensuite observées avec un microscope optique et un microscope électronique à balayage pour analyser les PGFA, PGSA et l'incidence de vides endodontiques. Les résultats indiquent que les techniques « à chaud »

engendrent une meilleure obturation. Cependant, la non-utilisation de dispositif aidant à injecter et à répartir le ciment dans le canal lors de la technique mono-cône explique l'incidence importante de vides endodontiques avec cette technique d'obturation.

Dans l'article de Pérez-Alfayate et coll. (2021), des canaux de molaires mandibulaires présentant des courbures entre 20° et 89° sont mis en forme et obturés avec les techniques d'obturation à tuteur en gutta-percha réticulée, en plastique, et par condensation latérale à froid avec un ciment à base résineuse et un ciment biocéramique. La densité d'obturation est analysée par microscopie à fluorescence et microscope optique. Les résultats montrent que les techniques par condensation latérale à froid avec un ciment à base résineuse ou un ciment biocéramique engendrent le même taux de vides endodontiques. Dans l'article analysant la présence de vides endodontiques de Migliau et coll. (2022), des dents monoradiculées sont obturées avec les techniques à tuteur de gutta-percha réticulée et d'injection de ciment d'obturation (Guttaflow2) + mono-cône. Les résultats indiquent que la technique d'obturation avec tuteur en gutta-percha réticulée entraîne une meilleure densité d'obturation au niveau apical mais une moins bonne densité au niveau des tiers médian et coronaire. L'explication probable étant la différence de forme géométrique entre le tuteur (rond) et le canal (ovale). De plus, l'embout d'injection du ciment d'obturation n'arrive pas à atteindre la zone apicale du canal expliquant la présence plus importante de vides endodontiques avec la technique à injection de ciment d'obturation + mono-cône.

- Scellement apical

Dans l'article de Hwang et coll. (2015), le scellement apical des techniques de condensation verticale à chaud, à tuteur en gutta-percha réticulée, mono-cône + ciment biocéramique et activation ultrasonore et à injection de ciment d'obturation (Guttaflow) + mono-cône, est évalué avec un test de percolation bactérienne et par microscopie à fluorescence. Les auteurs montrent que les techniques par condensation verticale à chaud et à tuteur engendrent un scellement apical similaire dans le cas de prémolaires monoradiculées. Seule la technique à injection de GuttaFlow engendre un moins bon scellement apical. De plus, l'activation avec des ultrasons du cône de gutta-percha engendre une bonne répartition du ciment dans le canal. Ainsi, l'obturation mono-cône

+ ciment biocéramique entraîne un scellement apical similaire à celui des techniques « à chaud ».

- Pénétration du ciment dans les tubulis dentinaires

Dans l'article de Yang et coll. (2021), l'objectif est d'évaluer la pénétration de ciment à l'intérieur des canalicules dentinaires et de comparer le temps de retraitement pour les techniques d'obturation à condensation verticale à chaud et mono-cône. Les deux techniques sont utilisées soit avec un ciment de scellement à base résineuse soit avec un des deux ciments biocéramiques. Les dents mises en forme et obturées sont des dents monoradiculées. La pénétration du ciment dans les canalicules dentinaires est évaluée par microscopie en fluorescence et microscopie électronique à balayage. Le temps de désobturation, temps nécessaire pour atteindre la longueur de travail, est chronométré. Les résultats indiquent que le ciment biocéramique BC Sealer Hiflow, conçu pour présenter une résistance à la chaleur plus élevée (Crozet et Gaudin, 2021), a une meilleure pénétration dentinaire en condensation verticale à chaud par rapport à la technique mono-cône + ciment biocéramique. Cependant, l'utilisation avec la condensation verticale à chaud de ciment biocéramique allonge significativement le temps de retraitement. Dans l'étude de Casino Alegre et coll. (2022), des dents monoradiculées sont mises en forme et obturées avec le ciment biocéramique BC Sealer Hiflow avec les techniques mono-cône et condensation verticale. La pénétration canaliculaire du ciment est analysée par microscopie à fluorescence. L'étude démontre une meilleure pénétration canaliculaire lorsque le ciment BC Sealer Hiflow est associé à la technique par condensation verticale à chaud.

Dans l'étude de Bem et coll. (2020), des dents monoradiculées sont mises en forme et obturées avec des ciments à base résineuse et biocéramique et avec la technique de condensation latérale à froid avec et sans activation ultrasonore. Un test de résistance à la pression est ensuite réalisé et la pénétration du ciment dans les canalicules dentinaires est analysée. Ainsi, l'activation ultrasonore améliore la pénétration canaliculaire du ciment et sa force de liaison avec la dentine péri-canalalaire.

La revue d'article de Girelli et coll. (2022) a pour but d'évaluer la qualité de l'obturation endodontique entre les techniques « à chaud » et la technique mono-cône + ciment biocéramique. Les auteurs ont trouvé trois articles démontrant une supériorité des techniques « à chaud » et deux articles ne trouvant pas de différence concernant la densité d'obturation et les vides endodontiques. Pour le critère de la pénétration de ciment dans les canalicules dentinaires, quatre articles ne démontrent pas de différences statistiques et un seul article démontre une supériorité des techniques « à chaud ».

- Etudes cliniques

Dans cette étude clinique de Kim et coll. (2022), les canaux sont mis en forme et irrigués avec de l'hypochlorite de sodium à 2,5 %. L'obturation est réalisée la séance suivante soit avec la technique de condensation verticale à chaud soit avec la technique mono-cône + ciment biocéramique. Les patients sont recontactés, après six mois, pour évaluer les résultats du traitement. Le succès du traitement endodontique est évalué en fonction de la résolution des symptômes cliniques et de l'amélioration du score de l'index péri-apical, c'est-à-dire une réduction de la taille de la lésion péri-apicale radiographiquement. Les résultats indiquent que les deux techniques d'obturation ont le même taux de succès et la même qualité d'obturation en termes de vides endodontiques.

L'étude de cohorte rétrospective de Chybowski et coll. (2018), inclus 307 dents traitées ou retraitées endodontiquement, et obturées avec un ciment biocéramique + mono-cône. Le taux de succès, à minimum un an, est de 90%. La technique d'obturation mono-cône + ciment biocéramique est donc une technique viable. Cette viabilité est liée aux propriétés du ciment biocéramique.

4. Synthèse et discussion

4.1 Tableau synthétique

Comme nous l'avons vu, il existe de nombreux articles (Tableau 3) traitant des différentes méthodes d'obturation. Il est nécessaire de synthétiser les informations de la littérature afin de pouvoir évaluer les différentes techniques d'obturation canalaire en endodontie.

Tableau 3 : Synthèse des articles comparant les techniques d'obturation.

Étude	Techniques comparées	Résultats
Schäfer et coll. 2016	Mono-cône ; Tuteur en gutta-percha réticulée ; Condensation latérale.	La technique à tuteur engendre un meilleur PGFA et moins de vides endodontiques.
Pérez-Alfayate et coll. 2021	Condensation latérale à froid ; Mono-cône + biocéramique ; Tuteur en gutta-percha réticulée ; Tuteur en plastique.	La condensation latérale à froid avec ou sans biocéramique, engendre le plus de vides endodontiques. La technique à tuteur en gutta-percha réticulée engendre une meilleure densité d'obturation par rapport au tuteur en plastique. La technique biocéramique engendre le PGSA le plus important.
Iglecias et coll. 2017	Condensation verticale à chaud ; Mono-cône.	Les densités d'obturation sont similaires sur des canaux avec des courbures modérées (30°) sauf au tiers coronaire → meilleure densité en condensation verticale à chaud.
Dasari et coll. 2020	Condensation verticale à chaud, Condensation latérale à froid, Injection de gutta-percha ; le tout avec un ciment biocéramique.	Meilleure pénétration du ciment et meilleure adaptabilité de l'obturation avec la condensation verticale à chaud. La condensation latérale à froid produit le plus de vides endodontiques.
Li et coll. 2014	Condensation latérale à froid ; Condensation verticale à chaud ; Tuteur en gutta-percha réticulée.	La condensation latérale à froid produit le plus de vides endodontiques et le PGSA le plus important. La technique à tuteur montre une supériorité non-significative pour l'incidence de vides endodontiques par rapport à la condensation verticale à chaud. La technique à tuteur est plus simple d'utilisation.
Neuhaus et coll. 2016	Mono-cône ; Tuteur en plastique ; Tuteur en gutta-percha réticulée.	La technique mono-cône produit plus de vides endodontiques et un PGSA plus important. Densités d'obturation similaires entre les techniques à tuteur mais, le tuteur en plastique a tendance à finir contre les parois canalaire.
Mancino et coll. 2021	Mono-cône ; Mono-cône + biocéramique ; Condensation verticale à chaud ; Tuteur en plastique ; Tuteur en gutta-percha réticulée.	La technique mono-cône, indépendamment du ciment utilisé, engendre le plus de vides endodontiques, mais ici aucun dispositif d'injection du ciment n'a été utilisé. La condensation verticale à chaud produit plus de vides endodontiques et un PGSA plus important par rapport aux techniques à tuteurs.

