



HAL
open science

L'endodontie minimalement invasive, du diagnostic à l'obturation

Paul Pradignac

► **To cite this version:**

Paul Pradignac. L'endodontie minimalement invasive, du diagnostic à l'obturation. Sciences du Vivant [q-bio]. 2021. dumas-03430187

HAL Id: dumas-03430187

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03430187>

Submitted on 16 Nov 2021

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.

U.F.R. D'ODONTOLOGIE

Année 2021

Thèse n°73

THESE POUR L'OBTENTION DU
DIPLOME D'ETAT de DOCTEUR EN
CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement

Par PRADIGNAC Paul

Né le 25/01/1996 à Belfort

Le 26 Octobre 2021

**L'endodontie minimalement invasive, du diagnostic
à l'obturation.**

Sous la direction du Dr. CASENAVE

Membres du jury:

Mme Dupuis Véronique

Président

M Jean-Baptiste Iribarren

Rapporteur

Mme Noélie Thebaud

Rapporteur

M Christophe Bou

Examineur

UNIVERSITE DE BORDEAUX

MAJ
01/11/2020

Président	M. TUNON DE LARA Manuel
Directeur de Collège des Sciences de la Santé	M. PELLEGRIN Jean-Luc

COLLEGE DES SCIENCES DE LA SANTE UNITE DE FORMATION ET DE RECHERCHE DES SCIENCES ODONTOLOGIQUES

Directrice	Mme BERTRAND Caroline	58-01
Directeur Adjoint à la Pédagogie	Mr DELBOS Yves	56-01
Directeur Adjoint – Chargé de la Recherche	M. CATROS Sylvain	57-01
Directeur Adjoint – Chargé des Relations Internationales	M. SEDARAT Cyril	57-01

ENSEIGNANTS DE L'UFR

PROFESSEURS DES UNIVERSITES

Mme Caroline	BERTRAND	Prothèse dentaire	58-01
Mme Marie-José	BOILEAU	Orthopédie dento-faciale	56-01
M Sylvain	CATROS	Chirurgie orale	57-01
M Raphaël	DEVILLARD	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01
Mme Veronique	DUPUIS	Prothèse dentaire	58-01
M. Bruno	ELLA NGUEMA	Sciences anatomiques et physiologiques - Biomatériaux	58-01
M. Jean-Christophe	FRICAIN	Chirurgie buccale – Pathologie et thérapeutique	57-01

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

Mme Elise	ARRIVE	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
Mme Audrey	AUSSEL	Sciences anatomiques et physiologiques	58-01
Mme Cécile	BADET	Biologie Orale	57-01
M. Etienne	BARDINET	Orthopédie dento-faciale	56-01
M. Michel	BARTALA	Prothèse dentaire	58-01
M. Cédric	BAZERT	Orthopédie dento-faciale	56-01
M. Christophe	BOU	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
Mme Sylvie	BRUNET	Chirurgie buccale – Pathologie et thérapeutique	57-01
M. Jacques	COLAT PARROS	Sciences anatomiques et physiologiques	58-01
M. Jean-Christophe	COUTANT	Sciences anatomiques et physiologiques	58-01
M. François	DARQUE	Orthopédie dento-faciale	56-01
M. François	DE BRONDEAU	Orthopédie dento-faciale	56-01
M. Yves	DELBOS	Odontologie pédiatrique	56-01
M. Emmanuel	D'INCAU	Prothèse dentaire	58-01
Mme Mathilde	FENELON	Chirurgie Orale	57-01
Mme Elsa	GAROT	Odontologie pédiatrique	56-01
M. Dominique	GILLET	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01
Mme Olivia	KEROUREDAN	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01
M. Jean-François	LASSERRE	Prothèse dentaire	58-01
M. Yves	LAUVERJAT	Parodontologie	57-01
Mme Odile	LAVIOLE	Prothèse dentaire	58-01
Mme Javotte	NANCY	Odontologie pédiatrique	56-01

M.	Adrien	NAVEAU	Prothèse dentaire	58-01
M.	Jean-François	PELI	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01
M.	Philippe	POISSON	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
M.	Patrick	ROUAS	Odontologie pédiatrique	56-01
M.	Johan	SAMOT	Biologie Oraie	57-01
Mme	Maud	SAMPEUR	Orthopédie dento-faciale	56-01
M.	Cyril	SEDARAT	Parodontologie	57-01
Mme	Noélie	THEBAUD	Biologie Oraie	57-01
M.	Eric	VACHEY	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01

AUTRES ENSEIGNANTS

M.	Cédric	FALLA	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
M.	François	ROUZÉ L'ALZIT	Prothèse dentaire	58-01

ASSISTANTS

M.	Bastien	BERCAULT	Chirurgie Oraie	57-01
M.	Baptiste	BERGES	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Mathilde	BOUDEAU	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
Mme	Virginie	CHUY	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
M	Pierre-Hadrien	DECAUP	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Laura	DONNET	Biologie Oraie	57-01
Mme	Julia	ESTIVALS	Odontologie pédiatrique	56-01
Mr	Pierre-André	GUILLAUD	Parodontologie	57-01
Mme	Jane	GOURGUES	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
Mr	Louis	HUAULT	Sciences anatomiques et physiologiques	58-01
Mme	Mathilde	JACQUEMONT	Parodontologie	57-01
Mme	Clémence	JAECK	Prothèse dentaire	58-01
Mr	Aymeric	JOUBERT DU CELLIER	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01
Mr	Jean-Baptiste	IRIBARREN	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01
Mme	Claudine	KHOURY	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
Mme	Camille	LACAULE	Orthopédie dento-faciale	56-01
M.	Antoine	LAFITTE	Orthopédie dento-faciale	56-01
Mme	Léa	MASSE	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Aude	MENARD	Prothèse dentaire	58-01
M	Fiorlan	PITEU	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Rawen	SMIRANI	Parodontologie	57-01
Mme	Fiorianne	VILLAT	Dentisterie restauratrice et endodontie	5801
M.	Clément	VACHEY	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
M	Paul	VITIELLO	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Sophia	ZIANE	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01

A notre Président(e) de thèse

Madame la Professeur Véronique Dupuis
Professeur des Universités – Praticien Hospitalier
Sous-section Prothèse Dentaire

Je vous remercie de l'honneur que vous me faites en ayant accepté la présidence de ce jury. Merci pour l'enseignement de qualité que vous nous avez dispensé. Veuillez trouver dans ce travail l'expression de ma sincère gratitude.

A notre Directeur de thèse

Madame le Docteur Sophia ZIANE-CASENAVE
Assistante Hospitalo-universitaire
Sous-section Odontologie conservatrice – Endodontie 58-01

Je vous remercie de m'avoir accordé, sans aucune hésitation, votre confiance pour la rédaction de cette thèse. Merci de m'avoir accompagné et de m'avoir soutenu lors de la rédaction. Merci pour votre disponibilité à chaque instant et votre infinie gentillesse. Veuillez trouver dans ce travail le témoignage de ma profonde reconnaissance.

A notre Rapporteur de thèse

Monsieur le Docteur Jean-Baptiste Iribarren
Assistant Hospitalo-universitaire
Sous-section Odontologie Conservatrice – Endodontie 58-01

Je vous remercie d'avoir accepté de corriger ce travail, de m'accorder de votre temps. Merci pour la richesse de votre enseignement tout au long de notre cursus. Veuillez trouver dans ce travail l'assurance de ma sincère estime.

A nos Assesseurs

Monsieur Christophe Bou
Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier
Sous-section Santé-Publique et Odontologie Légale

Je vous remercie d'avoir accepté de participer à ce jury. Merci pour votre écoute et votre bienveillance. Veuillez trouver ici le témoignage de ma reconnaissance.

A ma famille et mes amis

C'est avec une joie immense et le cœur ému que je dédie cette thèse à mes parents pour leur affection et leurs précieux conseils. Ils n'ont cessé de m'encourager durant mon cursus scolaire.

A mon cher frère, Rémy. Tu es pour moi, une vraie source d'inspiration et a toujours été à mes côtés durant les moments difficiles.

Mes mots ne seraient jamais à la hauteur de l'amour et l'affection que vous m'avez témoignée tout au long de mes études. J'aimerais vous exprimer toute ma gratitude et reconnaissance. Cette dédicace serait pour moi, la meilleure façon de vous honorer.

Plus personnellement, mes pensées te vont à toi, Johanna. Je remercie te remercie pour ton aide, ton écoute et surtout ton amour qui m'a été essentiel durant ces années.

Enfin, je ne pourrais oublier tous les camarades de la même promotion. Ils ont contribué à cette réussite et je tiens également à leur souhaiter le meilleur.

Je remercie enfin toutes les personnes intéressées par mon travail, en espérant qu'elles puissent trouver dans mon rapport des explications utiles pour leurs propres travaux.

Sommaire

INTRODUCTION	8
I Généralités	10
I.1 Rappels sur le traitement endodontique	10
I.1.1 Indications	10
I.1.2 Contre-indications	10
I.2 Objectifs du traitement	11
II Diagnostic	13
II.1 Méthodes diagnostiques	13
II.1.1 Cliniques	13
II.1.2 Radiographique	16
II.2 Aspect minimalement invasif de l'étape diagnostique	18
II.2.1 Moyens diagnostiques	18
II.2.2 Traitements adaptés au diagnostic à visée minimalement invasive	19
III Cavité d'accès	21
III.1 La cavité d'accès traditionnelle	21
III.1.1 Principes et règles générales :	21
III.1.2 Application dent par dent	22
III.2 Les cavités d'accès minimalement invasives	25
III.2.1 Étude des différentes conceptions de cavités minimalement invasives	26
III.2.2 Influence des cavités minimalement invasives sur le traitement endodontique	28
IV Mise en forme, conicité et instrumentation du système canalaire	34
IV.1 Concepts de mise en forme	34
IV.2 Longueur de travail et limite apicale de la préparation	35
IV.3 Instruments canalaires	37
IV.3.1 Normes ISO et instrumentation manuelle	37
IV.3.2 Instrumentation en rotation continue	38
IV.4 Considérations sur les préparations canalaires à minima	41
IV.4.1 Résistance à la fracture après la mise en forme canalaire	42
IV.4.2 Désinfection et mise en forme minimalement invasive	43
V Irrigation et désinfection	46
V.1 Solutions d'irrigation peropératoire	46

V.1.1	Hypochlorite de sodium	46
V.1.2	Digluconate de chlorhexidine	46
V.2	Phase d'irrigation finale	47
V.3	Médication intracanaulaire	47
V.4	Dynamique de la solution au sein du système canalaire	48
V.5	L'irrigation minimalement invasive	49
V.5.1	Les douleurs postopératoires	50
V.5.2	Extrusions de débris et de la solution d'irrigation	50
VI	Obturation	53
VI.1	Principes de l'obturation	53
VI.1.1	Objectifs	53
VI.1.2	Surobturation, sous-obturation et surextension	54
VI.1.3	Obturation dans la séance	55
VI.2	Techniques d'obturation	55
VI.2.1	Compactage latéral à froid et technique mixte	55
VI.2.2	Compactage vertical à chaud	56
VI.2.3	Gutta-percha préchauffée sur tuteur	58
VI.3	L'obturation minimalement invasive	59
VI.3.1	Risques liés à l'obturation	59
VI.3.2	Nouveaux matériaux et perspectives	60
VII	Conclusion	64
	TABLE DES IMAGES	66
	BIBLIOGRAPHIE	67

Introduction

L'endodontie est une discipline complexe alliant à la fois des connaissances anatomiques à des gestes précis afin d'obtenir un résultat pérenne dans le temps. Elle correspond aux soins des différentes pathologies pulpaires liées le plus fréquemment à la contamination bactérienne, mais pouvant aussi être le résultat d'une réaction inflammatoire lors d'un traumatisme.

Au cours de son exercice, le chirurgien-dentiste est fréquemment amené à poser un diagnostic et à décider si la pulpe sera conservée selon la pathologie de l'endodonte. Régulièrement dans son activité il devra réaliser un traitement endodontique qui consiste à la mise en forme des canaux et leur désinfection par une élimination des débris organiques (pulpe et bactérie) et inorganiques (tissus minéralisés) permettant le scellement étanche du réseau canalaire et la restauration fonctionnelle de la dent.

Pour entreprendre le traitement endodontique, le chirurgien-dentiste doit réaliser des procédures plus ou moins invasives afin de réaliser l'élimination complète du réseau pulpaire dans la mesure du possible. Cette élimination chemo-mécanique peut être incomplète malgré l'utilisation d'aides visuelles, une connaissance parfaite de l'anatomie générale de l'endodonte, l'utilisation de rotatifs en NiTi et d'hypochlorite de sodium. En effet, la flore bactérienne peut persister à cause de la complexité du réseau canalaire et de l'organisation en biofilm bactérien pouvant entraîner des échecs secondaires au traitement endodontique.(1)(2)

Deux évolutions de la discipline peuvent être envisagées :

Augmenter le volume de préparation intracanaire pour pénétrer soit par l'irrigation soit par l'instrumentation mécanique plus apicalment dans la dentine canalaire afin d'augmenter le taux d'élimination bactérienne. Il s'agit de l'évolution de ces 30 dernières années, telle que la conicité de 2% (norme ISO) qui dorénavant est couramment de 6% avec l'instrumentation rotatif. L'augmentation des volumes de préparation de la dent se fait au dépend de la conservation de structures dentaires non

atteintes. Il s'agit paradoxalement d'une évolution inverse à celle de la discipline restauratrice qui prône la dentisterie à minima.

À l'inverse, nous pouvons donc diminuer le volume de préparation dentaire et accepter la persistance infime de bactéries intracanales afin de conserver un maximum de tissu dentaire sain (3)(4). Il s'agit de la vision minimaliste de la dentisterie conservatrice et prothétique appliquée à l'endodontie consistant à préserver au maximum les structures dentaires non atteintes dans nos manœuvres de soins et de restauration. Il serait donc intéressant d'identifier les pratiques les plus conservatrices qui répondent aux objectifs de l'endodontie.

L'objectif de ce travail est de décrire l'intégralité du traitement endodontique orthograde, des étapes diagnostiques jusqu'à l'obturation de la dent avec une vision moderne de la dentisterie minimalement invasive.

I Généralités

I.1 Rappels sur le traitement endodontique

I.1.1 Indications

L'indication de la dépulpage est basée sur une classification symptomatologique de la dent causale afin d'établir le plus précisément possible le diagnostic en tenant compte des données cliniques. En effet, une classification propose selon les données recueillies différents moyens thérapeutiques (5):

Catégorie I de Baume : pulpes vivantes sans symptomatologies, lésées, susceptibles d'être protégées par coiffage (lésées accidentellement ou carie SiSta > 2).

Catégorie II de Baume : pulpes vivantes mais présentant une symptomatologie faible, dont le coiffage pulpaire sans biopulpotomie peut être mis en œuvre.

Catégorie III de Baume : pulpes vivantes mais forte symptomatologie pour laquelle une biopulpectomie suivie d'une obturation radiculaire immédiate est indiquée.

Catégorie IV de Baume : pulpes nécrosées avec une infection de la dentine radiculaire. Des complications périapicales peuvent être retrouvées dans la catégorie IV, exigeant un traitement endodontique orthograde. (5)

À cette catégorie, nous pouvons rajouter les cas de dépulpations préventives sans exposition pulpaire lors d'une restauration par technique d'amputation radiculaire ou d'hémisection. La dent peut être sensible sans symptomatologie mais nécessiter une exposition pulpaire pour sa restauration prothétique.

I.1.2 Contre-indications

Les contre-indications peuvent être absolues, quand le traitement endodontique ne doit en aucun cas être envisagé, ou relatives, quand sous certaines conditions, il est possible d'envisager de dépulper la dent malgré un contexte systémique à risque.(6)

I.1.2.1 Contre-indications absolues

Le traitement endodontique dans ces conditions ne doit en aucun cas être réalisé par le chirurgien-dentiste. Il peut alors décider d'extraire la dent, si les conditions systémiques le permettent, ou l'expectative, si le service médical rendu par l'avulsion est

moindre par rapport à la non-intervention. Ces contre-indications peuvent être d'ordre médical ou fonctionnel :

Médical : lorsque la dent est nécrosée chez un patient de risque A à l'endocardite infectieuse. Il s'agit de patients porteurs d'une prothèse valvulaire ou d'un matériel étranger de type anneau prothétique valvulaire, de patients atteints d'une cardiopathie congénitale cyanogène ou de patients présentant une histoire médicale avec un antécédent d'endocardite infectieuse. (7)

Fonctionnel : lorsque la dent ne peut être rendue fonctionnelle par restauration prothétique, si la dent présente un support parodontal insuffisant, si le traitement ne peut être soignée du fait de la non-coopération du patient ou à cause de la présence d'un obstacle anatomique.(8)

I.1.2.2 Contre-indications relatives

Les contre-indications relatives ne font pas office de consensus scientifique (9). Elles sont issues de règles de bonnes pratiques de la dentisterie après une réflexion sur la balance bénéfice/risque encourue par le patient dans une vision de restauration à long terme.

Médicales : chez le patient de risque A à l'endocardite infectieuse présentant une dent vivante nécessitant sa dépulpage. Le chirurgien-dentiste doit pouvoir s'assurer que l'intégralité de la lumière canalaire soit observable à la radiographie préopératoire, le traitement sera réalisé sous champ opératoire et en une seule séance. Il est possible de décider de ne pas réaliser le traitement sur une dent pluri-radiculée, selon les compétences et le plateau technique du praticien.(7)

Fonctionnelles : si la dent ne peut être maintenue sur l'arcade selon l'hygiène du patient sur une durée acceptable, il est possible de choisir de ne pas traiter la dent avant une motivation et une prise de conscience à l'hygiène par le patient. (8)

I.2 Objectifs du traitement

L'objectif du traitement endodontique dicté en France par la Haute Autorité de Santé (HAS) dans son dernier rapport datant de 2008 est de transformer une dent pathologique en une entité saine et fonctionnelle sur l'arcade par le traitement du contenu pulpaire de la dent. (10)

De manière plus précise, le traitement endodontique doit répondre à trois objectifs :

- Élimination du contenu canalaire et son potentiel pathogène
- Maintien des résultats de cicatrisation dans le temps
- Restauration fonctionnelle de la dent

Ces objectifs sont atteints par la mise en forme canalaire conique et l'irrigation du système endocanalaire afin de nettoyer l'endodonte puis par l'obturation hermétique des canaux allant de l'orifice d'entrée canalaire à la constriction apicale avec des matériaux étanches et biocompatibles.

II Diagnostic

Le diagnostic correspond à la première étape du traitement endodontique. La dépulpage de la dent doit être envisagée après la pose d'un diagnostic précis concernant l'état pulpaire et périapical de la dent concernée, et également son potentiel réparateur (11). Dans une optique minimalement invasive, la conservation de la vitalité doit être recherchée en priorité. (12)

Les conséquences néfastes les plus décrites faisant suite à une pulpectomie sont : la perte de proprioception de la dent retirant le réflexe protecteur proprioceptif face aux forces masticatoires, l'apparition d'une dyschromie de la dentine, une diminution des propriétés biomécaniques en accédant à l'endodonte. Par conséquent, la dépulpage préventive, hors procédures d'hémisection ou d'amputation radiculaire qui étaient pratiquées et enseignées, est désormais considérée comme un acte mutilant.(10)

L'absence de règles de bonnes pratiques dans la prise de décision de la conservation de la pulpe rend le diagnostic essentiel avant d'entreprendre une pulpectomie. La problématique posée est donc : quels sont les outils minimalement invasifs à disposition du praticien permettant la pose d'un diagnostic précis et reproductible ?

II.1 Méthodes diagnostiques

II.1.1 Cliniques

II.1.1.1 La symptomatologie décrite par le patient

Ces données subjectives seront le point de départ pour orienter le diagnostic avant l'utilisation de tests pulpaires. Il existe trois états pulpaires pouvant être décrits par le patient : l'absence de symptomatologie, les douleurs provoquées qui cessent après l'arrêt du stimulus et les douleurs spontanées qui sont constantes ou lancinantes.

L'absence de symptômes signifie, dans la majorité des cas, une absence d'inflammation de la pulpe. En revanche, cela ne signifie pas l'absence de pathologies pulpaires qui peuvent se développer de façon asymptomatique.

Les douleurs provoquées sont liées à un état d'inflammation réversible et mineur. Il s'agit de l'état pulpaire dans lequel les thérapeutiques de conservation doivent être envisagées selon des critères expliqués ci-après.

Les douleurs spontanées correspondent à une inflammation du tissu pulpaire étendue et irréversible, à une nécrose pulpaire partielle ou totale ou bien à un processus dégénératif en cours.

Mais, l'ensemble de ces données subjectives ne permettent pas de poser un diagnostic précis sur l'état pulpaire. Ils permettent de guider le praticien vers les tests pulpaires efficaces à utiliser sur la dent concernée.

II.1.1.2 Les tests pulpaires

Les tests pulpaires testent la vascularisation ou l'innervation de la dent et il est important pour le diagnostic de différencier la vitalité pulpaire par les tests mesurant la vascularisation et la sensibilité pulpaire par des tests de la réponse sensorielle. (13)

Les tests de sensibilité pulpaire :

Deux types de stimulus permettent d'évaluer la réponse nerveuse : les inductions thermiques et les inductions électriques.

