

UNIVERSITE DE LILLE
FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année de soutenance : 2023

N°:

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

Présentée et soutenue publiquement le 28 novembre 2023

Par Nicolas MARISSAL

Né le 4 octobre 1998 à Valenciennes – France

L'IMPORTANCE DES CANAUX ACCESSOIRES EN ENDODONTIE

JURY

Président :

Monsieur le Professeur E. DEVEAUX

Assesseurs :

Monsieur le Docteur M. LINEZ

Monsieur le Docteur L. ROBBERECHT

Madame le Docteur M. HENAUT

Président de l'Université	:	Pr. R. BORDET
Directrice Générale des Services de l'Université	:	M-D. SAVINA
Doyen UFR3S	:	Pr. D. LACROIX
Directrice des Services d'Appui UFR3S	:	G. PIERSON
Doyen de la faculté d'Odontologie – UFR3S	:	Pr. C. DELFOSSE
Responsable des Services	:	N. RICHARD
Responsable de la Scolarité	:	G. DUPONT

PERSONNEL ENSEIGNANT DE LA FACULTE.

PROFESSEURS DES UNIVERSITES :

K. AGOSSA	Parodontologie
P. BOITELLE	Prothèses
T. COLARD	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
C. DELFOSSE	Doyen de la faculté d'Odontologie – UFR3S Odontologie Pédiatrique
E. DEVEAUX	Responsable du Département de Dentisterie Restauratrice Endodontie

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

T. BECAVIN	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
M. BEDEZ	Chirurgie Orale, Parodontologie, Biologie Orale
A. BLAIZOT	Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie Légale.
F. BOSCHIN	Responsable du Département de Parodontologie
C. CATTEAU	Responsable du Département de Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie Légale.
X. COUDEL	Biologie Orale
A. de BROUCKER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
M. DEHURTEVENT	Prothèses
T. DELCAMBRE	Prothèses
C. DENIS	Prothèses
F. DESCAMP	Prothèses
M. DUBAR	Parodontologie
A. GAMBIEZ	Dentisterie Restauratrice Endodontie
F. GRAUX	Prothèses
M. LINEZ	Dentisterie Restauratrice Endodontie
T. MARQUILLIER	Odontologie Pédiatrique
G. MAYER	Prothèses
L. NAWROCKI	Responsable du Département de Chirurgie Orale Chef du Service d'Odontologie A. Caumartin - CHRU Lille
C. OLEJNIK	Responsable du Département de Biologie Orale
P. ROCHER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
L. ROBBERECHT	Dentisterie Restauratrice Endodontie
M. SAVIGNAT	Responsable du Département des Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
T. TRENTESAUX	Responsable du Département d'Odontologie Pédiatrique
J. VANDOMME	Prothèses

Réglementation de présentation du mémoire de Thèse

Par délibération en date du 29 octobre 1998, le Conseil de la Faculté de Chirurgie Dentaire de l'Université de Lille a décidé que les opinions émises dans le contenu et les dédicaces des mémoires soutenus devant jury doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'ainsi aucune approbation, ni improbation ne leur est donnée.

Remerciements

Aux membres du jury,

Monsieur le Professeur Etienne DEVEAUX

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier

Section de Réhabilitation Orale

Département de Dentisterie Restauratrice Endodontie

Docteur en chirurgie dentaire

Docteur en sciences odontologiques

Docteur en odontologie de l'Université de Lille 2

Habilité à diriger des recherches

Doyen honoraire de la faculté de chirurgie dentaire de Lille

Ancien membre associé national de l'Académie nationale de chirurgie dentaire

Ancien président de la Société française d'endodontie

Chevalier dans l'Ordre des palmes académiques.

Responsable du Département de Dentisterie Restauratrice Endodontie

Chargé de mission Relations Institutionnelles avec le CHU

Vous me faites l'honneur de présider mon jury de thèse. Je vous remercie pour votre disponibilité et votre bienveillance.

J'espère que ce travail sera à la hauteur de la qualité de vos enseignements.

Veillez trouver dans cette thèse l'expression de ma sincère reconnaissance et de mon respect envers vous.

Monsieur le Docteur Marc LINEZ

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier

Section de Réhabilitation Orale

Département de Dentisterie Restauratrice Endodontie

Docteur en Chirurgie Dentaire

Diplôme d'Etudes Approfondies Sciences de la Vie et de la Santé

Maîtrise de Sciences de la Vie et de la Santé

Responsable de l'Unité Fonctionnelle de Dentisterie Restauratrice Endodontie

Dr Linez, je vous remercie d'avoir accepté sans hésitation de diriger cette thèse. L'expérience et la rigueur clinique dont vous faites preuve ont été d'une grande aide pour la réalisation de ce travail.

Votre bienveillance et votre sympathie ont été bienvenues durant mon parcours universitaire puis clinique, jusqu'à la finalisation de cette thèse. Les échanges que nous avons eus ont été très plaisants et enrichissants.

Veillez trouver dans cet ouvrage le témoignage de ma reconnaissance la plus sincère.

Monsieur le Docteur Lieven ROBBERECHT

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier

Section de Réhabilitation Orale

Département de Dentisterie Restauratrice Endodontie

Docteur en Chirurgie Dentaire

Assesseur Développement Durable

Docteur de l'Université de Lille

Habilité à diriger des recherches

Vous avez accepté avec spontanéité de siéger parmi les membres de ce jury, et je vous en suis assurément reconnaissant.

Votre bienveillance et votre sens de la pédagogie ont rendu vos enseignements d'autant plus intéressants.

Vous trouverez ici, l'expression de mon profond respect.

Madame le Docteur Marine HENAUT

Chef de Clinique des Universités – Assistant Hospitalier des CSERD

Section de Réhabilitation Orale

Département de Dentisterie Restauratrice Endodontie

Docteur en Chirurgie Dentaire

Je te remercie, Marine, d'avoir accepté de siéger au sein du jury de ma thèse.

C'est un plaisir pour moi de te retrouver à cette place, afin de clôturer ces années d'étude. Tu me fais l'honneur de juger mon travail qui je l'espère t'intéressera.

Reçois ici, toute ma sympathie et mes sincères remerciements.

Table des matières

Table des matières	12
Introduction	15
1 Anatomie dentaire et rappels histo-embryologiques.....	16
1.1 Anatomie dentaire de base.....	16
1.2 Anatomie endodontique.....	17
1.2.1 Généralités.....	17
1.2.2 Variations anatomiques liées à l'évolution des tissus avec le temps	19
1.2.3 Variations anatomiques constitutives	20
1.3. Histologie et embryologie	21
1.3.1 Structure des tissus dentaires [12,23,102]	21
1.3.2 Organogénèse de l'organe dentaire : odontogénèse [12,23].....	22
1.3.2.1 Initiation du développement dentaire.....	22
1.3.2.2 Formation des tissus	22
2. Les canaux accessoires.....	25
2.1 Définitions	25
2.1.1 Apparition de la notion de canal accessoire dans la littérature	25
2.1.2. Les premières ébauches de définitions générales	25
2.1.3. Définition selon la perméabilité et le cheminement du canal.....	26
2.1.4. Définition selon l'angulation du canal	27
2.1.5. Définition selon le diamètre du canal	28
2.1.6. Définitions du glossaire de l'AAE (American Association of Endodontists).....	28
2.1.7 Définitions selon Ahmed et coll.	28
2.1.8 Définitions utilisées.....	29
2.2 Classifications.....	30
2.2.1 Classification selon Yoshiuchi et coll.....	30
2.2.2 Classification selon les travaux de Ahmed et coll.	31
2.3 Méthodes de mise en évidence du système canalaire permettant la comptabilisation et l'étude des canaux accessoires.	36
2.3.1 Méthodes <i>in vitro</i> n'impliquant pas l'utilisation de radiologie.....	36
2.3.1.1 Technique par diaphanisation.....	37
2.3.1.2 Techniques par microscopie	38
2.3.2 Radiologie.....	42
2.3.2.1 <i>In vitro</i> : micro-tomodensitométrie assistée par ordinateur (micro-computerized tomography, ou micro-CT)	42
2.3.3.2 <i>In vivo</i> : imagerie clinique	43
2.4 Description morphologique et incidence des canaux accessoires.....	44
2.4.1 Description	44
2.4.1.1 Diamètre	44
2.4.1.2 Longueur	45

2.4.1.3 Tortuosité.....	45
2.4.1.4 Localisation sur la racine.....	46
2.4.2 Prévalence des canaux accessoires.....	47
3 Pathologies associées à la présence de canaux accessoires et répercussions sur la santé de l'organe dentaire et les tissus environnants.....	51
3.1 Le continuum endo-parodontal.....	51
3.1.1 Lien entre pathologies parodontales et pulpaires.....	51
3.1.2 Les voies physiologiques de communication entre la pulpe et le parodonte.....	51
3.1.3 Les voies pathologiques de communication entre la pulpe et le parodonte.....	52
3.1.4 Les lésions endo-parodontales.....	52
3.1.4.1 Classifications.....	52
3.1.4.2 Rôle des canaux accessoires dans la pathologie.....	53
3.2 Lésions d'origine endodontique.....	57
3.2.1 Définitions.....	57
3.2.1.1 Echec endodontique et lésion périapicale.....	57
3.2.1.2 Les lésions latérales.....	57
3.2.2 Rôle des canaux accessoires dans la pathologie.....	58
4 Gestion visuelle et thérapeutique des canaux accessoires lors du traitement endodontique ...	64
4.1 Diagnostic des canaux accessoires.....	64
4.1.1 Radiographie rétro-alvéolaire (RA).....	64
4.1.2 Imagerie volumétrique par faisceau conique ou « cone-beam computed tomography » (CBCT).....	65
4.2 Traitement orthograde.....	69
4.2.1 Obturation.....	69
4.2.1.1 Définitions et objectifs.....	69
4.2.1.2 Les matériaux d'obturation.....	70
4.2.1.3 Les différentes techniques d'obturation.....	71
4.2.1.4 Obturation et canaux accessoires.....	72
4.2.2 Irrigation.....	76
4.2.2.1 Définitions et objectifs.....	76
4.2.2.2 Les solutions d'irrigation.....	76
4.2.2.3 Les techniques d'irrigation [13,102].....	77
4.2.2.4 Irrigation et canaux accessoires.....	78
4.3 Traitement chirurgical rétrograde.....	80
4.3.1 Apicectomie.....	80
4.3.1.1 Indications et contre-indications (C-I).....	80
4.3.1.2 Protocole opératoire [40,102,108].....	81
4.3.1.3 Cas clinique d'une apicectomie sur une incisive latérale maxillaire droite présentant un échec du traitement initial causé par un canal accessoire, par Ricucci et coll. [86]..	82
4.3.2 Gestion d'un canal accessoire isolé par abord chirurgical.....	84
4.3.2.1 Description et protocole (125–127).....	84

4.3.2.2 Cas clinique de gestion d'un canal accessoire associé à une lésion latérale par accès chirurgical sur une incisive centrale, par Hirata-Tsuchiya et coll. [45]	85
Conclusion.....	86
Références bibliographiques	87
Table des figures	95
Table des tableaux	97

Introduction

L'**endodontie** est une discipline de l'art dentaire intéressant le maintien de la **pulpe dentaire** dans un état de **santé**, ainsi que le **traitement** de la **cavité pulpaire** (chambre pulpaire et canal pulpaire) (définition MeSH).

Cette discipline est en perpétuelle évolution. Les progrès faits ces dernières décennies en termes de matériel (aides visuelles, instrumentation mécanique), matériaux (amélioration des propriétés et de la biocompatibilité) et imagerie (émergence de l'imagerie 3D type CBCT) augmentent la qualité de prise en charge du patient et le taux de succès des traitements entrepris [102,108].

Le système canalaire est une structure anatomique complexe, pouvant arborer de nombreuses **variations** et **anomalies**. Les canaux accessoires font partie de ces variations morphologiques et, s'ils ne sont pas pris en compte, peuvent entraîner l'apparition et/ou la persistance d'un état pathologique.

Le travail fourni ici vise à **recontextualiser la notion de canal accessoire** dans la littérature, en parcourant les différents points de vue des auteurs. Seront ainsi abordés leurs **définitions**, **méthodes de mise en évidence**, **catégorisations**, **potentiel pathogénique**, **degré d'importance** lors d'un **traitement endodontique**, et leur **gestion** lors de ce dernier. Bien que ce sujet ait été vastement étudié, des divergences existent encore autour de certains points, divergences qui ne semblent pas encore complètement tranchées à ce jour.

Une des premières apparitions dans la littérature de la notion de canal accessoire date de 1901, par Preiswerk [*in* 125]. Depuis, elle s'est développée et a été abondamment étudiée *via* diverses techniques et méthodes à partir de la seconde moitié du XX^e siècle [24,35,111]. Cette évolution sera rapportée dans un premier temps.

L'implication de ces ramifications accessoires dans de potentielles pathologies intéressant l'organe dentaire et les tissus environnants sera développée dans un second temps.

Seront enfin évoquées les étapes du traitement endodontique qui ont le plus d'impact sur la gestion des canaux accessoires, dans le but de diminuer les échecs liés à leur présence.

1 Anatomie dentaire et rappels histo-embryologiques

1.1 Anatomie dentaire de base

Chaque dent est constituée d'une couronne, recouverte d'émail, et d'une ou plusieurs racines, recouvertes de cément, se rejoignant au niveau de la jonction amélo-cémentaire. Celle-ci forme le collet anatomique de la dent. L'émail et le cément enveloppent le tissu dur principal, la dentine (Figure 1) [71].

Au centre de la dent se situe le tissu pulpaire, seul tissu mou entrant dans la composition de la dent. Il est contenu dans la chambre pulpaire dans la portion coronaire et se poursuit dans les canaux pulpaires au niveau des racines. Ces deux parties sont continues entre elles et forment la cavité pulpaire.

Les tissus situés autour de la dent forment les tissus de soutien, et permettent son ancrage sur l'arcade et sa liaison avec le reste de l'organisme.

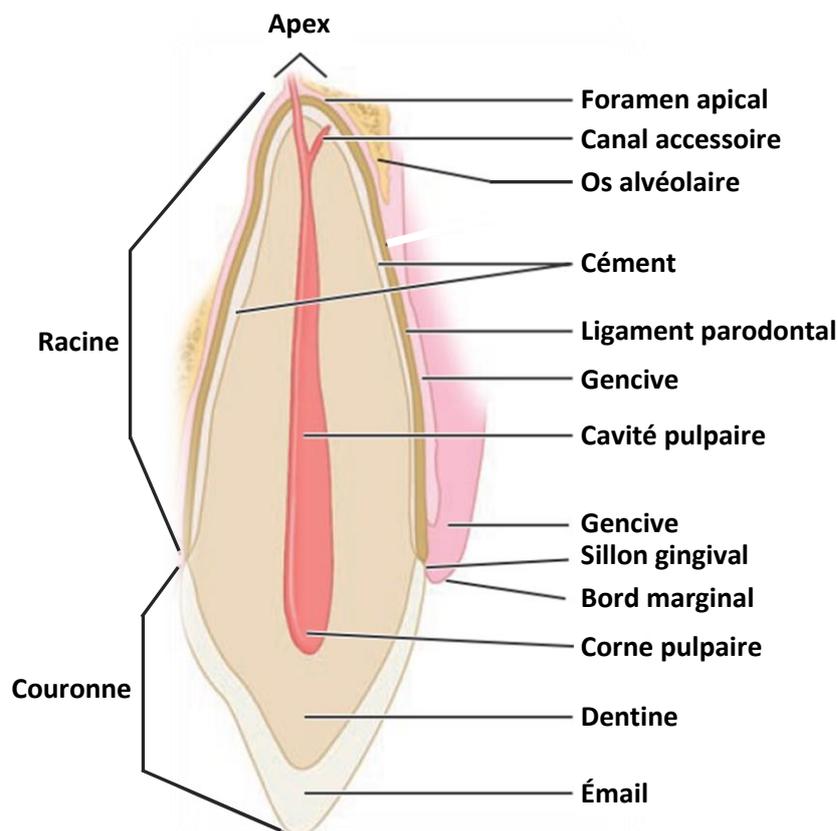


Figure 1 : Schéma d'une canine maxillaire en coupe sagittale [71].

1.2 Anatomie endodontique

1.2.1 Généralités

La forme de la cavité pulpaire est homothétique au contour de la couronne et des racines de la dent.

- **La portion coronaire : la chambre pulpaire**

La chambre pulpaire est une structure située au centre de la couronne contenant la pulpe coronaire. Sa paroi la plus occlusale est le plafond pulpaire, où se trouvent les cornes pulpaires. Sa paroi la plus apicale est le plancher pulpaire, où se situe l'entrée des canaux radiculaires.

Lors du traitement endodontique, les variations de teinte de la dentine renseignent sur le positionnement des entrées canalaires : c'est la carte dentinaire [102].

- **La portion radiculaire : la pulpe radiculaire**

Les canaux radiculaires s'élançant d'une entrée en forme d'entonnoir à partir du plancher pulpaire, cheminent le long de la racine, et débouchent à son extrémité, au niveau du foramen apical [108].

La racine peut prendre, en coupe horizontale, de nombreuses formes différentes. Sept configurations sont généralement retrouvées : rond, ovale, ovale allongé, quille, haricot, ruban et sablier. Chacune de ces formes peut apparaître à tout niveau d'une seule et unique racine. Ainsi, la forme, le nombre, et la conformation des canaux varieront en conséquence [40,108].

La catégorisation de la conformation canalaire a été théorisée plusieurs fois, Weine et coll. étant, en 1969, parmi les premiers à s'y atteler. Ils distinguent trois types de conformation : canal unique ; deux canaux qui se rejoignent et fusionnent en un foramen apical unique ; deux canaux distincts avec deux foramina apicaux distincts [118].

Vertucci et coll. publient en 1974 la classification qui sera le plus souvent reprise pour caractériser la morphologie canalaire [111]. Celle-ci représente 8 types de conformation anatomique des canaux (Figure 2).

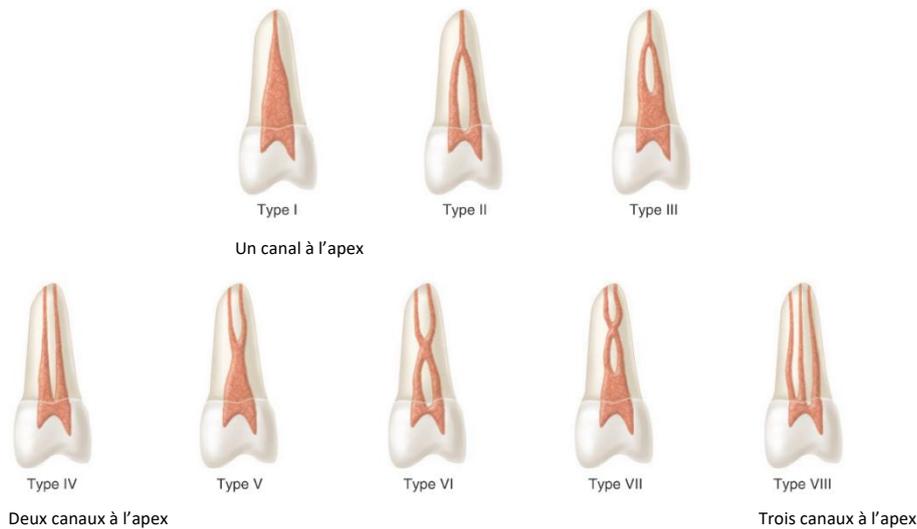


Figure 2 : Représentation de la classification de Vertucci de 1974 [113] pour la morphologie des canaux radiculaires [40] :

- type I : un canal unique depuis la chambre pulpaire à l'apex,
- type II : deux canaux indépendants quittent la chambre pulpaire, mais fusionnent à proximité de l'apex pour former un unique canal,
- type III : un canal unique se divise en deux canaux, qui se refusionnent à l'apex en un seul canal,
- type IV : deux canaux distincts depuis la chambre pulpaire jusqu'à l'apex,
- type V : un canal unique quitte la chambre pulpaire, et se divise en deux canaux distincts à l'apex,
- type VI : deux canaux indépendants quittent la chambre pulpaire, fusionnent au milieu de la racine, et se divisent à nouveau en deux canaux distincts à proximité de l'apex,
- type VII : un canal unique en sortant de la pulpe se divise, puis refusionne, puis sortent en deux canaux distincts à l'apex,
- type VIII : trois canaux distincts depuis la chambre pulpaire jusqu'à l'apex.