Gordon et coll. 2005	Mono-cône ; Condensation latérale à froid.	Les densités d'obturation sont similaires, mais la technique mono-cône est plus rapide.
Gernhardt et coll. 2007	Condensation latérale à froid ; Condensation verticale à chaud ; Tuteur en plastique.	Les techniques thermoplastiques produisent un meilleur scellement apical.
Vadachkoria et coll. 2019	Condensation latérale à froid ; Tuteur en plastique ; Tuteur en gutta-percha réticulée.	La technique à tuteur en gutta-percha réticulée engendre un meilleur scellement apical par rapport à la condensation latérale à froid et à la technique à tuteur en plastique.
Moinuddin et coll. 2019	Condensation latérale à froid ; Injection de gutta-percha.	Les techniques thermoplastiques engendrent une meilleure liaison cimento-dentinaire (ciment à base résineuse).
Dabaj et coll. 2018	Condensation latérale à froid ; Condensation verticale à chaud.	La condensation latérale à froid produit une meilleure liaison cimento-dentinaire (ciments à base résineuse et biocéramique).
Wolf et coll. 2021	Condensation latérale à froid ; Condensation verticale à chaud.	Meilleur scellement des canaux accessoires avec la condensation verticale à chaud (par extension les techniques thermoplastiques).
Peng et coll. 2007	Techniques à chaud ; Condensation latérale à froid.	Résultats cliniques, sur le long terme, similaires.
Weis et coll. 2004	Condensation latérale à froid ; Condensation verticale à chaud ; Tuteur en plastique.	L'obturation à tuteur en plastique produit moins de vides endodontiques et un PGSA inférieur pour des canaux présentant des courbures.
Gençoğlu 2003	Condensation latérale à froid ; Condensation verticale à chaud ; Tuteur en plastique.	Les techniques à tuteur engendrent un meilleur PGFA.
Natera et coll. 2011	Condensation verticale à chaud ; Injection de gutta-percha.	La technique à injection produit un meilleur ajustement apical. La condensation verticale à chaud engendre plus de vides endodontiques.
De-Deus et coll. 2006	Condensation verticale à chaud ; Condensation latérale à froid ; Tuteur en plastique.	La technique à tuteur en plastique produit un PGFA plus important.
Holmes et coll. 2021	Condensation latérale à froid ; Condensation verticale à chaud ; Mono-cône avec et sans biocéramique ; Tuteur en gutta-percha réticulée.	La technique à tuteur en gutta-percha réticulée engendre moins de vides endodontiques.
Marques-Ferreira et coll. 2017	Condensation verticale à chaud ; Tuteurs en plastique et en gutta-percha réticulée.	Scellement apical similaire sur des dents monoradiculées.
Mathur et coll. 2015	Condensation latérale à froid ; Condensation verticale à chaud ; Tuteur en plastique.	Meilleur scellement apical avec la technique à tuteur en plastique.

Hwang et coll. 2015	Condensation verticale à chaud ; Tuteur en gutta-percha réticulée ; Mono-cône + biocéramique ; Injection de ciment d'obturation (GuttaFlow) + mono-cône.	Condensation verticale à chaud, à tuteur en gutta-percha réticulée et mono-cône + biocéramique et activation ultrasonore engendrent un scellement apical. PGSA plus important pour mono-cône + biocéramique. GuttaFlow engendre un scellement apical moins bon que pour les autres techniques.
Beasley et coll. 2013	Condensation verticale à chaud ; Tuteur en plastique ; Tuteur en gutta-percha réticulée.	La désobturation est plus rapide avec une obturation à tuteur en gutta-percha réticulée par rapport à la condensation verticale à chaud et à tuteur en plastique.
DeLong et coll. 2015	Condensation verticale à chaud, Mono-cône + biocéramique.	Perte de force de liaison cimento-dentinaire avec la technique à chaud pour les ciments biocéramiques.
Ko et coll. 2020	Mono-cône + biocéramique avec et sans activation ultrasonore ; Condensation verticale à chaud.	L'activation ultrasonore améliore la densité d'obturation, similaire à la condensation verticale à chaud. Mono-cône sans activation produit le plus de vides endodontiques.
Migliau et coll. 2022	Mono-cône ; Tuteur en gutta-percha réticulée ; Injection de ciment d'obturation (GuttaFlow2) + mono-cône.	Meilleure densité apicale avec la technique à tuteur en gutta-percha réticulée mais meilleure densité au niveau des tiers médian et coronaire pour la technique à injection de ciment d'obturation + monôcone (GuttaFlow2).
Yang et coll. 2021	Condensation verticale à chaud + biocéramique ; Mono-cône + biocéramique.	BC sealer Hiflow possède une meilleure pénétration canaliculaire en condensation verticale à chaud mais la durée de désobturation est allongée.
Casino Alegre et coll. 2022	Mono-cône + biocéramique ; Condensation verticale à chaud + biocéramique.	BC Sealer Hiflow présente une meilleure pénétration canaliculaire en condensation verticale à chaud.
Bem et coll. 2020	Condensation latérale à froid + biocéramique, avec et sans activation ultrasonore.	L'activation ultrasonore améliore la pénétration canaliculaire du ciment biocéramique.
Girelli et coll. 2022	Mono-cône + biocéramique ; Techniques thermoplastiques.	Pénétration canaliculaire du ciment : un seul article à l'avantage des techniques thermoplastiques. Densité d'obturation : trois articles à l'avantage des techniques thermoplastiques.
Kim et coll. 2022	Condensation verticale à chaud ; Mono-cône + biocéramique.	Même taux de succès après 6 mois.
Chybowski et al. 2018	Mono-cône + biocéramique.	Taux de succès de 90 %.

D'après les résultats de la littérature, la technique à tuteur en gutta-percha apparaît comme la solution de choix pour l'obturation du complexe endodontique. Effectivement, cette technique est rapide à utiliser et engendre un scellement apical et une densité d'obturation supérieurs aux autres techniques thermoplastiques. De plus l'utilisation du tuteur en gutta-percha réticulée supprime les problèmes de manque de gutta-percha dans l'obturation inhérent à la technique à tuteur en plastique. La réintervention facilitée, sur un canal obturé avec la technique à tuteur en gutta-percha réticulée, est un critère pertinent par rapport à l'obturation avec un ciment biocéramique.

La technique biocéramique, quant à elle, engendre une bonne pénétration canaliculaire et une excellente force de liaison à la dentine péri-canalalaire. De plus sa bonne densité d'obturation et son bon scellement apical en font un choix pertinent. Cette technique a révélé également un taux de succès clinique fort grâce aux propriétés biologiques des ciments biocéramiques.

La technique à condensation verticale à chaud est une bonne méthode thermoplastique. Cependant, son utilisation est chronophage et montre ses limites dans des canaux longs ou présentant des courbures. Le fouloir est en métal, il peut donc se déformer mais reste compliqué à utiliser dans des canaux présentant des courbures modérées. De plus l'utilisation de la condensation verticale à chaud demande une mise en forme plus importante du canal, ce qui fragilise la dent (Chybowski et coll. 2018). Toutefois, cette technique engendre une bonne densité d'obturation et bon scellement apical dans des canaux droits.

La technique latérale à froid est la technique présentant le plus d'inconvénients et produisant les moins bons résultats. Cette technique produit un scellement apical inférieur, une densité d'obturation inférieure et d'importants vides endodontiques, par rapport aux techniques thermoplastiques. Enfin, les praticiens ont tendance à plébisciter l'utilisation de la technique mono-cône avec les ciments d'obturation à base de silicate tricalcique pour raccourcir le temps opératoire lié à l'obturation canalaire.

4.2 Discussion des résultats

D'après Pérez-Alfayate et coll. (2021), l'utilisation des techniques à tuteur est un fait cliniquement établi et permet de nombreux avantages spécialement dans des canaux présentant des courbures. Là où les techniques à condensation peuvent difficilement passer les courbures, les tuteurs permettent de distribuer équitablement les forces de condensation. Ainsi, les résultats obtenus avec la littérature sont cohérents, la technique à tuteur en gutta-percha réticulée semble être la solution de choix.

La technique à condensation verticale à chaud a montré ses limites dans de nombreux articles, notamment dans les articles de Natera et coll. (2011), Iglecias et coll. (2017) et Mancino et coll. (2021). En effet dans la partie apicale de l'obturation, la gutta-percha thermoplastifiée est absente. Cette absence témoigne de l'incapacité du *plugger* à transmettre la chaleur permettant de rendre plastique la gutta-percha. Cependant, la technique de condensation verticale à chaud ne doit pas s'apparenter à une technique mono-cône en apical. Est-ce un biais d'opérateur ou une véritable limite de la technique d'obturation ?