- Test de sensibilité au froid : Utilisation de sprays réfrigérants ou d'applicateurs à base de neige de dioxyde de carbone.
- Test de sensibilité au chaud : L'application de chaleur se faisait par de la gutta-percha sur la dent, mais ce test peut provoquer des modifications irréversibles de la pulpe. Ils ne sont donc plus à reproduire car dangereux.
- Test de sensibilité électrique : Il se réalise par l'apposition d'un gel conducteur, d'une électrode au plus proche des cornes pulpaires et d'une électrode labiale. Le test sera alors positif si le patient ressent une sensation de chaleur ou de fourmillement.

Ces tests de réponse sensorielle présentent en revanche des chiffres de sensibilité et spécificité non significatifs, car *in vivo* de nombreux facteurs vont fausser les réponses données par le patient (14). Il y a notamment la présence de restaurations ou de prothèses métalliques, l'état pulpaire calcifié suite à l'apposition de dentine tertiaire, la présence d'apex immatures dans les dents permanentes immatures (DPI) induisant une réponse accentuée.

Ces tests ne sont donc pas fiables de façon systématique avec un certain nombre de faux positifs et de faux négatifs. Une étude chiffre le nombre de mauvaises réponses entre 10 et 16% dans des conditions de recherche (14).

Les tests de vitalité pulpaire :

La santé pulpaire est déterminée de façon plus exacte par la vascularisation. En effet, celle-ci, selon le débit de vascularisation, peut indiquer la présence d'une inflammation pulpaire. C'est également l'arrêt de la vascularisation qui indique la nécrose pulpaire.(15)

- La spectrophotométrie à double longueur d'onde : Cette technique, par l'envoi de deux longueurs d'onde différentes pré déterminées (850nm et 760nm), capte les changements au sein de la dent à la réception de la longueur d'onde. Elle applique, selon une échelle de valeur, les changements d'oxygénation au niveau des capillaires. Elle permet alors de déceler la nécrose pulpaire ou bien un état inflammatoire de l'endodonte.
- La Fluxmétrie Laser Doppler : Cette technique se base sur les changements de fréquence après l'envoi d'une onde permettant de déterminer la vitesse de mouvement au sein de la dent de la vascularisation. Il est possible de déterminer si les cellules sanguines sont mobiles et ainsi diagnostiquer un stade de nécrose débutant. En plus de son coût de mise en œuvre, cette technique présente néanmoins plusieurs inconvénients dont la durée d'enregistrement pouvant dépasser une heure avant l'obtention d'un résultat reproductible.

Ces tests non invasifs, permettant de déterminer la vitalité pulpaire qui est le critère décisif dans la santé pulpaire, ne peuvent malheureusement pas être pratiqués au quotidien dans les cabinets car les techniques sont onéreuses, chronophages et la fiabilité des résultats doit encore être améliorée. Selon une étude, les tests de sensibilité et de vitalité au moment de l'étude n'ont prouvé aucune supériorité sur tous les aspects. (13)

Les tests pulpaires s'ajoutent alors à l'interrogatoire du patient et ainsi aux données subjectives afin de distinguer cliniquement trois états pulpaires et poser un diagnostic :

- La pulpe saine est asymptomatique et sans réponse prolongée
- La pulpe supposée nécrosée, ne répondant à aucun des tests enregistrés
- La pulpe présentant une inflammation réversible ou hyperémie pulpaire, se caractérisant par une douleur moyenne, brève et ainsi présentant des

sensibilités provoquées. Il s'agit des cas pour lesquels des traitements minimalement invasifs pourront être envisagés selon différents critères.

- La pulpe présentant une inflammation irréversible, se caractérisant par une douleur sévère et prolongée, pouvant être provoquée ou spontanée. La pulpectomie sera alors le geste requis pour soigner la dent. (16)

Afin d'aider au diagnostic et une fois les tests cliniques réalisés, la prise de radiographie permettra d'affiner ou de confirmer le diagnostic préalablement posé.

II.1.2 Radiographique

La prise de clichés radiographiques doit être envisagée uniquement après avoir réalisé l'examen clinique complet de la dent. En effet, les clichés conventionnels rétro-alvéolaires apportent peu d'informations sur l'état de santé pulpaire. Ils vont néanmoins apporter ou confirmer certaines données qui permettront, non pas de poser, mais d'affiner ou de vérifier un diagnostic.

Les éléments recherchés à la radiographie en deux dimensions sont :

- Les limites et le volume pulpaires, notamment des signes de résorption ou minéralisation. Ils peuvent être à comparer avec les limites soit d'anciennes restaurations soit d'une lésion carieuse.
- Des signes de rétraction d'une corne pulpaire indiquant la sécrétion de dentine réactionnelle tertiaire.
- Les structures périradiculaires et périapicales non observables en bouche.
- La présence de lésion inflammatoire périapicale sur une seule racine dans des cas de dents pluriradiculées indiquant une nécrose partielle.

Dans le volet radiographique, il faut également évoquer l'imagerie en trois dimensions (3D). En endodontie, les clichés 3D sont réalisés avec un conebeam par la technique conebeamcomputedtomography (CBCT). De nombreuses études ont été menées à ce sujet concernant l'apport diagnostique du CBCT par rapport à une imagerie rétro-alvéolaire conventionnelle [Figure 1]. L'étude de Bender et Seltzer a permis de démontrer que la visualisation de lésions périapicales, du fait de la surimpression des images de coupes dans le volume lors d'un cliché 2D, n'étaient objectivables qu'à partir du moment où elles avaient atteint l'os cortical de la dent concernée. (17)



Figure 1 : Apport diagnostique de l'imagerie 3D. (A) Cliché rétro-alvéolaire de 26 ne présentant aucune image périapicale. (B) Coupe issue d'un CBCT montrant une image radio-claire de la racine mésiale de 26 (18):

Le CBCT présente des désavantages, notamment le niveau d'irradiation qui est plus élevé qu'une radiographie conventionnelle. Il est également à noter que la qualité de l'image au niveau périapical peut être fortement diminuée selon la présence de métaux dans la zone d'intérêt. Enfin, le CBCT est plus onéreux pour le patient, ce qui peut être un frein dans la pose d'un diagnostic précis. C'est pourquoi, et cela malgré l'apport non négligeable du CBCT dans la pose de diagnostic, les recommandations de L'American Association of Endodontists (AAE) et de l'American Academy of Oral and MaxillofacialRadiology (AAOMR) respecte le principe ALARA (« *As Low As Reasonably Achievable* ») en termes de dose appliquée (19). Ces recommandations datant de 2015 sont au nombre de douze et sont celles suivies par la communauté internationale à ce jour. L'imagerie de choix reste, dans les cas simples comme moyennement complexes, l'imagerie rétro-alvéolaire. Les cas où le CBCT est recommandé sont principalement ceux de canaux calcifiés, de résorptions, de signes cliniques et symptomatologie contradictoires, de suspicion de fracture sans signes cliniques ou bien lorsqu'une chirurgie à rétro est prévue afin de localiser les structures anatomiques nobles avant l'opération.

II.2 Aspect minimalement invasif de l'étape diagnostique

Concernant le minimalement invasif dans l'étape diagnostique du traitement endodontique, il est important de différencier d'un côté, les moyens mis en œuvre pour être moins traumatique afin de poser un diagnostic, de l'autre, les traitements possibles une fois le diagnostic posé afin d'être le moins invasif.

II.2.1 Moyens diagnostiques

Certains tests diagnostiques sont à prohiber car pouvant apporter des effets négatifs sur le long terme à la dent. (20) Il est donc préconisé de ne les utiliser que dans de très rares cas. Pour commencer, il faut aborder le test thermique par apport de chaleur. Il existe plusieurs méthodes pour apporter en bouche la chaleur sur la dent, notamment par de la Gutta-percha réchauffée, un instrument métallique chauffé ou de l'eau chaude. Dans toutes ces techniques, il est important de comprendre les difficultés liées à l'isolation de la dent face au test ainsi que la difficulté d'atteindre et de maintenir une chaleur précise et constante. (21) L'étude de Linsuwanont explique que la variabilité entre différentes dents, en termes de transfert de chaleur est importante, mais note également l'ampleur du changement de température dans la structure même de la dent (22).

Le second test qui était enseigné, mais qui ne doit plus être réalisé, est le test de la cavité. Ce test n'est plus pris en compte dans les revues de littérature et les expériences concernant la spécificité et la sensibilité des tests pulpaire. Ce test consiste, lorsque la dent ne répond pas aux tests thermiques classiquement réalisés en clinique, à réaliser un accès à la chambre pulpaire sans anesthésier afin de déterminer si le nerf pulpaire présente des sensibilités au moment du fraisage. Du fait des nombreux facteurs pouvant entraîner un faux-négatif des tests pulpaire, tels que la rétraction pulpaire ou la présence de calcification de la chambre, le test de la cavité réalisé lorsqu'une dent ne réagit pas n'est plus envisageable. Il s'agit d'une mutilation de la dent et d'une perte de chance quant à la conservation de la pulpe dentaire.

Enfin, dans les moyens mis en œuvre pour poser un diagnostic et dans une optique d'être le moins invasif, il est intéressant d'aborder les moyens pouvant être mis en place pour diminuer les doses de rayons émis. En imagerie rétro-alvéolaire ou rétro-coronaire, la dose émise est comprise entre 1 et $8\mu\text{Sv}$ (23), avec une moyenne de $5\mu\text{Sv}$ (24). L'optimisation se fait à deux niveaux : d'une part, la conception et le choix de l'équipement, d'autre part les procédures quotidiennes de travail (25). L'utilisation de

diaphragme rectangulaire additionnel à l'extrémité du cône permet de réduire la surface exposée et, par conséquent, le volume d'irradiation et donc la dose reçue par le patient. Cela permet aussi d'améliorer la qualité de l'image en réduisant les bruits causés par les rayonnements secondaires. Le collimateur doit être légèrement supérieur à la dimension du récepteur afin de laisser une marge d'erreur sans surcroît d'exposition. L'angulateur associé au collimateur permet une prise de clichés précis et reproductibles.

Le nombre de clichés minimum requis dans le cadre médico-légal en France lors d'un traitement est de deux : le cliché préopératoire qui indique l'état de la dent avant toute intervention, et le cliché postopératoire qui sert à juger la réalisation du traitement de la dent. Le cliché peropératoire n'est, depuis que l'utilisation de localisateur d'apex est démocratisée, plus obligatoire. Il reste cependant essentiel dans de nombreux cas. Lorsque l'anatomie de l'endodonte est complexe ou bien lors de certains cas de retraitement, le nombre de clichés nécessaire peut être bien supérieur à trois. Il est donc important, au moment de réaliser une radiographie rétro-alvéolaire pendant un traitement endodontique, de se demander quels seront les apports du cliché à la réalisation du soin.

Dans tous les cas, l'aide radiologique à la pose de diagnostic doit être faite soit par l'apport du CBCT après avoir suivi les recommandations de l'AAE et l'AAOMR, soit par la prise d'un cliché rétro-alvéolaire avec angulateur et collimateur rectangle afin de réaliser un unique cliché délivrant la moindre dose pour une précision diagnostique optimale.

II.2.2 Traitements adaptés au diagnostic à visée minimalement invasive

Une fois le diagnostic posé, la dent peut-être non conservable pour différentes raisons, telles que la non-reconstitution durable après traitement, la perte du support parodontal trop importante induisant de fortes mobilités ou bien le diagnostic d'une fracture. Si la conservation de la dent est décidée, il faut alors se demander s'il faut réaliser la pulpectomie ou bien conserver, grâce au potentiel réparateur des cellules pulpaire, l'ensemble du paquet vasculo-nerveux de la dent. Ce choix de conservation de la pulpe correspond à la thérapeutique la moins invasive, mais il ne peut être pris dans toutes les circonstances. Il faut savoir poser des limites qui seront régies selon différents critères décisionnels pour la conservation (16). Ces critères feront pencher, soit vers l'utilisation de la cicatrisation dentinaire avec sécrétion par les odontoblastes de dentine tertiaire réactionnelle, soit vers la nécessité d'une désinfection complète de l'endodonte et une obturation étanche du réseau canalaire. Les critères sont les suivants :

- L'apparition de signes de rétraction pulpaire qui informent le clinicien sur la cicatrisation dentinaire.
- La rapidité de progression de la carie. Les caries à progression lente, de couleur brunâtre généralement, sont favorables à la conservation de la vitalité pulpaire. Contrairement aux caries à progression rapide qui entraînent une exsudation du fluide dentinaire donnant un aspect humide de la lésion (26), les caries à progression lente favorisent la minéralisation de la dentine péritubulaire et la formation de dentine tertiaire. (27)
- L'historique de la dent et son nombre d'agressions, qui diminuent le potentiel réparateur de la dent lors d'agressions à répétition.
- La présence ou persistance de symptomatologie. Une découverte fortuite de lésion carieuse lors d'examen bucco-dentaire oriente vers une conservation de la vitalité pulpaire. Il en est de même avec une disparition d'une symptomatologie faible après éviction du tissu carieux et une phase de temporisation.
- La quantité de perte tissulaire associée à l'épaisseur de paroi pulpaire résiduelle. Une épaisseur résiduelle de paroi inférieure à 0.5mm suffit à elle seule pour justifier une thérapeutique de coiffage pulpaire direct ou même la pulpectomie. Cette valeur seuil de 0.5mm fait consensus dans la littérature. (28)(29)
- L'âge du patient. La cicatrisation sera meilleure chez le sujet jeune car les mécanismes de défense face aux agressions pulpaires seront plus efficaces et se mettront en place plus rapidement.

Le diagnostic est l'étape conditionnant la prise de décision sur le traitement adéquat envisagé. Si certaines méthodes diagnostiques sont désormais à proscrire, le praticien doit, à chaque fois que la situation de diagnostic clinique se présente à lui, s'assurer de réduire son impact sur le patient. Ceci passe à la fois par la réduction de l'irradiation engendrée par les clichés radiographiques, mais aussi par la prise de décision d'un traitement non-invasif. Au cours de la pulpectomie, le praticien peut faire preuve de soins minimalement invasifs en réfléchissant à chaque étape à réduire son impact sur le patient.

III Cavité d'accès

La cavité d'accès est l'élément initiateur du traitement endodontique. Sa réalisation est un élément clé et la suite du traitement dépendra donc de sa parfaite exécution (30). La technique la plus enseignée dans la réalisation de la cavité d'accès consiste en une trépanation de la dent vers la corne pulpaire la plus proéminente, puis un élargissement selon des critères anatomiques précis et reproductibles vers une forme permettant un accès visuel direct sur les différentes entrées canales (31). Cette technique est remise en cause car elle ne semble plus être adaptée à la philosophie moderne en dentisterie.

III.1 La cavité d'accès traditionnelle

III.1.1 Principes et règles générales :

La cavité d'accès doit répondre à quatre objectifs expliqués par Machtou (31) :

- La cavité doit présenter 4 parois pour contenir la solution d'irrigation, permettre son activation et assurer une temporisation inter séance. Dans les cavités de Site 2, il est souvent obligatoire de réaliser une reconstruction pré-endodontique à la suite de l'éviction du tissu carieux.
- L'entièreté du plafond pulpaire et les matériaux d'obturation doivent être éliminés.
- Permettre suite à l'élimination un accès visuel direct aux orifices canaux permettant de limiter les contraintes appliquées sur les instruments lors de l'étape de préparation.

La réalisation de la cavité d'accès traditionnelle se fait par la trépanation au point d'élection de la dent, puis par un élargissement selon une forme déterminée de cavité adaptée à la dent. Cette cavité est élargie de telle sorte à obtenir un accès direct aux entrées canales.

Les finitions doivent permettre d'obtenir une cavité à parois lisses avec une visibilité de l'ensemble des orifices canaux et des repères stables pour les stops des instruments de mise en forme.

Le matériel utilisé pour la réalisation de la cavité d'accès est composé de fraises diamantées montées sur turbine ou contre-angle bague rouge avec spray. Les fraises utilisées sont généralement des fraises boules long col permettant un contrôle visuel

pendant la procédure. Après effraction de la chambre pulpaire, l'élargissement et la suppression du plafond pulpaire se réalisent avec une fraise à pointe mousse. Ce type de fraise (Endo Z®, Dentsply-Sirona) permet de s'appuyer sur le plancher pulpaire et, par un mouvement de balayage des parois, de supprimer le plafond en se conformant au tracé de la cavité d'accès idéal. La cavité obtient alors des parois lisses, mises en dépouille et régularisées. Certains éléments tels que des calcifications peuvent empêcher la mise en évidence d'un ou plusieurs canaux, nécessitant l'utilisation des ultra-sons afin de déloger ou d'éliminer les calcifications. Les systèmes largement utilisés proviennent de la gamme d'inserts endodontiques de Dentsply-Sirona et celle d'Actéon.

La méthode enseignée de la trépanation vers la corne pulpaire proéminente de chaque dent est remise en question depuis le milieu des années 2000 (32). Il s'agit d'une technique praticien-dépendant qui est limitée dans les nombreux cas de retraitements ou bien de coalescences entre le plafond et le plancher, car la sensation d'atteinte de la chambre pulpaire est fortement diminuée voir absente. Il est donc admis, à la fois pour des raisons pédagogiques et de diminution des risques iatrogènes, que le dessin de la cavité idéale reliant les cornes pulpaires avec un approfondissement de celle-ci jusqu'à la découverte soit de la chambre pulpaire soit des entrées canalaires est la méthode la plus reproductible d'accès à l'endodonte (33).

III.1.2 Application dent par dent

III.1.2.1 Groupe incisivo-canin maxillaire

La cavité d'accès reproduit la forme triangulaire de la face palatine de manière homothétique et réduite, en inscrivant le triangle entre les crêtes marginales en proximal, le bord incisif et le talon du cingulum dans la direction occluso-apicale.

Ensuite, il faut réaliser l'approfondissement de la cavité en direction de la chambre pulpaire en veillant à s'orienter différemment afin de récupérer le grand axe de la dent. Autrement, l'approfondissement amènera vers une perforation de la face vestibulaire. S'ensuit l'élimination du plafond pulpaire. Cette étape demande l'élimination du triangle dentinaire palatin qui sera réalisée soit à l'aide d'une fraise boule long col de petit calibre

ou bien par le passage d'un foret de Gates par un mouvement de retrait vertical en s'appuyant sur la paroi concernée.

Les finitions se font par la mise de dépouille et la suppression des aspérités créées permettant ainsi d'obtenir un accès visuel direct et une absence de contraintes dynamiques sur les instruments de mise en forme.

Il existe néanmoins une particularité entre les trois dents du groupe pour laquelle le praticien devra prendre des précautions. L'inclinaison dans la table osseuse de la dent n'est pas la même par rapport au plan occlusal de référence. La canine est positionnée orthogonalement par rapport à ce plan et l'incisive latérale est inclinée à 120°. Une fois la cavité d'accès dessinée, il faut correctement orienter l'instrument rotatif lors de la recherche de l'effraction pulpaire afin de ne pas créer de perforation vestibulaire.

III.1.2.2 Prémolaires maxillaires

Les deux cuspidés ne sont pas égales en volume et de ce fait, le sillon central ne sépare pas la dent en deux parties égales. Celle-ci présentant une moitié vestibulaire plus importante, le dessin de la cavité d'accès idéale englobant les deux cornes pulpaires est légèrement projeté en vestibulaire de la dent.

La corne pulpaire palatine est proche du sillon central et la corne pulpaire vestibulaire est au milieu des pans internes de la cuspide vestibulaire. La cavité est ainsi de forme ovalaire allongée dans le sens vestibulo-palatin et étroite dans le sens mésio-distal. L'approfondissement ne présente pas de grandes difficultés ; il faudra prolonger le dessin de la cavité dans le grand axe de la dent qui est égal à l'axe de la couronne.

III.1.2.3 Molaires maxillaires

Il est admis que la première molaire maxillaire présente, dans la majorité des cas, quatre canaux. (35)

La forme de la cavité d'accès est trapézoïdale à grande base vestibulaire comprise entre le sillon vestibulaire intercuspidien, la crête marginale mésiale, la fosse centrale, la pointe cuspidienne mésio-vestibulaire et l'axe de la face vestibulaire. Elle ne dépasse pas le pont d'émail en règle générale avant l'étape de finition de la cavité. La recherche du second canal mésio-vestibulaire (MV2) se fait après la mise en forme des trois canaux

principaux (MV1, DV, P). L'orifice du MV2 correspond à la projection du canal DV dans le triangle formé par la droite reliant les cornes palatine et mésio-vestibulaire. Un surplomb dentinaire recouvre souvent cette entrée et sa mise en évidence est facilitée avec l'utilisation d'instruments ultrasonores ou sonores après l'étape de finition. L'approfondissement se fait selon le grand axe de la couronne.

La modification entre la première, deuxième et troisième molaire se fait au niveau de l'orifice du canal disto-vestibulaire. Ce dernier va se rapprocher de la ligne MV1 – P vers la deuxième et surtout la troisième molaire maxillaire.