• L'apex anatomique et le foramen apical

L'apex anatomique est la zone située à l'extrémité apicale de la dent (Figure 3). Il est la plupart du temps rectiligne, mais tend sur certaines dents à s'orienter en direction distale [108].

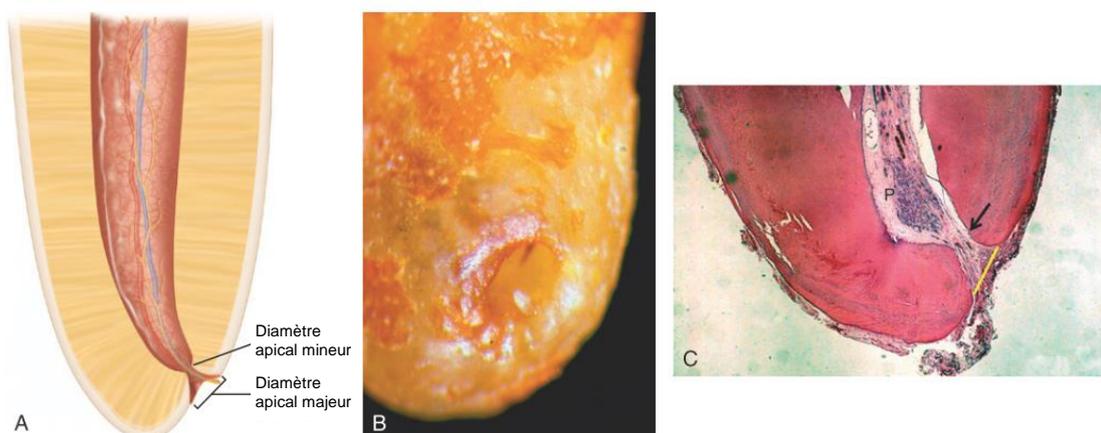


Figure 3 : (A) schéma représentant la morphologie de l'apex [40], (B) vue clinique du foramen apical [39], (C) vue histologique de la constriction (flèche noire) et du foramen apical [39].

Le foramen apical est l'orifice par lequel débouche le canal radulaire. C'est une zone critique lors du traitement endodontique. Un manquement de préparation, d'irrigation, et/ou d'obturation de cette zone peut résulter en l'apparition ou la subsistance d'une lésion péri-apicale.

La constriction apicale est la zone la plus étroite du canal, située au niveau de l'apex, dans la zone du foramen apical. C'est une spécificité anatomique pouvant servir de repère lors de la préparation apicale durant le traitement endodontique [28,39].

1.2.2 Variations anatomiques liées à l'évolution des tissus avec le temps

Avec le temps, la forme et la constitution de la pulpe et des racines évoluent et sont soumises à des remaniements. Ces derniers affectent le tissu pulpaire à l'intérieur de ou adjacent aux canaux accessoires. Ils sont dus à des mécanismes physiologiques liés à l'âge, ou surviennent en réponse à des stimuli extérieurs, pouvant conduire à un état pathologique [108].

- **Apposition de dentine tertiaire**

La dentine tertiaire (ou cicatricielle) est apposée de manière continue au fil du temps, en réponse à une agression externe. Il existe deux types de dentine tertiaire (Figure 4) : la dentine réactionnelle, et la dentine réparatrice [60,102].

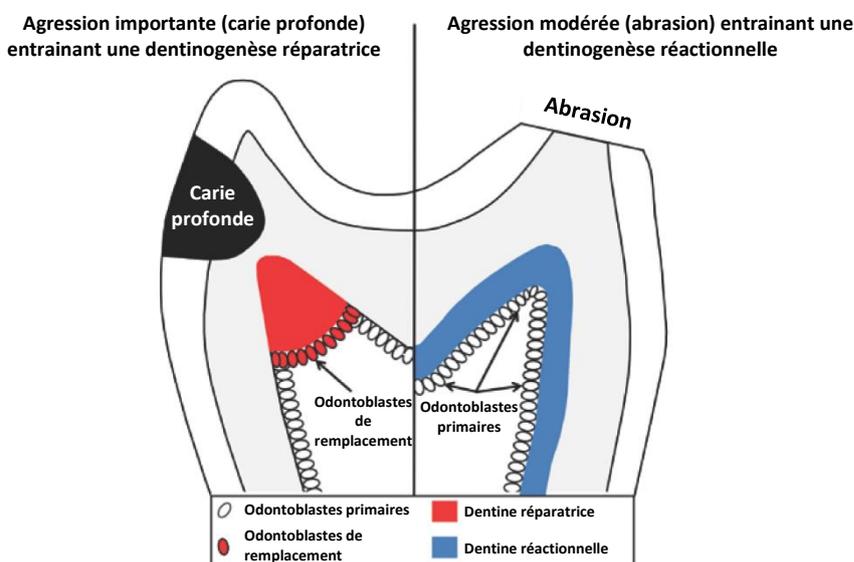


Figure 4 : Représentation de la formation de dentine réparatrice ou réactionnelle en fonction du type d'agression [40].

La **dentine réactionnelle** est formée de manière lente, à la suite d'un stress modéré comme une carie superficielle, ou un mécanisme d'abrasion. Elle est sécrétée par les odontoblastes ayant survécu à l'agression, et ressemble donc à de la dentine secondaire usuelle [60].

La **dentine réparatrice** est produite à la suite d'un stimulus plus agressif, dans le cas d'une carie profonde ou d'une effraction pulpaire par exemple. Cette agression compromet la survie des odontoblastes primaires, et entraîne la mobilisation de nouveaux odontoblastes dits de « remplacement ». Ils apposent ainsi cette dentine réparatrice, qui sera assimilable à de l'ostéodentine [60].

- **Minéralisations pulpaire**

Deux types de minéralisation peuvent être rencontrés : les pulpolithes et les minéralisations diffuses. Ces minéralisations peuvent apparaître en réponse à un irritant, comme de manière idiopathique [108].

Les **pulpolithes** se forment le plus souvent au niveau de la chambre pulpaire. Ils peuvent rendre difficile l'accès à la pulpe radiculaire et entraîner des erreurs, telles que des perforations lors de la recherche des entrées canalaire [75].

Les **minéralisations diffuses** apparaissent principalement dans la portion radiculaire, et peuvent complexifier l'exploration et la préparation des canaux. Les minéralisations les plus extrêmes, faisant le plus souvent suite à un traumatisme, peuvent entraîner une oblitération de la pulpe [64]. Le cathétérisme dans cette situation devient un défi pour le praticien, et le risque de fracture instrumentale est majoré.

- **Résorptions**

Les résorptions internes sont des processus relativement rares. Le point de départ se trouve à l'intérieur de la cavité pulpaire. Elles sont issues d'une inflammation chronique de la pulpe, induisant la résorption de la dentine [43].

1.2.3 Variations anatomiques constitutives

Au-delà de ces remaniements des tissus internes de la dent, les canaux accessoires s'inscrivent au sein des variations qui peuvent être qualifiées de « constitutives » (qui sont présentes dès l'éruption de la dent) de l'anatomie radiculaire et du système canalaire.

Voici les principales variations citées par la suite dans un souci de recontextualisation, sans être davantage développées individuellement [108] : sillon lingual, dent invaginée, dent évaginée, dilacérations, racines excédentaires, canaux en « c », taurodontisme.

La majorité de ces variations sont liées à une cause endogène ayant perturbé le développement dentaire, ou exogène, comme un traumatisme.

Bien que les canaux accessoires résultent, selon les hypothèses, d'un défaut mineur lors de l'édification radiculaire (*cf.* partie 1.3.2.2 p. 24), leur présence n'est pas considérée comme une anomalie.

1.3. Histologie et embryologie

1.3.1 Structure des tissus dentaires [12,23,102]

- **L'émail**

L'**émail** est une structure minéralisée d'origine ectodermique, qui recouvre la partie coronaire de l'organe dentaire.

- **Le complexe dentino-pulpaire**

La dentine et la pulpe, bien qu'étant différentes histologiquement, sont liées par leur origine embryologique et leurs fonctions. Elles réagissent en interdépendance aux stimuli externes.

La dentine est recouverte par l'émail au niveau coronaire et par le ciment au niveau radiculaire, et constitue le tissu majoritaire de la dent. Son taux de minéralisation étant inférieur à celui de l'émail, la dentine est plus élastique et permet de supporter les forces de mastication tout en évitant à ce premier de se fracturer.

Les tubuli dentinaires, canalicules traversant la dentine de part en part, rendent ce tissu perméable et sensible aux stimuli. Ils renferment les extensions cytoplasmiques des odontoblastes. Ces cellules, sécrétant la dentine durant le développement dentaire, siègent à la périphérie de la pulpe une fois l'odontogenèse terminée. Elles permettent ensuite la réparation de la dentine tout au long de la vie de la dent (*cf.* partie 1.2.2 p. 19).

La pulpe est quant à elle un tissu conjonctif enchâssé dans une chambre pulpaire, cavité anatomique interne et centrale de l'organe dentaire. Elle est divisée en deux parties : la pulpe coronaire, et la pulpe radiculaire.

En relation avec la dentine, la pulpe remplit divers rôles :

- **formation** de la dentine qui l'entoure,
- **nutrition** de la dentine avasculaire,
- **protection** de la dentine par des cellules nerveuses permettant sa sensibilité,
- **réparation** de la dentine en cas de besoin.

- **Les tissus supports de la dent**

Les structures précédemment décrites sont maintenues sur l'arcade dentaire par les tissus supports de la dent. Ces tissus sont : **le ligament alvéolo-dentaire**, situé entre la paroi alvéolaire et la dent ; **le ciment**, recouvrant la surface des racines, et **l'os alvéolaire**, où viennent s'insérer les fibres du ligament parodontal.

Ces tissus de soutien, formant le parodonte, interagissent avec l'organe dentaire dans des situations de santé comme de pathologie.

1.3.2 Organogénèse de l'organe dentaire : odontogénèse [12,23]

1.3.2.1 Initiation du développement dentaire

Les dents se développent à partir de l'interaction entre les cellules ectodermiques orales qui forment l'organe de l'émail et les cellules mésenchymateuses sous-jacentes dont provient la papille dentaire.

Le premier signe de formation dentaire est la prolifération de cellules ectodermiques à des zones bien spécifiques de l'ectoderme. Cette prolifération résulte en l'apparition de la lame dentaire.

Chaque dent passe par différents stades successifs de prolifération et différenciation cellulaire : bourgeon, cupule, cloche.

A l'issue de ces trois stades, les cellules épithéliales issues de l'organe de l'émail caractérisent la forme de la dent qu'elles constituent. Elles se différencient en deux catégories : les cellules épithéliales externes, qui recouvrent l'organe de l'émail et forment l'épithélium dentaire externe, et les cellules épithéliales internes, qui forment l'épithélium dentaire interne. Ces dernières deviendront les améloblastes qui apposeront l'émail dentaire durant l'amélogénèse.

1.3.2.2 Formation des tissus

La dentinogénèse précède toujours l'amélogénèse. Les cellules précurseurs, odontoblastes et améloblastes, entretiennent une relation étroite à travers des récepteurs et effecteurs à leur surface (Figure 5).

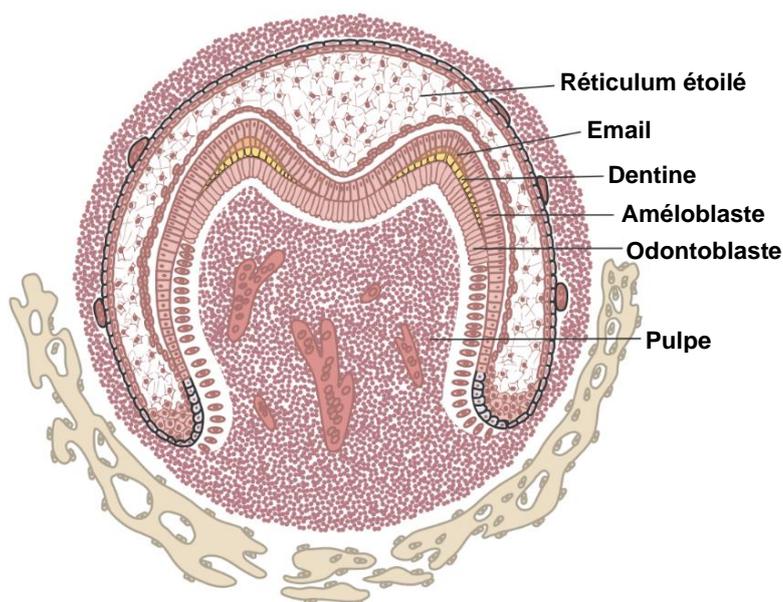


Figure 5 : Schéma représentant le début de la formation d'émail et de dentine [23] :

Les améloblastes ont ici sécrété une fine couche d'émail, au contact de la dentine formée par les odontoblastes sous-jacents. Ces deux structures commencent leur formation au niveau des pointes cuspidiennes.

- **Dentinogénèse**

Les améloblastes se différencient à partir de l'épithélium dentaire interne dans un premier temps. Ce processus déclenche à son tour la différenciation des cellules à la périphérie de la papille dentaire en odontoblastes (Figure 5). Ces derniers sécrètent alors une matrice extracellulaire appelée prédentine, qui se minéralisera pour devenir de la dentine.

Tandis que la cellule odontoblastique migre vers la pulpe en développement, un prolongement se constitue et s'allonge au sein de la dentine, préformant les futurs tubuli dentinaires.

- **Amélogénèse**

Quand un nombre suffisant d'incréments de dentine ont été formés, les améloblastes différenciés commencent à apposer une matrice d'émail. La formation de l'émail passe par plusieurs étapes : synthèse, sécrétion, puis minéralisation. Elle s'étend ensuite par incréments au fur et à mesure que les améloblastes se différencient à partir de l'épithélium dentaire interne. Ce dernier préfigurera donc la forme de la future dent.

- **Développement de la racine et des tissus de soutien (Figures 6 et 7)**

Tandis que la couronne se développe, la prolifération cellulaire continue dans la région cervicale. A la base de l'organe de l'émail, les épithéliums dentaires interne et externe fusionnent pour donner la gaine épithéliale de Hertwig (GEH). Celle-ci prend son origine là où l'apposition d'émail prend fin. A mesure que cette gaine s'allonge, elle prend la forme de la racine. Elle détermine ainsi la longueur, la courbure, l'épaisseur, et le nombre de racines de la dent.

Les cellules de la couche interne (devenant les améloblastes au niveau de la couronne) induisent aussi la différenciation des cellules de la papille dentaire en odontoblastes. Ceux-ci permettent la formation de la dentine radiculaire. Les cellules de la gaine interne apposent du ciment intermédiaire en parallèle, fine strate de ciment acellulaire qui vient recouvrir et obturer les tubuli dentinaires.

Les cellules du côté du follicule dentaire commencent alors à se différencier en cellules des futurs tissus de soutien : cellules osseuses (ostéoblastes), cellules du ligament parodontal, fibroblastes, et cimentoblastes.

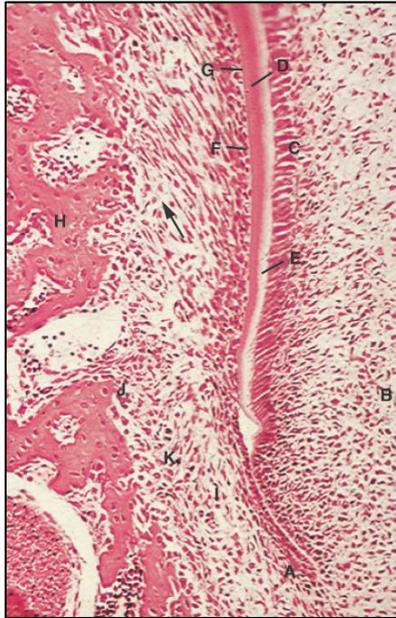


Figure 6 : Coupe histologique de la région apicale de la racine lors de son édification (technique de coloration à l'hématoxyline et l'éosine, grossissement x80) [12] :

(A) gaine épithéliale, (B) papille dentaire, (C) odontoblastes, (D) dentine radriculaire, (E) couche de prédentine, (F) cémentoblastes, (G) couche de ciment en développement, (H) os alvéolaire en développement, (I) couche interne du follicule dentaire, (J) couche externe du follicule dentaire, (K) couche intermédiaire du follicule dentaire.

La flèche indique l'orientation oblique du tissu folliculaire avec la formation de ciment.

A l'extrémité de la gaine, les cellules se recourbent à 45° pour former le diaphragme épithélial. Celui-ci encercle l'ouverture apicale durant le développement radriculaire. Les cellules pulpaires y étant adjacentes prolifèrent, tandis que les odontoblastes continuent la formation de dentine.

Quand la longueur définitive de la racine est atteinte, le processus d'expansion cesse. La racine s'épaissit alors jusqu'à ce que l'ouverture apicale atteigne 1 à 3 mm de diamètre, permettant la communication nerveuse et vasculaire entre la pulpe et le parodonte.

- **Apparition des canaux accessoires dans l'odontogenèse**

Les **canaux accessoires** paraissent à l'étape de l'**édification radriculaire**. A mesure que la racine se développe, ils peuvent naître soit de la **formation de dentine autour de vaisseaux préexistants**, soit d'une **rupture ponctuelle de la continuité de la gaine épithéliale** de Hertwig. La dentinogénèse n'aura pas lieu à cet endroit, laissant place à un canal contenant de petits vaisseaux sanguins, et parfois des nerfs [89].

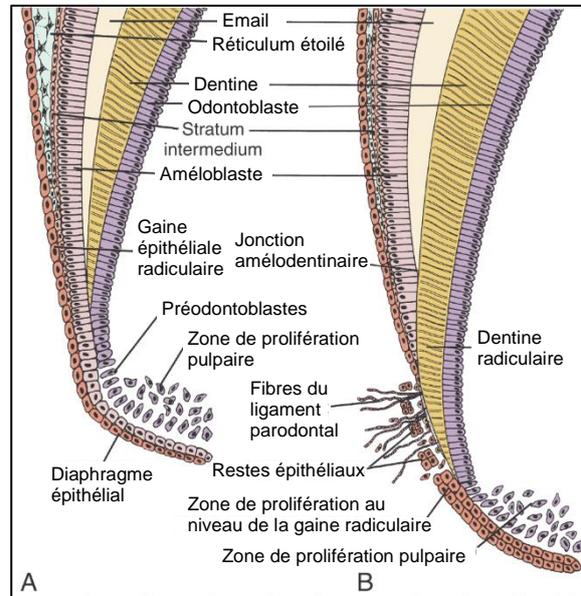


Figure 7 : Schéma représentant l'édification radriculaire [23] :

(A) phase de la formation de la gaine épithéliale : la fusion de l'épithélium dentaire interne et externe, pour former cette gaine. Cela inclut le tronc radriculaire vertical, et le diaphragme épithélial se courbant,

(B) stade avancé du développement de la gaine radriculaire. De la dentine radriculaire s'est formée au dessous de l'émail cervical. Des cémentoblastes, fibres parodontales, et débris épithéliaux sont présents dans le ligament.

2. Les canaux accessoires

2.1 Définitions

2.1.1 Apparition de la notion de canal accessoire dans la littérature

La notion de canal accessoire a été étudiée de nombreuses fois par divers auteurs. Chacun a apporté sa pierre à l'édifice en termes de vocabulaire, définition, classification et interprétation. Sont en effet retrouvées, en fonction des auteurs et articles, des dénominations diverses comme **canal « accessoire »**, **« latéral »**, **« secondaire »**, **« bifurqué »**, **« delta »**. Quelles sont leurs différences et leurs similitudes ?