L'activation ultrasonore semble améliorer la répartition des ciments biocéramiques dans le complexe canalaire. Cependant, ces résultats ne font pas l'unanimité. Ainsi, il serait bénéfique de continuer les recherches dans ce sens.

La technique du thermocompactage est peu comparée avec les autres techniques d'obturation endodontique dans la littérature. En effet, cette technique est très opérateur-dépendant. Il est donc difficile de standardiser l'analyse de cette technique d'obturation.

Plusieurs articles, à travers leurs résultats contradictoires, soulignent ce manque de standardisation. Par exemple, Dabaj et coll. (2018) et Moinuddin et coll. (2019) trouvent des résultats inverses avec l'utilisation d'un ciment à base résineuse et le même système d'obturation. Cependant, la première étude utilise une technique de condensation verticale à chaud associée à un *backfill* par injection de gutta-percha alors que la seconde utilise uniquement la technique à injection de gutta-percha. À travers

cet exemple, c'est le manque de standardisation et la variabilité de protocole qui peuvent expliquer ces différences de résultats.

De plus, certaines analyses des critères cliniques sont réalisées avec des tests qualitatifs. Ainsi, les résultats sont dichotomiques et ne peuvent nuancer les différences entre les techniques d'obturation. Certaines méthodes d'évaluation manquent également de résolution. Par exemple, Li et coll. (2014) expliquent que la méthode de microtomographie par rayons X manque de résolution pour caractériser les vides endodontiques par rapport aux techniques destructives et analyses au microscope électronique à balayage. En conclusion, les résultats peuvent être impactés en fonction des méthodes d'analyses choisies.

4.3 Proposition d'un protocole clinique

D'après de Chevigny et coll. (2008), la technique d'obturation canalaire est un facteur significatif pour le pronostic du traitement endodontique. En effet, historiquement, les échecs endodontiques sont associés à une mauvaise obturation endodontique (Chybowski et coll. 2018).

Après avoir recherché dans la littérature, il semble que les deux solutions de choix pour l'obturation endodontique soient :

- La technique à tuteur en gutta-percha réticulée ;
 - La technique à mono-cône et ciment d'obturation à base de silicate tricalcique.
- Technique à tuteur en gutta-percha réticulée

L'utilisation de la technique à tuteur est cliniquement établie (Pérez-Alfayate et coll. 2021). De plus, l'utilisation de tuteur en gutta-percha réticulée améliore la technique notamment sur les vides endodontiques et le retraitement. Ainsi, la technique à tuteur en gutta-percha est performante dans les canaux droits mais également dans les canaux présentant des courbures. Le tuteur permettant de répartir équitablement les forces le long du canal. De plus, la désobturation d'un canal obturé avec la technique à

tuteur en gutta-percha réticulée est plus rapide par rapport aux autres techniques thermoplastiques et mono-cône + biocéramique.

La technique à tuteur apparaît comme la solution de choix pour obturer tous les canaux présentant des apex fermés, sans variation du diamètre de la lumière canalaire, indépendamment de la courbure canalaire, et particulièrement dans les cas de traitements endodontiques de première intention.

- Technique mono-cône et ciment d'obturation à base de silicate tricalcique

Récemment, les ciments biocéramiques ont gagné en popularité grâce à leurs propriétés biologiques et physico-chimiques (Chybowski et coll. 2018). D'après la revue de la littérature, l'obturation avec un ciment biocéramique semble être indiquée dans les cas de variation de la lumière canalaire (résorption interne par exemple). En effet l'injection de ciment d'obturation avec une seringue permet un meilleur remplissage et l'activation ultrasonore semble améliorer la répartition du ciment. Ainsi, dans les cas de variation de la lumière canalaire, l'obturation mono-cône + ciment d'obturation biocéramique semble être la technique d'obturation préférentielle.

Cette technique semble être préférable également dans les cas où une activité antimicrobienne sur le long terme est souhaitée. En effet, les ciments biocéramiques engendrent un milieu fortement alcalin luttant contre le développement des bactéries persistantes (Pérez-Alfayate et coll. 2021).

La technique d'obturation mono-cône + ciment biocéramique et activation ultrasonore semble être la technique de choix pour obturer des canaux présentant des variations de diamètre et dans le cas de retraitements endodontiques avec une persistance bactérienne avérée. De plus l'utilisation des ciments d'obturation biocéramiques est préconisée lors de l'obturation de cas complexes notamment en cas de résorption interne ou externe (Eskandari et coll. 2022). En outre l'utilisation de ciment d'obturation biocéramique est possible dans le cas où la mise en place de ciment conventionnel biocéramique (MTA, Biodentine®) s'avérerait complexe, ne faisant pas d'eux des matériaux d'usage de première intention dans le traitement des perforations et des canaux à apex ouverts.

Conclusion

L'obturation endodontique est une étape clé du traitement endodontique. Cependant, une obturation coronaire étanche est primordiale pour le succès du traitement endodontique. En effet, un bon traitement endodontique, avec une bonne obturation canalaire, ne peut empêcher la percolation bactérienne sans obturation coronaire adéquate (Taha et Messer 2016).

Les ciments endodontiques ne cessent de s'améliorer. Même si les ciments oxyde de zinc eugénol restent un *gold standard*, les nouvelles familles de ciment, et notamment les ciments d'obturation, se démocratisent. Les techniques d'obturation canalaire ont également évolué. De même, face aux problématiques posées par les techniques conventionnelles « à froid » (scellement apical, densité d'obturation, force de liaison avec la dentine, scellement des canaux accessoires, etc.), les techniques « à chaud » ont connu un véritable essor ces dernières années. Ces techniques d'obturation reposent sur les propriétés thermoplastiques de la gutta-percha et permettent une meilleure obturation tridimensionnelle. Cependant, l'utilisation de ces techniques est souvent complexe et coûteuse. D'autre part, la technique d'obturation aux ciments biocéramiques montre de très bons résultats cliniques et une facilité d'utilisation, malgré un coût assez élevé.

Après avoir consulté la littérature, les techniques à froid montrent un déficit de densité d'obturation et un scellement apical moindre par rapport aux techniques thermoplastiques et biocéramique. La technique mono-cône semble engendrer les mêmes résultats que la condensation latérale à froid, même si elle semble plus facile et plus rapide à mettre en place. Concernant les techniques thermoplastiques, la technique à tuteur en gutta-percha réticulée produit une densité supérieure et un meilleur scellement apical. De plus cette technique semble être efficace dans des canaux droits et courbes. La technique mono-cône + ciment biocéramique semble être une alternative intéressante et efficace aux techniques thermoplastiques. Son utilisation est simple et rapide et l'utilisation du ciment biocéramique engendre un environnement alcalin luttant, sur le long terme, contre le développement bactérien. Cependant, la

durée du retraitement d'une obturation à l'aide d'un ciment biocéramique est augmentée de manière significative.

La technique à tuteur en gutta-percha semble être la technique de choix pour le traitement endodontique initial et la technique mono-cône + ciment biocéramique la technique de choix pour le retraitement endodontique.

Comme nous l'avons vu, les techniques d'obturation sont de plus en plus efficaces, du moins au regard des critères cliniques d'évaluation. Cependant, le taux de succès du traitement endodontique semble stagner autour des 90 % (HAS, 2008 ; Peng et coll. 2007; Chybowski et coll. 2018). L'évolution en endodontie étant constante, une meilleure compréhension de l'endodonte et du parodonte permettra certainement de dépasser ce seuil dans les années à venir.

Bibliographie

1. Aguilar P, Linsuwanont P. Vital Pulp Therapy in Vital Permanent Teeth with Cariously Exposed Pulp: A Systematic Review. *J Endod.* mai 2011; 37(5): 581-7.
2. Ahmad IA. Rubber dam usage for endodontic treatment: a review. *Int Endod J.* nov 2009; 42(11): 963-72.
3. AL-Haddad A, Che Ab Aziz ZA. Bioceramic-Based Root Canal Sealers: A Review. *Int J Biomater.* 2016; 2016: 1-10.
4. Al-Hiyasat AS, Alfirjani SA. The effect of obturation techniques on the push-out bond strength of a premixed bioceramic root canal sealer. *J Dent.* oct 2019; 89: 103169.
5. Al-Hiyasat AS, Tayyar M, Darmani H. Cytotoxicity evaluation of various resin based root canal sealers. *Int Endod J.* févr 2010; 43(2): 148-53.
6. Aminov L, Moscalu M, Melian A, Salceanu M, Hamburda T, Vataman M. Clinical-radiological study on the role of biostimulating materials in iatrogenic furcation lesions. *Rev Med Chir Soc Med Nat Iasi.* 2012; 116(3): 907-13.
7. Ansari BB, Umer F, Khan FR. A clinical trial of cold lateral compaction with Obtura II technique in root canal obturation. *J Conserv Dent.* 2012; 15(2): 156-60.
8. Arul B, Varghese A, Mishra A, Elango S, Padmanaban S, Natanasabapathy V. Retrievability of bioceramic-based sealers in comparison with epoxy resin-based sealer assessed using microcomputed tomography: A systematic review of laboratory-based studies. *J Conserv Dent.* 2021; 24(5): 421-34.
9. Bae WJ, Chang SW, Lee SI, Kum KY, Bae KS, Kim EC. Human periodontal ligament cell response to a newly developed calcium phosphate-based root canal sealer. *J Endod.* oct 2010; 36(10): 1658-63.