III.1.2.4 Groupe incisivo-canin mandibulaire

Au niveau de la mandibule, le principe reste le même que pour le groupe incisivo-canin maxillaire. La complexité réside dans l'étroitesse des incisives mandibulaires. De plus, l'inclinaison est différente suite aux traitements orthodontiques et peut, dans certains cas, comme les corrections de classe II, être très prononcée. Il est indispensable de bien analyser le grand axe de la dent avant d'approfondir la cavité d'accès.

Tout comme au maxillaire, il faut supprimer le triangle dentinaire lingual avec un foret Gates afin d'obtenir un accès visuel direct et mettre en évidence dans certains cas la présence d'un second ou d'un troisième canal.

III.1.2.5 Prémolaires mandibulaires

La table occlusale est occupée aux deux tiers par la cuspide vestibulaire notamment pour la première prémolaire. La cuspide vestibulaire sera donc impactée par la cavité d'accès qui perdra son pan interne. La deuxième prémolaire mandibulaire présente une anatomie plus symétrique, la cavité d'accès pourra être réalisée au niveau du sillon central. La forme de la cavité d'accès idéale est un ovale allongé dans le sens vestibulo-lingual et aplati dans le sens mésio-distal.

III.1.2.6 Molaires mandibulaires

Les repères anatomiques utilisés sont : le sillon principal, la crête marginale mésiale, les sillons intercuspidiens vestibulaire et lingual et l'axe mésio-distal séparant la table occlusale en deux parts égales.

Positionnement des cornes pulpaire :

- La ou les cornes distales se trouvent dans la zone neutre située dans le prolongement des sillons intercuspidiens vestibulaire et lingual, au niveau de l'axe mésio distal séparant la dent en deux parts égales.
- La corne pulpaire mésio-linguale se situe à proximité de la fossette marginale mésiale, sur la moitié linguale au-delà du sillon principal.
- La corne pulpaire mésio-vestibulaire correspond à la projection de la corne mésio-linguale de façon parallèle à la crête marginale mésiale.

L'ensemble de la cavité d'accès forme un trapèze à grande base mésiale, pouvant se rapprocher d'un rectangle lorsque le canal distal est double ou en forme de huit. La cavité s'agrandit dans le sens mésio-lingual au niveau distal.

L'approfondissement se fait selon l'axe de la couronne qui n'est pas orthogonal avec la table occlusale. La table occlusale est orientée en haut et en dedans permettant de créer la courbe de compensation de Wilson. L'erreur lors de l'approfondissement est d'orienter la cavité de façon perpendiculaire tandis qu'il faut approfondir selon un axe légèrement vestibulé.

Mais, ces principes appliqués à chaque dent sont remis en question suite au courant de pensée en dentisterie du minimalement invasif, initié en dentisterie restauratrice et esthétique (36). Au cours de la dernière décennie, plusieurs conceptions de cavités d'accès impliquant une élimination minimale du tissu dentaire, notamment la conservation d'une partie du plafond pulpaire, ont été décrites pour entrer dans les chambres pulpaire pendant le traitement endodontique.

III.2 Les cavités d'accès minimalement invasives

Avec le concept de cavité d'accès minimalement invasive, la préservation maximale du toit de la chambre pulpaire pendant la préparation de l'accès à l'endodonte augmenterait la résistance à la fracture des dents après le traitement radiculaire (37).

Cependant, plus la cavité d'accès est petite, plus il peut être difficile de visualiser et de débrider la chambre pulpaire ainsi que de localiser, façonner, nettoyer et obturer les canaux. Dans le même temps, une petite cavité d'accès peut augmenter le risque de complications iatrogènes en raison d'une mauvaise visibilité, ce qui peut avoir un impact sur les résultats du traitement.

III.2.1 Étude des différentes conceptions de cavités minimalement invasives

La cohérence est importante pour communiquer des idées, pour expliquer des concepts et pour éviter toute ambiguïté. Il est important pour la diffusion d'idées et la compréhension de celles-ci d'utiliser la même terminologie. La conception différente des cavités d'accès est une tendance relativement nouvelle en endodontie. De nombreuses abréviations proposées dans la littérature sont caractérisées par des termes inadéquats, imprécis et imbriqués, ce qui pose des problèmes de compréhension et de lisibilité. Les différentes recherches dans la littérature donnent un grand nombre d'acronymes différents expliquant certaines fois les mêmes techniques et principes :

- CAC ou Conservative Access Cavity(38)(39)
- CEA ou Contracted endodontic access(40)
- CEAC ou Conservative endodontic access Cavity(41)
- CEC ou Conservative endodontic Cavity(42)(43)(44)(45)(46)
- CECDW ou CEC with Divergent walls(47)
- DDC ou orifice Directed Dentin Conservation access(48)
- EEC ou Extended Endodontic access(44)
- MEC ou Modified Endodontic Access(45)
- MI ou Minimally invasive(49)(39)
- MS ou Modified Straight-line(49)
- NEC ou Ninja endodontic Cavity(50)
- PEAC ou Point endodontic access Cavity(41)
- SL ou Straight-line(51)
- SLF ou straight-line furcation (52)
- SLR Straight-line radicular(52)
- TA ou Truss access Cavity(53)
- TAC ou Traditional access cavity(53)
- TEAC ou Traditional endodontic access cavity(41)

- TEC ou Traditional endodontic cavity(43)(44)(50)(47)(45)
- TREC ou Truss endodontic cavity(43)
- TS ou Traditional straight-line(49)
- UEC ou Ultra-conservative endodontic cavity(54)

Une nouvelle classification proposée dans l'étude de Pinto *et al* (55) est basée sur une littérature sélectionnée et vise à condenser 20 des 22 termes liés aux cavités d'accès cités ci-dessus en six catégories principales [Figures 15 & 16] :

- TradAC ou Traditional Access Cavity « Cavité d'accès traditionnelle » : Ces cavités correspondent aux cavités décrites dans la partie III.1.2 avec un retrait complet du plafond pulpaire et une vue directe sur l'ensemble des orifices canalaires.
- ConsAC ou Conservative Access Cavity « Cavité d'accès conservatrice » : Concernant les dents antérieures, le triangle d'accès créé sera positionné légèrement au-dessus du cingulum permettant de conserver le plafond au centre de la face palatine. Sur les dents postérieures, la préparation débute au niveau de la fosse centrale et sera étendue précautionneusement avec l'unique recherche des orifices canalaires sans étendre jusqu'à disparition complète du plafond.
- UltraAC ou Ultra-conservative Access Cavity « Cavité d'accès ultra conservatrice » : Egalement appelées cavité d'accès « ninja », ces cavités d'accès prônent le maintien du maximum de plafond pulpaire.
- TrussAC ou Truss Access Cavity « Cavité d'accès préservant les structures centrales de la dent » : L'objectif de ces cavités est de conserver les ponts amélo-dentinaires reliant les différents orifices canalaires. On retrouvera par exemple sur les molaires mandibulaires deux à trois microcavités d'accès individualisées en regard des positions supposées des entrées canalaires.
- CariesAC ou Caries-Driven Access Cavity « Cavité d'accès par la lésion carieuse » : L'accès à la chambre pulpaire se fait par la lésion préexistante sur la dent. Il est notamment possible de réaliser le traitement endodontique sur les groupes incisivo-canins par les lésions d'usure situées au niveau des faces vestibulaires dans le tiers cervical.
- RestoAC ou Restorative-Driven Access Cavity « Cavité d'accès avec restauration coronaire » : L'élimination d'anciennes restaurations sur les dents ne présentant pas de caries n'est plus systématique.

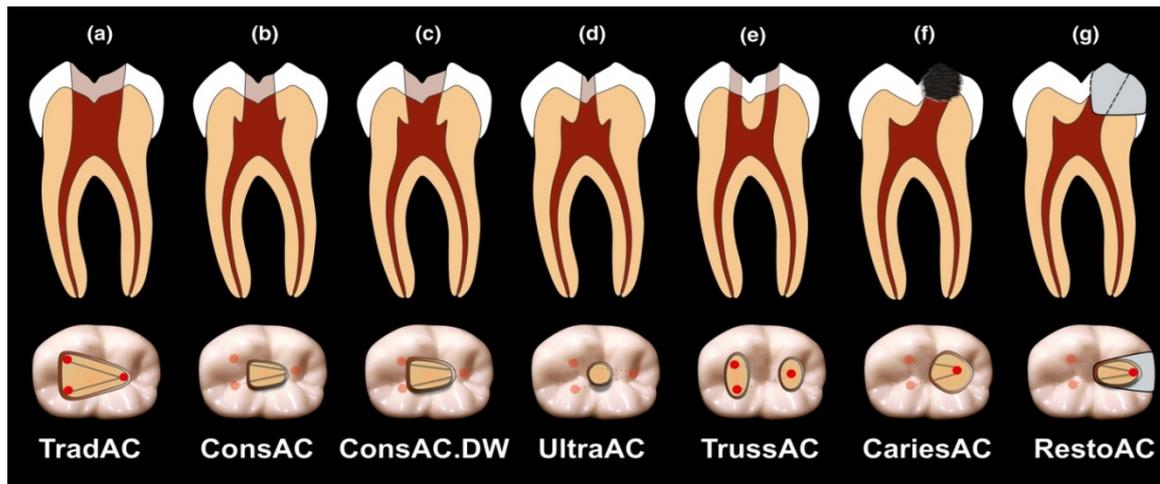


Figure 2 : Proposition de classification des cavités d'accès au niveau postérieur(55).

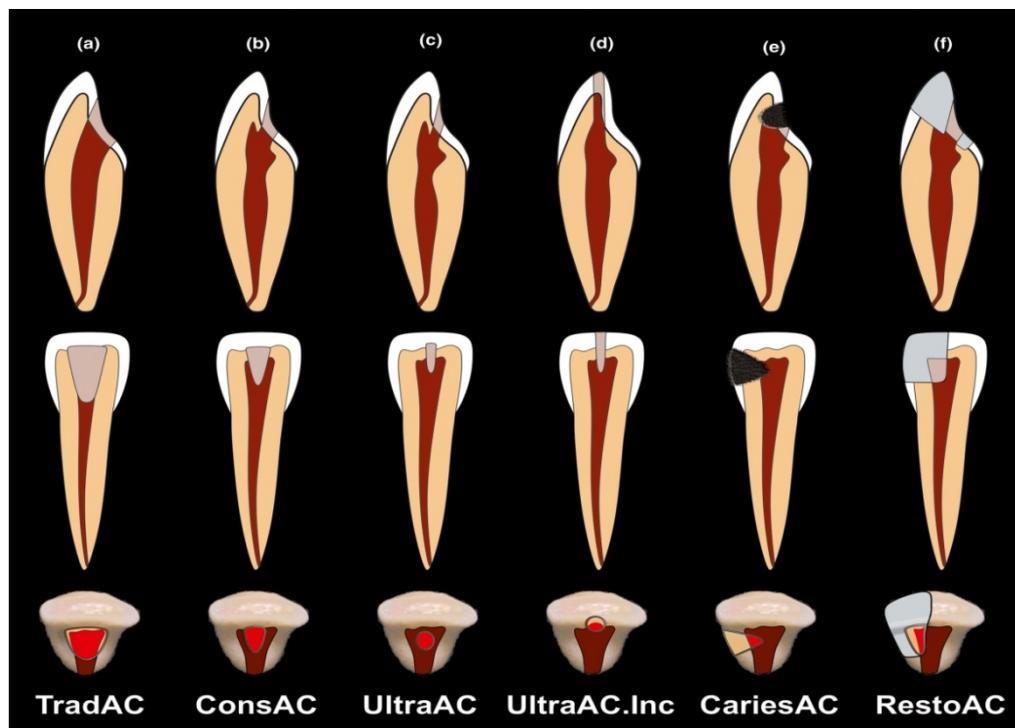


Figure 3 : Proposition de classification des cavités d'accès au niveau antérieur(55).

Les deux abréviations non incluses dans cette classification sont SLF et SLR (straight-line furcation et straight-line radicular). Ces deux méthodes sont étudiées et utilisées dans les cavités d'accès avec une procédure de guide par radiologie 3D.

III.2.2 Influence des cavités minimalement invasives sur le traitement endodontique

III.2.2.1 Détection des orifices canalaire

L'une des difficultés majeures lors de la réalisation des cavités d'accès minimalement invasives est la découverte de l'emplacement des canaux radiculaires. La détection des entrées canalaire est altérée par la vue limitée du plancher de la chambre pulpaire. La détection des canaux MV2 dans les molaires maxillaires est plus importante lors de la réalisation de cavités d'accès traditionnelles par rapport aux cavités d'accès conservatrices avec ou sans grossissement (56). Néanmoins, aucune différence n'a été observée lorsque les recherches de MV2 étaient réalisées avec des ultrasons associés à un fort grossissement. Pour d'autres auteurs, un taux de détection de MV2 plus élevé a également été observé dans les groupes de cavités d'accès traditionnelles (60%) et cavités d'accès conservatrices (53,3%) par rapport aux cavités d'accès ultraconservatrices (31,6%)(41). En revanche, une récente étude a rapporté que le type de cavité d'accès n'influçait pas la détection des canaux mésiaux médian dans les molaires mandibulaires lorsqu'elle était réalisée par un endodontiste expérimenté utilisant un microscope opératoire et des ultrasons minces pour retirer la dentine surplombant les orifices (38).

La détection des orifices canalaire n'a pas été influçée par les cavités d'accès traditionnelles ou conservatrices à la condition d'une association de grossissement et à l'utilisation d'inserts ultrasoniques. En revanche, la détection de canaux supplémentaires dans les dents avec une cavité ultraconservatrice a été altérée. Il est également important de noter que les connaissances et l'expérience de l'opérateur sont deux facteurs importants dans la découverte des entrées canalaire.

III.2.2.2 Mise en forme et obturation

Une cavité d'accès correctement préparée est cruciale pour une instrumentation et une distribution efficace des irrigants dans le système de canal radiculaire (40). Différentes études des cavités d'accès ont permis d'évaluer les parois du canal non préparé, la courbure du canal, l'accumulation de débris de tissu dur, les restes de tissu pulpaire et la désinfection intracanalair.

Les progrès de l'analyse d'images à l'aide de la tomodensitométrie (micro-CT) ont révélé la persistance de zones intactes dans le canal radiculaire principal après les procédures de mise en forme (57)(58). Dans les dents à pulpe nécrotique, ces zones peuvent être recouvertes de restes de tissu pulpaire, de bactéries et/ou de copeaux de

dentine et peuvent affecter le résultat à long terme du traitement (59). Trois études montrent aucune différence dans le pourcentage de parois intactes après la mise en forme des systèmes canaux des molaires maxillaires (56), des incisives mandibulaires (60) et des prémolaires maxillaires (61) en comparant les cavités d'accès traditionnelles et conservatrices (56) (55) (60). En revanche, l'étude de Krishan *et al* a rapporté un résultat de 56.2% de parois intactes dans les cavités d'accès conservatrices par rapport à 36.7% pour les cavités d'accès traditionnelles après préparation des canaux (62). Les résultats entre la cavité d'accès minimalement invasive et l'accroissement de parois non préparées montrent une tendance non significative (55).

Lors de la mise en forme du canal, certaines zones peuvent accumuler des débris dentinaires générés et transportés par des instruments endodontiques. Les débris peuvent interférer avec la désinfection en empêchant l'irrigant de s'écouler dans le système canalaire et en neutralisant son efficacité (63). Bien qu'aucune différence n'ait été observée par Rover *et al* (56) comparant les molaires maxillaires entre les cavités d'accès traditionnelles ou conservatrices, l'équipe de Silva (64) a rapporté que la préparation du canal des prémolaires maxillaires présentant une cavité ultraconservatrice était associée à un pourcentage plus élevé de débris (3,2% pour les cavités conservatrices ; 1,4% pour les cavités conventionnelles) par rapport à une préparation traditionnelle. Par conséquent, il semble qu'une plus grande surface du toit du plafond pulpaire associée aux petites cavités d'accès (UltraAC) pourrait affecter l'efficacité de l'irrigation (48) et entraîner l'accumulation de plus de débris dentinaires dans le système de canal radiculaire.

III.2.2.3 Résistance de la dent à la fracture

L'une des conditions les plus importantes qui contribuent à la susceptibilité d'une dent à la fracture comprend l'élimination de quantités importantes de dentine saine ou infectée (65) (66) (67). Le concept mini-invasif en endodontie était fondé sur le postulat que la conservation de la dentine pendant la préparation de la cavité d'accès était une mesure essentielle pour obtenir une résistance maximale (37). Tandis que cinq études (62) (50) (53) (68)(69) qui ont étudié la résistance à la fracture des dents avec des cavités d'accès minimalement invasives ont découvert une résistance plus élevée, aucune différence n'a été observée dans huit autres études (43)(47)(55)(56)(70)(71)(72)(73). Certains problèmes méthodologiques ont pu biaiser la fiabilité des résultats et expliquent certaines de ces variations.

Plusieurs facteurs de risques peuvent être impliqués dans la fracture dentaire, notamment la morphologie de la couronne et de la racine(66). La sélection des échantillons basée sur l'anatomie externe et interne des dents représente une étape critique pour la réalisation de la validité des résultats des tests de résistance à la fracture. Parmi les 14 études sélectionnées, deux n'ont pas rendu compte de la manière dont la sélection des échantillons a été effectuée (71) (68), et la plupart d'entre elles n'utilisaient que la mesure externe des dents et/ou des radiographies bidimensionnelles pour déterminer l'échantillon et assigner les dents aux groupes expérimentaux (62) (70) (72) (50) (43) (73) (47) (69). Ce manque d'appariement anatomique des échantillons est susceptible de compromettre la validité interne de ces études et de soulever des questions sur la fiabilité des résultats. Ces paramètres ne peuvent être quantifiés qu'à l'aide d'outils d'imagerie tridimensionnelle non destructifs tels que les technologies CBCT. La sélection d'échantillons à l'aide de ces outils stricts et plus précis a été réalisée dans seulement trois études (53)(55)(56).

L'âge des dents est un autre aspect important de la sélection des échantillons ; cependant, ce critère est le plus négligé dans les expériences publiées sur ce sujet (58). Diverses études conviennent que le vieillissement a un impact négatif sur la ténacité et la ductilité des dents en réduisant la limite d'endurance de la dentine (74)(75). Il faut également noter la technique d'extraction, les conditions de stockage et le prétraitement des échantillons qui a suivi immédiatement après l'extraction dentaire. Aucune d'entre elles n'a rapporté la technique d'extraction utilisée. Une dernière donnée est à prendre en compte : une étude a simulé le vieillissement des dents par thermocyclage avant le test de résistance à la fracture (69). Ses auteurs ont rapporté que sans vieillissement par thermocyclage, la résistance à la fracture des dents avec des cavités d'accès traditionnelles et celle des dents préparées par Truss Access Cavity était similaire à celle des dents témoins. En revanche, lorsqu'elles étaient exposées au vieillissement par thermocyclage, les dents préparées traditionnellement avaient la plus faible résistance à la fracture.

La préparation des échantillons avant le test de fracture est une autre étape critique qui peut affecter le résultat des procédures expérimentales. Malheureusement, les expériences utilisant des dents réelles ne permettent pas de standardiser le volume total de retrait de dentine ou les dimensions exactes d'une cavité parmi les échantillons. Dans certaines études, les canaux radiculaires n'ont pas été préparés ou remplis (62) (70) (72) (73) et les couronnes n'ont pas été restaurées (62) (73) avant le test de fracture. Même si les auteurs ont justifié ces approches pour éviter d'ajouter des facteurs de confusion liés à ces

variables, ils n'ont pas pris en considération l'objectif final du traitement. La dentine retirée par la préparation canalaire affecte également la résistance à la fracture des dents (76), mais la restauration de ces dents préparées peut améliorer cette résistance à la fracture des dents d'environ 80% (77). En conséquence, les conclusions sur l'influence de la préparation de la cavité d'accès sur la résistance dentaire tirées de ces études sont au moins discutables.

Une façon de surmonter la plupart des inconvénients mentionnés précédemment consiste à utiliser une approche basée sur une combinaison de modèles virtuels et de simulations, la méthode dite Finite Element Analysis (FEA) ou « analyse par éléments finis ». Cette méthode a été utilisée dans quatre études pour évaluer les zones de concentration de contraintes sur des modèles standardisés obtenus à partir de dents réelles dans lesquelles différents types de cavités d'accès ont été simulés (44)(45)(46)(51).

La plupart des études de laboratoire ont rapporté des résultats insatisfaisants sans aucune preuve scientifique démontrant un réel avantage d'un accès mini-invasif pour améliorer la résistance à la fracture des dents. Les recherches futures doivent viser à surmonter les inconvénients méthodologiques des études existantes. Afin de tenter d'imiter autant que possible les conditions cliniques sans ajouter de facteurs de confusion à l'expérience, il faut faire correspondre les échantillons en fonction de l'âge, des dimensions morphologiques 3D des dents et simuler également la fonction masticatoire orale. En outre, il serait également avantageux de tester la résistance à la fracture en utilisant une combinaison de modèles 3D virtuels de dents et de tissus environnants (méthode d'analyse par éléments finis) acquis en scannant de vrais blocs osseux de cadavres. Enfin, des essais cliniques aideraient à combler les lacunes de ces connaissances, car les facteurs liés au patient tels que le bruxisme, les traumatismes, la parodontite et les dents antagonistes ne peuvent pas être correctement simulés dans des conditions de laboratoire. Il est également essentiel que les cliniciens qui préconisent un changement par rapport aux préparations d'accès conventionnelles produisent plus que des empirismes ou des tendances basés sur des rapports de cas ou des publications dans les médias sociaux, mais de véritables connaissances cliniques scientifiques.