Dès le début du XX^e siècle, les auteurs s'intéressent à l'anatomie de la pulpe. Les termes « canaux accessoires » et « canaux latéraux » sont déjà trouvables lors de recherches concernant l'endodonte [21], bien qu'ils ne fassent pas nécessairement l'objet direct d'études, et qu'ils n'y soient pas concrètement définis. Preiswerk serait un des premiers à parler de **ramification apicale** en 1901 [*in* 125]. Certains auteurs comme Cahn en 1927 commencent alors déjà à reconnaître à cette époque l'importance que pourraient avoir ces canaux accessoires dans une potentielle pathologie pulpaire [*in* 59], et constatent ainsi la nécessité de leur prise en compte dans le traitement endodontique [49].

2.1.2. Les premières ébauches de définitions générales

C'est seulement lors de la seconde moitié du XX^e siècle que des ébauches de définitions précisant **la signification** de ces termes commencent à émerger. Ce phénomène coïncide avec l'arrivée d'études à grande échelle de l'anatomie canalaire, incluant l'exploration et la comptabilisation des canaux accessoires. Il devient donc nécessaire de spécifier ce qui ferait l'objet direct ou indirect de ces recherches. En 1955, Green apporte une première définition sommaire : un **foramen apical accessoire** est défini selon lui comme tel quand il se trouve dans les derniers 3,5 mm de l'apex. Au-delà, il les dénomme **« foramen de canal latéral »** (« lateral canal foramen ») [35].

Un autre auteur qui tente de préciser cette notion est De Deus, en 1975. Il propose des définitions pour les différents types de ramifications canalaires (Figure 8) [24] :

- **un canal latéral** s'étend depuis le canal principal vers le ligament parodontal, plus fréquemment au niveau du corps de la racine que de sa base. Il peut être complètement perpendiculaire au canal principal, mais est généralement légèrement incliné en direction apicale,
- **un canal secondaire** s'étend depuis le canal **principal** vers le ligament parodontal dans la région apicale,
- **un canal accessoire** est dérivé d'un canal **secondaire**, bifurquant vers le ligament parodontal dans la région apicale.

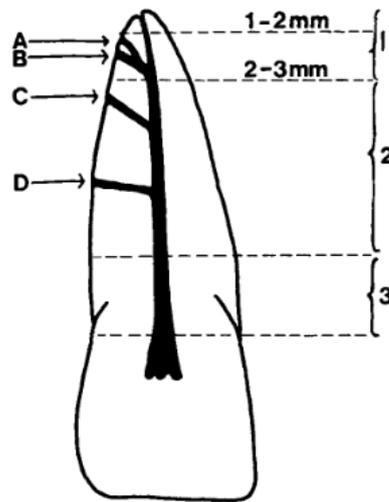


Figure 8 : Représentation de la ramification canalaire selon De Deus [24] :
 Canal(aux) : (A) accessoire, (B) secondaire, (C, D) latéraux, situés dans (1) l'apex, (2) le corps, (3) la base de la racine.

La terminologie commence déjà à cette époque à se diversifier. D'autres dénominations plus rares sont aussi introduites, comme « bifurcation », « intercanal » [19,80], canal « collatéral » [83,121], « auxiliaire » [19], « récurrent », « réticulaire ». Ces termes sont parfois employés de manière isolée, sans que de réelles définitions sur leur signification exacte et leurs différences ne soient précisées.

En 1974, Vertucci développe ce qu'il appelle les « **canaux de la furcation** » (« furcation canals ») : des canaux accessoires qui s'étendent depuis le plancher pulpaire jusqu'à la furcation [113]. Cette définition se rapproche de ce que certains autres auteurs qualifient de « canaux interradiculaires » (« interradicular canals ») dès 1948 [50], ou « diverticules » (« diverticula ») quand le canal n'a qu'une entrée (canal aveugle) [120]. Ahmed et coll. utiliseront eux le terme de « canal caméral » (« chamber canal ») pour désigner ces types de canaux [3].

2.1.3. Définition selon la perméabilité et le cheminement du canal

Paras et coll. [77], sur la base des travaux de Yoshida et coll. [123], classent les canaux de la furcation en 4 catégories. Ils les définissent avec une approche encore différente : selon leur tissu de départ et d'arrivée, ainsi que par la perméabilité ou non du canal :

- **canal « vrai » ou « réel »** (« true canal ») : communication entre la chambre pulpaire et le parodonte à travers de « réels » canaux accessoires,
- **canal « aveugle »** (« blind canal ») : canal accessoire qui prend origine dans la chambre pulpaire et/ou la surface externe, et se **termine dans la dentine**,
- **canal « en boucle »** (« loop canal ») : canal accessoire qui prend origine dans la chambre pulpaire ou le parodonte, chemine dans la dentine, et **retourne** dans la chambre pulpaire ou le parodonte d'où il **provenait originellement**,

- **canal « scellé »** (« sealed canal ») : canal accessoire se trouvant dans la dentine et/ou dans le cément, mais **sans communication externe**.

Bien qu'ils limitent ces dénominations aux canaux de la furcation, elles pourraient être étendues à tous les canaux accessoires, quelle que soit leur localisation sur la racine.

2.1.4. Définition selon l'angulation du canal

En 2007, Cheung apporte de nouvelles spécifications en différenciant les ramifications accessoires selon l'angulation qu'elles prennent à leur départ. Il ajoute de plus la notion de « communication inter-canal » (Figure 9) [19] :

- **canal accessoire** : fine branche du canal pulpaire qui diverge avec un **angle oblique** depuis le canal principal, pour se terminer dans l'espace ligamentaire parodontal,
- **canal latéral** : branche qui diverge à un **angle quasiment droit** depuis un canal principal,
- **delta apical** : ramification complexe de branches pulpaires du canal pulpaire, proche de l'apex anatomique, sans qu'un canal principal ne soit discernable,
- **communication inter-canal** : branche de l'espace pulpaire qui chemine entre des canaux principaux, mais ne communique pas avec la surface radiculaire.

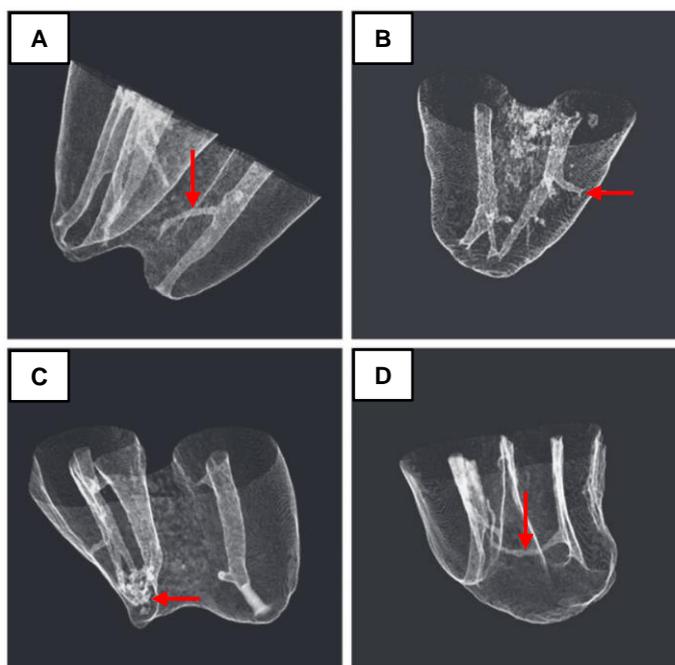


Figure 9 : Illustration différents types de ramifications accessoires selon Cheung [19] :
 (A) un canal accessoire ; (B) un canal latéral ; (C) un delta apical ; (D) une communication inter-canal.

2.1.5. Définition selon le diamètre du canal

Certains auteurs, comme Morfis et coll., différencient un canal accessoire du foramen principal au niveau apical en fonction du diamètre enregistré [66]. Un foramen est ainsi considéré comme **accessoire** quand son diamètre est **inférieur à 100 µm**. Au-delà de cette valeur, ils parlent de foramen **principal**. Cette caractérisation est principalement reprise lors des études par inspection directe de la surface radiculaire [62].

2.1.6. Définitions du glossaire de l'AAE (American Association of Endodontists)¹

Les définitions les plus fréquemment reprises dans les études récentes sont celles provenant du glossaire de l'AAE, publié initialement en 2016 :

- **canal accessoire** : toute ramification d'un canal principal ou de la chambre pulpaire, communiquant avec la surface externe de la dent,
- **canal latéral** : canal accessoire localisé dans la partie coronaire ou dans le tiers médian radiculaire de la racine, s'étendant horizontalement depuis le canal principal,
- **delta apical** : morphologie canalaire pulpaire dans laquelle le canal principal se divise en de multiples canaux accessoires, au niveau ou proche de l'apex,
- **foramen accessoire** : orifice à la surface de la racine, communiquant avec un canal latéral ou accessoire,
- **canal de la furcation** : canal accessoire localisé au niveau de la furcation.

2.1.7 Définitions selon Ahmed et coll.

Les définitions les plus récentes et exhaustives résultent du travail des Dr Ahmed, Neelakantan, et Dummer en 2018. Ils reprennent les termes précédents, en prenant en compte et en associant certaines des différentes notions exposées, afin d'en ressortir des définitions les plus exhaustives et explicites possible [3] :

- **canal accessoire** : petit canal partant du canal radiculaire, qui communique (généralement) avec la surface externe de la racine ou de la furcation. Ainsi, il peut être localisé n'importe où le long de la racine (tiers coronaire, médian ou apical), et peut être de n'importe quel type (« vrai », « aveugle », « en boucle »). Cela inclut aussi ce qui a été par le passé nommé « canaux latéraux ». Pour simplifier, seul le terme « accessoire » devrait être utilisé pour de tels canaux, et l'utilisation d'autres termes tels que « latéraux » n'est pas nécessaire afin d'éviter de potentielles confusions,
- **foramen accessoire** : ouverture d'un canal accessoire à la surface de la racine ou de la furcation. Il est essentiel de préciser que tous les canaux accessoires ne se

¹ Glossary of Endodontic Terms [Internet]. American Association of Endodontists. Disponible sur: <https://www.aae.org/specialty/clinical-resources/glossary-endodontic-terms/>

terminent pas en foramina accessoires, puisqu'ils peuvent être de type « aveugle », « en boucle » ou « scellé »,

- **delta apical (ou ramifications apicales)** : la région au niveau, ou proche de l'apex, où le canal principal se divise en une multitude de canaux accessoires (plus de deux).

2.1.8 Définitions utilisées

Le vocabulaire employé dans cette thèse correspondra majoritairement aux définitions issues du glossaire de l'AAE et des travaux de Ahmed et coll.

Les termes canal « accessoire » ou « ramification » seront le plus souvent employés, préférés à canal « latéral » (sauf dans les cas où l'on veut réellement faire référence à un canal latéral selon la définition de l'AAE). Ceci permet d'inclure tout type de ramification, indépendamment de la localisation quand cela est nécessaire, et ainsi d'éviter toute confusion comme l'expliquent Ahmed et coll. [3]

2.2 Classifications

Des moyens de classification ont été proposés afin de distinguer les canaux accessoires en fonction de leur localisation.

2.2.1 Classification selon Yoshiuchi et coll.

En parallèle de l'émergence des diverses définitions, Yoshiuchi et coll. ont été les premiers, en 1972, à proposer une classification distinguant précisément les canaux accessoires selon leur positionnement au niveau de la racine [124].

Ils divisent cette dernière en 10 segments dans l'axe coronaradiculaire, numérotés consécutivement de 1/10 à 9/10 de la portion apicale à la portion cervicale (Figure 10).

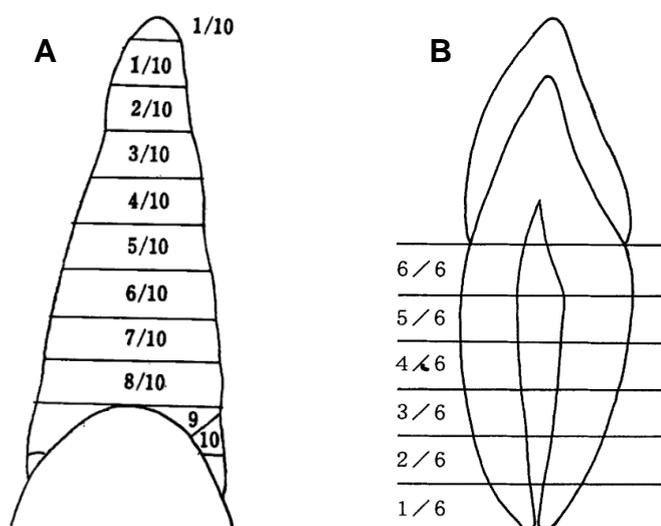


Figure 10 : Division longitudinale de la racine en dixièmes (A) selon la classification de Yoshiuchi et coll. de 1972 [124], et en sixièmes (B) selon les modifications de Kasahara et coll. [52].

Ils représentent dans un second temps un cadran d'horloge sur une coupe transversale virtuelle de la racine, le long d'un canal accessoire (Figure 11). Le milieu de la face radiculaire vestibulaire est orienté à 12h (dans l'intervalle entre 11h et 1h), tandis que le milieu de la surface linguale est orienté à 6h, (dans l'intervalle entre 5h et 7h). La face mésio-vestibulaire sera ainsi comprise dans l'intervalle entre 1h et 2h, la mésiale entre 2h et 4h, et ainsi de suite.

La classification des canaux accessoires se fera ainsi en fonction de leur localisation, déterminée par les critères de ces diagrammes.

Cette technique sera reprise dans les études de Kasahara et coll. [52] en 1990 puis de Miyashita et coll. [65] en 1997, à la différence que longitudinalement la racine n'est pas divisée en dixièmes, mais en sixièmes.

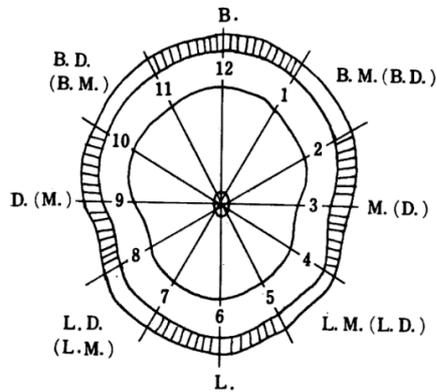


Figure 11 : Division de la racine en cadran d'horloge en coupe transversale selon la technique de classification de Yoshiuchi et coll. de 1972 [124] :

B : buccal (vestibulaire) ; M : mésial ; D : distal ; L : lingual.

2.2.2 Classification selon les travaux de Ahmed et coll.

Ahmed et coll. ont pour volonté de reprendre et actualiser les classifications concernant l'anatomie interne de la dent [2–4]. Ils en proposent une traitant de la morphologie générale radiculaire et canalaire en 2017 [4], puis une autre concernant les canaux accessoires en 2018 (qui sera discutée ci-après) [3], et en publieront enfin une dernière décrivant les anomalies dentaires, radiculaires et canalaire [2].

Cette classification est exhaustive, voici ci-dessous les règles principales.

Tout d'abord, les paramètres pris en compte dans la classification sont désignés par des codes (Figure 12) :

- le numéro de dent : Tooth Number = **TN**,
- le **Nombre de racines** : situé en exposant avant le numéro de dent,
- le **Tiers radiculaire concerné** : la racine est divisée en 3 Tiers : **Coronaire (Coronal)**, **Moyen (Middle)**, **Apical**. La lettre correspondante sera située en exposant entre parenthèses après le numéro de dent,
- la **configuration du(des) canal(aux) accessoire(s) par le système aO-C-aF** : décrit le cheminement du canal en trois parties (situé en exposant à la suite du tiers radiculaire) :
 - o débutant au niveau de son orifice (accessory orificie(s) : **aO**),
 - o cheminant le long de son canal (**C**),
 - o jusqu'à son foramen (accessory foramina : **aF**).

$$n^{TN}(TaO-C-aF)$$

Figure 12 : Formule générale utilisée pour décrire la configuration des canaux accessoires d'une dent monoradiculée selon la classification de Ahmed et coll. [3].

Chacun de ces codes, excepté celui concernant les tiers, sera remplacé par un numéro en fonction de la configuration rencontrée.

Pour les dents pluriradiculées, la dénomination de chacune des **racines** est ajoutée après le numéro de dent, avec pour chaque racine le code en exposant de la configuration du(des) canal(aux) accessoire(s) du système aO-C-aF (Figure 13).

$${}^n\text{TN } R_1(\text{TaO-C-aF}) R_2(\text{TaO-C-aF}) R_n(\text{TaO-C-aF})$$

Figure 13 : Formule générale utilisée pour décrire la configuration des canaux accessoires d'une dent pluriradiculée selon la classification de Ahmed et coll. [3].

Le système aO-C-aF a pour principal intérêt d'objectiver les situations particulières où le canal ne se termine pas par un foramen à la surface radiculaire (Figure 14) :

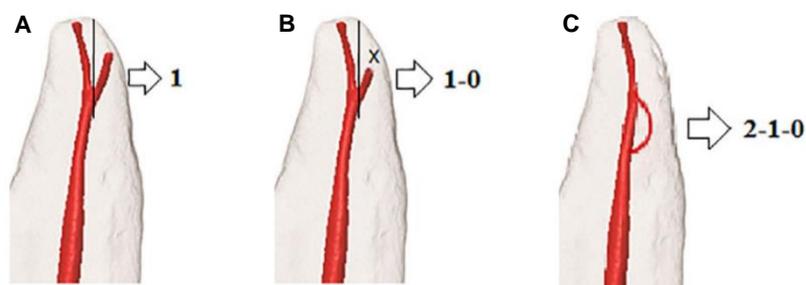


Figure 14 : Illustration de l'utilisation de la codification aO-C-aF selon la classification de Ahmed et coll. [3] :

- (A) cas d'un canal « vrai » ayant un orifice (aO), un canal (C), et un foramen (aF) : codification **1**,
- (B) cas d'un canal « aveugle » n'ayant pas de foramen (aF) : codification **1-0**,
- (C) cas d'un canal « en boucle » : codification **2-1-0**.

Si l'orifice accessoire (aO) est situé dans un tiers de la racine, mais que le foramen (aF) se trouve dans un tiers différent, alors les deux tiers sont mentionnés par leur lettre code, avec une virgule qui les sépare. (Exemple : TN^(M,AaO-C-aF) où le canal commence au tiers moyen au niveau de son orifice « **M** » et se termine au niveau apical à son orifice « **A** ») (Figure 17 (c)).

Un delta apical est mentionné par la lettre **D** uniquement, sans spécification supplémentaire concernant la conformation des canaux (Figure 16 (d)).

Si le canal accessoire part de la chambre pulpaire, au niveau de la furcation ou au-dessus de celle-ci, la codification de ce canal se fera en exposant avant la notation de la première racine (Figure 16 (j)). La spécification « C, M ou A » du tiers correspondant n'est alors pas nécessaire car le canal prend son origine dans la chambre pulpaire.

La figure 15 résume la codification générale appliquée à une dent monoradiculée et pluriradiculée en fonction des tiers et des formules présentées aux figures 12 et 13.