10. Barbosa FOG, Gusman H, Pimenta de Araújo MC. A comparative study on the frequency, location, and direction of accessory canals filled with the hydraulic vertical condensation and continuous wave of condensation techniques. *J Endod.* mars 2009; 35(3): 397-400.
11. Basrani B, Haapasalo M. Update on endodontic irrigating solutions. *Endod Topics.* 2012; 27(1): 74-102.
12. Beasley RT, Williamson AE, Justman BC, Qian F. Time required to remove guttacore, thermafil plus, and thermoplasticized gutta-percha from moderately curved root canals with protaper files. *J Endod.* janv 2013; 39(1): 125-8.
13. Bem IAD, Oliveira RA de, Weissheimer T, Bier CAS, Só MVR, Rosa RA da. Effect of Ultrasonic Activation of Endodontic Sealers on Intratubular Penetration and Bond Strength to Root Dentin. *J Endod.* 1 sept 2020; 46(9): 1302-8.
14. Blum JY, Machtou P, Micallef JP. Analysis of forces developed during obturations. Wedging effect: Part I. *J Endod.* avr 1998; 24(4): 217-22.
15. Bosaid F, Aksel H, Makowka S, Azim AA. Surface and structural changes in root dentine by various chelating solutions used in regenerative endodontics. *Int Endod J.* oct 2020; 53(10): 1438-45.
16. Bouillaguet S, Shaw L, Barthelemy J, Krejci I, Wataha JC. Long-term sealing ability of Pulp Canal Sealer, AH-Plus, GuttaFlow and Epiphany. *Int Endod J.* mars 2008; 41(3): 219-26.
17. Briseño BM, Willershausen B. Root canal sealer cytotoxicity on human gingival fibroblasts: II. Silicone- and resin-based sealers. *J Endod.* nov 1991; 17(11): 537-40.
18. Bryan TE, Khechen K, Brackett MG, Messer RLW, El-Awady A, Primus CM, et coll. In vitro osteogenic potential of an experimental calcium silicate-based root canal sealer. *J Endod.* juill 2010; 36(7): 1163-9.

19. Buchanan LS. Filling root canal systems with centered condensation: concepts, instruments, and techniques. *Dent Today*. nov 2004; 23(11): 102, 104, 106 passim.
20. Buchanan LS. Endodontic Obturation Techniques. The State of the Art in 2015. *Dent Today*. mars 2015; 34(3): 90, 92, 94-5.
21. Byström A, Sundqvist G. Bacteriologic evaluation of the efficacy of mechanical root canal instrumentation in endodontic therapy. *Eur J Oral Sci*. août 1981; 89(4): 321-8.
22. Capar ID, Saygili G, Ergun H, Gok T, Arslan H, Ertas H. Effects of root canal preparation, various filling techniques and retreatment after filling on vertical root fracture and crack formation. *Dent Traumatol*. août 2015; 31(4): 302-7.
23. Caron G, Nham K, Bronnec F, Machtou P. Effectiveness of different final irrigant activation protocols on smear layer removal in curved canals. *J Endod*. août 2010; 36(8): 1361-6.
24. Casino Alegre A, Aranda Verdú S, Zarzosa López JI, Plasencia Alcina E, Rubio Climent J, Pallarés Sabater A. Intratubular penetration capacity of HiFlow bioceramic sealer used with warm obturation techniques and single cone: A confocal laser scanning microscopic study. *Heliyon*. sept 2022; 8(9): e10388.
25. de Chevigny C, Dao TT, Basrani BR, Marquis V, Farzaneh M, Abitbol S, et coll. Treatment Outcome in Endodontics: The Toronto Study—Phase 4: Initial Treatment. *J Endod*. 1 mars 2008; 34(3): 258-63.
26. Chybowski EA, Glickman GN, Patel Y, Fleury A, Solomon E, He J. Clinical Outcome of Non-Surgical Root Canal Treatment Using a Single-cone Technique with Endosequence Bioceramic Sealer: A Retrospective Analysis. *J Endod*. juin 2018; 44(6): 941-5.

27. Clinton K, Van Himel T. Comparison of a warm gutta-percha obturation technique and lateral condensation. *J Endod.* nov 2001; 27(11): 692-5.
28. Commission des dispositifs médicaux de l'Association Dentaire Française. Obturation canalaire. Paris : Association Dentaire Française ; 2014. 64 p.
29. Crozet A, Gaudin A. Les évolutions pratiques liées aux ciments biocéramiques en endodontie. *Inf Dent.* 3 nov 2021; 103(38): 20-7.
30. Cunningham KP, Walker MP, Kulild JC, Lask JT. Variability of the diameter and taper of size #30, 0.04 gutta-percha cones. *J Endod.* nov 2006; 32(11): 1081-4.
31. Cwikla S, Belanger M, Giguere S, Progulskifox A, Vertucci F. Dentinal Tubule Disinfection Using Three Calcium Hydroxide Formulations. *J Endod.* janv 2005; 31(1): 50-2.
32. Dabaj P, Kalender A, Unverdi Eldeniz A. Push-Out Bond Strength and SEM Evaluation in Roots Filled with Two Different Techniques Using New and Conventional Sealers. *Materials (Basel).* 5 sept 2018; 11(9): E1620.
33. Darcey J, Roudsari RV, Jawad S, Taylor C, Hunter M. Modern endodontic principles part 5: obturation. *Dent Update.* 2 mars 2016; 43(2): 114-29.
34. Dasari L, Anwarullah A, Mandava J, Konagala RK, Karumuri S, Chellapilla PK. Influence of obturation technique on penetration depth and adaptation of a bioceramic root canal sealer. *Journal of conservative dentistry : JCD.* oct 2020; 23(5): 505-11.
35. Davis SR, Brayton SM, Goldman M. The morphology of the prepared root canal: a study utilizing injectable silicone. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* oct 1972; 34(4): 642-8.
36. De-Deus G, Belladonna FG, Silva EJNL, Souza EM, Carvalhal JCA, Perez R, et coll. Micro-CT assessment of dentinal micro-cracks after root canal filling procedures. *Int Endod J.* sept 2017; 50(9): 895-901.

37. De-Deus G, Gurgel-Filho ED, Magalhães KM, Coutinho-Filho T. A laboratory analysis of gutta-percha-filled area obtained using Thermafil, System B and lateral condensation. *Int Endod J.* mai 2006; 39(5): 378-83.
38. DeLong C, He J, Woodmansey KF. The Effect of Obturation Technique on the Push-out Bond Strength of Calcium Silicate Sealers. *J Endod.* mars 2015; 41(3): 385-8.
39. Desai S, Chandler N. Calcium Hydroxide–Based Root Canal Sealers: A Review. *J Endod.* avr 2009; 35(4): 475-80.
40. Emmanuel S, Shantaram K, Sushil KC, Manoj L. An In-Vitro Evaluation and Comparison of Apical Sealing Ability of Three Different Obturation Technique - Lateral Condensation, Obtura II, and Thermafil. *Journal of international oral health : JIOH.* avr 2013; 5(2): 35-43.
41. Eskandari F, Razavian A, Hamidi R, Yousefi K, Borzou S. An Updated Review on Properties and Indications of Calcium Silicate-Based Cements in Endodontic Therapy. *Int J Dent.* 30 oct 2022; 2022: 6858088.
42. Eymirli A, Sungur DD, Uyanik O, Purali N, Nagas E, Cehreli ZC. Dentinal Tubule Penetration and Retreatability of a Calcium Silicate–based Sealer Tested in Bulk or with Different Main Core Material. *J Endod.* 1 août 2019; 45(8): 1036-40.
43. Fabricius L, Dahlén G, Holm SE, Möller AJR. Influence of combinations of oral bacteria on periapical tissues of monkeys. *Eur J Oral Sci.* 1982; 90(3): 200-6.
44. Faria-Júnior NB, Tanomaru-Filho M, Berbert FLCV, Guerreiro-Tanomaru JM. Antibiofilm activity, pH and solubility of endodontic sealers. *Int Endod J.* 2013; 46(8): 755-62.
45. Fisher MA, Berzins DW, Bahcall JK. An in vitro comparison of bond strength of various obturation materials to root canal dentin using a push-out test design. *J Endod.* juill 2007; 33(7): 856-8.