III.2.2.4 Conclusion de l'accès mini-invasif

Une cavité d'accès minimalement invasive peut compromettre les étapes ultérieures du traitement du canal radiculaire en empêchant et/ou en compliquant la localisation des orifices canaux et les procédures de nettoyage, de mise en forme et de remplissage du canal (62)(56) (55)(78). Parallèlement, cela peut également augmenter le

potentiel de complications iatrogènes, y compris des canaux oubliés, des déviations et/ou une fracture de l'instrument (55)(56)(78). En outre, le plafond de la chambre pulpaire peut rendre difficile l'élimination des restes de pulpe, des débris dentinaires, de sang, des matériaux d'obturation et d'autres résidus. Cela peut provoquer une décoloration des dents, soutenir la croissance microbienne et avoir un impact négatif global sur le traitement canalaire et la restauration coronaire (55)(79). Même si plusieurs articles ont été publiés sur ce sujet et que de telles techniques suscitent un intérêt substantiel dans la communauté scientifique, il existe un manque de preuves scientifiques pour soutenir l'introduction de ces nouveaux modèles de cavités d'accès dans la pratique clinique de routine.

IV Mise en forme, conicité et instrumentation du système canalaire

IV.1 Concepts de mise en forme

Il persiste une quantité non négligeable de bactéries et débris, quel que soit le système de mise en forme canalaire utilisé. Ceci est dû à la complexité anatomique du système endodontique (80). Le but de l'instrumentation est de permettre et de favoriser l'accès aux solutions d'irrigation au niveau de la zone apicale de l'endodonte, d'y être renouvelées pour être efficaces. La mise en forme tridimensionnelle permet également une obturation étanche afin de sceller toutes communications entre l'endodonte et le parodonte. La phase d'instrumentation des canaux va donc conditionner la qualité du nettoyage et de l'obturation du système canalaire. Malgré cette importance de l'étape dans le traitement endodontique orthograde, il existe des divergences sur la préparation canalaire à travers deux approches.

L'approche « standardisée » décrite par Ingle (81) souhaite éliminer une épaisseur importante de dentine au niveau apical afin de créer un cône d'arrêt pour les matériaux d'obturation. Cette technique, largement enseignée et adoptée, soutient l'idée que la préparation apicale doit être égale ou supérieure au plus grand diamètre du canal afin d'éliminer la dentine sur l'ensemble des parois et ainsi obtenir en fin de préparation des copeaux dentinaires propres [Figure 17a]. Dans le cas de dents infectées, il est recommandé de réaliser le traitement en plusieurs séances avec un placement d'hydroxyde de calcium dans les canaux. La méthode d'obturation préconisée est l'obturation latérale à froid bien que les autres méthodes puissent être utilisées avec des difficultés inhérentes à la conicité de ces préparations. Les inconvénients de cette approche sont :

- Le maintien d'un moignon pulpaire apical pouvant se nécroser ultérieurement et dégrader les résultats,
- La difficulté d'obtenir dans les canaux ovales une préparation qui englobe l'ensemble des parois au niveau du cône d'arrêt apical.

L'approche fondée sur la conicité, proposée par Schilder, (82), soutient quant à elle que la préparation optimale doit contenir :

- Le respect de la trajectoire originelle du canal,

- Une conicité continue sur l'ensemble du canal,
- Le maintien du foramen apical dans sa position initiale sans déplacement de celui-ci,
- L'étroitesse du foramen aussi fine que possible.

La préparation est terminée lorsque le canal présente un évasement régulier du cône apical jusqu'à l'orifice caméral, sans surélargissement ni déchirure du foramen [Figure 17b].

Au niveau de l'obturation, la forme en entonnoir permet de créer une résistance au cône de gutta et de transformer la poussée verticale en pression latérale, permettant à l'obturation d'être tridimensionnelle.

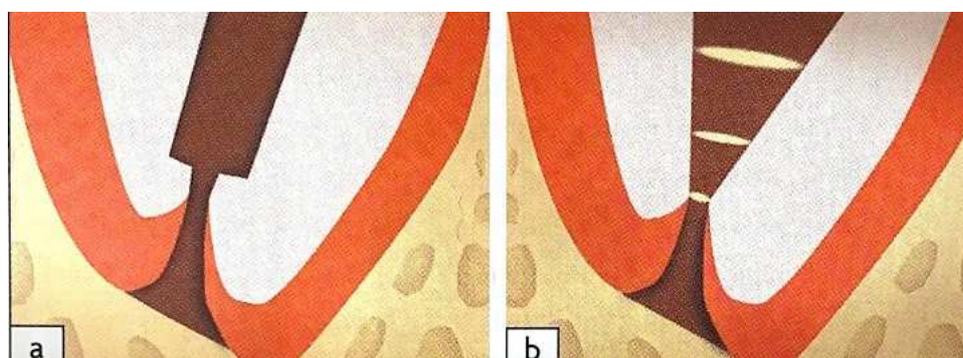


Figure 4 : Différences des deux formes de préparation canalaires. (a) Élargissement apical marqué selon Ingle (b) Conicité marquée selon Schilder. (34)

Les deux concepts coexistent depuis quelques décennies sans pour autant se départager par la communauté scientifique. Il existe une différence entre les études cliniques et *in vitro* qui s'expliquent par l'étude de Baugh et Wallace (83). Si les études *in vitro* sont en faveur de l'approche Schilderienne qui favorise la conicité, lorsque les études sont cliniques il n'existe pas de différence entre les deux approches. Les études *in vitro* se focalisent sur la charge bactérienne à l'état unitaire tandis qu'*in vivo*, les bactéries se maintiennent dans un biofilm résistant que ni l'élargissement, ni la conicité ne parviennent à éliminer en totalité. (83)

IV.2 Longueur de travail et limite apicale de la préparation

Il est important de rappeler les différentes structures anatomiques dans la zone apicale des racines :

- La constriction apicale (CA), qui est le point le plus étroit du canal radiculaire.
- La Jonction cémento-dentinaire (JCD).
- Le foramen apical.
- Le dôme apical qui représente le vertex de la dent.
- L'apex radiologique qui correspond au point le plus apical de la dent.

La position du foramen apical dans les dents permanentes humaines est centrale dans 48,95% au maxillaire et 42,08% à la mandibule (84). Globalement, une dent sur deux présente un foramen légèrement excentré pouvant induire des erreurs si la longueur de travail est uniquement déterminée par radiographie en deux dimensions. Il est recommandé l'utilisation de localisateurs d'apex qui ont une précision supérieure à la radiographie dans la détermination de cette longueur (85).

La limite apicale de préparation est également différente dans les deux approches de la préparation radiculaire. L'école scandinave standardisée différencie deux longueurs de travail différentes selon l'état préopératoire de la dent. Une dent non infectée, soignée dans la séance, doit être préparée avec une limite entre 1 et 2mm à l'apex radiographique. Dans les cas de pulpe nécrosée, la préparation doit aller jusqu'à l'apex radiographique. A contrario, l'école schildérienne positionne sa limite au même endroit indépendamment de l'état préopératoire de la dent. L'objectif est de préparer la dent à l'aide du localisateur électronique d'apex (LEA) jusqu'à la constriction apicale. Le LEA est à ce jour le moyen le plus fiable pour préparer jusqu'à la constriction apicale de manière reproductible. La sensibilité tactile du praticien n'est fiable que dans 64% des cas par des opérateurs expérimentés (86). Certaines fausses mesures avec le localisateur sont néanmoins à prendre en compte afin de les éviter au maximum :

- Les problèmes de dérivation du courant qui surviennent en présence de fuite salivaire, au contact du crochet labial avec un élément métallique et au contact de l'instrument avec un élément métallique.
- Erreurs de mesures lorsque le diamètre de l'instrument est trop petit par rapport au diamètre du canal, lorsque la dent présente un apex ouvert dans la dent immature ou bien lorsque la dent est purulente. La constriction apicale est donc déterminée en recroisant différentes informations apportées

à la fois par le localisateur d'apex, la sensibilité du praticien et l'image radiographique.

IV.3 Instruments canaux

Il est important de différencier les instruments canaux selon leur alliage. De la composition de l'instrument en découle les concepts de préparation, les avantages et les difficultés rencontrées.

IV.3.1 Normes ISO et instrumentation manuelle

Afin d'identifier et reconnaître les instruments endodontiques, les normes ISO largement acceptées ont été décrites :

- Couleur du manche de l'instrument : du rose (diamètre de 6/100ème de mm) au noir (diamètre de 40/100ème de mm) à la pointe, ces couleurs permettent d'identifier le diamètre à la pointe de l'instrument. Ces codes couleurs sont toujours utilisés pour l'instrumentation rotative même si cette dernière ne respecte pas les normes ISO au complet et présente des spécificités dans chaque système.
- Symbole sur le manche : il est possible de distinguer sur les manches de l'instrument différents symboles : le rond correspond au racleur (lime H), le carré correspond à la lime K et le triangle correspond à la broche.
- Longueur de la partie active : 16mm pour les instruments respectant les normes ISO. Le diamètre de l'instrument évolue avec la conicité de celui-ci sur la totalité de la partie active.
- La longueur totale de l'instrument (21mm, 25mm, 31mm).
- Les angles des pointes (compris entre 60 et 90°).
- La conicité : 2% en normes ISO, ce qui signifie une augmentation de 2/100ème de millimètre par millimètre éloigné de la pointe de l'instrument. Cela signifie, sur un instrument aux normes ISO de diamètre initial de 15/100ème de mm, que l'extrémité de la partie active sera d'un diamètre de 47/100ème de mm. Un instrument de faible diamètre à la pointe qui ne progresse pas bloque dans son tiers moyen ou coronaire du fait de l'augmentation de diamètre croissant. Les contraintes exercées dans la

partie haute de la partie active empêchent l'instrument de progresser et il faudra alors élargir le tiers coronaire du canal afin de pratiquer la partie apicale. Afin d'augmenter la conicité de la préparation avec des instruments en normes ISO (généralement instrumentation manuelle en acier), la technique du step-back était utilisée. Elle consistait en l'augmentation du diamètre de pointe de la lime en appliquant un retrait de l'instrument par rapport à la longueur de travail. Ainsi, avec une augmentation de diamètre de $5/100^{\text{ème}}$ à la pointe et un retrait de 0,5mm de la longueur de travail, on obtient une conicité de 10%.

Les limites de l'instrumentation manuelle aux normes ISO ne résident donc pas dans la conicité grâce au step-back mais dans l'alliage utilisé (acier) qui manque de souplesse.

Les normes ISO sont utilisées uniquement pour l'instrumentation manuelle en acier. Les plus connues sont :

- La lime K : utilisée en mouvement de rotation/traction, la majorité de ces limes étaient torsadées avec une section pouvant être triangulaire ou losangique. Dorénavant, elles sont usinées avec d'éventuelles modifications de l'angle de pointe leur permettant d'être utilisées en mouvements horaire/antihoraire minimisant les risques de butée.
- La lime H ou racleur : utilisée en mouvement de traction verticale le long de la paroi de sécurité. Son obtention se fait par l'usinage d'une matrice ronde.
- La broche : ressemble à une lime K qui est obtenue à partir d'une matrice triangulaire torsadée. Sa principale différence se situe dans le nombre de spires qui est moins important que dans la lime K. Son utilisation est limitée à des mouvements de rotation.

Mais, les difficultés inhérentes de préparation canalaire avec ces instruments dans les cas de racines courbes ont poussé les chirurgiens-dentistes et les laboratoires vers l'utilisation du mouvement de rotation continue.

IV.3.2 Instrumentation en rotation continue

IV.3.2.1 Généralités

Ainsi, la rotation continue associée à l'utilisation de l'alliage en nickel-titane a contribué à l'essor de l'endodontie. Le nickel-titane a permis d'augmenter la conicité des instruments tout en conservant une réelle flexibilité. Les premiers systèmes arrivés en France, en fin d'année 1996, sont de Maillefer® et de Micro Mega®. À ce jour, plus de 10 systèmes sont répandus sur le marché français avec chacun leurs spécificités, mais ils possèdent tous deux caractéristiques communes. D'une part, l'utilisation du nickel-titane (modifié ou non) comme alliage. D'autre part, ils possèdent des conicités élevées. Leurs différences se basent sur la forme de la section, l'angle d'hélice, le pas d'hélice, ce qui va améliorer ou non l'efficacité de coupe, la flexibilité et les effets de vissage.

En plus des instruments de mise en forme canalaire, il est apparu que l'utilisation d'instruments de relocalisation des entrées canales s'avère primordiale. En effet, après la réalisation de la cavité d'accès, l'accès rectiligne direct aux canaux est important car il permet de supprimer les contraintes coronaires aux instruments à rotation continue limitant de ce fait les manœuvres iatrogènes. Cette relocalisation peut être réalisée à l'aide de forets Gates n°3 et n°4, mais des instruments spécifiques sont également disponibles tels que les ProTaper SX® (DentsplySirona), le One Flare® (COLTENE-MicroMega) ou le Prerace®(KFG).

IV.3.2.2 Nouveaux alliages

L'optimisation des instruments s'est faite sur la forme de l'instrument avec un éventail d'instruments présentant des caractéristiques différentes, mais reposant sur les deux mêmes principes. Cette recherche s'est également concentrée sur l'amélioration de l'alliage avec des progrès en métallurgie et notamment par le traitement thermique des alliages durant ou après le processus de fabrication. Ce traitement thermique a apporté de nouvelles couleurs aux instruments (bleus, rosés ou dorés) les différenciant très nettement des instruments présents sur le marché. Il consiste à appliquer une chaleur plus ou moins importante sur le métal afin de modifier la structure du métal et notamment son organisation cristalline.

IV.3.2.3 Considérations à propos des instruments en nickel-titane

a) Effet de vissage

L'un des effets indésirables de la rotation continue est l'effet de vissage de l'instrument dans le canal. Cet effet était notamment observé sur les instruments de première génération qui ne possédaient pas de méplats radiants et chez qui la sensation d'aspiration était importante. En revanche, les gammes d'instruments depuis le début des années 2000 telles que Le HeroShaper (COLTENE MicroMega®), RevoS (MicroMega®) ou ProTaper Universal (DentsplySirona®) possèdent des angles et des pas d'hélices modifiés réduisant l'effet de vissage.

b) Fracture instrumentale

Le second effet indésirable est la fracture instrumentale, qui peut être associée à différentes conséquences cliniques. Il existe deux types de fracture, celle liée à la torsion de l'instrument et celle liée à la fatigue cyclique appliquée à l'instrument.

Fracture par torsion : à l'application d'une torsion sur un instrument, celui-ci peut :

- Ne pas se modifier car la force de torsion est trop faible.
- Subir une déformation élastique et alors revenir dans sa forme initiale à l'arrêt de la torsion. Il n'y a alors aucune déformation permanente.
- Subir une déformation permanente, lorsque l'effet de torsion est trop important et/ou appliqué sur une durée majorée. Sa forme initiale n'est alors pas récupérée à l'arrêt de la torsion.

Les facteurs, pour un même alliage, qui permettent d'augmenter la résistance à la torsion sont :

- L'augmentation de la masse centrale,
- L'augmentation du diamètre,
- L'augmentation de la conicité.

L'augmentation du volume de l'instrument augmente la résistance à la torsion (87).

L'augmentation des forces de torsion se fait lorsque l'instrument est appuyé avec force dans le canal, augmentant alors la quantité de débris dentinaires contenus dans les lames actives. Ainsi, la surface en contact et donc les effets de frottements sont accentués, ce qui augmentera les frictions et donc les effets de torsion.

Fracture par fatigue cyclique : La fatigue d'un instrument est la conséquence d'une accumulation de stress dans l'objet au cours de son utilisation prolongée. La résistance à la fatigue cyclique correspond au nombre de cycles (ou rotation) que l'objet

peut effectuer sous l'action d'une contrainte permanente. Ce type de fracture survient sans déformations visibles à l'œil et est donc impossible à détecter par le praticien.

Ce type de fracture est influencé par la courbure du canal et la vitesse de rotation appliquée à l'instrument. Les courbures abruptes telles que les crochets apicaux ou les doubles courbures entraînent une fatigue cyclique très importante sur les instruments et doivent être pratiquées avec une instrumentation manuelle en nickel-titane. Ensuite, une rotation continue peut-être envisagée si la conicité de l'instrument est inférieure à celle du canal préparé en amont afin de limiter les frictions.

c) Flexibilité

La flexibilité est une caractéristique importante à prendre en compte, car il s'agit de l'une des plus importantes ayant accentué la transition entre instrumentation manuelle et rotative. En effet, la flexibilité influence la contrainte qu'applique l'instrument sur le canal. Plus l'instrument est flexible est plus celui-ci va suivre la lumière sans risque de déplacement de celle-ci. Mais, au sein des instruments rotatifs en nickel-titane, la masse centrale de l'instrument va augmenter proportionnellement la rigidité. Ainsi, une masse importante augmente la rigidité. Il est primordial de contrebalancer ceci par une diminution de la conicité. C'est pourquoi certaines séquences présentent de nombreux instruments augmentant progressivement la conicité. Ceci a pour objectif de conserver une flexibilité de chaque instrument.

IV.4 Considérations sur les préparations canalaires à minima

La philosophie de l'endodontie minimalement invasive, pour être mécaniquement valide, doit à la fois combiner des cavités d'accès conservatrices stratégiquement pensées pour diminuer la perte de tissu coronaire, mais aussi avoir une perte minimale de dentine radiculaire pendant la mise en forme (88). Ainsi, l'ensemble de la dent est traité de manière à diminuer la perte de tissu dentaire. Cette philosophie ne doit en aucun cas compromettre la désinfection du système canalaire après le traitement. Il est nécessaire d'analyser, d'une part, les apports potentiels de la préparation minimalement invasive et, d'autre part, les conséquences biologiques d'une préparation à minima.

Un certain nombre d'études ayant chacune des méthodologies différentes ont été proposées au cours de ces deux dernières décennies. Ce qui ressort de la littérature se concentre sur l'impact de la résistance à la fracture entre une préparation avec différents diamètres et conicité (89) (90) (91). Ce facteur de résistance à la fracture correspondrait à

l'apport d'une préparation radiculaire minimalement invasive. A contrario, de nombreuses études se sont concentrées sur la désinfection canalaire et parmi celles-ci, un grand nombre ont comparé différents facteurs de désinfection avec une variation de conicité et de diamètre des instruments (92) (93) (94). Il s'agit des limites possibles quant aux préparations canalaires minimalement invasives visant à réduire le volume de dentine radiculaire coupé n'altérant pas l'objectif de désinfection de l'endodonte.

IV.4.1 Résistance à la fracture après la mise en forme canalaire

L'hypothèse soulevée à chaque étude sur les préparations minimalement invasive est de savoir quelles sont les conséquences sur les forces mécaniques résiduelles de la dent. Il existe deux paramètres des instruments qui sont facilement comparables dans les études : le diamètre de pointe et la conicité (95). L'inconvénient des comparaisons entre les systèmes de préparation est la différence de conception même de l'instrument. Certains instruments peuvent présenter une section triangulaire mais pas d'autres, des différences de masses centrales, d'angle et de pas d'hélices entre les systèmes de rotation. On retrouve également la différence de mouvement entre les systèmes avec le mouvement de rotation continue et celui de réciprocité. L'ensemble de ces paramètres mis en commun n'a pas pu être étudié afin de définir exactement les critères clés permettant ou non de déduire statistiquement s'il y a une augmentation de la résistance à la fracture.

Néanmoins, il est intéressant de noter s'il existe des différences en modifiant les seuls paramètres de diamètre ou de conicité. L'équipe de Zogheib a récemment essayé de comparer, avec le même système de préparation, la résistance à la fracture en prenant en compte pour seul paramètre d'étude la conicité des instruments (89). Ainsi, avec le système iRaCe® et des instruments de diamètre 30/100ème mm mm en rotation continue, il ne trouve aucune différence entre une conicité de 4% et de 6%.

Ces résultats montrant une différence non significative sont confirmés dans un certain nombre d'études utilisant le même système d'instruments rotatifs (90). Il a été décrit en 2010 une comparaison montrant qu'une préparation à 6% de conicité n'influence pas de manière significative sur la résistance à la fracture (91).

Pourtant, malgré un nombre d'études ne déterminant pas de différences à propos de la résistance à la fracture, il est possible de remettre en question ces résultats du fait de la présence de biais lors de ces études.

Il est important pour chaque dent dans tous les groupes de l'étude de standardiser la technique, le temps et la cause d'avulsion. À cela se rajoute un conditionnement de la dent extraite équivalent pour chaque dent et une prise en compte de l'âge du patient au moment de l'extraction. L'ensemble de ces paramètres affecte les propriétés mécaniques de la dentine (96). Ainsi, une étude belge étudie la résistance à la fracture entre différentes préparations de même diamètre mais de conicité différente (97). Séparé en quatre groupes différents, l'étude obtient comme résultat une différence significative entre une préparation 40mm et 6% et une dent non traitée après une harmonisation et une randomisation des échantillons.