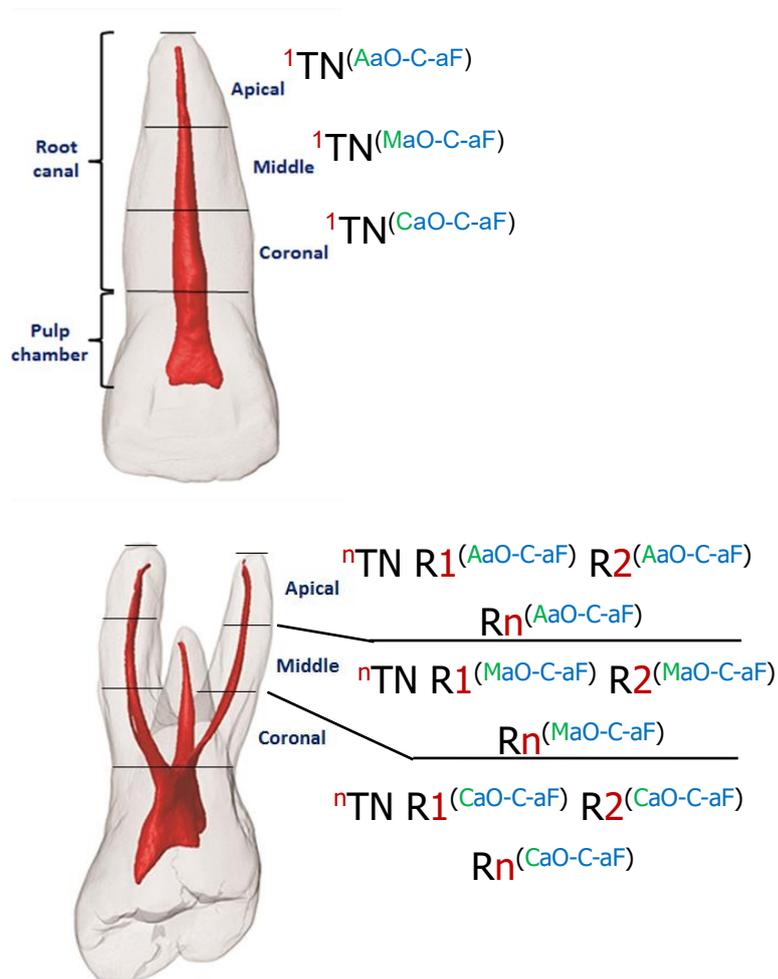


Figure 15 : Représentations schématiques de la codification générale pour une dent monoradiculée (en haut), et une dent pluriradiculée (en bas) selon la classification de Ahmed et coll. [3].

Les Figure 16, Figure 17, et Figure 18 présentent des exemples de l'utilisation de la classification de Ahmed et coll. dans différentes situations [3] :

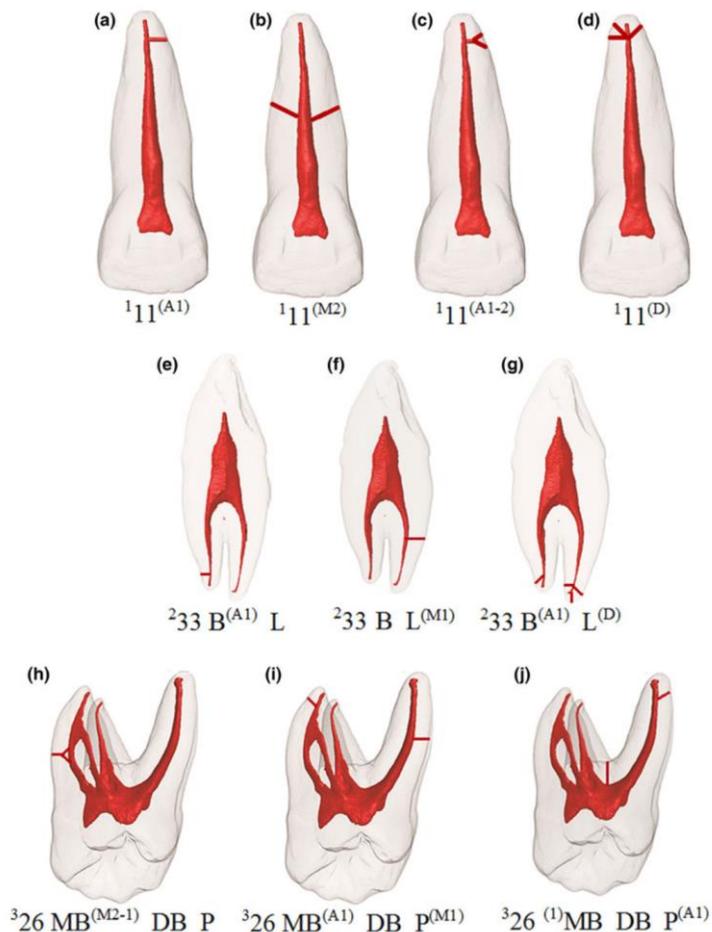


Figure 16 : Exemples de l'utilisation de la classification de Ahmed et coll., dans le cas où des canaux accessoires se trouvent dans un seul des tiers de la racine concernée [3] :

M : mésial ; D : distal ; B : buccal (=vestibulaire) ; P : palatin ; L : lingual.

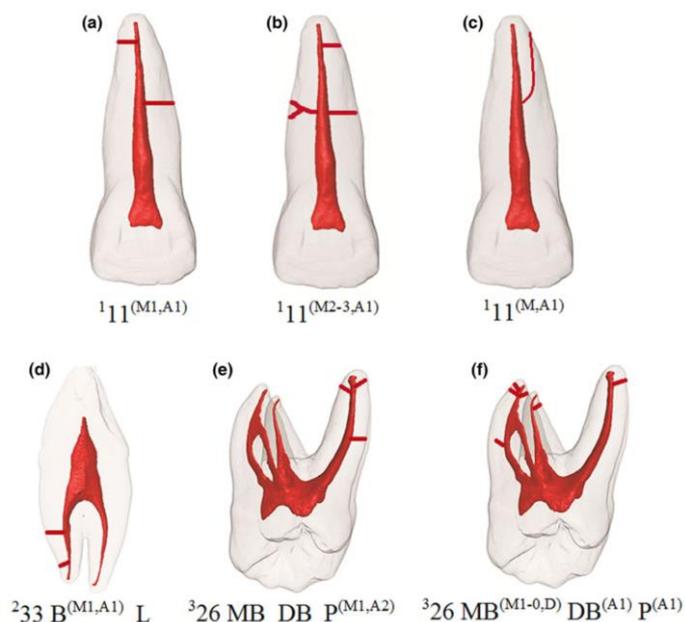


Figure 17 : Exemples de l'utilisation de la classification de Ahmed et coll., dans le cas où des canaux accessoires se trouvent dans un à deux des tiers de la racine concernée [3] :

M : mésial ; D : distal ; B : buccal (=vestibulaire) ; P : palatin ; L : lingual.

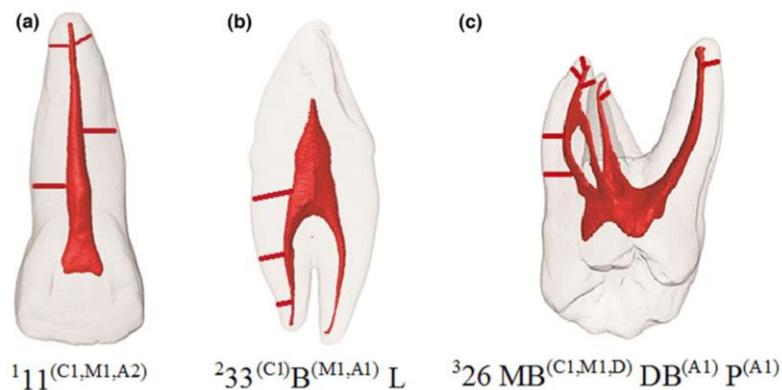


Figure 18 : Exemples de l'utilisation de la classification de Ahmed et coll., dans le cas où des canaux accessoires se trouvent dans les trois tiers de la racine concernée [3] :

M : mésial ; D : distal ; B : buccal (=vestibulaire) ; P : palatin ; L : lingual.

L'intérêt clinique de telles classifications est discutable. En effet, le dépistage et diagnostic de la présence de canaux accessoires *in vivo* est complexe, voire impossible dans certaines situations en fonction de la technique radiographique employée et du diamètre du canal (*cf.* partie 4.1 p. 64). De plus, la gestion de ces variations anatomiques ne variera que de peu quelle que soit leur localisation, surtout lors du traitement orthograde.

Ainsi, l'application clinique de ces classifications dans la pratique quotidienne est limitée, qu'elle soit pour faciliter la communication entre praticiens, ou pour orienter et améliorer la qualité finale de la prise en charge. Ceci s'applique particulièrement à la classification de Ahmed et coll. [3] dont la « complexité mathématique » nécessaire à son exhaustivité est un frein supplémentaire à son utilisation en pratique clinique.

Elles peuvent cependant avoir un intérêt *in vitro*, dans le cadre des études statistiques sur le sujet. L'utilisation de telles méthodes de classification peut s'inscrire dans la volonté de standardiser et faciliter la comptabilisation et la catégorisation des canaux accessoires. L'avantage dans un premier temps de telles classifications exhaustives est de permettre l'étude précise des structures d'intérêt. Dans un second temps, l'utilisation standardisée d'une même méthode de comptabilisation permettrait d'améliorer la comparabilité des études entre elles.

2.3 Méthodes de mise en évidence du système canalaire permettant la comptabilisation et l'étude des canaux accessoires.

Le système canalaire, enclavé à l'intérieur de l'organe dentaire, est une structure complexe à étudier. Son exploration doit être effectuée en employant des techniques les moins destructrices possible, afin de préserver son intégrité.

Il est important de noter que les protocoles décrits ci-après sont des synthèses. Les études dont ils sont issus sont différentes les unes aux autres en termes de matériaux et méthodes, au niveau des produits utilisés, des temps d'immersion, de l'instrumentation, du déroulé et choix des étapes. Après passage dans chacun des produits, les dents sont la plupart du temps minutieusement rincées à l'eau courante (particulièrement après l'utilisation de substances corrosives et agressives pour les tissus).

2.3.1 Méthodes *in vitro* n'impliquant pas l'utilisation de radiologie

Les techniques les plus anciennes et populaires consistent à inspecter la dent sans utilisation d'imagerie [8,24,36,52,66,111–113].

Après extraction, les échantillons sont généralement conservés dans du sérum physiologique ou du formol. Ils sont nettoyés mécaniquement et chimiquement par immersion dans de l'hypochlorite de sodium de concentration pouvant aller de 5 à 10% pour une durée pouvant aller de 30 minutes à plusieurs heures. Ceci permet d'éliminer tout résidu organique présent à la surface de la racine.

La cavité d'accès est ensuite réalisée, et la dent subit un traitement canalaire classique. Celui-ci est à la fois mécanique par le passage de limes manuelles ou rotatives, et chimique par une irrigation à l'hypochlorite de sodium.

Un agent colorant est injecté dans la cavité d'accès (encre de chine, fuchsine, bleu de méthylène). Différentes techniques peuvent être employées pour permettre la pénétration de l'agent colorant dans toutes les anfractuosités du système canalaire, dont les canaux accessoires : injection sous pression, injection sous vide, moyens d'aspiration au niveau de l'apex, centrifugation. En plus de cette coloration, certains auteurs obturent ensuite le système canalaire.

Le traitement des dents diffère par la suite en fonction de la technique employée.

2.3.1.1 Technique par diaphanisation

La diaphanisation est une des techniques les plus utilisées, particulièrement au XX^e siècle, avant que la microscopie 3D à rayons X assistée par ordinateur ne fasse son apparition [24,52,65,80,111,113]. Elle permet d'observer efficacement l'endodonte, sans avoir recours à un appareillage complexe, ni à un protocole destructeur (Figure 19).

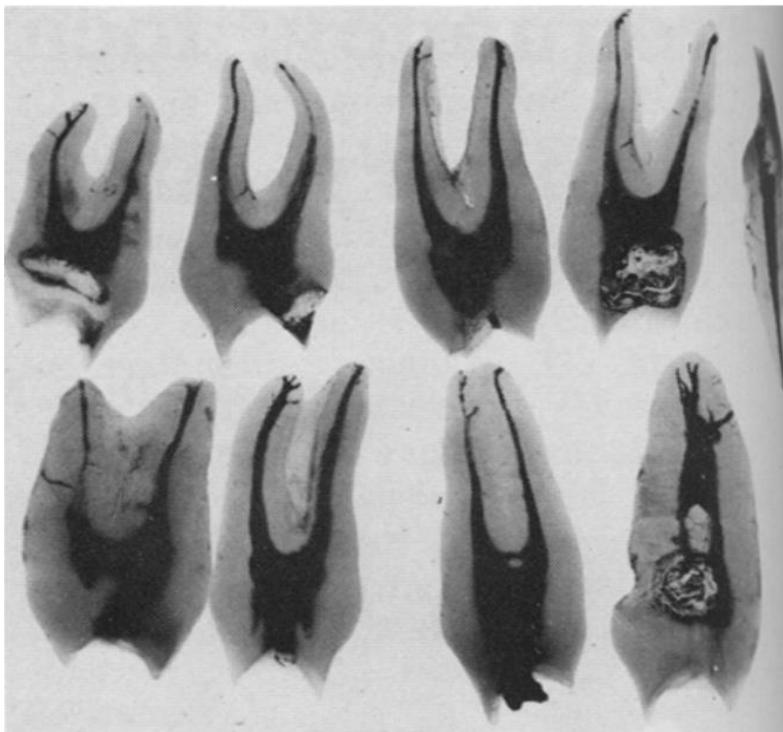


Figure 19 : Photographies de dents rendues transparentes par diaphanisation, dont le réseau canalaire a été teinté à l'encre de chine, laissant apparaître des canaux accessoires [24].

Après, ou en concomitance des étapes générales décrites ci-dessus des techniques par inspection visuelle, les dents subissent un procédé de déminéralisation, puis sont rendues translucides :

- **Déminéralisation**

Après nettoyage externe, préparation et coloration du système canalaire, les échantillons sont plongés dans un acide pour les déminéraliser. De l'acide nitrique à 5 ou 6% est le plus souvent utilisé, pendant 1 à 5 jours.

- **Mise en transparence**

L'agent permettant la mise en transparence étant hydrophobe, les dents sont d'abord déshydratées en passant par des bains d'alcool de concentration croissante.

Elles sont enfin immergées dans le produit permettant de les rendre transparentes. Du salicylate de méthyle est généralement utilisé ici (de l'acide benzoïque, du benzène, ou un mélange de plusieurs produits pouvant aussi être employés).

- **Observation du résultat**

La dent, alors traitée et rendue transparente, est inspectée soit à l'œil nu, soit à l'aide d'aides optiques, par un seul ou plusieurs praticiens. Les auteurs d'études plus récentes ont la possibilité de photographier les échantillons et d'exporter numériquement les images grâce à une caméra et un logiciel, pour une analyse digitale extemporanée.

- **Avantages et inconvénients**

- **Avantages :**

- une des techniques les plus anciennes et encore utilisée actuellement, beaucoup de recul,
- ne nécessite pas une technique ni une technologie complexe,
- permet de voir la perméabilité ou non des canaux,
- permet d'analyser l'ensemble du système canalaire.

- **Inconvénients :**

- manipulation de substances chimiques,
- beaucoup d'étapes et de traitements de l'échantillon avant résultat final,
- examinateur-dépendant,
- protocoles (techniques employées, produits utilisés, temps d'immersion) différant souvent d'une étude à l'autre, diminuant leur reproductibilité et comparabilité,
- uniquement applicable *in vitro*.

2.3.1.2 Techniques par microscopie

Certaines études obtiennent leurs résultats en inspectant la surface de la dent au niveau de la zone d'intérêt, à l'aide de diverses techniques de microscopie. Les zones explorées par ces techniques sont souvent la furcation, en visualisant le plancher pulpaire [42,73,112,120], et la zone apicale [7,8,35,36,62].

Contrairement à la technique par diaphanisation, où l'utilisation d'aides optiques n'est qu'une assistance à l'analyse, elle est ici un élément clé de la méthode.

- **Stéréomicroscopie**

Le stéréomicroscope, ou loupe binoculaire, est un appareil permettant l'observation de petits objets à faible grossissement. Il utilise la réflexion de la lumière à la surface de l'objet. Il se compose de deux lunettes accolées, fournissant deux images différentes, permettant la visualisation en relief de l'échantillon.

Le stéréomicroscope est un outil couramment utilisé pour les recherches en odontologie. Il permet de visualiser efficacement les surfaces dentaires et d'en distinguer les variations morphologiques. Les divers orifices, tels que le foramen apical ou les foramina accessoires, pouvant être difficilement discernables à l'œil nu, le deviennent ainsi aisément [7,8,35,36,42,62] (Figure 20).

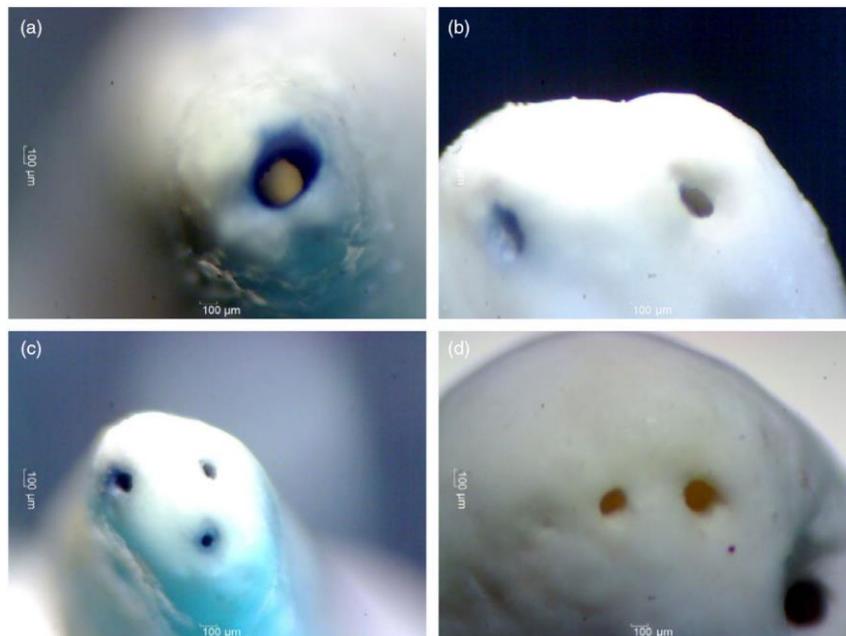


Figure 20 : Photographies de dents visualisées sous stéréomicroscope (x 40), centrées au niveau de l'apex, exposant 1 (a), 2 (b), 3 (c), ou 4 (d) foramina apicaux [8].

➤ **Avantages :**

- nécessite peu d'étapes de préparation de la dent avant analyse,
- un stéréomicroscope est un équipement commun en laboratoire et facile à se procurer.

➤ **Inconvénients :**

- ne permet pas l'observation des canaux aveugles,
- ne permet pas d'observer le cheminement du canal,
- les canaux d'un trop faible diamètre peuvent ne pas être détectés,
- uniquement applicable in vitro,
- l'observation du foramen uniquement ne permet pas de renseigner s'il est issu d'un canal accessoire ou d'un canal radiculaire excédentaire.

- **Microscope électronique à balayage (M.E.B.)**

Le microscope électronique à balayage est un appareil permettant de visualiser des images en haute résolution avec un très fort grossissement. Cette technologie consiste en l'émission d'un faisceau d'électrons balayant la surface de l'objet. Celui-ci réémet certaines particules, qui sont analysées par des détecteurs, permettant de reconstruire une image en trois dimensions.

Les échantillons doivent préalablement être préparés afin de pouvoir conduire l'électricité. Ils sont donc recouverts d'une fine couche de métal, à distance de la zone d'intérêt.

Cette technique est principalement utilisée pour explorer les canaux accessoires de la furcation, qui seraient invisibles ou presque à l'œil nu [22,66,112] (Figure 21).

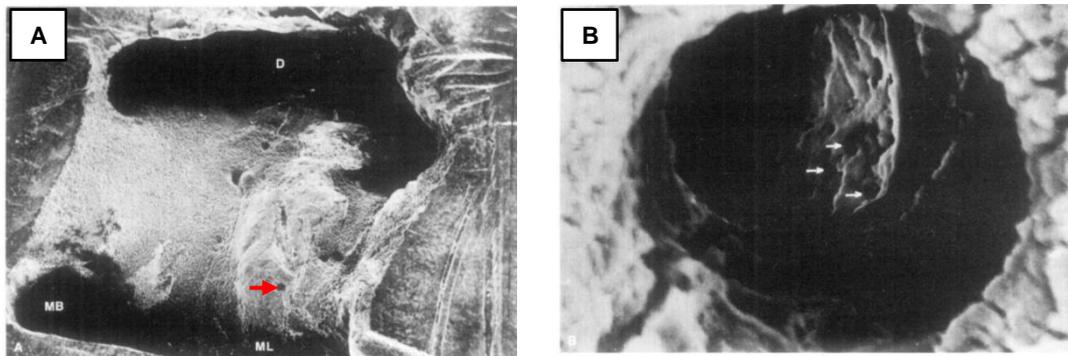


Figure 21 : Photomicrographies au microscope électronique à balayage du plancher pulpaire d'une première molaire mandibulaire [112] :

- (A) cliché original au grossissement x15,
- (B) visualisation au grossissement x3060 du foramen indiqué par une flèche rouge. Les flèches blanches indiquent des tubulis dentinaires.