46. Flores DSH, Rached-Júnior FJA, Versiani MA, Guedes DFC, Sousa-Neto MD, Pécora JD. Evaluation of physicochemical properties of four root canal sealers: Physicochemical properties of root canal sealers. *Int Endod J.* févr 2011; 44(2): 126-35.
47. Fracchia DE, Amaroli A, Angelis ND, Signore A, Parker S, Benedicenti S, et coll. GuttaCore Pink, Thermafil and Warm Vertically compacted gutta-percha retreatment: Time required and quantitative evaluation by using ProTaper files. *Dent Mater J.* 31 mars 2020; 39(2): 229-35.
48. Franceschini K de A, Silva-Sousa YTC, Lopes FC, Pereira RD, Palma-Dibb RG, de Sousa-Neto MD. Bond strength of epoxy resin-based root canal sealer to human root dentin irradiated with Er,Cr:YSGG laser. *Lasers Surg Med.* déc 2016; 48(10): 985-94.
49. Gade VJ, Belsare LD, Patil S, Bhede R, Gade JR. Evaluation of push-out bond strength of endosequence BC sealer with lateral condensation and thermoplasticized technique: An in vitro study. *Journal of conservative dentistry : JCD.* avr 2015; 18(2): 124-7.
50. Gandolfi MG, Siboni F, Prati C. Properties of a novel polysiloxane-guttapercha calcium silicate-bioglass-containing root canal sealer. *Dent Mater.* mai 2016; 32(5): e113-26.
51. Gatewood RS. Endodontic Materials. *Dent Clin North Am.* juill 2007; 51(3): 695-712.
52. Gençoğlu N. Comparison of 6 different gutta-percha techniques (part II): Thermafil, JS Quick-Fill, Soft Core, Microseal, System B, and lateral condensation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1 juill 2003; 96(1): 91-5.

53. Gernhardt CR, Krüger T, Bekes K, Schaller HG. Apical sealing ability of 2 epoxy resin-based sealers used with root canal obturation techniques based on warm gutta-percha compared to cold lateral condensation. *Quintessence Int.* mars 2007; 38(3): 229-34.
54. Girelli CFM, Lacerda MFLS, Lemos CAA, Amaral MR, Lima CO, Silveira FF, et coll. The thermoplastic techniques or single-cone technique on the quality of root canal filling with tricalcium silicate-based sealer: An integrative review. *J Clin Exp Dent.* 1 juill 2022; 14(7): e566-72.
55. Gomes-Filho JE, Watanabe S, Bernabé PFE, de Moraes Costa MT. A Mineral Trioxide Aggregate Sealer Stimulated Mineralization. *J Endod.* févr 2009; 35(2): 256-60.
56. Gopikrishna V, Grossman LI. *Grossman's endodontic practice.* n°14. Chennai: Wolters Kluwer Health; 2021. 491 p.
57. Gordon MPJ, Love RM, Chandler NP. An evaluation of .06 tapered gutta-percha cones for filling of .06 taper prepared curved root canals. *Int Endod J.* févr 2005; 38(2): 87-96.
58. Grossman L. *Endodontic Practice.* 11th Edition. Philadelphia: Lea & Febiger; 1988. 369 p.
59. Guess G, Edwards K, Yang M, Iqbal M, Kim S. Analysis of Continuous-Wave Obturation Using a Single-cone and Hybrid Technique. *J Endod.* août 2003; 29(8): 509-12.
60. Ha JH, Kim HC, Kim YK, Kwon TY. An Evaluation of Wetting and Adhesion of Three Bioceramic Root Canal Sealers to Intraradicular Human Dentin. *Materials (Basel).* 25 juill 2018; 11(8): E1286.
61. Harris GZ, Dickey DJ, Lemon RR, Luebke RG. Apical seal: McSpadden vs lateral condensation. *J Endod.* juin 1982; 8(6): 273-6.

62. Harris SP, Bowles WR, Fok A, McClanahan SB. An Anatomic Investigation of the Mandibular First Molar Using Micro-Computed Tomography. *J Endod.* nov 2013; 39(11): 1374-8.
63. Hauman CHJ, Love RM. Biocompatibility of dental materials used in contemporary endodontic therapy: a review. Part 2. Root-canal-filling materials. *Int Endod J.* mars 2003; 36(3): 147-60.
64. Holmes S, Gibson R, Butler J, Pacheco R, Askar M, Paurazas S. Volumetric Evaluation of 5 Root Canal Obturation Methods in TrueTooth 3-dimensional-Printed Tooth Replicas Using Nano-computed Tomography. *J Endod.* mars 2021; 47(3): 485-491.e4.
65. Hopkins JH, Remeikis NA, Van Cura JE. McSpadden versus lateral condensation: The extent of apical microleakage. *J Endod.* janv 1986; 12(5): 198-201.
66. Hoskinson SE, Ng YL, Hoskinson AE, Moles DR, Gulabivala K. A retrospective comparison of outcome of root canal treatment using two different protocols. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* juin 2002; 93(6): 705-15.
67. Hwang JH, Chung J, Na HS, Park E, Kwak S, Kim HC. Comparison of bacterial leakage resistance of various root canal filling materials and methods: Confocal laser-scanning microscope study. *Scanning.* déc 2015; 37(6): 422-8.
68. Iglecias EF, Freire LG, de Miranda Candeiro GT, Dos Santos M, Antoniazzi JH, Gavini G. Presence of Voids after Continuous Wave of Condensation and Single-cone Obturation in Mandibular Molars: A Micro-computed Tomography Analysis. *J Endod.* avr 2017; 43(4): 638-42.
69. Ingle JI. A standardized endodontic technique utilizing newly designed instruments and filling materials. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* janv 1961; 14: 83-91.

70. Jain P, Pruthi V, Sikri VK. An ex vivo evaluation of the sealing ability of polydimethylsiloxane-based root canal sealers. *Indian J Dent Res.* juin 2014; 25(3): 336-9.
71. Jena A, Sahoo SK, Govind S. Root canal irrigants: a review of their interactions, benefits, and limitations. *Compend Contin Educ Dent.* 1 avr 2015; 36(4): 256-61; quiz 262, 264.
72. Johnson WB. A new gutta-percha technique. *J Endod.* juin 1978; 4(6): 184-8.
73. Kaul S, Kumar A, Badiyani BK, Sukhtankar L, Madhumitha M, Kumar A. Comparison of Sealing Ability of Bioceramic Sealer, AH Plus, and GuttaFlow in Conservatively Prepared Curved Root Canals Obturated with Single-Cone Technique: An In vitro Study. *J Pharm Bioallied Sci.* juin 2021; 13(Suppl 1): S857-60.
74. Kerekes K, Rowe AHR. Thermo-mechanical compaction of Gutta-percha root filling. *Int Endod J.* janv 1982; 15(1): 27-35.
75. Khalil I, Naaman A, Camilleri J. Properties of Tricalcium Silicate Sealers. *J Endod.* oct 2016; 42(10): 1529-35.
76. Kim Ji hyung, Cho SY, Choi Y, Kim Do hyun, Shin SJ, Jung IY. Clinical Efficacy of Sealer-based Obturation Using Calcium Silicate Sealers: A Randomized Clinical Trial. *J Endod.* 1 févr 2022; 48(2): 144-51. --> Initiales des prénoms
77. Kim JA, Hwang YC, Rosa V, Yu MK, Lee KW, Min KS. Root Canal Filling Quality of a Premixed Calcium Silicate Endodontic Sealer Applied Using Gutta-percha Cone-mediated Ultrasonic Activation. *J Endod.* janv 2018; 44(1): 133-8.
78. Kim YK, Grandini S, Ames JM, Gu Li sha, Kim SK, Pashley DH, et coll. Critical review on methacrylate resin-based root canal sealers. *J Endod.* mars 2010; 36(3): 383-99.

79. Ko SY, Choi HW, Jeong ED, Rosa V, Hwang YC, Yu MK, et coll. Main and Accessory Canal Filling Quality of a Premixed Calcium Silicate Endodontic Sealer According to Different Obturation Techniques. *Materials (Basel)*. 1 oct 2020; 13(19): E4389.
80. Komabayashi T, Colmenar D, Cvach N, Bhat A, Primus C, Imai Y. Comprehensive review of current endodontic sealers. *Dent Mater J*. 28 sept 2020; 39(5): 703-20.
81. Laurent E. Obturation canalaire par condensation thermomechanique de gutta-percha. *Rev. fr. endod. (Paris)*. 1982; 1: 15-31.
82. Lazarski M, Walkeriii W, Flores C, Schindler W, Hargreaves K. Epidemiological Evaluation of the Outcomes of Nonsurgical Root Canal Treatment in a Large Cohort of Insured Dental Patients. *J Endod*. déc 2001; 27(12): 791-6.
83. Lee JK, Kwak SW, Ha JH, Lee W, Kim HC. Physicochemical Properties of Epoxy Resin-Based and Bioceramic-Based Root Canal Sealers. *Bioinorg Chem Appl*. 2017; 2017: 1-8.
84. Lee K, Williams M, Camps J, Pashley D. Adhesion of Endodontic Sealers to Dentin and Gutta-Percha. *J Endod*. oct 2002; 28(10): 684-8.
85. Li GH, Niu LN, Selem LC, Eid AA, Bergeron BE, Chen JH, et coll. Quality of obturation achieved by an endodontic core-carrier system with crosslinked gutta-percha carrier in single-rooted canals. *J Dent*. sept 2014; 42(9): 1124-34.
86. Liu H, Li H, Zhang L, Wang Z, Qian J, Yu M, et coll. In vitro evaluation of the antibacterial effect of four root canal sealers on dental biofilms. *Clin Oral Investig*. juin 2022; 26(6): 4361-8.
87. de Lourdes Rodrigues Accorinte M, Reis A, Dourado Loguercio A, Cavalcanti de Araújo V, Muench A. Influence of rubber dam isolation on human pulp responses after capping with calcium hydroxide and an adhesive system. *Quintessence Int*. mars 2006; 37(3): 205-12.