Au sein de la littérature, il n'existe pas de consensus sur l'apport de la réduction de préparation radiculaire. Les résultats se contredisent et les méthodologies, toutes différentes, présentent plus ou moins des biais de sélection. Cette absence de résultat unanime n'ôte pas le fait de chercher à conserver un maximum de tissu dentaire dans la poursuite de la philosophie minimalement invasive, en attendant des résultats ou des techniques plus prometteuses. Il est indispensable de respecter l'objectif primaire du traitement endodontique de nettoyer et rendre hermétique l'endodonte.

IV.4.2 Désinfection et mise en forme minimalement invasive

L'objectif de la mise en forme est de permettre à la solution d'irrigation d'atteindre le tiers apical (98).

Les auteurs se sont d'abord intéressés au diamètre des préparations et leur comparaison sur la quantité de débris retirés des canaux après irrigation (92). En 2004, il a été prouvé qu'une préparation en 40mm 6% génère moins de débris résiduels qu'une préparation en 20mm 06%. L'une des explications concernant ce résultat est le positionnement de l'aiguille de la seringue d'irrigation qui serait insérée plus profondément dans les canaux permettant ainsi une meilleure diffusion de l'irrigant.

Albrecht *et al* ont rapporté que lorsque les canaux étaient préparés avec des limes de taille 20mm, l'augmentation de la conicité conduisait à un meilleur débridement, alors que pour un diamètre de préparation apicale de 40mm, la conicité n'avait aucune influence sur l'élimination des débris. Ainsi, l'augmentation de l'effet de cône pour la solution d'irrigation par augmentation de la conicité de préparation contribue à la désinfection, mais cela jusqu'à un certain diamètre (93). Il pourrait alors y avoir un effet de seuil entre le

diamètre de la préparation et la conicité de celle-ci, où une augmentation de conicité ne permettrait pas d'améliorer le débridement et à l'inverse, une augmentation de diamètre pour une certaine conicité n'aurait aucun effet non plus. Il est également à noter que cette équipe ne retrouve aucune différence d'élimination entre conicité apicale de 10% pour des préparations de diamètre 20/100^{ème} de mm et 40/100^{ème} de mm.

Par la suite, une étude visant à déterminer ces effets de seuils menée par Ionna *et al* n'a trouvée aucune différence significative de débridement entre les différentes conicités (0.04, 0.06 et 0.08) pour une préparation canalaire de diamètre apical de 30/100^{ème} de mm de millimètres (94). Leur conclusion concerne donc la conicité qui influencerait alors la désinfection uniquement des canaux préparés à un diamètre inférieur à 30/100^{ème} de mm de millimètres. Une augmentation de 4% à 8% de conicité pour un diamètre de préparation de 30/100^{ème} de mm permet une meilleure désinfection du canal (99). Cette étude fait la comparaison entre une irrigation conjointe EDTA/NaOCl et de l'eau saline. Pour l'eau saline, la différence de conicité n'influence pas le taux de désinfection de manière significative. Il n'existe donc pas de valeurs seuils (diamètre et conicité) de préparation minimalement invasive respectant l'objectif premier du traitement, car la méthode d'irrigation influence les résultats de désinfection.

Suite à ces conclusions, les recherches se sont orientées à la fois sur une comparaison entre des tailles de préparations apicales et des techniques d'irrigation différentes. Cette partie de l'instrumentation minimalement invasive peut s'arrêter sur l'étude de Lee *et al* (100). Les échantillons ont été subdivisés en deux sous-groupes d'irrigation : seringue/aiguille et irrigation activée par ultrason. Des canaux non traités (huit ovales et huit ronds) ont servi de témoins. L'évaluation histologique s'est faite sur deux paramètres : la mesure du tissu pulpaire et des débris restants et le pourcentage du périmètre de la zone du canal radiculaire non touchée par les instruments. Le diamètre de la préparation (20/100^{ème} mm vs 40/100^{ème} mm) et la technique d'irrigation (Seringue/Aiguille vs Activée par ultrasons) ont eu un effet significatif sur les débris et la pulpe restante. Les groupes irrigués avec la seringue avaient toujours du tissu pulpaire restant significativement plus élevé que ceux irrigués aux ultrasons, indépendamment de la taille de la préparation. Les canaux préparés à la taille 20/100^{ème} mm avaient des résidus pulpaires significativement plus élevés que ceux de la taille 40/100^{ème} mm dans le sous-groupe Seringue/Aiguille. Il n'y avait pas de différence significative dans le sous-groupe activé aux ultrasons. Les canaux radiculaires préparés à une taille plus grande (40/100^{ème} mm) étaient plus propres que ceux préparés à une taille plus petite (20/100^{ème} mm), lorsque

l'irrigation était réalisée avec une seringue et une aiguille. A contrario, aucune différence significative n'est à relever pour des préparations de diamètre 20/100^{ème} mm et 40/100^{ème} mm lorsqu'ils sont irrigués par activation aux ultrasons. Cette observation était commune aux canaux ronds et ovales de prémolaires extraites avec du tissu pulpaire vital. Cette étude a montré que, pour les canaux préparés à n'importe quelle taille spécifique, l'irrigation par seringue conservait significativement plus de résidus que l'irrigation activée par ultrasons. Cela démontre que les insuffisances dans le débridement du canal radiculaire sont plus probablement attribuées à la stratégie d'irrigation plutôt qu'à l'approche d'instrumentation. Les canaux radiculaires des prémolaires mandibulaires extraites préparées à des tailles importantes (40/100^{ème} de mm) n'étaient pas significativement plus propres que ceux préparés à des tailles inférieures (20/100^{ème} de mm), lorsque l'irrigant était activé par ultrasons. En revanche, l'irrigation par seringue a permis d'obtenir des canaux nettement plus propres lorsqu'ils sont préparés à la 40/100^{ème} de mm (100).

L'instrumentation mécanique et l'irrigation sont des principes établis pour un traitement canalaire réussi. L'instrumentation mécanique est associée à un débridement efficace du canal radiculaire même sans irrigants ou temporisation (101), mais ne désinfecte pas de manière fiable le système canalaire (102)(103).

Malgré de nombreuses études, il n'a pas été possible de définir la préparation minimale «optimale» pour les dents à pulpe vitale ou nécrotique. En effet, il existe un manque d'essais cliniques et de plans d'études standardisés. En revanche, les conclusions s'orientent vers une non-corrélation entre l'élargissement apical et la réduction microbienne lors de procédés d'irrigations modernes comme par activation aux ultrasons. De futures recherches, avec des plans d'études standardisés, utilisant des procédés d'irrigation modernes permettront peut-être de comparer et déterminer pour une technique d'irrigation quels sont les diamètres et conicités minimaux les plus efficaces. Dans une démarche systématisée, il a été mis en évidence que l'irrigation est complémentaire à la mise en forme dans la stratégie de désinfection canalaire.

V Irrigation et désinfection

L'équipe de Byström, dans les années 80, démontre que jusqu'à 45% de la surface du canal principal n'a pas été en contact avec les instruments de préparation canalaire (98) (104) (105). Ce résultat confirme l'importance de la désinfection par des moyens d'irrigation chimique afin d'optimiser les résultats dans le temps (106). Le rôle de l'irrigation est double : avoir une action mécanique afin d'éliminer les débris dentinaires laissés par la préparation ; avoir une action chimique antibactérienne non iatrogène.

Le volet irrigation peut être séparé en trois chapitres distincts : la médication intracanaulaire, l'irrigation peropératoire et l'irrigation finale.

V.1 Solutions d'irrigation peropératoire

V.1.1 Hypochlorite de sodium

L'hypochlorite de sodium (NaOCl) en solution aqueuse se dissocie en acide hypochloreux (HOCl) se dissociant lui-même dans un milieu basique en ion hypochlorite (OCl⁻). Les deux formes HOCl et OCl⁻ sont à l'équilibre en solution et sont exprimées en chlore actif et chlore disponible dans une solution de pH 7,6.

Plus la solution est concentrée en hypochlorite, plus celle-ci devrait être active car présente une réserve ionique plus importante. Au-delà d'une certaine concentration, l'hypochlorite de sodium devient toxique. Aujourd'hui, il est considéré qu'une valeur de 6% est toxique pour pouvoir être utilisée en endodontie (33). Les solutions proposées sur le marché font état d'une concentration entre 1 et 5% avec un pH de 12.

L'hypochlorite de sodium agit sur les acides aminés en formant des groupes de chloramines qui perturbent le métabolisme bactérien. Il y a également une oxydation des groupements sulfhydryle inhibant ainsi les principales enzymes bactériennes (107). Pour une irrigation efficace, il est conseillé de renouveler 1mL de solution après chaque instrument de mise en forme utilisé.

V.1.2 Digluconate de chlorhexidine

En endodontie, la chlorhexidine est utilisée en solution d'irrigation finale ou en médication intracanaulaire à 2% sous forme de gel. Cependant, à 2%, la chlorhexidine n'est

pas moins néfaste que l'hypochlorite. Cette molécule n'a pas non plus d'action sur les débris organiques et n'est donc pas envisageable en solution peropératoire (108) (109).

V.2 Phase d'irrigation finale

Il s'agit de l'étape de désinfection la plus importante dans le traitement endodontique. Les étapes de préparation forment sur les parois canalaire une pellicule de boue dentinaire humide d'épaisseur allant de 1 à 5µm (110). Cette boue (ou *smear layer*) est composée de débris organiques issus de la pulpe et des bactéries ainsi que de débris minéraux. Une fois le canal mis en forme avec une conicité et un élargissement adéquat, la solution d'irrigation peut descendre dans le tiers apical. La solution d'hypochlorite ne permet l'élimination que de la partie organique par son action protéolytique. Il est nécessaire d'irriguer avec un agent chélateur permettant l'élimination de façon reproductible des composés organiques de la boue dentinaire. Le rinçage final passe alors par l'utilisation soit d'EDTA (Ethylene diamine tetra-aceticacid) soit d'acide citrique alterné par de l'hypochlorite de sodium. Actuellement, l'EDTA est concentré à 17% et l'acide citrique à 10%, les deux produits ont une efficacité comparable en rinçage final (111). Le protocole d'irrigation final est le suivant (34) :

- Irrigation avec de l'hypochlorite de sodium avec renouvellement de la solution et activation éventuelle pendant 1 minute par canal.
- Élimination de l'hypochlorite par aspiration.
- Irrigation avec une solution chélatante d'EDTA à 17% laissée en place et activée pendant 2 minutes.
- Élimination de l'EDTA par aspiration.
- Irrigation terminale avec de l'hypochlorite pour éliminer les bactéries mises à nu après élimination totale de la boue dentinaire.

V.3 Médication intracanaire

La mise place d'une médication intracanaire en interséance de façon systématique est un des piliers de l'endodontie scandinave (81). Cette médication correspond à de l'hydroxyde de calcium, une substance alcaline avec des propriétés biologiques intéressantes : capacité de stimulation et d'induction des tissus durs ainsi qu'une action antibactérienne. Sa capacité à éliminer totalement les bactéries canalaire n'est pas

démontrée (112). Les difficultés d'élimination de l'hydroxyde de calcium peuvent compromettre l'étape d'obturation. Le succès est indépendant de la réalisation du traitement en une ou plusieurs séances (34).

Une obturation pérenne doit présenter quatre conditions :

- Mise en forme complète avec un ajustage du cone de gutta sans difficultés ;
- Protocole d'irrigation respecté ;
- Dent asymptotique ;
- Absence de suintement résiduel.

Sans le respect de ces conditions, l'obturation sera facilement contaminée par un nombre de bactéries résiduelles important.

V.4 Dynamique de la solution au sein du système canalaire

Différentes études pour améliorer les techniques d'irrigation menées par Bronnec ont déterminé le mode d'action de la solution d'hypochlorite dans le canal. Ces études sur des dents transparentes et des dents extraites réalisées avec une solution radio-opaque ou colorée à l'éosine aux propriétés similaires à l'hypochlorite donnent comme résultats (113) (114) :

- L'irrigant délivré dans le canal ne va pas plus loin que le bout de l'aiguille si celle-ci n'est pas bloquée dans le canal.
- L'irrigation n'est réellement efficace qu'en fin de mise en forme après obtention d'une conicité permettant la création d'un circuit hydraulique.

Concernant le matériel utilisé lors de l'irrigation, les seringues utilisées peuvent aller de 1 à 20mL. On retrouve le calibre 27G (0,4mm) qui est le plus courant, mais l'efficacité la plus importante est pour un calibre de 30G (0,3mm), car elles peuvent être insérées plus loin dans le canal et opérer un meilleur taux de désinfection du périapex (113).

Dans la pratique quotidienne, l'hypochlorite de sodium est la solution d'irrigation de choix et son renouvellement au cours du traitement est obligatoire (10). En revanche, il existe plusieurs procédés, plus ou moins récents, permettant d'optimiser l'étape de désinfection et notamment l'efficacité des irrigants finaux. Il s'agit de la phase d'activation de la solution d'irrigation.

Activation mécanique : Moyen le plus simple et le moins onéreux, un cône de gutta-percha est utilisé en appliquant un mouvement vertical de faible amplitude (2mm). Ce mouvement permet de créer un effet piston, de remuer la solution dans le canal et ainsi d'aider au décollement des débris sur les parois radiculaires. Les débris en suspension expliquent la nécessité de renouveler régulièrement la solution. (33)

Activation par la chaleur: Si, théoriquement, la chaleur potentialise les effets bactéricides de l'hypochlorite de sodium, cliniquement, une fois la solution placée dans le canal, sa température redescend rapidement. L'effet catalyseur présent autour de 60° serait donc de très courte durée. (34)

Activation ultrasonore : Réalisée à l'aide d'inserts spéciaux montés sur pièce à main ultrasonore. Cette activation permet de créer une perturbation au sein de la solution et ainsi de décoller les débris dentinaires. L'énergie apportée par les ultrasons permet également d'élever la température de la solution mais le contact avec les parois canalaire entraîne la création de boue dentinaire et correspond à une manœuvre iatrogène non désirée. Pour être efficace, l'activation ultrasonore doit être alternée et non continue afin de créer un mouvement périodique sur les parois dentinaires (115).

Activation sonore : Cette technique utilise des inserts en plastique et correspond à une amélioration notable de l'activation manuelle. La différence avec la technique ultrasonore est l'absence de travail en cas de contrainte latérale (116). Lors de son activation, la présence de bulles est associée à la remontée de nombreux débris canalaire. En revanche, il reste nécessaire de renouveler la solution d'hypochlorite régulièrement du fait de sa contamination rapide. L'endoactivator® (Dentsply-Sirona) est le plus utilisé en France. Il permet en outre d'éliminer l'hydroxyde de calcium, les restes de ciment canalaire dans les cas de retraitement.

« Activation » par émission lumineuse ou désinfection photo-activation : Le principe de la désinfection par photo-activation consiste à faire absorber aux bactéries intracanalaires une certaine longueur d'onde lumineuse. Pour ce faire, un colorant, le bleu de toluidine, marque les bactéries puis l'émission d'un rayonnement laser à basse puissance, dont le spectre correspond au spectre d'absorption, permet de les détruire.

V.5 L'irrigation minimalement invasive

L'irrigation dans la philosophie minimalement invasive est souvent peu abordée. Son objectif étant de désinfecter et débrider au maximum l'endodonte, il est inenvisageable d'utiliser une solution ou une technique d'irrigation ne répondant pas à cet objectif. En

revanche, l'irrigation peut avoir des conséquences iatrogènes dans certaines conditions décrites ci-après. L'abord minimalement invasif de l'irrigation se fait en conciliant les objectifs de l'étape en diminuant les risques et conséquences iatrogènes.

V.5.1 Les douleurs postopératoires

Afin d'harmoniser les recherches et les résultats, il est nécessaire de déterminer la proportion de patients qui ressentent une douleur importante. Cela fournira un résultat plus interprétable avec des implications cliniques directes (117). Il faut savoir que la douleur préopératoire a été établie comme un facteur pronostic de la douleur postopératoire (118) et influencera donc les résultats des recherches lors de la sélection des échantillons.

Il faut aborder une des complications du traitement endodontique caractérisée par le développement de douleurs et/ou gonflements des tissus mous et de la muqueuse orale en regard de la dent traitée dite « *flare-up* ». L'«*American Association of Endodontists*» définit les flare-ups comme une exacerbation aiguë d'une pathologie pulpaire ou péri-radulaire symptomatique après l'initiation ou la continuité du traitement canalaire.

Le flare-up est défini dès 1992 comme étant « dans les quelques heures à quelques jours après un traitement endodontique, un patient a une douleur ou un gonflement ou une combinaison des deux. Le problème doit être d'une gravité suffisante qu'il y a une perturbation du mode de vie du patient de telle sorte que le patient prend contact avec le dentiste » (119). Le flare-up est rare [3% en moyenne dans trois études différentes (120), (121), (122)]. Les facteurs responsables du flare-up comprennent les lésions mécaniques, chimiques et/ou microbiennes de la pulpe ou des tissus périradiculaires.

Ainsi, bien que les cas de flare-up correspondent à une bonne mesure des résultats concernant les douleurs postopératoires, ils n'ont pas d'impact sur les recherches en tant que conséquence liée à l'irrigation en raison de leur faible prévalence et de leurs multiples étiologies. L'imputabilité des douleurs postopératoires due au simple fait des manœuvres d'irrigation est faible. Les mouvements hydrodynamiques des solutions dans les canaux peuvent provoquer un passage des liquides et débris au-delà du stop apical. Si ce passage, appelé extrusion, n'est pas l'étiologie unique des poussées inflammatoires, il peut occasionner des conséquences biologiques décrites ci-dessous.

V.5.2 Extrusions de débris et de la solution d'irrigation

La problématique avec l'irrigation à l'aiguille est la nécessité d'une proximité étroite de l'aiguille d'irrigation avec l'apex pour améliorer l'efficacité de l'irrigation sans occasionner un passage de la solution au-delà de l'endodonte. En effet, l'efficacité de désinfection est proportionnelle à la position apicale de la pointe de l'aiguille, mais les risques d'extrusion apicale de l'irrigant le sont aussi (123). Malgré les précautions, l'extrusion d'une petite quantité de NaOCl se produit assez souvent pendant le traitement endodontique.

Lorsque la taille de la préparation apicale est augmentée, l'extrusion des débris augmente, indépendamment de l'activation ou du type d'irrigant (124). Cependant, dans une autre étude, il a été montré que le système EndoVac® (Kerr Dental) d'irrigation par pression négative (application d'une force de succion) n'augmentait pas l'extrusion apicale avec l'augmentation de la taille de la préparation apicale. Cette même étude détermine qu'une irrigation à l'aiguille extrudait plus que le système à pression négative à des diamètres inférieurs, mais confirme également que l'extrusion augmentait de façon exponentielle avec l'augmentation de la taille apicale (125). La technique d'irrigation présente donc un réel impact sur les risques d'extrusion d'irrigant.

En 2012, une étude menée par une équipe italienne compare l'efficacité et la sécurité de différentes méthodes d'irrigation (126). Parmi ces méthodes, il y a notamment l'irrigation ultrasonique avec le système EndoVac® (Kerr Dental) et l'aiguille d'irrigation ultrasonique Pro Ultra PiezoFlow® (DentsplySirona) utilisée en mode injection et aspiration. Sur la base de cette étude, le système qui concilie le mieux efficacité et sécurité semble être le ProUltraPiezoFlow® (DentsplySirona) en mode aspiration.

L'extrusion d'hypochlorite de sodium au-delà de l'apex provoque une grave irritation des tissus périapicaux entraînant des douleurs, un gonflement et des lésions tissulaires (127). Une injection accidentelle de NaOCl par un canal radiculaire dans les tissus périapicaux peut provoquer une douleur intense, une sensation de brûlure, une inflammation et un retard de guérison possible. La réponse tissulaire dépend de l'hôte, de la concentration de la solution utilisée et de la quantité d'exposition.

La mise en forme canalaire a une influence directe sur l'efficacité et la non-toxicité de l'irrigation. L'efficacité d'une simple irrigation par une aiguille et une solution non activée est médiocre. Cette efficacité diminue grandement pour des mises en forme de conicité et de diamètre réduit. Le fait d'augmenter les tailles de préparation augmente la profondeur d'insertion de l'aiguille, et donc les risques d'extrusion d'irrigant. Dans une visée minimalement invasive, l'étape d'irrigation, et notamment le rinçage final, doit

adopter des méthodes plus modernes. Les systèmes les plus performants à ce jour sont les systèmes alliant un effet d'aspiration directe de l'irrigant pendant leur activation dans le canal.