➤ **Avantage :**

- très bonne résolution (supérieure à la stéréomicroscopie) permettant de détecter des canaux ne pouvant pas l'être avec d'autres techniques.

➤ **Inconvénients :**

- pas d'informations sur la perméabilité du canal,
- uniquement applicable in vitro,
- zones anatomiques analysables restreintes,
- nécessite un traitement de l'échantillon avant analyse.

La microscopie électronique à transmission (M.E.T.) est une autre technique de microscopie utilisant un faisceau d'électrons. Elle est le plus souvent utilisée en complément de la microscopie optique (présentée ci-dessous), pour analyser avec une meilleure résolution des coupes histologiques [68,69].

- **Microscopie optique sur coupes histologiques**

L'analyse de dents à travers des coupes histologiques se fait principalement à l'aide d'un microscope optique (l'analyse sous M.E.T. peut être faite dans un second temps pour plus de détails et d'informations). Vastement utilisé en biologie, le microscope optique permet d'observer des tissus ou des micro-organismes, grâce à un grossissement plus puissant que le stéréomicroscope.

L'échantillon étudié doit être de faible épaisseur pour pouvoir laisser passer la lumière et être exploitable. Il va préalablement subir une préparation histologique afin d'en tirer un maximum d'informations. Après déshydratation et inclusion sous paraffine, l'échantillon est coupé par un microtome. Il est ensuite coloré pour révéler les éléments souhaités comme des cellules inflammatoires ou des bactéries.

Certains auteurs comme Ricucci et coll. combinent cette technique avec celle de diaphanisation [86,89,91] (Figure 22).



Figure 22 : Photomicrographie au microscope optique centrée sur l'apex d'une première molaire maxillaire, obtenue par résection apicale, par Ricucci et coll. Grossissement x25 [91] :

L'apex dont cette coupe est issue a été d'abord rendu transparent par diaphanisation, inclus sous paraffine, et sectionné longitudinalement par un microtome paramétré à 4-5 μm . Il a ensuite été coloré par la technique de Brown et Brenn modifié par Taylor afin de révéler les bactéries.

Le cas clinique complet est présenté et commenté à la partie 3.2.2. p.62.

➤ **Avantages :**

- permet des grossissements très importants,
- permet l'étude histopathologique d'une lésion par rapport aux éléments anatomiques adjacents, comme un canal accessoire,
- visualisation et analyse du contenu du canal accessoire,
- étude précise de l'anatomie du canal, dont son cheminement et sa perméabilité.

➤ **Inconvénients :**

- nécessite une préparation fastidieuse des tissus,
- perte potentielle d'information après la section des tissus par le microtome.

2.3.2 Radiologie

2.3.2.1 In vitro : micro-tomodensitométrie assistée par ordinateur (micro-computerized tomography, ou micro-CT)

La micro-tomodensitométrie est une technique d'imagerie utilisant les rayons X pour voir à travers un objet. L'appareil scanne l'échantillon par une série d'images radiographiques planes 2D, qui seront traitées par la suite numériquement pour en sortir un modèle et une visualisation 3D [85]. Le principe est similaire à celui du scanner réalisé en médecine, à une échelle plus petite, et avec une résolution supérieure.

Depuis ses premières utilisations à la fin des années 1990 et au début des années 2000 [85], cette technologie s'est développée et perfectionnée. Elle est maintenant considérée comme le gold-standard en termes de recherches *in vitro* en endodontie [70] du fait de sa haute résolution, permettant une observation détaillée de l'anatomie interne [19,32,61,122] (Figure 23).

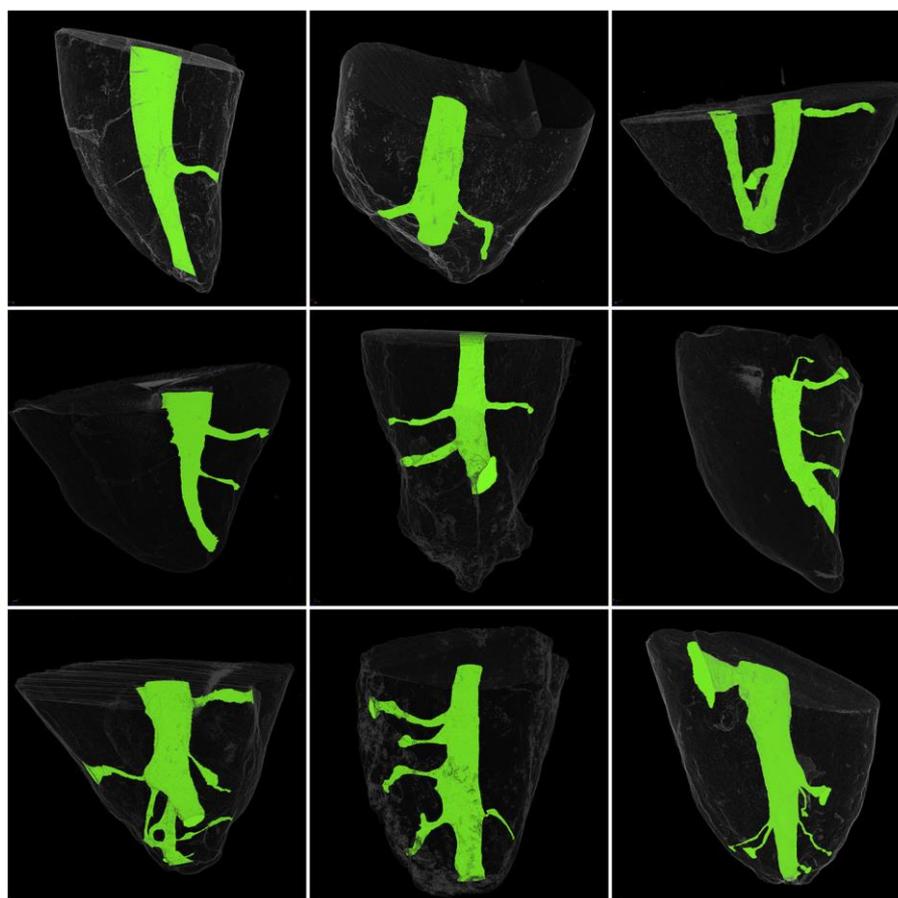


Figure 23 : Reconstitution en 3 dimensions par micro-tomodensitométrie assistée par ordinateur du segment apical de dents présentant des deltas apicaux [122].

➤ **Avantages :**

- résolution et sensibilité excellentes,
- permet d'analyser l'ensemble du système canalaire,
- étude précise de l'anatomie du canal, dont son cheminement et sa perméabilité,
- représentation 3D de l'échantillon,
- le traitement numérique, couplé à l'excellente résolution, permet d'avoir des informations supplémentaires par rapport aux autres techniques (forme, diamètre, angulation...).

➤ **Inconvénients :**

- appareil technique et onéreux,
- fichiers volumineux nécessitant un espace de stockage important,
- uniquement applicable *in vitro*.

2.3.3.2 *In vivo* : imagerie clinique

Les deux systèmes d'imagerie fréquemment utilisés en pratique pour explorer le système canalaire sont la radiographie rétro-alvéolaire et le CBCT (cone beam computed tomography).

La radiographie rétro-alvéolaire en deux dimensions est une des techniques les plus anciennement utilisées pour étudier l'anatomie interne sans être destructeur[82]. Malgré son utilisation commune, elle est peu efficace pour détecter les canaux accessoires, et limite donc son utilisation à des fins statistiques.

D'apparition plus récente, le CBCT est désormais aussi souvent utilisé pour analyser et explorer l'anatomie interne *in vitro* [29] et *in vivo* [20].

Ces systèmes d'imagerie conventionnelle sont cependant moins efficaces pour étudier les canaux accessoires *in vitro* que les méthodes précédentes. Nascimento et coll. comparent la radiographie rétro-alvéolaire et le CBCT à la technique « micro-CT » qu'ils qualifient de « gold standard » [70]. Ils observent que le CBCT, bien que supérieur à la radiographie 2D, manque de sensibilité en ce qui concerne la détection des canaux accessoires.

Ces techniques d'imagerie, facilement surpassées par d'autres méthodes *in vitro*, ont néanmoins un plus grand intérêt dans un contexte clinique, en tant qu'outils diagnostics. Leurs utilisations seront donc plus vastement décrites dans la partie 4.1 : « Diagnostic des canaux accessoires » (p. 64).

2.4 Description morphologique et incidence des canaux accessoires

2.4.1 Description

L'essor des techniques d'imagerie, type microscopie 3D à rayon X assistée par ordinateur, permet d'obtenir des données précises sur la morphologie des canaux accessoires. Xu et coll. [122] vont utiliser cette technique afin de décrire précisément ces particularités anatomiques. Les valeurs issues de leurs travaux vont ainsi servir de base pour la plupart des données exposées ci-dessous.

2.4.1.1 Diamètre

Le diamètre des canaux accessoires est une donnée importante à étudier, car il peut conditionner leur caractère pathogénique. Un diamètre élevé favorisera le passage de bactéries, ainsi que leur développement dans le canal.

Le diamètre médian des canaux toutes dents confondues selon l'étude de Xu et coll. est de 67,0 μm (données allant de 16,7 à 238,4 μm). Pour les dents antérieures, prémolaires, et molaires, il est respectivement de 79,2, 72,5 et 53,3 μm (Figure 24).

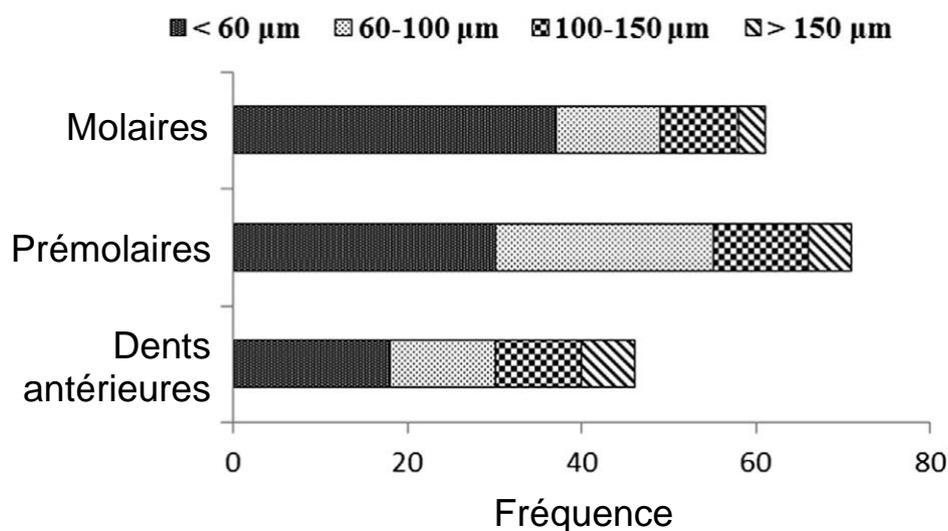


Figure 24 : Diagramme à barres indiquant la répartition du diamètre des canaux accessoires en fonction du type de dent selon l'étude de Xu et coll. [122].

Dammaschke et coll. [22] rapportent par visualisation au microscope électronique à balayage (MEB) de la furcation de molaires, la présence de foramina accessoires de diamètre allant de 10 à 200 μm . Koenigs et coll. [57] ainsi que Vertucci et Anthony [112], par la même technique, trouvent respectivement des valeurs comprises entre 4 et 250 μm , et 4 et 720 μm . Morfis et coll. obtiennent des valeurs moyennes allant de 38,29 μm pour les incisives maxillaires à 53,4 μm pour les prémolaires en observant cette fois l'apex au MEB [66].

Ces valeurs ne prennent cependant en compte que le diamètre du foramen, donc l'orifice du canal, et non le diamètre le long de son cheminement.

L'utilisation de limes endodontiques comme élément de mesure est une autre méthode *in vitro* pour déterminer empiriquement le diamètre des canaux accessoires. Celles-ci sont introduites au niveau de l'ouverture du canal accessoire, sur la face externe de la racine de dents extraites. Cette technique est peu précise, mais permet de donner un ordre de grandeur.

Kasahara et coll. [52] obtiennent par cette méthode que 56,4% des 576 canaux accessoires qu'ils ont analysés ont un diamètre inférieur à une lime 10, donc inférieur à 100 μm , 24,7% sont approximativement égaux à une lime 10, le reste étant approximativement égal ou supérieur à une lime 15, donc 150 μm .

2.4.1.2 Longueur

La longueur est définie et mesurée comme la distance le long de la ligne médiane du canal. Xu et coll. [122] observent une longueur médiane de 786,6 μm . La longueur des canaux accessoires dans les prémolaires (580,1 μm) est significativement plus courte que celle dans les dents antérieures (934,8 mm) et dans les molaires (825,6 μm) ($P < 0,05$).

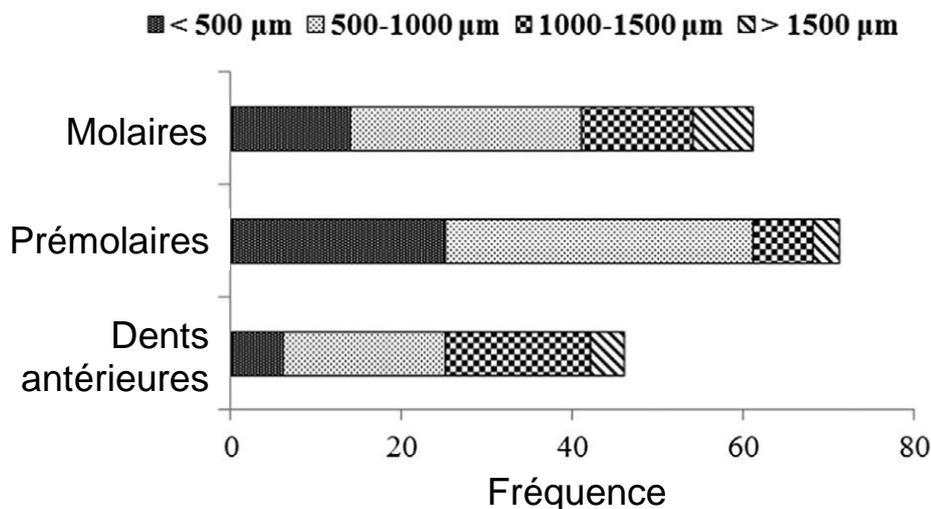


Figure 25 : diagramme à barres indiquant la répartition de la longueur des canaux accessoires en fonction du type de dent selon l'étude de Xu et coll. [122].

2.4.1.3 Tortuosité

La tortuosité est utilisée pour évaluer le degré de courbure, d'incurvation, de sinuosité du canal avec la formule suivante :

$$T = \frac{L}{C}$$

L représente la longueur du canal accessoire le long de sa ligne médiane, et C la distance directe entre les deux extrémités du canal. Plus l'index de tortuosité s'approche de 1, plus le canal est rectiligne.

La tortuosité médiane globale trouvée par Xu et coll. est de 1,064. La valeur médiane pour les dents antérieures, prémolaires et molaires sont respectivement de 1,058, 1,053 et 1,099, avec une différence significative entre les prémolaires et les molaires ($P < 0,05$). Cela signifie que les canaux accessoires présents dans les molaires ont un cheminement plus tortueux et plus complexe.

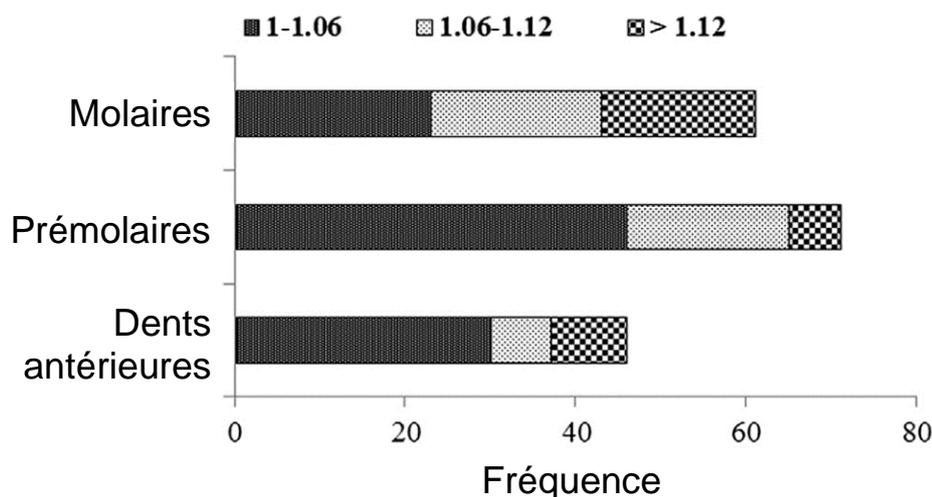


Figure 26 : diagramme à barre indiquant la répartition de la tortuosité des canaux accessoires en fonction du type de dent selon l'étude de Xu et coll. [122].

2.4.1.4 Localisation sur la racine

- **Orientation dans le sens transversal**

L'orientation des foramina apicaux dans un plan transversal est relativement peu renseignée. Kasahra et coll. [52] l'ont étudiée en 1990 en utilisant leur classification (présentée dans la partie 2.2.1 p.30) sur un échantillon composé d'incisives centrales maxillaires [52]. Ils trouvent que la majorité des foramina accessoires abouche au niveau de la face vestibulaire (42,2%), mésiale (21,7%), et mésio-vestibulaire (18,6%).

En utilisant des méthodes similaires, Adorno et coll. en 2010 rapportent des résultats équivalents concernant aussi les incisives centrales maxillaires [1]. Ils analysent de plus les incisives latérales et les canines maxillaires et trouvent en revanche des résultats différents : ils observent principalement les canaux accessoires au niveau palatin pour les incisives latérales, et au niveau des faces distales, vestibulaires, et palatines pour les canines.

D'après ces observations, l'orientation dans le plan transversal des canaux accessoires **ne semble pas suivre de modèle particulier**. Davantage d'études sur le sujet incluant des échantillons plus vastes et plus diversifiés sont nécessaires afin de tirer des conclusions.

- **Orientation dans le sens longitudinal**

Inversement, la répartition verticale (dans le sens corono-radulaire) des canaux accessoires est bien mieux documentée. La majorité des auteurs s'accordent pour dire que les canaux accessoires sont **plus fréquents dans la zone apicale**. Ces ramifications accessoires contribuent ainsi à la caractérisation de cette zone comme étant une des plus complexes du système canalaire, notamment en vue d'un traitement endodontique.

2.4.2 Prévalence des canaux accessoires

Parmi toutes les données statistiques amassées autour des canaux accessoires, leur fréquence est celle ayant été la plus renseignée. Une multitude d'études ont été menées depuis la deuxième moitié du XX^e siècle pour documenter leur taux de présence.

Il est difficile, voire impossible de proposer une valeur moyenne ou médiane issue de ces études, du fait de leur **grande diversité**. Elles ont été effectuées avec beaucoup de techniques de mise en évidence différentes (*cf.* partie 2.3 p. 36), pouvant faire varier la précision des résultats. La grande variabilité de vocabulaire utilisé (*cf.* partie 2.1 p. 25) peut aussi mener à des confusions d'une étude à l'autre.

Les méthodes de comptabilisation peuvent de plus être différentes. Par exemple, la zone apicale est rarement définie de la même manière : certains calculent cette zone en divisant la dent, parfois en tiers [111], parfois en sixièmes [52], voire en dixièmes [124], la zone apicale étant la fraction la plus apicale ; d'autres la déterminent en la mesurant, de 2 à 5 mm [19,122] en partant de l'apex anatomique, sans prendre en compte le type de dent ou la taille de la racine. Concernant les deltas apicaux, certains les comptent à part [111], d'autres n'en font pas de distinctions et les comptabilisent comme de simples canaux accessoires de la zone apicale. De plus, des auteurs donnent leurs résultats en valeurs absolues, tandis que d'autres ne les renseignent que sous forme de pourcentages. Au sujet des dents pluriradiculées, certains comptabilisent racine par racine [80,81], d'autres la dent entière indépendamment des racines [24,89].