88. Ma J, Shen Y, Stojicic S, Haapasalo M. Biocompatibility of two novel root repair materials. *J Endod.* juin 2011; 37(6): 793-8.
89. Madhuri GV, Varri S, Bolla N, Mandava P, Akkala LS, Shaik J. Comparison of bond strength of different endodontic sealers to root dentin: An in vitro push-out test. *J Conserv Dent.* oct 2016; 19(5): 461-4.
90. Mahmoud T, Richard W, Ashraf F. *Endodontie - Principes et pratique.* Issy Les Moulineaux : Elsevier Masson ; 2016. 500 p.
91. Malki M, Verhaagen B, Jiang LM, Nehme W, Naaman A, Versluis M, et coll. Irrigant flow beyond the insertion depth of an ultrasonically oscillating file in straight and curved root canals: visualization and cleaning efficacy. *J Endod.* mai 2012; 38(5): 657-61.
92. Mancino D, Kharouf N, Cabiddu M, Bukiet F, Haïkel Y. Microscopic and chemical evaluation of the filling quality of five obturation techniques in oval-shaped root canals. *Clin Oral Investig.* juin 2021; 25(6): 3757-65.
93. Mannocci F, Cowie J. Restoration of endodontically treated teeth. *Br Dent J.* mars 2014; 216(6): 341-6.
94. Markowitz K, Moynihan M, Liu M, Kim S. Biologic properties of eugenol and zinc oxide-eugenol. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* juin 1992; 73(6): 729-37.
95. Marques-Ferreira M, Abrantes M, Ferreira HD, Caramelo F, Botelho MF, Carrilho EV. Sealing efficacy of system B versus Thermafil and Guttacore obturation techniques evidenced by scintigraphic analysis. *J Clin Exp Dent.* janv 2017; 9(1): e56-60.
96. *Matériaux et techniques d'obturation endodontique.* Paris : Association Dentaire Francaise - Adf; 2003. 64 p.

97. Mathur R, Sharma M, Sharma D, Raisingani D, Vishnoi S, Singhal D, et coll. Evaluation of Coronal Leakage Following Different Obturation Techniques and in-vitro Evaluation Using Methylene Blue Dye Preparation. *J Clin Diagn Res.* déc 2015; 9(12): ZC13-17.
98. Migliau G, Palaia G, Pergolini D, Guglielmelli T, Fascetti R, Sofan A, et coll. Comparison of Two Root Canal Filling Techniques: Obturation with Guttacore Carrier Based System and Obturation with Guttaflow2 Fluid Gutta-Percha. *Dent J.* 15 avr 2022; 10(4): 71.
99. Mitchell DF. The irritational qualities of dental materials. *J Am Dent Assoc.* nov 1959; 59: 954-66.
100. Mohammadi Z, Dummer PMH. Properties and applications of calcium hydroxide in endodontics and dental traumatology: Calcium hydroxide in endodontics and dental traumatology. *Int Endod J.* août 2011; 44(8): 697-730.
101. Moinuddin MK, Prasad LK, Ramachandrani N, Kamishetty S, Cherkupalli RC. Comparison of Push-out Bond Strength of Three Different Obturating Systems to Intraradicular Dentin: An In vitro Study. *Contemp Clin Dent.* déc 2019; 10(4): 631-6.
102. Morago A, Ruiz-Linares M, Ferrer-Luque CM, Baca P, Rodríguez Archilla A, Arias-Moliz MT. Dentine tubule disinfection by different irrigation protocols. *Microsc Res Tech.* mai 2019; 82(5): 558-63.
103. Natera M, Pileggi R, Nair U. A comparison of two gutta-percha obturation techniques to replicate canal irregularities in a split-tooth model. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* nov 2011; 112(5): e29-34.
104. Neuhaus KW, Schick A, Lussi A. Apical filling characteristics of carrier-based techniques vs. single cone technique in curved root canals. *Clin Oral Investig.* sept 2016; 20(7): 1631-7.

105. Oltra E, Cox TC, LaCourse MR, Johnson JD, Paranjpe A. Retreatability of two endodontic sealers, EndoSequence BC Sealer and AH Plus: a micro-computed tomographic comparison. *Restor Dent Endod.* févr 2017; 42(1): 19-26.
106. O'Neill KJ, Pitts DL, Harrington GW. Evaluation of the apical seal produced by the McSpadden compactor and the lateral condensation with a chloroform-softened primary cone. *J Endod.* mai 1983; 9(5): 190-7.
107. Ørstavik D, Nordahl I, Tibballs JE. Dimensional change following setting of root canal sealer materials. *Dent Mater.* nov 2001; 17(6): 512-9.
108. Oruçoğlu H, Sengun A, Yilmaz N. Apical leakage of resin based root canal sealers with a new computerized fluid filtration meter. *J Endod.* déc 2005; 31(12): 886-90.
109. Paula-Silva FWG, Ghosh A, Arzate H, Kapila S, da Silva LAB, Kapila YL. Calcium Hydroxide Promotes Cementogenesis and Induces Cementoblastic Differentiation of Mesenchymal Periodontal Ligament Cells in a CEMP1- and ERK-Dependent Manner. *Calcif Tissue Int.* août 2010; 87(2): 144-57.
110. Peng L, Ye L, Tan H, Zhou X. Outcome of root canal obturation by warm gutta-percha versus cold lateral condensation: a meta-analysis. *J Endod.* févr 2007; 33(2): 106-9.
111. Peralta-Mamani M, Rios D, Duarte MAH, Santiago Junior JF, Honório HM. Manual vs. rotary instrumentation in endodontic treatment of permanent teeth: A systematic review and meta-analysis. *Am J Dent.* 1 déc 2019; 32(6): 311-24.
112. Pérez-Alfayate R, Mercade M, Algar-Pinilla J, Cisneros-Cabello R, Foschi F, Cohen S. Root Canal Filling Quality Comparison of a Premixed Calcium Silicate Endodontic Sealer and Different Carrier-Based Obturation Systems. *J Clin Med.* 18 mars 2021; 10(6): 1271.

113. Peters OA, Barbakow F, Peters CI. An analysis of endodontic treatment with three nickel-titanium rotary root canal preparation techniques. *Int Endod J.* déc 2004; 37(12): 849-59.
114. Polesel A, Polesel F, Arakelyan MG, Solimei L, Amaroli A, Signore A. Apical Leakage Evaluation of Two Different Coated Carrier Systems for Root Canal Obturation Using a Dye Penetration Evaluation Method. *J Contemp Dent Pract.* 1 sept 2021; 22(9): 979-84.
115. Prati C, Gandolfi MG. Calcium silicate bioactive cements: Biological perspectives and clinical applications. *Dent Mater.* avr 2015; 31(4): 351-70.
116. Qu W, Bai W, Liang YH, Gao XJ. Influence of Warm Vertical Compaction Technique on Physical Properties of Root Canal Sealers. *J Endod.* déc 2016; 42(12): 1829-33.
117. Roberts H, Toth J, Berzins D, Charlton D. Mineral trioxide aggregate material use in endodontic treatment: A review of the literature. *Dent Mater.* févr 2008; 24(2): 149-64.
118. Rosa M, Morozova Y, Moštěk R, Holík P, Somolová L, Novotná B, et coll. The Short-Term Antibacterial Activity of Three Selected Endodontic Sealers against *Enterococcus faecalis* Bacterial Culture. *Life (Basel).* 21 janv 2022; 12(2): 158.
119. Saavedra FM, Pelepenko LE, Boyle WS, Zhang A, Staley C, Herzberg MC, et coll. In vitro physicochemical characterization of five root canal sealers and their influence on an ex vivo oral multi-species biofilm community. *Int Endod J.* juill 2022; 55(7): 772-83.
120. Sabins RA, Johnson JD, Hellstein JW. A comparison of the cleaning efficacy of short-term sonic and ultrasonic passive irrigation after hand instrumentation in molar root canals. *J Endod.* oct 2003; 29(10): 674-8.