VI Obturation

VI.1 Principes de l'obturation

VI.1.1 Objectifs

L'obturation canalaire est l'étape finale du traitement endodontique, elle survient après l'irrigation finale et le séchage du canal. À ce jour, la désinfection totale du canal est impossible, peu importe le système de mise en forme et le protocole d'irrigation mis en place et ce, du fait des différentes particularités anatomiques comme les isthmes ou les canaux secondaires (128). Ces variations anatomiques ne peuvent être prises en compte lors de la mise en forme canalaire et malgré les techniques d'irrigation avec activation, les trois dimensions ne peuvent être désinfectées en totalité. Le premier objectif de l'obturation est donc d'emprisonner les bactéries résiduelles dans un matériau d'obturation pour limiter leur développement. Le second objectif est d'isoler le système canalaire du milieu buccal et du parodonte profond afin de le rendre hermétique à un nouveau passage bactérien. De cet objectif découle l'intérêt de prendre en compte la restauration coronaire comme partie intégrante du traitement canalaire. L'influence de la qualité du traitement endodontique et de la restauration coronaire a été évaluée dans l'étude de Ray et Trope (129) : les résultats montrent un taux de succès plus élevé sur les dents avec un mauvais traitement endodontique et une bonne restauration coronaire par rapport à un bon traitement endodontique et une mauvaise restauration coronaire. Le succès du traitement dépendra obligatoirement du scellement hermétique et stable au niveau coronaire et au niveau endodontique.

Ainsi, les matériaux utilisés doivent répondre aux deux objectifs par des propriétés techniques, biologiques et de manipulation (33) :

- Propriétés techniques :
 - Absence de rétraction
 - Non solubles dans les fluides apicaux
 - Bonne adhésion à la dentine canalaire
 - Non poreux
 - Ne colorent pas la dentine
- Propriétés biologiques :
 - Non allergènes
 - Stériles

- Bactéricides
- Stimulants aux processus de cicatrisation
- Propriétés de manipulation
 - Radio-opaque
 - Temps de travail adéquat à leur mise en place et leur contrôle radiographique
 - Faciles à mettre en œuvre et à retirer.

Aucun des matériaux présents sur le marché ne respecte l'ensemble des propriétés requises pour être dit « matériel idéal ». Le défaut principal de la gutta percha est sa non-adhésion aux parois dentinaires, tandis que celui de ciments est leur solubilisation progressive inévitable (34). De ce fait, un canal obturé de ciment à base d'oxyde de zinc-eugénol se retrouvera, du fait des processus d'hydrolyse les concernant, sans obturation sur le long terme. Les ciments à base de CVI quant à eux ne présentent aucune adhésion à la gutta et le retraitement à travers s'avère délicat. Toutefois, des ciments nouvelle génération appelés « biocéramique » sont en cours de développement.

VI.1.2 Surobturation, sous-obturation et surextension

La surobturation est bien à différencier de la surextension, car les conséquences cliniques sont différentes. Une surobturation correspond à un dépassement du matériau d'obturation au-delà du foramen apical, mais avec un volume canalaire obturé. Elle est fréquente lorsque le foramen est respecté avec conservation d'une perméabilité et avec une technique de compactage efficace (33). Il s'agit alors d'une fusée de ciment dans le périapex, il sera hydrolysé dans le temps. Une surextension correspond à un dépassement de matériau d'obturation avec un volume canalaire non obturé. Cette manœuvre iatrogène est objectivée suite à un mauvais ajustage du cône avec une poussée dans la zone périapicale. La sous-obturation quant à elle désigne une obturation incomplète du tiers apical avec une obturation qui apparaît insuffisante en terme de longueur à la radiographie. La sous-obturation est également évoquée lorsque la totalité du volume canalaire n'est pas obturé du fait de l'utilisation d'un cône de gutta sous dimensionné par rapport à la mise en forme canalaire.

La surextension ainsi que la sous-obturation sont donc des manœuvres iatrogènes avec un potentiel d'échec non négligeable lié à des erreurs de mise en forme canalaire, d'évaluation de la longueur de travail ou d'un mauvais ajustage du maître cône (33).

VI.1.3 Obturation dans la séance

Comme décrit dans la partie de l'irrigation, l'obturation peut être reportée et donc le traitement endodontique réalisé en deux séances. Les critères pour réaliser l'obturation dans la séance sont :

- Le canal a été correctement mis en forme
- Le canal peut être séché, une absence de suintement est obligatoire
- La dent est asymptomatique au niveau desmodontal.

Les études ne montrent pas de différence significative entre une ou deux séances tant que les trois conditions ci-dessus sont respectées (130) (131)(132).

Concernant les apex élargis ou ouverts : jusqu'à un diamètre de 50/100ème de mm, des cônes aux normes ISO ou toute technique de gutta à chaud peuvent être utilisés selon les normes fabricant ; de 50/100ème de mm et jusqu'à 90/100ème de mm, un cône moulé peut être envisagé ; au-delà de 90/100ème de mm, le bouchon de MTA est la solution de choix (34).

VI.2 Techniques d'obturation

Afin de répondre aux différents objectifs, de nombreuses techniques ont été inventées par les praticiens en association aux industriels permettant de créer de méthodes de plus en plus ergonomiques (33).

VI.2.1 Compactage latéral à froid et technique mixte

Il s'agit de la technique initiale de l'obturation « moderne » combinant l'utilisation de gutta percha en grande quantité et de ciment canalaire. Le canal est rempli au fur et à mesure avec des cônes de gutta de faible conicité (2%) qui sont compactés avec un fouloir manuel contre une paroi préalablement induite de ciment.

Les deux avantages principaux de cette technique sont sa facilité de mise en œuvre et sa sécurité. Elle présente a contrario de nombreux défauts qui ont amené à une évolution de cette étape du traitement endodontique. Tout d'abord, la gutta-percha n'étant pas réchauffée, elle ne s'adapte pas parfaitement à l'anatomie du canal. Ce défaut dans le volume du canal est d'autant plus marqué dans les canaux de forme ovale pour lesquels un défaut de canal non comblé est systématique (133). La seconde limite est le rapport de volume ciment/gutta. Ce volume de ciment sera amené à être hydrolysé dans le temps et provoquera donc une perte d'étanchéité de l'obturation (134).

Afin d'améliorer la technique de compactage latéral à froid, un mixte a été imaginé avec le compactage thermomécanique (technique de MacSpadden). Le compactage latéral à froid se fait uniquement dans le tiers apical avec l'apport de trois cônes accessoires maximum au maître cône. Ensuite, un thermocompacteur est inséré dans le canal avant d'être mis en route dans le sens horaire. Ainsi, une poussée mécanique des cônes en direction apicale sera obtenue, sans risque d'éjection de gutta dans le périapex puisque le compactage de cette zone aura déjà été réalisé. Le réchauffement de la gutta dans les deux tiers coronaires permet de pallier le problème volumétrique du compactage latéral à froid et le nombre de cônes réduit l'inconvénient de proportion de ciment. Cette méthode permet d'obtenir de la densité dans le canal et de limiter les risques iatrogènes de dépassement de ciment (135).

VI.2.2 Compactage vertical à chaud

Cette technique a été inventée par H.Schilder en 1967. Elle consiste en un apport de chaleur compactant le cœur même de la gutta dans le canal à l'aide de fouloir à bout plat. Ces fouloirs sont appelés des *heat carrier* ou bien, en France, des fouloirs de Machtou, du nom du praticien qui a importé la technique de Schilder (136). L'étape clé dans le compactage vertical à chaud est l'ajustage du maître cône à -0,5mm de la longueur de travail. Les étapes d'obturation avec cette technique sont les suivantes :

- Essayage des fouloirs jusqu'à leur longueur maximale d'entrée dans le canal. Le dernier fouloir ne doit pas aller au-delà de -5mm de la longueur de travail, car des risques de fracture radiculaire par effet de coin peuvent alors survenir.

- Ajustage du maître cône à 0,5mm de la longueur de travail. Une sensation de résistance du cône au retrait du canal, autrement la technique va à l'encontre de risques de surobturation.
- Les parois canalaires sont enduites de ciment avec le maître cône et celui-ci est sectionné à l'entrée du canal. Un bouchon est alors créé avec le fouloir n°4.
- Alternativement, la gutta-percha est réchauffée sur 2 ou 3mm, puis elle est immédiatement foulée avec le fouloir n°3. Cette étape est répétée en alternant réchauffage et compactages jusqu'au fouloir n°1 qui doit atteindre la longueur de travail -5mm.
- Une radiographie est prise pour contrôler la phase de descente.

L'ensemble du canal doit ensuite être obturé, mais réaliser ce procédé par ajout de morceaux de gutta-percha avec un nouveau cône est chronophage. Il est également possible de réaliser un compactage thermomécanique avec un thermocompacteur monté sur contre-angle bague bleue. Un nouveau cône de conicité augmenté est introduit dans le canal après avoir découpé les 5 derniers millimètres. Le thermocompacteur est placé dans le canal à l'arrêt avec le cône découpé en contact avec le bouchon. La mise en rotation dans le sens horaire permet de réchauffer le nouveau cône. L'instrument est maintenu 2 à 3 secondes, puis il est remonté lentement en prenant appui sur une paroi du canal.

Le compactage vertical à chaud est une technique de choix et de référence en endodontie (134). Afin de l'améliorer et de la rendre plus ergonomique, la technique a évolué grâce au Système B® (SynbronEndo). Le principe reste rigoureusement le même avec un maître cône parfaitement adapté et des phases de chauffe et compression de la gutta. La différence notable est l'association dans le même instrument de l'apport de chaleur d'une part et du fouloir d'autre part. Ces « fouloirs chauffants » ont une température réglée autour de 200°. Les étapes de cette technique sont :

- Le fouloir est placé sur la gutta précédemment coupée à l'entrée canalair. Le contacteur est enclenché et le fouloir atteint les 200°. Alors, une phase de descente de 4 à 5mm est enclenchée.
- Une fois la profondeur atteinte, le contacteur est relâché, mais la pression exercée est maintenue pendant 5 secondes avec le fouloir dorénavant froid.
- Sans mouvement de retrait, le contacteur est réenclenché pour une seconde phase de descente de 4 à 5mm suivie du maintien de la pression à froid pendant 5 secondes.

- La dernière phase de descente se fait jusqu'à la limite de 5mm de la longueur de travail précédemment enregistrée.
- L'instrument est réchauffé puis retiré par des mouvements de quart de tour horaire antihoraire, puis l'excès de gutta et de ciment présent sur les parois canalaires est terminé d'être compacté avec un fouloir de Machtou.

L'amélioration est essentiellement ergonomique, car le fouloir chauffant n'est jamais retiré du canal en cours d'obturation, cela permet ainsi de limiter les mouvements du praticien par des changements d'instruments (137). L'étape de remontée après le bouchon apical de gutta est similaire à la compaction verticale à chaud.

VI.2.3 Gutta-percha préchauffée sur tuteur

La technique consiste en un obturateur composé d'un tuteur en plastique biocompatible radio-opaque flexible enduit de gutta-percha en phase alpha. L'obturateur est chauffé dans un four spécial prévu à cet effet. L'obturateur une fois plastifié est inséré dans le canal jusqu'à la longueur de travail. La tige de l'obturateur est ensuite découpée à l'aide de la fraise Thermacut®. La technique la plus répandue est commercialisée sous le nom de Thermafill® (Dentsply-Maillefer) (138).

L'important dans cette technique est le choix de l'obturateur. Une friction doit être ressentie dans le dernier millimètre, voire un blocage dans le dernier demi-millimètre sans friction sur les parois latérales.

Cette technique présente de nombreux avantages tels que sa rapidité d'exécution, sa courbe d'apprentissage rapide et sa capacité à répondre aux objectifs du traitement par un remplissage de l'ensemble du réseau canalaire (139). Son inconvénient majeur est la difficulté du contrôle de dépassement de pâte lors de l'obturation, car la sensation lorsque l'obturateur s'enfonce dans le canal est très faible (140). Cela nécessite donc un bon contrôle dans le choix de l'obturateur avant de réaliser la phase d'obturation.

Toutes ces techniques de gutta à chaud sont les seules qui permettent l'obturation tridimensionnelle du canal avec une utilisation du ciment canalaire hydrolysable en faible proportion. Aujourd'hui, de nouveaux ciments appelés « biocéramique » qui correspondent à des dérivés du mineraltrioxideaggregate (MTA®), lui-même dérivé du ciment de Portland, ouvrent la voie vers des techniques monocône revisitées (141).

VI.3 L'obturation minimalement invasive

L'obturation est l'étape terminale du traitement canalaire si la reconstitution coronaire n'est pas prise en compte. Le but de l'obturation est de rendre hermétique l'ensemble de l'endodonte et du périapex aux agressions bactériennes. Le second objectif est de pouvoir sceller les bactéries résiduelles dans l'obturation afin d'empêcher leur prolifération.

VI.3.1 Risques liés à l'obturation

Malheureusement, l'étape d'obturation est sujette, selon la méthode utilisée, à différents risques iatrogènes pouvant compromettre l'avenir de la dent soignée. Parmi ces risques, il y a la fracture verticale de la racine. Le compactage latéral à froid de la gutta-percha est toujours une méthode courante d'obturation canalaire. Elle est chronophage et prédispose aux fractures radiculaires verticales (142).

Le second risque identifié dans les méthodes d'obturation modernes est l'augmentation de température permettant d'obtenir la gutta plastifiée thermiquement. En effet, il a été démontré que les obturations canalaires avec de la gutta-percha thermoplastifiée provoquent une élévation de température sur la surface radiculaire externe (143). Cela peut entraîner des dommages potentiels au ciment radiculaire, au ligament parodontal et à l'os alvéolaire. Molyvdas *et al* ont montré histologiquement chez les chiens une réaction inflammatoire périapicale après l'injection de gutta-percha thermoplastifiée à haute température (160 ° C) dans le canal radiculaire. Cependant, la destruction des tissus était localisée dans la zone autour du foramen apical, tandis que le ligament parodontal du côté des surfaces radiculaires restait normal (144). La recherche de nouvelles méthodes potentiellement moins iatrogènes s'est alors orientée vers l'amélioration des ciments de scellement. En effet, la gutta-percha notamment chauffée remplit un nombre considérable des prérequis du matériau d'obturation idéal, mais il manque toujours l'adhésion aux parois dentinaires intracanalaires acquise grâce aux ciments. L'utilisation d'un ciment est obligatoire et son hydrolyse dans le temps a toujours été son point d'attaque dans les critiques et revues de littérature. Ainsi, de nouveaux ciments à effets bioactifs, les ciments biocéramiques, ont vu le jour dans les gammes de produit endodontique.

VI.3.2 Nouveaux matériaux et perspectives

Les céramiques sont des matériaux inorganiques et non métalliques fabriqués par chauffage de minéraux bruts à des températures élevées. Les biocéramiques, quant à elles, sont des matériaux céramiques biocompatibles ou des oxydes métalliques, avec une capacité d'étanchéité améliorée, une activité antibactérienne et antifongique appliquée pour une utilisation en médecine et en dentisterie. Elles ont la capacité de fonctionner comme des tissus humains ou de se résorber et d'encourager la régénération des tissus naturels. Elles comprennent l'alumine et la zircone, le verre bioactif, la vitrocéramique, les silicates de calcium, l'hydroxyapatite et les phosphates de calcium résorbables (145).

Les biocéramiques peuvent être classées ainsi (146):

- Bioinertes: non interactifs avec les systèmes biologiques (alumine, zircone)
- Bioactives: tissus durables pouvant subir des interactions interfaciales avec les tissus environnants (verres bioactifs, vitrocéramiques bioactives, hydroxyapatite, silicates de calcium)
- Biodégradables: solubles ou résorbables, éventuellement remplacées ou incorporées dans les tissus (Phosphate tricalcique, verres bioactifs).

Les biocéramiques utilisées en endodontie :

- Basées sur du silicate de calcium :
 - Ciments : Portland Cement®, Mineraltrioxideaggregate® (MTA), Biodentine® (Septodont, France)
 - Sealers : Endo CPM Sealer® (EGO SRL, Buenos Aires, Argentina), MTA Fillapex® (Angelus, Brésil), BioRoot RCS® (Septodont, France)
- Basées sur un mélange de silicate de calcium et phosphates de calcium :
 - IRoot BP Plus®, iRoot FS® (InnovativeBioceramix Inc., Vancouver, Canada), EndoSequence BC Sealer® (Brasseler, Savannah, GA, USA)/ Total Fill®

Il existe deux avantages majeurs associés à l'utilisation de matériaux biocéramiques comme ciments des canaux radiculaires. Premièrement, leur biocompatibilité empêche le rejet par les tissus environnants (147). Non seulement, leur extrusion apicale ne forme pas de lésion inflammatoire iatrogène, mais aide considérablement les taux de guérison périradiculaire (148).

Deuxièmement, les matériaux biocéramiques contiennent du phosphate de calcium qui améliore les propriétés de prise des biocéramiques et se traduit par une composition chimique et une structure cristalline similaires aux matériaux à apatite dentaire et osseuse (149), créant ainsi la liaison entre le ciment et la dentine radiculaire.

Le mécanisme exact de la liaison du ciment à base de biocéramique à la dentine radiculaire reste encore inconnu ; cependant, les mécanismes suivants ont été suggérés pour les ciments à base de silicate de calcium :

- Diffusion des particules de ciment dans les tubules dentinaires (diffusion tubulaire) pour produire des liaisons mécaniques imbriquées (150)
- Infiltration de la teneur minérale du ciment dans la dentine inter tubulaire entraînant la création d'une zone d'infiltration minérale produite après dénaturation des fibres de collagène avec un ciment alcalin fort (151)
- Réaction partielle du phosphate avec de l'hydrogel de silicate de calcium et de l'hydroxyde de calcium, produite par la réaction de silicates de calcium en présence de l'humidité de la dentine, aboutissant à la formation d'hydroxyapatite le long de la zone d'infiltration minérale (152).

Les premiers ciments biocéramiques étaient de consistance épaisse. Leur utilisation était limitée à la chirurgie endodontique, mais l'apparition de ciments fluides a permis d'envisager leur utilisation dans les traitements orthogrades.

L'absence de vide dans le canal est associée à une amélioration des résultats du traitement endodontique (153). La fluidité du ciment a donc permis d'envisager son apposition sur l'ensemble des parois canalaires. La liaison chimique aux parois dentinaires a permis d'envisager les ciments biocéramiques fluides dans l'obturation orthograde définitive. L'absence de résorption dans le temps a permis d'envisager un rapport ciment/gutta différent. Les propriétés bioactives cicatrisantes au contact des tissus périapicaux, notamment dans les cas de lésions inflammatoires d'origine endodontique, laissent suggérer qu'il s'agit du matériau de choix dans tous les cas de dents nécrosées. C'est l'ensemble de ces attributs qui font des ciments biocéramiques le ciment à privilégier dans les techniques d'obturation modernes.

La technique d'obturation permettant de limiter les contraintes appliquées sur la gutta-percha augmentant les risques de fracture et n'induisant pas une élévation de température de la gutta-percha pouvant se transmettre aux parois des racines est la

technique monocône. En effet, un unique cône est induit de ciment canalaire, inséré dans le canal et sectionné à l'entrée. Les inconvénients de cette technique sont :

- Rapport gutta percha/ciment défavorable car la quantité de ciment canalaire est trop importante.
- L'utilisation d'un cône de gutta-percha aux normes ISO ne correspondant pas à la forme de préparation canalaire.

Concernant le second point, il a été démontré depuis l'avènement des systèmes en Nickel-Titane rotatifs que l'utilisation d'un cône de gutta-percha ajusté permettait l'utilisation de l'obturation monocône. En effet, un cône de gutta-percha correspondant au diamètre et à la conicité des canaux préparés avec des instruments en Nickel-Titane présente une capacité d'obturation similaire aux techniques en plusieurs étapes avec de la gutta-percha thermoplastifiée (154), (155), (156), (157).

De plus, l'inconvénient de la technique monocône, à savoir l'instabilité et l'inhomogénéité des matériaux de remplissage provoqués par l'excès de ciment résorbable qui scelle le maître cône dans les cas de canaux volumineux, sera surmonté en utilisant des ciments biocéramiques dimensionnellement stables.

Étant conceptuellement et fonctionnellement accessible, la technique monocône représente une simplification technique, mais également une prise de risque minimale vis-à-vis des conséquences iatrogènes des autres méthodes d'obturation.

Cependant, un inconvénient majeur de ces matériaux biocéramiques réside dans la difficulté à les déposer si un retraitement ultérieur est nécessaire (158).

Plusieurs études cherchent néanmoins à confirmer cette donnée avec des ciments biocéramiques plus récents. Les nouveaux ciments à base de silicate de calcium (dans cette étude les MTA®, TotalFill BC sealer® et AH plus® par la technique de gutta-percha en une vague) sont négociables sous une simple anatomie du canal radiculaire. Cependant, les techniques de retraitement conventionnelles ne sont pas capables d'éliminer complètement les résidus de ciment (159).

Kakoura *et al* concluent de façon équivalente. Des débris de matière résiduelle ont été observés dans tous les échantillons, quel que soit le ciment utilisé (BioRoot®RCS, versus TotalFill® BC Sealer et AH26 en technique mono cône). Tous les ciments biocéramiques ont été retirés dans une mesure similaire. La longueur de travail et la perméabilité ont été suffisamment rétablies dans tous les groupes et donc les possibilités de retraitement sont admises si l'anatomie radiculaire le permet (160).

L'étape de l'obturation a évolué avec l'arrivée d'un ciment non agressif pour les tissus périapicaux, stable dans le temps et permettant une adhésion directe aux parois dentinaires. Ces ciments biocéramiques, utilisés avec des cônes calibrés avec le système rotatif, permettent d'envisager l'obturation par un monocône non thermoplastifié. De ce fait, l'ensemble des risques pris concernant la surchauffe et la fracture radiculaire sont évités.