Toutes ces **variabilités de dénombrement et de présentation des résultats** rendent difficiles voire impossibles la comparaison et la combinaison de certaines données statistiques.

Une autre source de biais est la **taille de l'échantillon examiné**, pouvant aller de quelques dizaines de sujets, à plusieurs milliers. La puissance de l'étude en sera considérablement affectée.

Les tableaux 1 et 2 révèlent un échantillon d'études sur le sujet, souvent citées et/ou présentant une méthodologie et des résultats crédibles, afin d'imager cette diversité.

Les résultats émanant de toutes ces études ne permettent donc pas de faire une moyenne globale immuable de la prévalence des canaux accessoires, compte tenu de toutes les variables et biais exposés précédemment. Ils permettent cependant de donner un **ordre de grandeur sur leur fréquence**. La présence de canaux accessoires n'est donc pas aussi rare que ce que peuvent véhiculer les idées reçues sur le sujet.

Certaines particularités ont été observées. Parmi les molaires, la racine comptabilisant le plus de canaux accessoires est la racine mésio-vestibulaire de la première molaire maxillaire [7,62,95]. Hormis quelques exceptions, les prémolaires sont le groupement de dents le plus souvent cité comme ayant le plus fréquemment des canaux accessoires. Les monoradiculées, plus particulièrement les incisives, ont, elles, la prévalence la moins élevée [66,111,122].

Nous allons voir dans la partie suivante que la présence de canaux accessoires peut être à l'origine d'un état pathologique, sans pour autant l'être systématiquement. Leur diamètre et leur temps d'exposition à du tissu nécrotique pouvant être, entre autres, des facteurs favorisant leur association à une pathologie.

Tableau 1 : Exemples d'études proposant des statistiques sur la prévalence des canaux accessoires, en fonction de la méthode d'analyse et de la zone d'intérêt

Code couleur représentant les différentes techniques d'analyse : **vert** : diaphanisation ; **orange** : observation au microscope électronique à balayage ; **bleu** : technique par micro-CT ; **mauve** : étude microscopique après préparation histologique.

N°	Nom de l'article	Auteur(s)	Année	Précisions sur la méthode d'analyse	Zone(s) d'intérêt
1	Micro-Computed Tomography Assessment of Apical Accessory Canal Morphologies [122]	Xu et coll	2016	Technique par micro-CT	Zone apicale (3 derniers mm)
2	Fate of the tissue in lateral canals and apical ramifications in response to pathologic conditions and treatment procedures [89]	Ricucci et Siqueira	2010	Etudes histologiques de coupes sous microscope optique	Toute la racine ou uniquement l'apex en fonction de l'origine du sujet (extraction ou apicectomie)
3	Root canal morphology of mandibular permanent molars at different ages [80]	Peiris et coll.	2008	Diaphanisation et observation au microscope de dissection	Toute la racine, divisée en 3 tiers : cervical, moyen, et apical
4	Morphometric study of the apical anatomy of C-shaped root canal systems in mandibular second molars [19]	Cheung et coll.	2007	Technique par micro-CT et observation au stéréomicroscope	Zone apicale (5 derniers mm)
5	Scanning electron microscopic investigation of incidence, location, and size of accessory foramina in primary and permanent molars [22]	Dammaschke et coll.	2004	Observation de la surface au microscopie électronique à balayage	Zone de la furcation
6	Study of the apices of human permanent teeth with the use of a scanning electron microscope [66]	Morfis et coll.	1994	Observation de la surface au microscope électronique à balayage	Zone apicale de la face externe radiculaire
7	A scanning electron microscopic investigation of accessory foramina in the furcation and pulp chamber floor of molar teeth [112]	Vertucci et Anthony	1986	Observation au microscope électronique à balayage	Plancher pulpaire et zone de la furcation
8	Root canal anatomy of the human permanent teeth [111]	Vertucci	1984	Diaphanisation et coloration, visualisation sous microscope de dissection	Toute la racine, divisée en 3 tiers : cervical, moyen, et apical
9	Frequency, location, and direction of the lateral, secondary, and accessory canals [24]	De Deus	1975	Diaphanisation et coloration	Toute la racine, divisée en 3 : la base (avec la furcation), le corps (plus grosse portion), et l'apex

Tableau 2 : Population et prévalence de dents présentant des canaux accessoires, provenant des études présentées au tableau 1

La localisation gauche ou droite des dents n'est pas signalée. Les lettres définissent le type de dent : i = incisive (sans préciser latérale ou centrale), ic = incisive centrale, il = incisive latérale, c = canine, pm = prémolaire (1 : première, 2 : deuxième), m = molaire (1 : première, 2 : deuxième). La notation en minuscule indique des dents mandibulaires, et en majuscule des dents maxillaires.

N°	Population	Prévalence
1	204 : 102 incisives, 50 prémolaires, 52 molaires	De 29% (IC) à 64% (PM1).
2	493 : 91 I, 32 C, 98 PM, 69 M ; 10 i, 12 c, 69 pm, 112 m	De 58% (c et pm1) à 83% (m1), avec une moyenne générale de 75%, sous-estimée selon les auteurs eux-mêmes, car une seule racine a été analysée pour certaines pluriradiculées, voire la seule partie apicale pour celles issue d'apicectomie.
3	480 : 240 m1 et 240 m2	De 30,9% pour la racine distale de m2 à 52% pour la racine mésiale de m1.
4	44 : M2 (présentant des canaux en « C »)	47%.
5	100 : 25 m1, 25 m2, 25 M1, 25 M2.	De 72% à 84% avec une moyenne de 79%.
6	213 : 38 IC et IL, 29 PM2, 12 M1, 25 ic et il, 92 pm1 et pm2, 17 m1.	De 48% (i) à 85% (pm2). Pas de moyenne générale annoncée.
7	100 : 25 M1, 25 M2, 25 m1, 25 m2.	De 12% (M2) à 36% (M1), avec une moyenne de 26%.
8	2400 : 100 IC, 100 IL, 100 C, 400 PM1, 200 PM2 100 M1, 100 M2 ; 100 ic, 100 il, 100 c, 100 m1, 100 m2, 400 pm1, 400pm2.	De 18% (il) à 59,5% (PM1) indépendamment de la localisation sur la racine, avec une moyenne générale non pondérée de 38,9%, et pondérée à l'échantillon de 42,9%.
9	1140 : 37 IC, 51 IL, 73 C, 100 PM1, 108 PM2, 68 M1, 60 M2, 86 M3 ; 61 ic, 51 il, 44 c, 101 pm1, 74 pm2, 67 m1, 80 m2, 79 m3.	Concernant les canaux accessoires retrouvés à l'apex, les résultats vont de 2,2% à 32,3%, avec une moyenne générale de 16,4%. Les valeurs des canaux latéraux (sur tout le reste de la dent hors apex) sont plus faibles, avec une moyenne de 8,8%.

3 Pathologies associées à la présence de canaux accessoires et répercussions sur la santé de l'organe dentaire et les tissus environnants

La plupart des textes concernant les communications entre la pulpe et le parodonte exposent les canaux accessoires comme un passage entre ces deux entités. Nous allons voir dans cette partie ce qu'il en est concernant l'impact que la présence de canaux accessoires a, ou pourrait avoir sur la santé pulpaire et/ou parodontale.

3.1 Le continuum endo-parodontal

3.1.1 Lien entre pathologies parodontales et pulpaires

La **maladie parodontale** est une **maladie inflammatoire** des **tissus de soutien** de la dent, initiée par le **biofilm bactérien** se formant au niveau des surfaces dentaires.

Les **pathologies péri-radicales d'origine endodontique** (parodontites péri-apicales) sont des **atteintes inflammatoires** des **tissus péri-radicales**, causées par la persistance de **colonies microbiennes** au sein du système canalaire de la dent affectée [34,67,68,106].

Les colonies d'agents pathogènes infectant le parodonte et le système canalaire sont très similaires [53,76]. Ceci, couplé avec les divers moyens de communication existants entre la pulpe et le parodonte, témoigne de l'interaction de ces deux tissus entre eux, que ce soit dans un contexte de santé ou de maladie.

3.1.2 Les voies physiologiques de communication entre la pulpe et le parodonte

La pulpe et le parodonte sont deux structures étroitement liées, anatomiquement comme fonctionnellement. Cette relation se traduit par la présence de différents moyens de communication [100,125].

Le **foramen apical** est la **principale** voie de communication entre le parodonte et la pulpe. Les bactéries et toxines peuvent facilement y circuler, entraînant l'extension du processus inflammatoire d'un tissu à l'autre [34,100].

Les **canaux accessoires** (qui seront développés par la suite) et les **tubuli dentinaires** sont des voies **secondaires** de communication [100]. La dentine est un tissu hautement perméable *via* ces tubuli dentinaires. Le cément mis à nu par une poche parodontale, ainsi que sa détérioration par le traitement parodontal mécanique, peuvent rendre possible la communication de bactéries à travers les tubuli dentinaires sous-jacents [44].

3.1.4.2 Rôle des canaux accessoires dans la pathologie

La méthode la plus fréquemment utilisée pour relier canaux accessoires et pathologie est l'étude histologique de dents extraites pour raisons parodontales. L'objectif est d'observer des canaux accessoires et leurs relations avec les tissus environnants dans des situations de maladie parodontale et/ou pulpaire.

Le rôle qu'ont les canaux accessoires dans la pathologie endo-parodontale est souvent discuté.

- **Diffusion d'un état pathologique de la pulpe vers le parodonte**

Dès 1963, Seltzer et coll. étudient, au travers de coupes histologiques de dents atteintes de maladie parodontale, la relation entre cette dernière et leur état pulpaire [98]. Ils observent du tissu de granulation étant attaché, ou émanant de pulpes inflammatoires, vers le parodonte, au niveau de canaux accessoires. Ce tissu est une extension de l'inflammation pulpaire, causée par des lésions carieuses ou des antécédents de soins conservateurs. Ce phénomène est assez fréquemment trouvé au niveau de la furcation et de la région interradiculaire des molaires. Le ligament parodontal s'y trouve être sévèrement atteint par des pulpes inflammées ou nécrosées, dont le contenu se propage à travers les nombreuses ramifications. Seltzer et Bender font les mêmes constats en 1972 [11], ainsi que Langeland et coll. en 1974 [59].

Kirkham emploie une autre méthodologie. Il analyse radiographiquement 100 dents atteintes de parodontite [55]. Sur ces 100 sujets, 23 présentent selon lui des canaux accessoires, dont seulement 2 en regard de poches parodontales. Ces résultats montrent d'après lui l'impossibilité de corrélérer la présence de canaux accessoires avec l'apparition d'une poche parodontale [55]. Cette étude étant souvent reprise, sa pertinence et toutefois discutable, sachant que l'étude radiologique est peu efficace pour détecter les canaux accessoires.

Jansson et Ehnevid étudient, sur un échantillon de 300 molaires mandibulaires, la profondeur de sondage au niveau de la furcation [47]. Ils comparent la valeur trouvée au statut pulpaire, défini par la présence ou non d'une lésion péri-apicale radiographique, sans relation avec une poche parodontale. Ils obtiennent comme résultats que la profondeur de sondage est significativement supérieure – particulièrement à la zone de la furcation – au niveau des dents présentant une infection d'origine endodontique. Ces observations soutiennent l'hypothèse que des **voies de communication** au niveau de la **furcation** (comme des **canaux accessoires**) peuvent servir de **passage aux agents pathogènes** issus de l'infection pulpaire, **vers le parodonte**.

Cette relation que peuvent avoir les canaux accessoires avec la pathologie parodontale peut aussi être observée cliniquement. La cicatrisation complète d'une lésion parodontale suite à un traitement endodontique seul promeut l'hypothèse de l'implication d'un ou plusieurs canaux accessoires dans cette lésion [101] (figure 28).



Figure 28 : Radiographies rétro-alvéolaires pré- (A), post- (B) opératoire, et de contrôle à 9 mois (C), centrées sur une première molaire mandibulaire gauche atteinte d'une lésion inter-radriculaire ayant pour étiologie supposée un canal accessoire dans la zone de la furcation [101] :

- (A) une lésion périapicale d'origine endodontique est visualisable, ainsi qu'une atteinte parodontale particulièrement importante au niveau de la furcation,
- (B) la dent étant nécrosée, le traitement endodontique initial seul a été réalisé (un canal accessoire est révélé au niveau de la furcation après obturation),
- (C) la cicatrisation complète de la lésion inter-radriculaire apparaissant au bout de 9 mois, témoigne de son origine endodontique.

- **Diffusion d'un état pathologique du parodonte vers la pulpe**

L'importance des canaux accessoires comme chemin d'accès pouvant mener à une pathologie pulpaire est plus controversée.

L'étude histologique de dents atteintes de poches parodontales profondes montre des canaux accessoires se retrouvant exposés au milieu extérieur (Figure 29) [98].

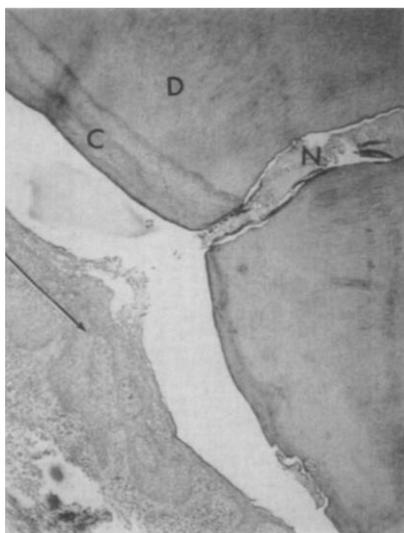


Figure 29 : Photomicrographie d'une coupe histologique de la racine d'une première molaire mandibulaire, au microscope optique, par Seltzer et coll. en 1963. Grossissement x92 [98] :

La dent était asymptomatique, mais présentait une poche parodontale profonde au niveau de la zone interradiculaire. Un canal accessoire ayant été exposé présente du tissu nécrosé.

(C) : ciment ; (D) : dentine ; (N) : tissu nécrotique.

Cette exposition pourrait de ce fait interférer avec l'approvisionnement nutritionnel de la pulpe, et causer son altération. Ces altérations se traduisent par des modifications dégénératives pouvant être : une inflammation localisée, l'apparition de processus de minéralisation, des résorptions localisées, une apposition de dentine réparatrice, la réduction du nombre de cellules pulpaires, jusqu'à la survenue de phénomènes de nécrose pulpaire localisés (Figure 29), selon Seltzer. Ces lésions pourraient aussi être la réponse à l'entrée d'agents toxiques par les canaux, alors exposés aux fluides de la sphère buccale [98].

Ces observations ont été plusieurs fois documentées [11,59,98], mais aussi critiquées. Mazur et Massler contredisent les allégations de Seltzer, en affirmant que le parodonte a très peu, sinon aucune influence sur le statut pulpaire [63].

D'autres auteurs tiennent des propos plus nuancés, comme Langeland et coll. qui reconnaissent que les canaux accessoires peuvent être un passage pour les agents irritants vers la pulpe, mais que les lésions engendrées par ce seul passage ne permettent pas de compromettre la vitalité de la pulpe [59].

Harrington et coll. font en 2002 un point sur la littérature, et concluent que la maladie parodontale aurait un effet négligeable sur la pulpe [41]. Ils reprennent et appuient les propos de Langeland et coll. en déclarant qu'aussi longtemps que la maladie parodontale n'a pas atteint l'apex et donc le foramen apical, la pulpe est capable de résister aux agressions provenant de la parodontite. Ils concluent que le potentiel impact que la maladie parodontale pourrait avoir sur la pulpe et les relations qu'elles entretiennent ont été fortement exagérés dans la littérature endo-parodontale.

Une autre hypothèse basée sur le fait que l'inflammation suit le drainage veineux est proposée. Ainsi, comme le système veineux chemine extérieurement depuis la pulpe vers le parodonte, les auteurs défendant cette théorie indiquent que le biofilm issu de la maladie parodontale ne pourrait pas affecter la pulpe [33].

La divergence d'opinions sur le sujet pourrait être due aux différentes méthodes d'analyse utilisées, la qualité d'exécution, et les manières de catégorisation. Les différences de critères du diagnostic parodontal, les difficultés de fixation du tissu pulpaire sur des coupes histologiques [41], tout comme la diversité en termes de taille et de précision des coupes [11], ou le manque de critères histologiques précis et explicites pour définir les éléments observés, sont autant de biais pouvant entretenir le manque de consensus sur le sujet [33].

Ainsi, l'interprétation de ces observations fréquemment rapportée est que **l'inflammation causée** par la présence de **canaux accessoires** peut en effet entraîner des **dommages à la pulpe**. Néanmoins, **tant que le foramen apical principal** – la voie majeure de la circulation – n'est **pas impliqué**, la **nécrose totale ne devrait pas arriver**

[33,41,59]. Cette critique nuancée est aisément recevable par les praticiens et les chercheurs, et est de ce fait souvent reprise [41,89].

Cependant, Ricucci et coll. reviennent sur ces déclarations en 2021 [92]. Sur un échantillon de 48 dents exemptes de lésions carieuses, et atteintes de maladie parodontale sévère, ils en trouvent 4 qui présentaient des symptômes de type pulpite, sans que la perte osseuse n'atteigne l'apex. Le biofilm bactérien aurait atteint le tissu pulpaire à une zone plus coronaire que le foramen apical, supposément au niveau de canaux accessoires. Cette étude supporte donc l'hypothèse que les canaux accessoires pourraient dans certains cas jouer un rôle majeur dans la pathologie pulpaire au sein de lésions endo-parodontales.

Les récentes observations, mêlées aux découvertes plus anciennes et aux nombreuses interprétations qui en ont été faites, alimentent encore la **controverse** aujourd'hui. L'interrogation « à quel degré la maladie parodontale peut-elle influencer la santé pulpaire, et quel rôle y jouent les canaux accessoires ? » n'a donc pas encore de réponse complètement tranchée à ce jour.

- **Répercussions du traitement parodontal sur la perméabilité des canaux accessoires**

Le traitement parodontal mécanique, par le surfaçage radiculaire, pourrait aussi entraîner une altération de l'état pulpaire. L'action de la curette pourrait causer l'élargissement du foramen de canaux accessoires, et même amener à l'ouverture de ceux-ci s'ils étaient initialement scellés dans le ciment. Il en résulterait ainsi l'endommagement des fibres pulpaires présentes dans ces canaux, ainsi que la possible projection de micro-organismes dans ceux-ci [93].

Cette hypothèse est soutenue par les observations de Vertucci et coll. en 1986 [112]. Ils étudient la furcation de molaires au microscope électronique à balayage, et notent une augmentation de l'incidence de canaux accessoires au niveau des zones dénudées de ciment.

Shambarger et coll. vont étudier *in vitro* la propagation de bactéries au niveau de la furcation de molaires [99]. Ils comparent le temps que prennent des bactéries introduites dans la cavité d'accès à migrer vers le parodonte, simulé par un milieu aqueux. Le premier groupe témoin est exempt de toute instrumentation de la furcation, tandis que le deuxième en a préalablement subi un surfaçage. Les résultats indiquent une migration significativement plus rapide des bactéries au sein du groupe 2. **L'instrumentation parodontale** au niveau de la furcation **favoriserait** donc la **pénétration de bactéries** à travers la dentine et les **canaux de la furcation** alors exposés [99].

3.2 Lésions d'origine endodontique

3.2.1 Définitions

3.2.1.1 Echec endodontique et lésion périapicale

L'objectif du traitement endodontique est de **nettoyer**, **mettre en forme** et **obturer** le système canalaire de manière **tridimensionnelle** afin d'éliminer une infection ou d'en prévenir l'apparition [51].

Un échec endodontique est défini par la **persistance de symptômes cliniques** en concomitance de la présence d'une **radioclarité périapicale** [51]. Cette radioclarité, synonyme d'une lésion périapicale, persiste quand la qualité du traitement n'a pas atteint un niveau satisfaisant permettant le contrôle ou l'élimination de l'infection [68].