121. Saint-Pierre F, Fanelli G. Traitement endodontique – Rapport d'évaluation. Saint-Denis-la-Plaine : HAS ; 2008. 64 p.
122. Sakkal S, Weine FS, Lemian L. Lateral condensation: inside view. *Compendium*. nov 1991; 12(11): 796, 798, 800 passim.
123. Schafer E, Lohmann D. Efficiency of rotary nickel-titanium FlexMaster instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile - Part 2. Cleaning effectiveness and instrumentation results in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J*. juin 2002; 35(6): 514-21.
124. Schäfer E, Schrenker C, Zupanc J, Bürklein S. Percentage of Gutta-percha Filled Areas in Canals Obturated with Cross-linked Gutta-percha Core-carrier Systems, Single-Cone and Lateral Compaction Technique. *J Endod*. févr 2016; 42(2): 294-8.
125. Schafer E, Schulzbongert U, Tulus G. Comparison of Hand Stainless Steel and Nickel Titanium Rotary Instrumentation: A Clinical Study. *J Endod*. juin 2004; 30(6): 432-5.
126. Schilder H. Filling root canals in three dimensions. *Dent Clin North Am*. nov 1967; 723-44.
127. Schilder H. Cleaning and shaping the root canal. *Dent Clin North Am*. avr 1974; 18(2): 269-96.
128. Senia ES, Marraro RV, Mitchell JL, Lewis AG, Thomas L. Rapid sterilization of gutta-percha cones with 5.25% sodium hypochlorite. *J Endod*. avr 1975; 1(4): 136-40.
129. Seron MA, Strazzi-Sahyon HB, Banci HA, Berton SA, Cintra LTA, Sivieri-Araujo G. The Importance of Rubber Dam Isolation in Endodontics Throughout COVID-19 Outbreak. *Braz Dent J*. 23 nov 2020; 31(n°6): 567.

130. Silva EJNL, Neves AA, De-Deus G, Accorsi-Mendonça T, Moraes AP, Valentim RM, et coll. Cytotoxicity and Gelatinolytic Activity of a New Silicon-Based Endodontic Sealer. *J Appl Biomater Funct Mater.* oct 2015; 13(4): 376-80.
131. Singh G, Gupta I, Elshamy FMM, Boreak N, Homeida HE. In vitro comparison of antibacterial properties of bioceramic-based sealer, resin-based sealer and zinc oxide eugenol based sealer and two mineral trioxide aggregates. *Eur J Dent.* sept 2016; 10(3): 366-9.
132. Siqueira JF, Rôças IN. Clinical implications and microbiology of bacterial persistence after treatment procedures. *J Endod.* nov 2008; 34(11): 1291-1301.e3.
133. Sjögren U, Sundqvist G, Nair PN. Tissue reaction to gutta-percha particles of various sizes when implanted subcutaneously in guinea pigs. *Eur J Oral Sci.* oct 1995; 103(5): 313-21.
134. van der Sluis L, Wu MK, Wesselink P. Comparison of 2 flushing methods used during passive ultrasonic irrigation of the root canal. *Quintessence Int.* déc 2009; 40(10): 875-9.
135. Soares CJ, Santana FR, Castro CG, Santos-Filho PCF, Soares PV, Qian F, et coll. Finite element analysis and bond strength of a glass post to intraradicular dentin: comparison between microtensile and push-out tests. *Dent Mater.* oct 2008; 24(10): 1405-11.
136. Spångberg LS, Barbosa SV, Lavigne GD. AH 26 releases formaldehyde. *J Endod.* déc 1993; 19(12): 596-8.
137. Stamos DE, Sadeghi EM, Haasch GC, Gerstein H. An in vitro comparison study to quantitate the debridement ability of hand, sonic, and ultrasonic instrumentation. *J Endod.* sept 1987; 13(9): 434-40.

138. Suassuna FCM, Maia AMA, Melo DP, Antonino ACD, Gomes ASL, Bento PM. Comparison of microtomography and optical coherence tomography on apical endodontic filling analysis. *Dentomaxillofac Radiol.* févr 2018; 47(2): 20170174.
139. Tagger M, Tagger E, Tjan AHL, Bakland LK. Measurement of adhesion of endodontic sealers to dentin. *J Endod.* mai 2002; 28(5): 351-4.
140. Tagger M, Tamse A, Katz A, Korzen BH. Evaluation of the apical seal produced by a hybrid root canal filling method, combining lateral condensation and thermatic compaction. *J Endod.* juill 1984; 10(7): 299-303.
141. Taha NA, Messer HH. Restoration of the Root-Filled Tooth. *Prim Dent J.* 1 mai 2016; 5(2): 29-35.
142. Tanomaru-Filho M, Torres FFE, Chávez-Andrade GM, de Almeida M, Navarro LG, Steier L, et coll. Physicochemical Properties and Volumetric Change of Silicone/Bioactive Glass and Calcium Silicate-based Endodontic Sealers. *J Endod.* déc 2017; 43(12): 2097-101.
143. Tay F, Loushine R, Weller R, Kimbrough W, Pashley D, Mak Y, et coll. Ultrastructural Evaluation of the Apical Seal in Roots Filled with a Polycaprolactone-Based Root Canal Filling Material. *J Endod.* juill 2005; 31(7): 514-9.
144. Tomson PL, Simon SR. Contemporary Cleaning and Shaping of the Root Canal System. *Prim Dent J.* mai 2016; 5(2): 46-53.
145. Tomson RME, Polycarpou N, Tomson PL. Contemporary obturation of the root canal system. *Br Dent J.* mars 2014; 216(6): 315-22.
146. Torabinejad M, Parirokh M, Dummer PMH. Mineral trioxide aggregate and other bioactive endodontic cements: an updated overview – part II: other clinical applications and complications. *Int Endod J.* 2018; 51(3): 284-317.

147. Torabinejad M, Walton RE, Fouad AF, Lévy G. Endodontie : principes et pratique. Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson ; 2016. 500 p.
148. Ungor M, Onay EO, Orucoglu H. Push-out bond strengths: the Epiphany-Resilon endodontic obturation system compared with different pairings of Epiphany, Resilon, AH Plus and gutta-percha. *Int Endod J.* août 2006; 39(8): 643-7.
149. Vadachkoria O, Mamaladze M, Jalabadze N, Chumburidze T, Vadachkoria D. Evaluation of three obturation techniques in the apical part of root canal. *Georgian Med News.* août 2019; (292-293): 17-21.
150. Van Nieuwenhuysen JP, Aouar M, D'Hoore W. Retreatment or radiographic monitoring in endodontics. *Int Endod J.* mars 1994; 27(2): 75-81.
151. Vieira AR, Siqueira JF, Ricucci D, Lopes WSP. Dentinal Tubule Infection as the Cause of Recurrent Disease and Late Endodontic Treatment Failure: A Case Report. *J Endod.* févr 2012; 38(2): 250-4.
152. Vincent M. Obturation canalaire en endodontie : techniques actuelles [Thèse d'exercice]. [Nancy] : Université Henri Poincaré. Faculté d'odontologie de Nancy ; 2011. 147 p.
153. Wainstein M, Morgental RD, Waltrick SBG, Oliveira SD, Vier-Pelisser FV, Figueiredo JAP, et coll. In vitro antibacterial activity of a silicone-based endodontic sealer and two conventional sealers. *Braz Oral Res.* 2016; 30: S1806-83242016000100220.
154. Weis MV, Parashos P, Messer HH. Effect of obturation technique on sealer cement thickness and dentinal tubule penetration. *Int Endod J.* oct 2004; 37(10): 653-63.
155. Whitworth J. Methods of filling root canals: principles and practices. *Endod Topics.* nov 2005; 12(1): 2-24.

156. Wiese PEB, Silva-Sousa YT, Pereira RD, Estrela C, Domingues LM, Pécora JD, et coll. Effect of ultrasonic and sonic activation of root canal sealers on the push-out bond strength and interfacial adaptation to root canal dentine. *Int Endod J.* janv 2018; 51(1): 102-11.
157. Willershausen I, Callaway A, Briseño B, Willershausen B. In vitro analysis of the cytotoxicity and the antimicrobial effect of four endodontic sealers. *Head Face Med.* déc 2011; 7(1): 15.
158. Wolf TG, Willems L, Briseño-Marroquín B. An in vitro endodontic model to quantify the accessory canal filling potential of the vertical and lateral condensation techniques. *Aust Endod J.* août 2021; 47(2): 245-51.
159. Wuerschling SN, Diegritz C, Hickel R, Huth KC, Kollmuss M. A comprehensive in vitro comparison of the biological and physicochemical properties of bioactive root canal sealers. *Clin Oral Investig.* oct 2022; 26(10): 6209-22.
160. Yamada RS, Armas A, Goldman M, Lin PS. A scanning electron microscopic comparison of a high volume final flush with several irrigating solutions: Part 3. *J Endod.* avr 1983; 9(4): 137-42.
161. Yang R, Tian J, Huang X, Lei S, Cai Y, Xu Z, et coll. A comparative study of dentinal tubule penetration and the retreatability of EndoSequence BC Sealer HiFlow, iRoot SP, and AH Plus with different obturation techniques. *Clin Oral Investig.* juin 2021; 25(6): 4163-73.
162. Yap WY, Che Ab Aziz ZA, Azami NH, Al-Haddad AY, Khan AA. An in vitro Comparison of Bond Strength of Different Sealers/Obturation Systems to Root Dentin Using the Push-Out Test at 2 Weeks and 3 Months after Obturation. *Med Princ Pract.* 2017; 26(5): 464-9.
163. Yildirim A, Lübbers HT, Yildirim V. [Endodontic filling with gutta-percha-requirements, formation and characteristics]. *Swiss Dent J.* 2016; 126(2): 150-1.