VII Conclusion

C'est dans la vision minimaliste de l'endodontie qu'est sans nul doute l'avenir de la discipline. Les prémices d'une approche minimalement invasive sont abordées par la création et le développement de nouvelles gammes de produit. Comme le fut la démocratisation des systèmes rotatifs en NiTi au début de ce millénaire, la recherche de nouveaux ciments, de nouvelles techniques d'irrigation ou même de moyens diagnostiques novateurs est le mot d'ordre dans le développement de la discipline.

Le diagnostic est le point de départ pour tout traitement. Le choix de conserver la pulpe doit être pris de façon raisonnée. Un certain nombre de critères, qu'ils soient généraux ou locaux, rentrent en compte dans la prise de décision. Le praticien, qui ne doit en aucun cas négliger les techniques de revitalisation ou de coiffage direct en accord avec le gradient thérapeutique, doit poser un diagnostic sur l'état pulpaire précis afin de bien évaluer le service rendu au patient. Par ailleurs, ce principe de service rendu, ou rapport bénéfice/risque, est le fondement même des dogmes en radioprotection. Ainsi, à travers des réglages de l'appareillage, l'apport d'un collimateur spécifique et d'un angulateur adapté, la prise de clichés radiographiques se fera en réduisant au maximum les doses appliquées. L'apport du CBCT est indéniable, mais son utilisation ne doit pas être systématique et doit respecter les principes énoncés par les autorités scientifiques internationales compétentes.

Concernant la cavité d'accès, cette étape est visuellement et conceptuellement l'étape clé dans la vision minimaliste. Il s'agit de la suite logique pour tout praticien appliquant le concept *no post-no crown* dans la réduction de l'impact sur la dent traitée. Si l'idée de réaliser des cavités d'accès minimalement invasives est bonne, la réalisation de ces dernières nécessite une haute technicité et leur apport réel reste à démontrer. Malheureusement, la difficulté de réaliser une harmonisation des termes retrouvés dans la littérature complique l'émission de conclusions. En revanche, du fait de la complexité d'entreprendre les étapes ultérieures du traitement canalaire, les conséquences sont, elles, réelles. C'est pourquoi, les cavités d'accès minimalement invasives ne peuvent être envisagées que dans certains cas simples par des opérateurs expérimentés, tout en sachant que l'apport de ces techniques est, d'après l'état des connaissances actuelles, faible.

La suite du traitement endodontique correspond aux étapes de désinfection de l'endodonte par sa mise en forme mécanique et chimique. L'instrumentation canalaire et la désinfection par irrigation sont l'une comme l'autre liées par leurs objectifs communs. Concernant la mise en forme et afin de trouver un seuil de préparation à minima, il est

nécessaire d'appliquer les mêmes protocoles d'irrigation pour comparer les taux de désinfection. L'élargissement apical n'aurait pas d'effet sur les bactéries canalaire lorsque l'irrigant est activé par des méthodes modernes telles que l'activation par ultrasons. La conicité a en revanche une influence forte, car elle facilite le déplacement de l'irrigant dans le tiers apical. À ce jour, la taille d'une préparation canalaire offrant un débridement et un taux de désinfection idéaux n'est pas encore identifiée. Cette absence de données n'empêche pas la comparaison des méthodes d'irrigation. Si l'activation par ultrasons est une méthode approuvée et efficace, afin de diminuer l'incidence des effets iatrogènes, les systèmes intégrant une aspiration répondent aux objectifs du minimalement invasif.

Enfin, l'obturation permet de conserver dans le temps les résultats de désinfection obtenus précédemment. L'apport des ciments biocéramiques est évident, tant les ciments anciennement utilisés présentaient des défauts majeurs. L'absence d'hydrolyse dans le temps, l'adhésion naturelle à la dentine radiculaire et la consistance nouvellement créée, ont permis d'envisager l'utilisation de la technique monocône dans certains cas. Les risques iatrogènes liés à la transmission de chaleur, la surobturation par présence de gutta dans le périapex et la fracture radiculaire sont ainsi écartés.

Pour conclure, le « tout minimalement invasif » en endodontie n'existe pas à ce jour. Le praticien spécialiste peut mettre en place des procédures d'optimisation des risques associées à l'achat de matériel spécifique pour obtenir une qualité et une sécurité de traitement optimales respectant les données acquises de la science. Concernant un omnipraticien, l'endodontie minimalement invasive peut, si ce n'est apporter des bénéfices minimes, engranger des risques supplémentaires. Certaines procédures, telles que la diminution des doses d'irradiation ou l'utilisation de ciments biocéramiques, peuvent être indiquées dans une pratique générale sans pour autant engendrer de surcoûts prohibitifs.

Une étude menée en France en 2013 a rapporté qu'au moment des soins endodontiques, 30% des dentistes posent le champ opératoire dans chaque cas et 44% régulièrement (161). L'American Association of Endodontists rappelle que « la pose d'un champ opératoire est primordiale et essentielle pour n'importe quel traitement endodontique non chirurgical. Seule l'isolation avec une digue dentaire permet de minimiser le risque de contamination du système canalaire radiculaire par les bactéries orales » (162). Ces chiffres permettent de mettre en perspective la pratique du minimalement invasif au quotidien lorsque les bonnes pratiques ne sont pas respectées par tous. L'endodontie dite à minima reste néanmoins un moteur d'innovation pour la discipline, que ce soit pour la technique ou pour la recherche de matériaux. De nouvelles perspectives de soins s'ouvrent donc grâce au minimalement invasif.

Table des images

Figure 1 : Apport diagnostique de l'imagerie 3D. (A) Cliché rétro-alvéolaire de 26 ne présentant aucune image périapicale. (B) Coupe issue d'un CBCT montrant une image radio-claire de la racine mésiale de 26 (18):	17
Figure 2 : Proposition de classification des cavités d'accès au niveau postérieur(55).	28
Figure 3 : Proposition de classification des cavités d'accès au niveau antérieur(55).	28
Figure 4 : Différences des deux formes de préparation canalair. (a) Élargissement apical marqué selon Ingle (b) Conicité marquée selon Schilder. (34)	35

Bibliographie

1. **Siqueira, J.F. Jr.** Aetiology of root canal treatment failure: why well-treated teeth can fail. *Int Endod J.* 2001, Vol. 34(1) : 1-10.
2. **Tronstad L, Sunde P.T.** The evolving new understanding of endodontic infections. *Endod Topics.* 2003, Vol. 6 : 57-77.
3. **Siqueira JF Jr, Araújo MC, Garcia PF, Fraga RC, Dantas CJ.** Histological evaluation of the effectiveness of five instrumentation techniques for cleaning the apical third of root canals. *J Endod.* 1997, Vol. 23(8) : 499-502.
4. **Varela P, Souza E, de Deus G, Duran-Sindreu F, Mercadé M.** Effectiveness of complementary irrigation routines in debriding pulp tissue from root canals instrumented with a single reciprocating file. *Int Endod J.* 2018, Vol. 52(4) : 475-483.
5. **Baume LJ, Fiore-Donno G, Holz J.** The clinical management of endodontic problems based on new histopathological evidence. *Quintessence Int Dent Dig.* 1974, Vol. 5(4) : 27-35.
6. **Haute Autorité de Santé.** Traitement Endodontique - Rapport d'évaluation technologique. 2008.
7. **Zunzarren R, Dupuis V, UFR d'odontologie de Bordeaux Segalen.** Guide clinique d'odontologie. *Elsevier-Masson* . Issy-les-Moulineaux, France, 2014.
8. **European Society of Endodontology.** Quality guidelines for endodontic treatment: consensus report of the European Society of Endodontology. *Int Endod J.* 2006, Vol. 39(12) : 921-930.
9. **Vermeersch, AG.** Endodontic treatments. Their philosophy, indications and contra-indications and special precautions to be taken in general pathological conditions. *Rev Belge Med Dent.* 1978, Vol. 33(1) : 53-62.
10. **Haute Autorité de Santé.** Rapport de l'HAS sur le traitement endodontique. [En ligne] 2008. [Citation : 14 09 2020.] https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2009-01/rapport_traitement_endodontique.pdf.
11. **Bence R.** Handbook of clinical endodontics. *St Louis 2nd Edition.* 1980.

12. **Cohenca N, Paranjpe A, Berg J.** Vital pulp therapies. *Dent Clin North Am.* . 2013 , Vol. 57(1) : 59-73.
13. **Chen E, Abbott PV.** Dental pulp testing: a review. *Int J Dent.* 2009.
14. **Abd-Elmeguid A, Yu DC.** Dental pulp neurophysiology: Part 2. Current diagnostic tests to assess pulp vitality. *JCDA.* 2009, Vol. 75(2) : 139-143.
15. **Abd-Elmeguid A, Yu DC.** Dental pulp neurophysiology: Part 1. Current diagnostic tests to assess pulp vitality. *JCDA,* 2009, Vol. 75(2): 139-143.
16. **Paladino F, Toledano C, Serfaty R.** Estimer l'état pulpaire. *Réalités cliniques.* 2013, Vol. 24, 4 : 253 - 264.
17. **Bender I.B, Seltzer S.** Roentgenographic and direct observation of experimental lesions in bone. *J Endod.* 2003, Vol. 29 : 707-712.
18. **Chogle S, Zuaitar M, Sarkis R, Saadoun M, Mecham A, Zhao Y.** The Recommendation of Cone-beam Computed Tomography and Its Effect on Endodontic Diagnosis and Treatment Planning. *Journal of Endodontics.* 2020, Vol. 46(2) : 162-168.
19. **AAE and AAOMR Joint Position Statement Use of Cone Beam Computed Tomography in Endodontics 2015 Update.** AAE and AAOMR Joint Position Statement Use of Cone Beam Computed Tomography in Endodontics 2015 Update. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 2015, Vol. 120(4) : 508-512.
20. **Mainkar A, Kim SG.** Diagnostic Accuracy of 5 Dental Pulp Tests: A systematic Review and Meta-analysis. *J Endod.* 2018, Vol. 44(5) : 694-702.
21. **Rickoff B, Trowbridge H, Baker J, Fuss Z, Bender IB.** Effects of thermal vitality tests on human dental pulp. *J Endod.* 1988, Vol. 14, 482-487.
22. **Linsuwanont P, Palamara JE, Messer HH.** Thermal transfer in extracted incisors during thermal pulp sensitivity testing. *Int Endod J.* 2008, Vol. 41, 204-210.
23. **Rouas P., Hauret L.** Imagerie en odontologie pédiatrique : indications, modalités et précautions. *Réal Clin.* 2014, Vol. 25(2), 115-128.
24. **White S.C, Pharoah J.** Oral Radiology : principles and Interpretation. *Elsevier St. Louis.* 7ème édition. , 2014.
25. **CIRP 2007b. International Commission on Radiological Protection.** 2007.
26. **Mjör IA, Ferrari M.** Pulp-dentin biology in restorative dentistry. Part 6: Reactions to restorative materials, tooth-restoration interfaces, and adhesive techniques. *Quintessence.* 2002, Vol. 33(1) : 35-63.
27. **L, Björndal.** The caries process and its effect on the pulp: the science is changing and so is our understanding. *J Endod.* 2008, Vol. 34(7 Suppl) : S2-5.

28. **Simon S, Cooper P, Berdal A, Machtou P, Smith AJ.** Biologie pulpaire : comprendre pour appliquer au quotidien. *Rev Odont Stomat.* 2008, Vol. 37 : 209-235.
29. **Ciucchi B, Bouillaguet S, Holz J.** La perméabilité dentinaire et ses implications cliniques. *Réalités cliniques.* 1995, Vol. 6(2) : 145-157.
30. **Christie WH, Thompson GK.** The importance of endodontic access in locating maxillary and mandibular molar canals. *J Can Dent Assoc.* 1994, Vol. 60(6) : 527-532, 535-536.
31. **Machtou P.** Guide clinique d'endodontie. *Editions CdP.* 1993.
32. **Machtou, P.** La cavité d'accès. In : Les 10 points clefs en endodontie. *Paris Alpha Omega.* 2007.
33. **Simon S, Machtou P, Pertot W-J.** Endodontie. *Editions CdP.* 2012.
34. **Simon S.** L'endodontie de A à Z : traitement et retraitement. *Editions CdP : [2ème édition].* 2018.
35. **Vertucci FJ.** Root canal morphology and its relationship to endodontic procedures. *Endodontics Topics.* 2005, Vol. 10 : 3-29.
36. **Murdoch-Kinch CA, McLean ME.** Minimally invasive dentistry. *J Am Dent Assoc.* 2003, Vol. 134(1) : 87-95.
37. **Clark D, Khademi J, Herbranson E.** The new science of strong endo teeth. . *Dentistry Today.* 2013, Vol. 32, 112–117.
38. **Mendes EB, Soares AJ, Martins JNR, Silva EJNL, Frozoni MR.** Influence of access cavity design and use of operating microscope and ultrasonic troughing to detect middle mesial canals in mandibular first molars. *International Endodontic Journal.* 2020.
39. **Freitas GR, Ribeiro TM, Vilella FSG, de Melo TAF.** Influence of endodontic cavity access on curved root canal preparation with ProDesign Logic rotary instruments. *Clinical Oral Investigations.* 2020.
40. **Bóveda C, Kishen A.** Contracted endodontic cavities: the foundation for less invasive alternatives in the management of apical periodontitis. *Endodontic Topics.* 2015, Vol. 33, 169–86.
41. **Saygili G, Uysal B, Omar B, Ertas ET, Ertas H.** Evaluation of relationship between endodontic access cavity types and secondary mesiobuccal canal detection. *BMC. Oral Health.* 2018, Vol. 18, 121–6.
42. **Alovisi M, Pasqualini D, Musso E.** Influence of contracted endodontic access on root canal geometry: an in vitro study. *Journal of Endodontics.* 2018, Vol. 44, 614–20.

43. **Corsetino G, Pedullà E, Castelli L.** Influence of access cavity preparation and remaining tooth substance on fracture strength of endodontically treated teeth. *Journal of Endodontics* . 2018, Vol. 44, 1416–21.
44. **Jiang Q, Huang Y, Tu X.** Biomechanical properties of first maxillary molars with different endodontic cavities: a finite element analysis. . *Journal of Endodontics* . Vol. 44, 1283–8.
45. **Zhang Y, Liu Y, She Y, Liang Y, Xu F, Fang C.** The effect of endodontic access cavities on fracture resistance of first maxillary molar using the extended finite element method. . *Journal of Endodontics*. 2019, Vol. 45, 316–21.
46. **Wang Q, Liu Y, Wang Z.** The effect of access cavities and canal enlargement on biomechanics of endodontically treated teeth: a finite element analysis. *Journal of Endodontics*. 2020, Vol. 6(10) : 1501-1507.
47. **Roperto R, Sousa YT, Dias T.** Biomechanical behavior of maxillary premolars with conservative and traditional endodontic cavities. *Quintessence International* . 2019, Vol. 50, 350–6.
48. **Neelakantan P, Khan K, Hei Ng GP, Yip CY, Zhang C, Cheung GSP.** Does the orifice-directed dentin conservation access design debride pulp chamber and mesial root canal systems of mandibular molars similar to a traditional access design? *Journal of Endodontics* . 2018, Vol. 44, 274–9.
49. **Lin CY, Lin D, He WH.** Impacts of 3 different endodontic access cavity designs on dentin removal and point of entry in 3-dimensional digital models. . *Journal of Endodontics* . Vol. 46, 524–30.
50. **Plotino G, Grande NM, Isufi A.** Fracture strength of endodontically treated teeth with different access cavity designs. . *Journal of Endodontics* . 2017, Vol. 43, 995–1000.
51. **Yuan K, Niu C, Xie Q.** Comparative evaluation of the impact of minimally invasive preparation vs. conventional straight-line preparation on tooth biomechanics: a finite element analysis. *European Journal of Oral Sciences* . Vol. 124, 591–6.
52. **Eaton JA, Clement DJ, Lloyd A, Marchesan MA.** Micro-computed tomographic evaluation of the influence of root canal system landmarks on access outline forms and canal curvatures in mandibular molars. *Journal of Endodontics*. 2015, Vol. 41, 1888–91.
53. **Abou-Elnaga MY, Alkhawas MAM, Kim HC, Refai AS.** Effect of truss access and artificial truss restoration on the fracture resistance of endodontically treated mandibular first molars. *Journal of Endodontics*. Vol. 45, 813–7.

54. **Silva EJ, Rover G, Belladonna FG, De-Deus G, Teixeira CS, Fidalgo TK.** Impacto f contracted endodontic cavities on fracture resistance of endodontically treated teeth: a systematic review of in vitro studies. *Clinical Oral Investigations* . 22, 109–18.
55. **Silva EJNL, K.P. Pinto C.M. Ferreira F.G. Belladonna G. De-Deus P.M.H. Dummer M.A. Versiani.** Current status on minimal access cavity preparations: a critical analysis and a proposal for a universal nomenclature. *International Endodontic Journal*. 2020, Vol. 53(12) : 1618-1635.
56. **Rover G, Belladonna FG, Bortoluzzi EA, De-Deus G, Silva EJNL, Teixeira CS.**Influence of access cavity design on root canal detection, instrumentation efficacy, and fracture resistance assessed in maxillary molars. *Journal of endodontics*. 2017, Vol. 43, 1657– 62.
57. **Peters OA, Schönenberger K, Laib A.** Effects of four Ni-Ti preparation techniques on root canal geometry assessed by micro computed tomography. *International Endodontic Journal*. 2001, Vol. 34, 221– 30.
58. **Versiani MA, Souza E, De-Deus G.** Critical appraisal of studies on dentinal radicular microcracks in endodontics: methodological issues, contemporary concepts, and future perspectives. *Endodontic Topics*. 2015, Vol. 33, 87– 156.
59. **Chugal N, Mallya SM, Khaler B, Lin LM.** Endodontic treatment outcomes. *Dental Clinics of North America*. 2017, Vol. 61, 59– 80.
60. **Vieira GCS, Pérez AR, Alves FRF et al.** Impact of contracted endodontic cavities on root canal disinfection and shaping. *Journal of Endodontics*. 2020, Vol. 46, 655– 61.
61. **Saygili G, Uysal B, Omar B, Ertas ET, Ertas H.** Evaluation of relationship between endodontic access cavity types and secondary mesiobuccal canal detection. *BMC Oral Health* . 2018, Vol. 18, 121–6.
62. **Krishan R, Paqué F, Ossareh A, Kishen A, Dao T, Friedman S.** Impacts of conservative endodontic cavity on root canal instrumentation efficacy and resistance to fracture assessed in incisors, premolars, and molars. *Journal of Endodontics*. 2014, Vol. 40, 1160– 6.
63. **Siqueira JF Jr, Alves FR, Versiani MA et al.**Correlative bacteriologic and micro-computed tomographic analysis of mandibular molar mesial canals prepared by Self-adjusting File, Reciproc, and Twisted File systems. *Journal of Endodontics*. 2013, Vol. 39, 1044– 50.
64. **Silva AA, Belladonna FG, Rover G, Lopes RT, Moreira EJJ, De-Deus G, Silva EJNL.** Does ultraconservative access affect the efficacy of root canal treatment and

the fracture resistance of two-rooted maxillary premolars? *Int Endod J.* 2020, Vol. 53 (2) : 265-275.

65. **Tamse A.** Vertical root fractures in endodontically treated teeth: diagnostic signs and clinical management. *Endodontic Topics.* 2006, Vol. 13, 84– 94.

66. **Khan S, Inamdar MNK, Munaga S, Ali SA, Rawtiya M, Ahmad E.** Evaluation of fracture resistance of endodontically treated teeth filled with gutta-percha and Resilon obturating material: an in vitro study. *Journal of International Oral Health.* 2015, Vol. 7, 21– 5.

67. **Kishen A.** Biomechanics of fractures in endodontically treated teeth. *Endodontic Topics.* 2015, Vol. 33, 3-13.

68. **Makati D, Shah NC, Brave D, Singh Rathore VP, Bhadra D, Dedania MS.** Evaluation of remaining dentin thickness and fracture resistance of conventional and conservative access and biomechanical preparation in molars using cone-beam computed tomography: An in vitro study. . *Journal of Conservative Dentistry .* 2018, Vol. 21, 324– 7.

69. **Saberi EA, Pirhaji A, Zabetivan F.** Effects of endodontic access cavity design and thermocycling on fracture strength of endodontically treated teeth. *Clinical, Cosmetic and Investigative Dentistry .* 2020, Vol. 23, 149– 56.

70. **Moore B, Verdelis K, Kishen A, Dao T, Friedman S.** Impacts of contracted endodontic cavities on instrumentation efficacy and biomechanical responses in maxillary molars. *Journal of Endodontics .* 2016, Vol. 42, 1779– 83.

71. **Chlup Z, Žižka R, Kania J, Příbyl M.** Fracture behaviour of teeth with conventional and mini-invasive access cavity designs. *Journal of European Ceramic Society .* 2017, Vol. 37, 4423– 9.