Bien que l'étiologie soit **microbienne**, un grand nombre de pratiques iatrogènes survenant durant le traitement endodontique peuvent favoriser ou provoquer un échec. Ces principaux facteurs sont : une insuffisance de préparation, nettoyage et obturation, une mauvaise mise en forme de la cavité d'accès, des canaux (principaux ou accessoires) non traités, une instrumentation inadéquate entraînant des complications (butées, perforations, fractures instrumentales), un dépassement du matériau d'obturation, ou encore un manque d'étanchéité de la restauration coronaire temporaire ou définitive [40,68,74].

Dans certaines situations, malgré le respect rigoureux des protocoles, un certain nombre de lésions peuvent **persister radiographiquement**. Ces échecs peuvent être causés par la **complexité anatomique** du système canalaire radiculaire. Celui-ci présente des zones qui ne peuvent pas, ou très difficilement, être préparées et obturées correctement [67,68].

3.2.1.2 Les lésions latérales

En parallèle de la typique lésion périapicale d'origine endodontique décrite précédemment, et ordinairement associée à l'échec endodontique, nous pouvons décrire un autre type de lésions : les lésions latérales.

Elles ont été introduites une des premières fois par Nicholls en 1963 [72].

Weine rapporte trois types de lésions latérales pouvant être observées radiographiquement. Ces trois types représenteraient finalement 3 stades, les deux premiers amenant ultimement au troisième sans l'intervention du praticien [115] :

- 1. Lésion latérale sans lésion apicale :** à mesure que l'infection progresse apicalement, elle peut atteindre un canal latéral assez large et ainsi permettre à une quantité suffisamment importante de produits bactériens d'atteindre le parodonte, et causer une inflammation. Il est alors dans ce cas possible que le tissu pulpaire situé plus apicalement à la ramification soit toujours vital. Il est cependant dans certains cas déjà en cours de nécrose et infecté, et le développement d'une lésion apicale n'est alors qu'une question de temps, celle-ci pouvant même déjà être présente mais encore non visible radiographiquement.
- 2. Lésions latérale et apicale séparées :** si le processus pathologique progresse sans intervention du praticien, une lésion parodontale apicale peut aussi être visible radiographiquement. Ceci signifie qu'un nombre suffisant de bactéries sont sorties de manière concomitante depuis les foramina apical et latéral, causant ces deux lésions.
- 3. Lésions latérale et apicale coalescentes :** dans certaines situations, le deuxième cas de figure décrit ci-dessus peut progresser en un troisième. Les deux lésions fusionnent en une seule, aussi appelée « **lésion enveloppante** » (« wraparound lesion ») [115].

3.2.2 Rôle des canaux accessoires dans la pathologie

Les observations cliniques et histologiques de dents atteintes par une lésion apicale et/ou latérale permettent de faire un lien entre ces deux types de lésions et la présence de canaux accessoires. Les sujets sont prélevés par apicectomie, amputation radiculaire, ou avulsion selon la situation clinique.

- **Observation clinique**

Une première manière pour mesurer l'influence des canaux accessoires sur l'échec endodontique est d'effectuer un rapprochement clinique entre pathologie apicale et présence de ramification pouvant en être la cause.

Wada et coll. examinent 27 apex atteints de lésions péri-apicales persistantes, obtenus après résection apicale [114]. Ils utilisent la technique par diaphanisation pour les analyser (Figure 30). Ils obtiennent comme résultats 19 sujets présentant des ramifications accessoires. La prévalence rapportée de 70% de ramification apicale semble être supérieure à la moyenne rencontrée dans la littérature (notamment par la technique par diaphanisation).

Ils en concluent une **étroite relation** entre la **complexité de l'anatomie canalaire** (notamment la présence de canaux accessoires) et la **persistance de lésions apicales** [114].



Figure 30 : Apex d'une incisive maxillaire obtenu par apicectomie, et rendu transparent par diaphanisation, par Wada et coll. [114] :

Le canal principal obturé par des pointes de gutta-percha se ramifie en 3 canaux accessoires (flèches noires).

- **Observation histologique**

Au-delà de ces déductions cliniques, d'autres auteurs vont plus loin pour étoffer le sujet, en étudiant microscopiquement des racines [6,69,86,87,89–91]. Les sujets étudiés ici présentent également des signes cliniques de lésions apicales ayant entraîné un échec endodontique. Après préparation histologique, ils sont observés au microscope optique et/ou au microscope électronique à transmission.

Les **objectifs** de ces études sont de déceler la **présence de bactéries** au sein du système canalaire, d'identifier les **types de colonies** et leur organisation, de renseigner leur **localisation**, et d'indiquer leur **relation avec les tissus environnants**. Ces informations ont finalement pour but d'établir un lien entre la présence de ces colonies bactériennes, et la persistance ou le développement de lésions périapicales.

Des bactéries ont par cette technique été très fréquemment observées dans des zones inaccessibles du système canalaire, comme les isthmes, les canaux accessoires, et les tubuli dentinaires. Nair et coll. observent ces bactéries et les décrivent comme étant **organisées sous forme de biofilm**, incluses dans une **matrice adhérente aux parois dentinaires** [69]. Ils en observent aussi sous forme planctonique, d'agrégats ou de co-agrégats d'espèces en suspension dans la phase fluide du canal nécrotique [69]. La flore microbienne consiste en une combinaison de populations de Cocci, bacilles, et organismes filamenteux (Figure 31).

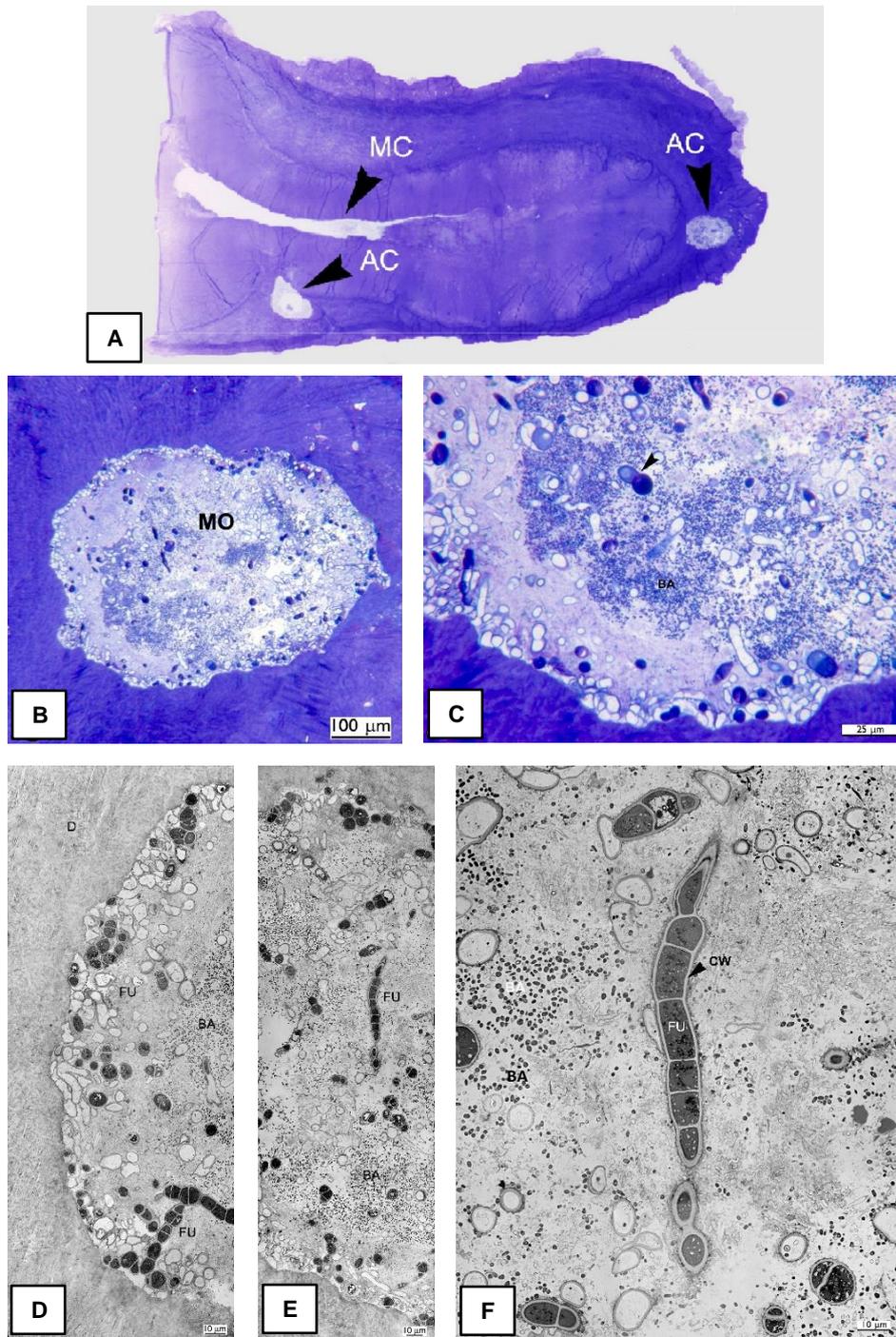


Figure 31 : Photomicrographies d'une coupe transversale de la racine distale d'une molaire non-instrumentée et non-obturée, présentant une parodontite apicale. (A-C : microscope optique, D-F : microscope électronique à transmission) [69] :

- (A) :** le canal principal (MC : main canal) contient des microorganismes. Présence de canaux accessoires (AC : accessory canals) (grossissement x15),
- (B,C,D,E,F) :** grossissements croissants du canal accessoire situé à droite au niveau de **(A)** (grossissements : (B) : x100 ; (C) : x800 ; (D) : x750 ; (E) : x600 ; (F) : x1200),
- (B,C) :** le canal est rempli de micro-organismes (MO) ayant des formes variées,
- (C) :** visualisation de bactéries (BA) semblables à des points, ainsi que d'organismes pléomorphes larges montrant des formes filamenteuses et semblant se diviser (flèches), pouvant s'apparenter à des champignons au stade de levure,
- (D,E) :** les bactéries (BA) et les champignons (FU : fungi) sont toujours discernables. Les champignons ont leur membrane plus facilement distinguable, et sont de taille plus importante par rapport aux bactéries. Ils apparaissent sous diverses configurations, certains pouvant former des chaînes,
- (F) :** grossissement plus important de **(E)**, centré sur la large chaîne de champignons (FU). Les colonies de bactéries (BA) sont de taille bien inférieure, constituées de cocci, bacilles, et filaments (CW = cell wall : membrane cellulaire).

De manière similaire, Ricucci et coll. étudient **24** racines issues de dents présentant radiologiquement des lésions apicales, dont **12** étaient symptomatiques et **12** asymptomatiques [91]. Après préparation histologique, ils visualisent au microscope optique les coupes issues des apex obtenus par résection apicale (Figure 32). Ils dénombrent **10** apex comportant des colonies de bactéries dans des canaux accessoires sur les **12** dents symptomatiques (83%), et **3** pour l'échantillon asymptomatique (25%).

Par les mêmes techniques et sur un échantillon plus large, Ricucci et Siqueira renseignent plus vastement la nature du contenu des canaux accessoires de dents rencontrées dans diverses situations cliniques [89]. Concernant les dents non traitées endodontiquement, l'état du tissu rencontré dans les canaux accessoires et ramifications apicales reflète la plupart du temps l'état de la pulpe du canal principal. Un canal accessoire localisé en regard d'une **pulpe saine** manifeste du tissu pulpaire **sain**. Quand il se trouve au niveau de **pulpe inflammée**, il abrite aussi du tissu **inflammatoire**. Enfin, s'il est accolé à du **tissu nécrotique**, il comporte du contenu pulpaire **complètement ou partiellement nécrosé**.

Dans cette dernière situation, le tissu nécrotique peut être suivi d'une zone de transition nécrose/polynucléaires neutrophiles, puis du tissu inflammé, celui-ci connecté à une lésion latérale inflammatoire. En effet, étant en communication directe avec le ligament parodontal, les canaux accessoires sont alimentés par sa riche vascularisation, ce qui leur donne une résistance relativement efficace à la nécrose et aux agressions bactériennes. Le tissu dans les canaux accessoires deviendrait nécrotique et complètement colonisé par des bactéries dans des cas de **nécrose pulpaire ancienne** [87–89]. Le **diamètre** des canaux semble aussi avoir son importance dans le processus, un diamètre plus important pouvant favoriser la colonisation bactérienne [122].

Dans ces cas où le tissu nécrotique mêlé à des bactéries (généralement arrangées sous forme de biofilm) occupe l'entièreté du contenu canalaire jusqu'au ligament parodontal, celui-ci se trouve alors inflammé, et associé à une résorption osseuse [89].

Ricucci et Siqueira observent ensuite que dans certains cas, des bactéries n'étaient pas en contact direct avec le tissu parodontal pourtant inflammé (Figure 33). La présence toutefois de lésions latérales dans ces conditions peut se justifier par la migration de produits et toxines issues des bactéries présentes dans le canal principal, à travers les diverses voies de communication, comme les ramifications accessoires et tubuli. Dilués dans les fluides tissulaires, ils atteindraient ainsi les tissus périradiculaires, alimentant l'inflammation chronique [89,91]. Les canaux accessoires ici ne joueraient **pas le rôle de réservoir** de colonies bactériennes ou de tissu nécrotique, mais plutôt de **passage permettant la transmission** d'irritants d'origine bactérienne.

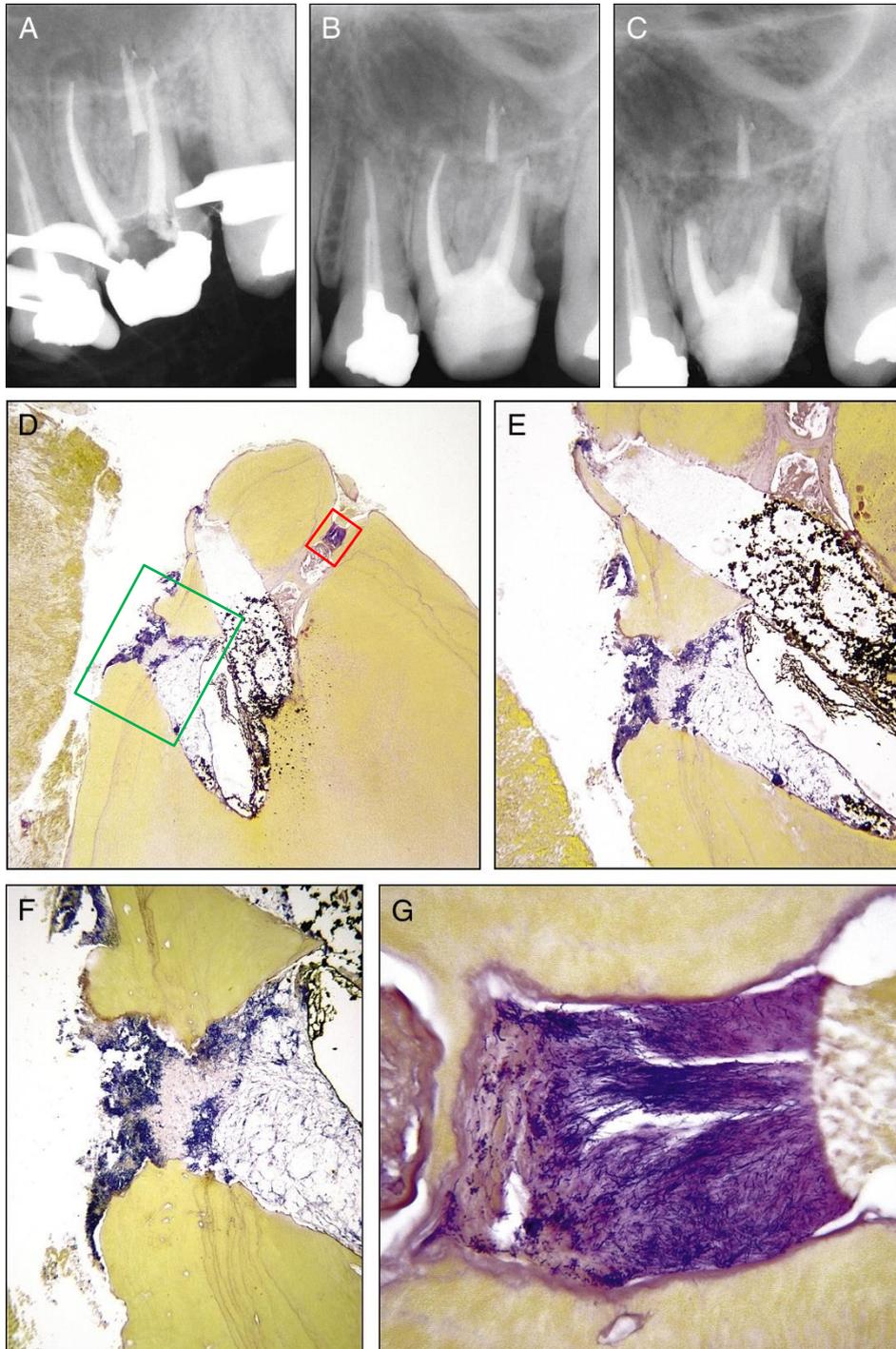


Figure 32 : Cas clinique d'une molaire maxillaire symptomatique, traitée par résection apicale suite à l'échec du retraitement endodontique (A-C : radiographies rétro-alvéolaires centrées sur la dent 26 ; D-G : photomicrographies au microscope optique de sections de la portion apicale de la racine mésio-vestibulaire réséquée, après coloration par la technique de Brown & Brenn modifiée par Taylor), par Ricucci et coll. [91] :

- (A) : radiographie post-opératoire du retraitement orthograde de la dent. Présence d'une radioclarité au niveau de la racine mésio-vestibulaire. Les auteurs rapportent une fistulisation de la lésion en vestibulaire, non visible ici,
- (B) : radiographie de contrôle à 1 an : la radioclarité est toujours présente, ainsi que la fistule en vestibulaire. La dent est toujours douloureuse à la percussion,
- (C) : décision de réaliser la résection des racines mésio-vestibulaire et disto-vestibulaire,
- (D) : aperçu de la racine mésio-vestibulaire : trois ramifications sont présentes (grossissement x25),
- (E) : grossissement des deux ramifications présentes à gauche sur (D) (grossissement x100),
- (F) : agrandissement centré sur la ramification de gauche (encadré vert), exposant un biofilm dense en bactéries, s'étendant jusqu'à la face externe de la racine (grossissement x200),
- (G) : observation de la ramification présente à droite (encadré rouge) sur (D). Celle-ci est aussi comblée de bactéries, arrangées contre des cellules inflammatoires (grossissement x400).

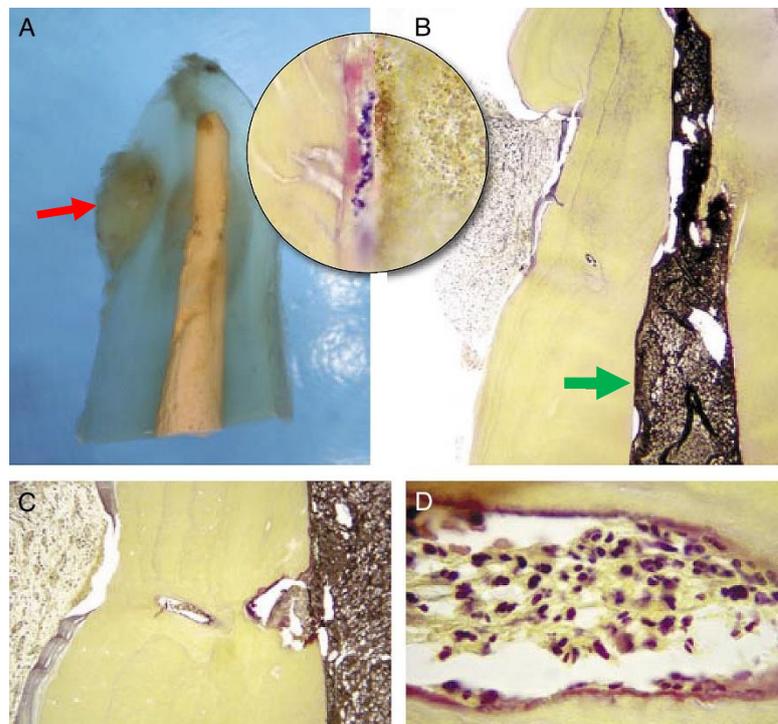


Figure 33 : Racine d'une molaire maxillaire après extraction. (A) : photographie après diaphanisation de la racine ; (B-D) : photomicrographies de coupes de la racine après préparation histologique et coloration par la technique de Brown & Brenn modifiée par Taylor, par Ricucci et coll. [89] :

- (A) : du tissu de granulation est présent sur la face latérale de la racine (flèche rouge),
- (B-D) : les coupes révèlent un canal latéral connectant le canal principal et la lésion.
Le cercle expose la zone indiquée par la flèche verte, à un grossissement x1000. Des bactéries se trouvent à l'interface entre la paroi du canal et le matériau d'obturation,
- (C) : coupe prise 30 sections plus loin que celle vue en (B). Une partie du cheminement du canal accessoire y est visible, notamment sa connexion avec le canal principal (grossissement x100),
- (D) : grossissement plus important du contenu du canal visualisé au niveau de (C). Du tissu inflammatoire est visible, mais pas de bactéries (grossissement x1000).