164. Zehnder M. Root Canal Irrigants. *J Endod.* mai 2006; 32(5): 389-98.
165. Zehnder M, Schmidlin P, Sener B, Waltimo T. Chelation in root canal therapy reconsidered. *J Endod.* nov 2005; 31(11): 817-20.
166. Zhang H, Shen Y, Ruse ND, Haapasalo M. Antibacterial activity of endodontic sealers by modified direct contact test against *Enterococcus faecalis*. *J Endod.* juill 2009; 35(7): 1051-5.
167. Zhou Hui min, Shen Y, Zheng W, Li L, Zheng Yu feng, Haapasalo M. Physical Properties of 5 Root Canal Sealers. *J Endod.* oct 2013; 39(10): 1281-6.
168. Zmener O, Dominguez FV. Tissue response to a glass ionomer used as an endodontic cement. A preliminary study in dogs. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* août 1983; 56(2): 198-205.
169. Zogheib C, Naaman A, Sigurdsson A, Medioni E, Bourbouze G, Arbab-Chirani R. Comparative micro-computed tomographic evaluation of two carrier-based obturation systems. *Clin Oral Investig.* nov 2013; 17(8): 1879-83.

Références en ligne

170. ISO (Organisation internationale de normalisation). ISO 3630-1:2019(fr), Médecine bucco-dentaire — Instruments d'endodontie — Partie 1 : Exigences générales [Internet]. 2019 [cité 11 déc 2022]. Disponible sur : <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:3630:-1:ed-3:v1:fr>
171. ISO (Organisation internationale de normalisation). ISO 6876:2012, Médecine bucco-dentaire — Matériaux de scellement des canaux radiculaires [Internet]. 2012 [cité 7 oct 2022]. Disponible sur : <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:6876:ed-3:v1:fr>
172. Larousse, dictionnaire de langue française. Définition : céramique [Internet]. [cité 4 août 2022]. Disponible sur : <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/c%C3%A9ramique/14203>
173. Septodont. BioRoot™ RCS [Internet]. 2021 [cité 4 août 2022]. Disponible sur : <https://www.septodont.fr/1-3-672-158/ENDODONTIE/MATERIAU-BIOACTIF/MATERIAU-BIOACTIF/BioRoot-RCS>

Table des matières

Sommaire	8
Liste des figures	9
Liste des tableaux	13
Liste des abréviations	14
Introduction	15
1. Problématique de l'obturation en endodontie	16
1.1 Objectifs de l'obturation canalaire.....	16
1.2 Isolation de la dent et mise en forme.....	16
1.2.1 Isolation de la dent.....	16
1.2.2 La mise en forme.....	18
1.3 Protocole d'irrigation final.....	21
1.4 Obturation coronaire.....	24
2. Matériaux et systèmes d'obturation	27
2.1 Matériaux.....	27
2.1.1 Corps d'obturation.....	27
• Gutta-Percha.....	27
• Autres.....	29
2.1.2 Ciments de scellement et d'obturation canalaire.....	29
• Ciment de scellement canalaire à base d'oxyde de zinc eugéol.....	29
• Ciment de scellement canalaire à base résineuse.....	31
• Ciment contenant de l'hydroxyde de calcium.....	33
• Ciment à base de verre-ionomère.....	34
2.1.3 Ciment d'obturation.....	35
• Ciment à base de silicate tricalcique.....	35
• Ciment à base de silicone.....	38
• Synthèse.....	39
2.2 Systèmes d'obturation.....	41
2.2.1 Techniques à froid « classiques ».....	41
• Technique mono-cône.....	41

•	Technique de condensation latérale	42
•	L'introduction des techniques « à chaud »	44
2.2.2	Compactage thermomécanique et technique hybride	45
2.2.3	Technique à tuteur.....	47
2.2.4	Technique par vague de chaleur	51
2.2.5	Technique par injection.....	54
2.2.6	Technique biocéramique	55
•	Synthèse des propriétés des techniques d'obturation.....	58
3.	Comparaison des différents systèmes d'obturation.....	60
3.1	Cahier des charges	60
3.1.1	Scellement apical et étanchéité apicale.....	60
•	Test de percolation bactérienne.....	60
•	Test de pénétration de colorants	62
•	Test de filtration liquidienne	63
•	Test de pénétration d'isotope radioactif	64
3.1.2	Capacité à sceller les canaux accessoires	64
3.1.3	Densité de l'obturation.....	66
•	Méthodes destructives	66
•	Méthodes non-destructives.....	68
3.1.4	Force de liaison à la dentine péri-radiculaire	69
3.2	Revue de littérature et comparaison des différentes techniques.....	70
3.2.1	Techniques à froid	70
•	La densité d'obturation.....	70
•	Le scellement apical	72
•	Force de liaison avec la dentine péri-canaulaire.....	72
•	Capacité à sceller les canaux accessoires	73
3.2.2	Techniques à chaud	73
•	Densité d'obturation	74
•	Scellement apical.....	77
•	Scellement des canaux accessoires	78

• Désobturation	78
3.2.3 Technique biocéramique	78
• Force de liaison à la dentine péri-canalair	78
• Densité d'obturation	79
• Scellement apical.....	80
• Pénétration du ciment dans les tubulis dentinaires	81
• Etudes cliniques.....	82
4. Synthèse et discussion	83
4.1 Tableau synthétique.....	83
4.2 Discussion des résultats	87
4.3 Proposition d'un protocole clinique.....	88
• Technique à tuteur en gutta-percha réticulée	88
• Technique mono-cône et ciment d'obturation à base de silicate tricalcique ..	89
Conclusion.....	90
Bibliographie	92
Références en ligne	112

MESSE Théophile – L'obturation canalair en endodontie : données actuelles

Nancy 2023: 115 pages, 39 figures, 3 tableaux

Th.: Chir.-Dent. : Nancy 2023

Mots-clefs :

- Gutta-percha
- Traitement endodontique
- Obturation canalair
- Traitement canalair

Résumé :

L'objectif d'un traitement endodontique est de désinfecter, mettre en forme et obturer hermétiquement le complexe endo-canalair afin d'empêcher les bactéries de coloniser le tissu péri-apical. Ainsi, l'ultime étape du traitement endodontique est l'obturation canalair.

De nombreux matériaux ont été développés afin de solutionner les problèmes cliniques liés aux corps d'obturation et aux ciments endodontiques. Si certains matériaux ont apporté de nouvelles perspectives, d'autres se sont révélés insatisfaisants.

Les techniques d'obturation ont également beaucoup évolué à travers le temps. Certaines méthodes éprouvées tendent à être remplacées par des techniques plus simples d'utilisation et plus efficaces. Cependant, il est intéressant de se questionner sur l'efficience de ces techniques d'obturation canalair.

Les différentes techniques seront analysées et comparées afin d'en cibler les avantages et leurs limites.

Jury :

Président : Pr Éric MORTIER

Membres : Dr Marin VINCENT
Dr Rémy BALTHAZARD
Dr Raphaël HAINOT

Directeur de thèse : Dr Marin VINCENT

Adresse de l'auteur :

Théophile MESSE
57, Rue des messageries
57000 METZ

Vu la demande du doyen de la faculté d'odontologie de Lorraine sur le rapport du jury :

Président : É. MORTIER – Professeur des universités
Membre du jury : M. VINCENT – Maître de conférences des universités (Directeur de thèse)
Membre du jury : R. BALHAZARD – Maître de conférences des universités
Membre du jury : R. HAINOT – Chef de clinique des universités – Assistant des hôpitaux

la présidente de l'université de Lorraine autorise

Monsieur Théophile MESSE

né à NANCY (Meurthe-et-Moselle) le 6 avril 1996,

à soutenir et imprimer sa thèse en vue d'obtenir le diplôme d'État de docteur en chirurgie dentaire intitulée :

« L'OBTURATION CANALAIRE EN ENDODONTIE : DONNÉES ACTUELLES »

Nancy, le 17 janvier 2023

N° autorisation : 12850 C

La présidente de l'université de Lorraine



H. BOULANGER