72. **Ivanoff CS, Marchesan MA, Andonov B et al.** Fracture resistance of mandibular premolars with contracted or traditional endodontic access cavities and class II temporary composite restorations. *Endodontic Practice Today.* 2017, Vol. 11, 7– 14.

73. **Sabeti M, Kazem M, Dianat O et al.** Impact of access cavity design and root canal taper on fracture resistance of endodontically treated teeth: an ex vivo investigation. *Journal of Endodontics .* 2018, Vol. 44, 1402– 6.

74. **Nazari A, Bajaj D, Zhang D, Romberg E, Arola D.** Aging and the reduction in fracture toughness of human dentin. . *The Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials.* 2009, Vol. 2, 550– 9.

75. **Ivancik J, Majd H, Bajaj D, Romberg E, Arola D.** Contributions of aging to the fatigue crack growth resistance of human dentin. *Acta of Biomaterials .* 2012, Vol. 8, 2737– 46.

76. **Tang W, Wu Y, Smales RJ.** Identifying and reducing risks for potential fractures in endodontically treated teeth. *Journal of Endodontics* . 2010, Vol. 36, 609– 17.
77. **Hamouda IM, Shehata SH.** Fracture resistance of posterior teeth restored with modern restorative materials. *The Journal of Biomedical Research* . 2011, Vol. 25, 418–24.
78. **Gluskin AH, Peters CI, Peters AO.** Minimally invasive endodontics: challenging prevailing paradigms. *British Dental Journal* . 2014, Vol. 216, 347– 53.
79. **Lenherr P, Allgayer N, Weiger R, Filippi A, Attin T, Krastl G.** Tooth discoloration induced by endodontic materials: a laboratory study. . *International Endodontic Journal* . 2012, Vol. 45, 942– 9.
80. **Crumpton BJ, Goodell GG, McClanaban SB.** Effect on smear-layer and debris removal with varying volumes of 17% REDTA after rotary instrumentation? *J Endod.* 2005, Vol. 31 : 536-538.
81. **Ingle J.** A standardized endodontic technique using newly designed instruments and filling technique. *Oral Surg.* 1961, Vol. 14 : 83-91.
82. **Schilder H.** Filling root canals in three dimension. *Dent Clin North Am.* 1967, Vol. 11 : 723-744.
83. **Baugh D, Wallace J.** The role of apical instrumentation in root canal treatment : a review of the literature. *J Endod.* 2005, Vol. 31 : 333-340.
84. **Estrela C, Couto GS, Bueno MR, Bueno KG, Estrela LRA, Porto OCL, Diogenes A.** Apical Foramen Position in Relation to Proximal Root Surfaces of Human Permanent Teeth Determined by Using a New Cone-beam Computed Tomographic Software. *J Endod.* 2018, Vol. 44(11) : 1741-1748.
85. **Cianconi L, Angotti V, Felici R, Conte G, Mancini M.** Accuracy of three electronic apex locators compared with digital radiography : an ex vivo study. *J Endod.* 2010, Vol. 36 : 2003-2007.
86. **Seidberg BH, Alibrandi BV, Fine H, Logne B.** Clinical investigation of measuring working lengths of root canals with an electronic device and with digital tactile sense. *J Am Dent Assoc.* 1975, Vol. 90 : 379-387.
87. **Park SY, Cheung GSP, Yum J, Hur B, Park JK, Kim HC.** Dynamic torsional resistance of nickel-titanium rotary instruments. *J Endod.* 2010, Vol. 36 : 1-5.
88. **Jiang HW.** Theory and practice of minimally invasive endodontics. *Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi.* 2016, Vol. 51(8) : 460-464.

89. **Zogheib C, Sfeir G, Plotino G, Deus G, Daou M, Khalil I.** Impact of Minimal Root Canal Taper on the Fracture Resistance of Endodontically Treated Bicuspids. *J Int Soc Prev Community Dent.* 2018, Vol. 8(2):179-183.
90. **Capar ID, Altunsoy M, Arslan H, Ertas H, Aydinbelge HA.** . Fracture strength of roots instrumented with self-adjusting file and the ProTaper rotary systems. *J Endod.* 2014, Vol. 40 : 551-554.
91. **Singla M, Aggarwal V, Logani A, Shah N.** Comparative evaluation of rotary ProTaper, Profile and conventional stepback technique on reduction in *Enterococcus faecalis* colony-forming units and vertical root fracture resistance on root canals. *Oral Surgery, Oral Medecine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontology.* 2010, Vol. 109, Issue 3 e105-e110.
92. **Usman N, Baumgartner JC, Marshall JG.** Influence of instrument size on root canal debridement. *J Endod.* 2004, Vol. 30 : 110-112.
93. **Albrecht LJ, Baumgartner JC, Marshal JG?** Evaluation of apical debris removal using various sizes and tapers of ProFile GT files. *J Endod.* 2004, Vol. 30 : 425-428.
94. **Ioanna S. Arvaniti, Marouan G. Khabbaz.** Influence of root Canal Taper on Its Cleanliness: A scanning Electron Microscopic Study. *J of Endod.* 2011, Vol. 37(6) : 871-874.
95. **Krikeli E, Mikrogeorgis G, Lyroudia K.** In Vitro Comparative Study of the Influence of Instrument Taper on the Fracture Resistance of Endodontically Treated Teeth: An Integrative Approach-based Analysis. *J Endod.* 2018, Vol. 44(9) : 1407-1411.
96. **Yan W, Montoya C, Øilo M, Ossa A, Paranjpe A, Zhang H, Arola D.** Reduction in fracture resistance of the root with aging. *J Endod.* 2017, Vol. 43 : 1494-1498.
97. **Krikeli E, Mikrogeorgis G, Lyroudia K.** In Vitro Comparative Study of the Influence of Instrument Taper on the Fracture Resistance of Endodontically Treated Teeth: An Integrative Approach-based Analysis. *J of Endod.* 2018, Vol. 44(9) : 1407-1411.
98. **Byström A, Sundqvist G.** Bacteriologic evaluation of the efficacy of mechanical root canal instrumentation in endodontic therapy. *Scand J Dent Res.* 1981, Vol. 89 : 321-328.
99. **Paraskevopoulou MT, Khabbaz MG.** Influenne of Taper of Root Canal Shape on the Intracanal Bacteriel Reduction. *Open Dent J.* 2016., Vol. 10 : 568-574.

100. **Lee OYS, Khan K, Li KY.** Influence of apical preparation size and irrigation technique on root canal debridement: a histological analysis of round and oval root canals. *International Endodontic Journal*. 2019, Vol. 52(9) : 1366-1376.
101. **Hulsmann M, Peters OA, Dummer PM.** Mechanical preparation of root canals: shaping goals, techniques and means. *Endodontic Topics*. 2005, Vol. 10 : 30-76.
102. **Torabinejad M, Khademi AA, Babagoli J.** A new solution for the removal of the smear layer. *J of Endod*. 2003, Vol. 29 170 - 5.
103. **Siqueira JF, Lima KC, Magalhães FA, Lopes HP, de Uzeda M.** Mechanical reduction of the bacterial population in the root canal by three instrumentation techniques. *Journal of Endodontics*. 1999, Vol. 25 : 332-337.
104. **Byström A, Sundqvist G.** Bacteriologic evaluation of the effect of 0.5 percent sodium hypochlorite in endodontic therapy. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1983, Vol. 55 : 307-312.
105. **Byström A, Sundqvist G.** The antibacterial action of sodium hypochlorite and EDTA in 60 cases of endodontics therapy. *Int Endod J*. 1985, Vol. 18 : 35-40.
106. **Hockett JL, Dommisch JK, Johnson JD, Cohenca N.** Antimicrobial efficacy of two irrigation techniques in tapered and non tapered canal preparations : an in vitro study. *J Endod*. 2008, Vol. 34 : 1374-1377.
107. **Estrela C, Estrela CR, Barbin EL, Spano JC, Marchesan MA, Pécora JD.** Mechanism of action of sodium hypochlorite. *Braz Dent J*. 2002, Vol. 13 : 113-117.
108. **Mohammadi Z.** Sodium hypochlorite in endodontic : an update review. *Int Dent J*. 2008b, Vol. 58 : 329-341.
109. **Mohammadi Z, Abbot PV.** The properties and application of chlorhexidine in endodontics. *Int Endod J*. 2009, Vol. 42 : 288-302.
110. **Mader CL, Baumgartner JC, Peters DD.** Scanning electron microscopic investigations of the smeared layer on root canal walls. *J Endod*. 1984, Vol. 10 : 477-483.
111. **Zehnder M, Schmidlin P, Sener B, Waltimo T.** Chelation in root canal therapy reconsidered. *J Endod*. 2005b, Vol. 31 : 817-820.
112. **Sathorn C, Parashos P, Messer HH.** Antibacterial efficacy of calcium hydroxide intracanal dressing : a systematic review and meta-analysis. *Int Endod J*. 2007, Vol. 40 : 2-10.
113. **Bronnec F, Bouillaguet S, Machtou P.** Ex vivo assessment of irrigant penetration and renewal during the cleaning and shaping of root canals : a digital subtraction radiographic study. *Int Endod J*. 2010a, Vol. 43 : 275-282.

114. **Bronnec F, Bouillaguet S, Machtou P.** Ex vivo assessment of irrigant penetration and renewal during the final irrigation regimen. *Int Endod J.* 2010b, Vol. 43 : 663-672.
115. **Gu LS, Kim JR, Ling J, Choi KK, Pashley DH, Tay FR.** Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices. *J Endod.* 2009, Vol. 35 : 791-804.
116. **Walmsley AD, Lumley PJ, Laird WR.** Oscillatory patterns of sonically powered endodontics files. *Int Endod J.* 1989, Vol. 22 : 125-132.
117. **Farrar JT, Portenoy RK, Berlin JA, Kinman JL, Strom BL.** Defining the clinically important difference in pain outcome measures. *Pain.* 2000, Vol. 88 : 287-94.
118. **Torabinejad M, Kettering JD, McGraw JC, Cummings RR, Dwyer TG, Tobias TS.** Factors associated with endodontic interappointment emergencies of teeth with necrotic pulps. . *Journal of Endodontics.* 1988, Vol. 14 : 261-267.
119. **Walton R, Fouad A.** Endodontic interappointment flare-Ups: A prospective study of incidence and related factors. *Journal of Endodontics,*. 1992, Vol. 18 (4) : 172-177.
120. **Eleazer PD, Eleazer KR.** Flare-up rate in pulpally necrotic molars in one-visit versus two-visit endodontic treatment. *J od Endod.* Vol. 24 : 614-620.
121. **Imura N, Zuolo ML.** Factors associated with endodontic flare-ups: a prospective study. *International Endodontic Journal.* 1995, Vol. 28 : 261-266.
122. **Walton R, Fouad A.** Endodontic interappointment flare-ups: a prospective study of incidence and related factors. *Journal of Endodontics .* 1992, Vol. 18, 172 – 179.
123. **Boutsioukis C, Lambrianidis T, Verhaagen B, Versluis M, Kastrinakis E, Wesselink PR,.** The effect of needle-insertion depth on the irrigant flow in the root canal: evaluation using an unsteady computational fluid dynamics model. . *J Endod.* 2010, Vol. 36 : 1664-1668.
124. **Lambrianidis T, Tosounidou E, Tzoanopoulou M.** The effect of maintaining apical patency on periapical extrusion. *J Endod.* 2001, Vol. 27(11) : 696-704.
125. **Mitchell RP, Yang SE, Baumgartner JC.** Comparison of apical extrusion of NaOCl using EndoVac or needle irrigation of roots canals. *J Endod.* 2010, Vol. 36(2) : 338-41.
126. **Malentacca A, Uccioli U, Zangari D, Lajolo C, Fabiani C.** Efficacy and Safety of Various Active Irrigation Devices When Used with Either Positive or Negative Pressure: An In Vitro Study, . *Journal of Endodontics.* 2012, Vol. 38(12) : 1622-1626.
127. **Hulsmann M.** Complications during root canal-irrigation-literature, review and case reports. *Int Endod J.* 2000, Vol. 33 : 186-193.

128. **Pashley K, Tay DH.** Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices. *J Endod.* 2009, Vol. 35 : 791-804.
129. **Ray HA, Trope M.** Periapical status of endotically treated teeth in relation to the technical quality of the root filling and the coronal restoration. *Int Endod J.* 1995, Vol. 28 : 12-18.
130. **Penesis VA, Fitzgerald PI, Fayad MI, Wenckus CS, BeGole EA, Jonhson BR.** Outcome of one-visit and two-visit endodontic treatment of necrotic teeth with apical periodontitis : a randomized controlled trial with one year evaluation. *J Endod.* 2008, Vol. 34 : 252-257.
131. **Molander A, Warfvinge J, Reit C, Kvist T.** Clinical and radiographic evaluation of one-visit and two-visit endodontic treatment of asymptomatic necrotic teeth with apical periodontitis : a randomized clinical trial. *J Endod.* 2007, Vol. 33 : 1145-1148.
132. **Su Y, Wang C, Ye L.** Healing rate and post-obturation pain of single versus multiple-visit endodontic treatment for infected root canals : a systematic review. *J Endod.* 2011, Vol. 37 : 125-132.
133. **Wiener BH, Schilder H.** A comparative study of important physical properties of various root canal sealers II. Evaluation of dimensional. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1971, Vol. 31(6) : 928-937.
134. **Wu M -K., Özok AR, Wesselink PR.** Sealer distribution in root canals obturated by three techniques. *International Endodontic Journal.* 2000, Vol. 33(4) : 340-345.
135. **Péli JF, de Jaureguiberry M, Oriez D, Péli-Joineau C.** Compactages latéral et thermomécanique combinés: intérêt clinique [Combined lateral and thermomechanical condensation: clinical role]. *Rev FR Endod.* 1988, Vol. 7(2) : 9-27.
136. **Blum JY, Parahy E, Machtou P.** Warm vertical compaction sequences in relation to gutta-percha temperature. *J Endod.* 1997, Vol. 23(5) : 307-311.
137. **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.* 2019, Vol. 292-293 : 17-21.
138. **Gençoğlu N, Garip Y, Baş M, Samani S.** Comparison of different gutta-percha root filling techniques: Thermafil, Quick-fill, System B, and lateral condensation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2002, Vol. 93(3) : 333-339.

139. **Gound TG, Sather JP, Kong TS, Makkawy HA, Marx DB.** Graduating dental students' ability to produce quality root canal fillings using single- or multiple-cone obturation techniques. *J Dent Educ.* 2009, Vol. 73 : 696-705.
140. **Mohan SM, Kaushik SK.** Root Canal Treatment Using Thermoplasticized Carrier Condensation Technique. *Med J Armed Forces India.* 2009, Vol. 65(4) : 336-341 .
141. **Al-Haddad A, Che Ab Aziz ZA.** *Bioceramic-Based Root Canal Sealers: A Review.* 2016.
142. **Obermayer G, Walton R.E.** Vertical root fracture and relative deformation during obturation and post cementation. *J Prosthet Dent.* 1991, Vol. 66 : 181-187.
143. **Lipski M.** Root surface temperature rises in vitro during root canal obturation with thermoplasticized gutta-percha on a carrier or by injection. *J Endod.* 2004, Vol. 30 : 441-443.
144. **Molyvdas I, Zervas P, Lambrianidis T, Veis A.** Periodontal tissue reactions following root canal obturation with an injection-thermoplasticized gutta-percha technique. *Endod Dent Traumatol.* 1989, Vol. 5 : 32-37.
145. **Nasseh A.** The rise of bioceramics. *Endod Prac.* 2009, Vol. 2 : 17–22.
146. **Best SM, Porter AE, Thian ES, Huang J.** Bioceramics: Past, present and for the future. *J Eur Ceram Soc.* . 2008, Vol. 28 (7) : 1319–27.
147. **Koch K., Brave D.** A new day has dawned: the increased use of bioceramics in endodontics. *J. Dentaldown.* 2009, Vol. 10 : 39 - 43.
148. **Ng YL, Mann V, Gulabivala K.** A prospective study of the factors affecting outcomes of non-surgical root canal treatment: Part 2: Tooth survival. *Int Endod J.* 2011, Vol. 44 : 610 - 635.
149. **Ginebra MP, Fernández E, De Maeyer EA, Verbeeck RM, Boltong MG, Ginebra J, Driessens FC, Planell JA.** Setting reaction and hardening of an apatitic calcium phosphate cement. . *J Dent Res.* 1997, Vol. 76 (4) : 905 - 917.
150. **Zhang W, Li Z, Peng B.** Assessment of a new root canal sealer's apical sealing ability. . *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2009, Vol. 107 (6) : 79-82.
151. **Atmeh AR, Chong EZ, Richard G, Festy F, Watson TF.** Dentin-cement interfacial interaction: calcium silicates and polyalkenoates. . *J Dent Res.* . 2012, Vol. 91 (5) : 454-463.
152. **Zhang H, Shen Y, Ruse ND, Haapasalo M.** Antibacterial activity of endodontic sealers by modified direct contact test against *Enterococcus faecalis*. . *J Endod.* 2009, Vol. 35 (7) : 1051 - 1056.

153. **Ng YL, Mann V, Rahbaran S, Lewsey J, Gulabivala K.** Outcome of primary root canal treatment: systematic review of the literature—part 2. Influence of clinical factors. . *Int Endod J.* 2008, Vol. 41 : 6-31.
154. **Angerame D, De Biasi M, Pecci R, Bedini R, Tommasin E, Marigo L, et al.** Analysis of single point and continuous wave of condensation root filling techniques by micro-computed tomography. *Ann Ist Super Sanita.* 2012, Vol. 48 : 35-41.
155. **Somma F, Cretella G, Carotenuto M, Pecci R, Bedini R, De Biasi M, et al.** Quality of thermoplasticized and single point root fillings assessed by micro-computed tomography. *Int Endod J.* 2011, Vol. 44 : 362-371.
156. **Schafer E, Schrenker C, Zupanc J, Burklein 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.* 2016, Vol. 42 : 294-302.
157. **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.* 2017, Vol. 43 : 638-42.
158. **Cherng AM, Chow LC, Takagi S.** In vitro evaluation of a calcium phosphate cement root canal filler/sealer. . *J Endod.* 2001, Vol. 27(10) : 613-618.
159. **Agrafioti A, Kouroumis AD, Kontakiotis EG.** Re-establishing apical patency after obturation with Gutta-percha and two novel calcium silicate-based sealers. . *Eur J Dent.* 2015, Vol. 9(4) : 457-461.
160. **Kakoura F, Pantelidou O.** Retreatability of root canals filled with Gutta percha and a novel bioceramic sealer: A scanning electron microscopy study. . *J Conserv Dent.* 2018, Vol. 21(6) : 632-636.
161. **Bouquard L.** La digue : recommandation théoriques et usages au cabinet. *Nantes.* 2013.
162. **American Association of Endodontists.** Guide to Clinical Endodontics. *Chicago.* 2004.
163. **Marchi V.** Les biocéramiques : une évolution pour l'obturation canalaire ? *Réalités Cliniques.* 2019, Vol. 4 : 298-307.

L'endodontie minimalement invasive, du diagnostic à l'obturation.

La philosophie minimalement invasive fait suite aux progrès techniques des restaurations coronaires par méthode de collage. La discipline endodontique n'échappe alors pas aux volontés des praticiens de réduire leur impact sur la dent traitée. C'est pourquoi, de l'étape de diagnostic à celle de l'obturation, ce travail évalue les techniques modernes ainsi que leur réel intérêt clinique. Si, sous la poussée de différentes publications de photos sur les réseaux sociaux, les cavités d'accès sont l'étendard de cette philosophie dans la discipline, leur apport est néanmoins controversé. Il est intéressant de corréliser les étapes de mise en forme et d'irrigation tant leur lien est étroit en termes d'efficacité et de réduction de préparation. Enfin, l'obturation qui conclue le traitement voit, grâce à l'apport d'une nouvelle famille de ciments, ses perspectives de simplification et de réduction des risques s'améliorer. L'endodontie minimalement invasive doit respecter les objectifs du traitement endodontique ce qui parfois se révèle compliqué. Le minimalement invasif est donc une philosophie en endodontie ne pouvant être appliquée au quotidien mais qui doit rester l'objectif du praticien.

Mots clefs : Endodontie minimalement invasive, conservation pulpaire, production de stress pulpaire, préservation des structures dentaires, microscope opératoire,

Minimally invasive endodontics from diagnostic to obturation

The minimally invasive philosophy follows the technical advancements in crown restoration by bonding methods. Endodontics are therefore subject to practitioners' attempts to reduce their impact on the treated tooth. This is why, from diagnostic to obturation, this thesis evaluates modern techniques as well as their true clinical relevance. If, with the rise of new pictures being published on social media, access cavities are the banner of this philosophy, their added value is nevertheless controversial. It is interesting to link shaping and irrigation, their connection being obvious in terms of both efficiency and preparedness. Ultimately, thanks to the addition of a new range of sealants, the prospect of simplification and risk mitigation of the treatment-concluding obturation are greatly enhanced. Minimally invasive endodontics needs to adhere to treatment objectives that sometimes prove to be complicated. As a result, minimally invasive is an ethos in endodontics that can not be applied on a day-to-day basis but must remain the practitioner's aim.

Keywords: Minimally invasive endodontics, Pulp conservation, Stress generation, Preservation tooth structure, surgical microscope.