Les auteurs tirent des conclusions communes de ces analyses, souvent reprises dans la littérature traitant de l'étiologie des parodontites périapicales [27,51,68,103] : d'une part, les **infections intra-radicales** apparaissent comme la **cause principale de l'échec endodontique**. Par extension, la **présence et la persistance** post-traitement de **colonies bactériennes** dans le système canalaire, particulièrement au niveau de zones difficilement atteignables par l'instrumentation et la médication intracanaire, comme les **canaux accessoires**, jouent un rôle essentiel dans **l'apparition et la persistance de certaines lésions apicales**.

4 Gestion visuelle et thérapeutique des canaux accessoires lors du traitement endodontique

4.1 Diagnostic des canaux accessoires

Diagnostiquer la présence de canaux accessoires est complexe. Il est impossible de les observer directement à l'examen clinique. Le seul moyen de détecter leur présence se fait en ayant recours à des **techniques d'imagerie** [108].

Comme introduit dans la partie 2.3 (p. 36) « méthodes de mise en évidence du système canalaire », les systèmes d'imagerie les plus fréquemment utilisés en endodontie sont la radiographie rétro-alvéolaire, et le CBCT (cone-beam computed tomography). Il existe d'autres systèmes d'imagerie utilisés en odontologie, qui ne seront pas discutés ici car présentant un intérêt moindre en endodontie (notamment la radiographie panoramique qui entraîne beaucoup de déformations et une faible résolution, et le scanner (Dentascan®), plus irradiant pour des résultats relativement similaires au cone beam).

4.1.1 Radiographie rétro-alvéolaire (RA)

La radiographie rétro-alvéolaire consiste en l'envoi d'un flux de rayons X par un générateur vers un film positionné en bouche, en regard de la zone d'intérêt. Les informations ainsi perçues par le film seront traitées, et retranscrites en deux dimensions sous forme de nuances de gris en fonction de la densité des tissus traversés [102].

Ce type de radiographie est souvent effectué en odontologie en examen complémentaire de première intention, avant d'autres techniques d'imageries plus complexes.

Comme expliqué précédemment (à la partie 2.3.3.2 p. 43), la RA est **peu efficace** pour détecter les canaux accessoires. La dent étant une structure tridimensionnelle, sa visualisation radiographique en deux dimensions rend très limitée l'utilisation de cette technique [29]. Les canaux accessoires ont de plus un **diamètre** souvent trop faible pour être détectables, ou une **angulation** par rapport à l'axe de la radiographie ne permettant pas leur observation.

Leur visualisation radiographique étant ainsi relativement rare, elle est néanmoins possible dans certain cas par injection de matériau d'obturation (Figure 34). L'apparition d'une lésion latérale indépendante de la zone apicale peut aussi faire suspecter la présence d'un canal accessoire qui en serait responsable (Figure 35).

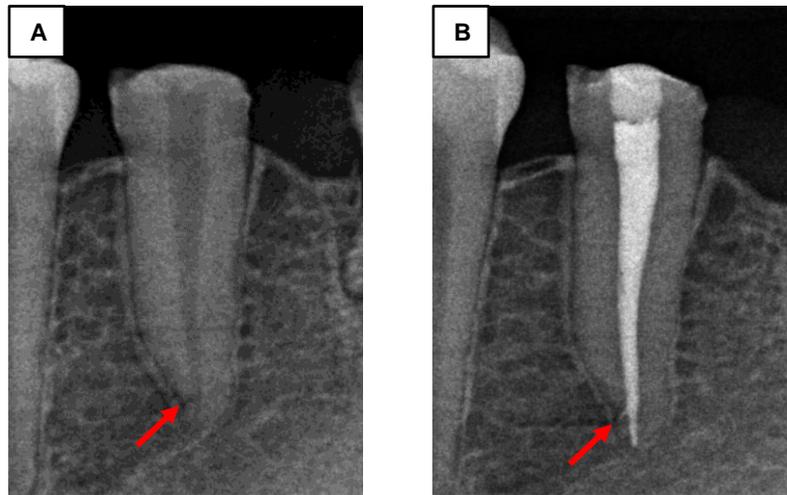


Figure 34 : Radiographies rétro-alvéolaires centrées sur la 35 (A) pré-opératoire, (B) post-opératoire [documents personnels] :

Les flèches indiquent la présence d'un canal accessoire au niveau apical, devinable par une radioclarité sur la radiographie pré-opératoire, et sera plus amplement révélé à la radiographie post-opératoire après obturation par thermocompaction.



Figure 35 : Radiographie rétro-alvéolaire post-opératoire centrée sur la 46 [document personnel] :

Un canal accessoire a été injecté dans la zone de la furcation (cercle rouge) après obturation par thermocompaction. Celui-ci se situant en regard d'une image de lésion indépendante de celle située au niveau apical, l'hypothèse qu'il serait la cause de cette lésion est plausible.

4.1.2 Imagerie volumétrique par faisceau conique ou « cone-beam computed tomography » (CBCT)

Contrairement à la radiographie rétro-alvéolaire traditionnelle, le cone-beam est une méthode d'imagerie en trois dimensions, pouvant dévoiler les structures anatomiques selon n'importe quel angle. Cette technologie repose sur l'envoi d'un faisceau conique de rayons X vers la zone d'intérêt. Permettant d'outrepasser les nombreuses limitations de la radiographie rétro-alvéolaire, son utilisation en endodontie s'est largement démocratisée ces dernières années. Cependant, elle est plus irradiante et ne doit pas être utilisée systématiquement. C'est un examen de seconde intention devant toujours faire l'objet d'une justification préalable [79].

Certains auteurs émettent des réserves concernant la capacité du CBCT à détecter les canaux accessoires, et soulignent un potentiel manque de sensibilité de cette technique à les distinguer. Il pourrait en effet y avoir un nombre non négligeable de faux négatifs dus au faible diamètre de certaines ramifications, qui en deviendraient non détectables. Ils insistent sur la nécessité de poursuivre les recherches afin de démontrer son efficacité [70,104]. D'autres plus optimistes, affirment que leur mise en évidence est possible, mais demande de **l'expérience** et une bonne **méthodologie**. Le paramétrage en haute définition de l'appareil, couplé à l'utilisation de logiciels de traitement spécifiques, permettrait de rendre leur détection plus aisée (Figures 36 et 37) [16,48].

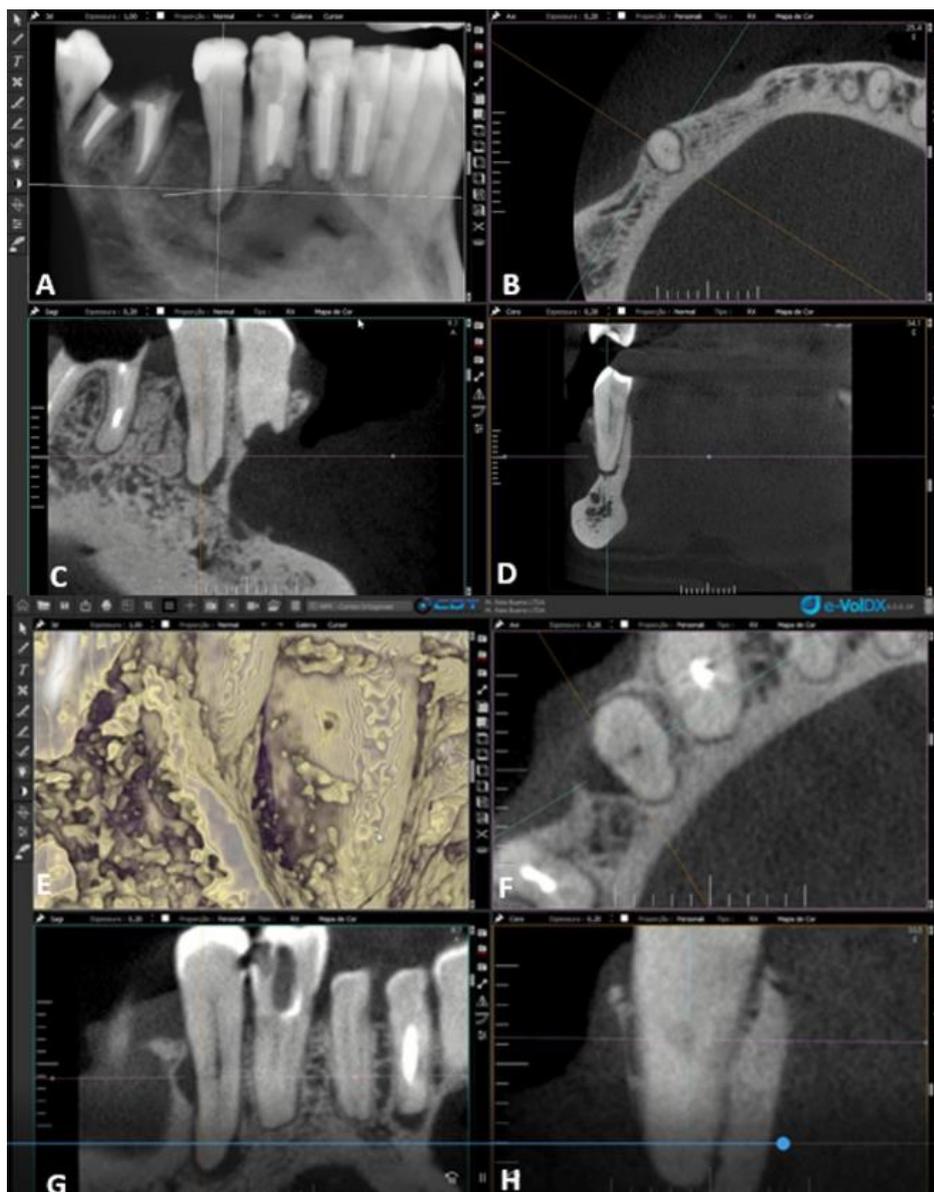


Figure 36 : Identification d'un canal accessoire au niveau de la face distale d'une première prémolaire mandibulaire à l'aide du CBCT, avec la technique de Bueno et coll. [16] :

(F, G et H) : sections tomographiques par reconstruction multiplanaire.

Le canal accessoire est visible sous la forme d'une ligne au niveau de (F), d'une seconde ligne (G), et d'un point à la coupe (H). Cette séquence « ligne-ligne-point » caractérise la présence d'un canal accessoire.

Bueno et coll. proposent une méthodologie afin de faciliter l'identification des ramifications accessoires à l'aide du CBCT. Elle repose tout d'abord sur l'utilisation du logiciel externe e-Vol DX, compatible avec tous les CBCT ayant la capacité d'exporter les données sous format DICOM. Ce logiciel permet une analyse précise des coupes avec une amélioration de la résolution et de la qualité d'image, et apporte des options permettant d'optimiser l'utilisation du CBCT en endodontie.

Leur méthodologie consiste en la navigation longitudinale le long de coupes de 0,1 mm, depuis l'entrée canalair jusqu'au foramen apical. Le canal principal est pris comme référence, avec l'utilisation d'une reconstruction multiplanaire (RMP) ajustée afin que les 3 plans de coupe restent parallèles ou perpendiculaires au canal analysé, en effectuant les corrections nécessaires en fonction de sa courbure. Pour les dents avec plusieurs canaux, chacun d'entre eux doit être analysé indépendamment.

À la découverte d'une ligne radioclaire au niveau du canal principal sur une des coupes, l'axe de navigation de la reconstitution multiplanaire doit être ajusté afin d'être parallèle et perpendiculaire à cette ligne (correction parallaxe). Après cette accommodation, une ligne va apparaître au niveau de l'une des coupes de la RMP, une autre ligne sur une autre coupe, et un point sur la troisième. Ainsi, les trois sections de la RMP présenteront des images avec la séquence « **ligne-ligne-point** », qui permet d'identifier le canal accessoire, et de visualiser par la suite sa reconstruction volumique à l'aide d'un filtre spécifique.



Figure 37 : Identification d'un canal accessoire au niveau de la face vestibulaire d'une incisive centrale maxillaire à l'aide du CBCT et du logiciel e-Vol DX, avec la technique de Bueno et coll. [16] :

(F, G et H) : sections tomographiques par reconstruction multiplanaire.

Le canal accessoire est visible sous la forme d'une ligne au niveau de (F), d'une seconde ligne sur (G), et d'un point sur la coupe (H). Cette séquence « ligne-ligne-point » caractérise la présence de ce canal accessoire.

4.2 Traitement orthograde

Schilder énonce en 1967 et 1974 les principaux objectifs du traitement endodontique, qui sont toujours aujourd'hui admis par les praticiens : nettoyer, mettre en forme et obturer de manière tridimensionnelle et étanche l'endodonte [96,97,102].

En reprenant les étapes principales du traitement endodontique permettant de satisfaire ces objectifs, nous verrons comment le praticien peut augmenter ses chances de succès face à la présence de canaux accessoires. Nous allons mesurer le degré d'impact – direct ou indirect – que ces étapes ont sur les canaux accessoires et les lésions dont ils seraient la cause, ainsi que les pistes à explorer et à approfondir dans l'optique de minimiser les risques d'échecs liés à la présence de ces ramifications.

Les étapes du traitement endodontique peuvent être divisées en deux catégories, en fonction de leur effet direct ou indirect sur les canaux accessoires.

L'obturation et l'irrigation agissent au plus proche des canaux accessoires et ont donc un impact **direct**.

D'un autre côté, les étapes antérieures (instrumentation et cavité d'accès) n'influent pas directement sur les canaux accessoires. Cependant, le respect des bonnes pratiques concernant ces étapes favorise une bonne irrigation et obturation. Elles ont donc tout de même un impact **indirect** sur les canaux accessoires lors du traitement.

Cette partie se concentrera principalement sur les deux dernières étapes du traitement endodontique pour leur effet direct sur les canaux accessoires.

4.2.1 Obturation

4.2.1.1 Définitions et objectifs

Quand il est question de canaux accessoires en endodontie, un des sujets les plus souvent abordés comme levier pour agir sur ces variations du système canalaire est celui de l'obturation.

L'obturation a pour objectif d'assurer l'**étanchéité** du système canalaire face aux milieux extérieurs. Elle doit présenter une bonne **tridimensionnalité** et **densité** pour être efficace. Le but est d'empêcher la recolonisation du système canalaire par les bactéries et de supprimer tout espace libre susceptible de les abriter [40,102].

4.2.1.2 Les matériaux d'obturation

De nombreux matériaux d'obturation en endodontie ont été proposés. La majorité des techniques emploient un **matériau de base**, accompagné d'un **ciment de scellement** [40]. Grossman décrit les propriétés que ces derniers devraient avoir [38], exposées dans les encadrés suivants (Tableau 3).

Tableau 3 : Propriétés que le ciment d'obturation (encadré gauche) et le matériau de base d'obturation (encadré droit) devraient avoir selon Grossman [38].

Le ciment d'obturation doit :	Le matériau de base d'obturation doit :
<ul style="list-style-type: none">- avoir une bonne adhérence avec les parois canalaires,- établir un scellement hermétique- être radio-opaque,- être sous forme de poudre très fine, pour être facilement mélangé,- ne pas avoir de rétraction de prise,- ne pas colorer la dent,- être bactériostatique, ou au moins ne pas favoriser le développement bactérien,- avoir un temps de prise relativement long,- être insoluble dans les fluides tissulaires,- être biocompatible, et ne pas irriter les tissus périapicaux,- être soluble dans un solvant d'utilisation commune pour faciliter la désobturation.	<ul style="list-style-type: none">- être manipulable aisément, pour assurer un temps de travail suffisant,- avoir une bonne stabilité, sans rétraction une fois inséré,- sceller apicalement et latéralement, en se conformant à l'anatomie canalaire complexe,- ne pas irriter les tissus périapicaux,- ne pas être poreux,- ne pas être affecté par les fluides tissulaires (ne pas être corrodable ni oxydable),- inhiber la croissance bactérienne,- être radio-opaque,- ne pas colorer la dent,- être stérile et stérilisable,- être facile à enlever en cas de désobturation.

A ce jour, aucun ciment ne remplit tous les critères, chacun ayant ses avantages et ses inconvénients. Les ciments de scellement les plus couramment utilisés sont les ciments à base d'oxyde de zinc-eugénol, les ciments à l'hydroxyde de calcium, les ciments verres ionomères, les ciments à base de résine et les ciments à base de silicate de calcium [40].

Concernant le matériau de base, un certain nombre a été utilisé par le passé, comme les cônes d'argent. Toutefois, les méthodes d'obturation les plus fréquemment employées jusqu'à ce jour impliquent l'utilisation de **gutta-percha**. Ses avantages principaux sont sa plasticité, sa facilité de manipulation, sa très faible toxicité, sa radio opacité et sa facilité de désobturation, ce qui en font le matériau le plus populaire. Ses inconvénients sont son absence d'adhérence aux parois canalaires, et sa rétraction de prise au refroidissement, après avoir été réchauffée.

4.2.1.3 Les différentes techniques d'obturation

Les méthodes d'obturation utilisant de la gutta-percha peuvent être divisées en deux catégories : les techniques d'obturation à froid et celles par compaction à chaud.

➤ Techniques d'obturation de gutta-percha à froid

- **Technique par compaction latérale**

À la suite de la calibration du maître cône au diamètre de préparation apicale, celui-ci est mis en place avec du ciment de scellement. Il est ensuite compacté latéralement par un condenseur inséré le plus loin possible dans le canal. Des condenseurs de diamètre décroissant sont utilisés jusqu'à atteindre la longueur de travail moins 2mm. Un cône accessoire est alors inséré dans l'espace libre, et recompacté par le condenseur. Cette étape est répétée jusqu'à l'obtention de l'obturation complète. Les extrémités des cônes sont alors sectionnées à chaud, et compactées aux entrées canalaires avec un fouloir.

- **Technique mono-cône**

Le ciment de scellement est injecté dans le canal grâce à un instrument rotatif en forme de « vis sans fin » (Lentulo®), suivi de l'insertion du maître cône calibré seul. Cette technique, bien que rapide, ne permet pas d'obtenir une obturation optimale ni étanche du canal, par manque de compression apicale et latérale. L'utilisation du Lentulo® peut entraîner une fracture instrumentale et/ou des dépassement importants.

➤ Techniques d'obturation de gutta-percha à chaud

- **Technique par condensation ou compactage vertical**

Cette technique, décrite pour la première fois par Schilder [96], se base sur le réchauffage du maître-cône. La gutta sera chauffée successivement par des instruments type « heater » puis foulée par des « plugger », de diamètre décroissant, jusqu'à atteindre la compaction de la zone apicale. L'espace vacant laissé par le retrait des instruments « heater » sera ensuite comblé par injection de gutta chaude ou par thermocompaction de cônes accessoires.

Cette technique permet d'obturer efficacement de manière tridimensionnelle les anfractuosités du système canalair.

Une variante de cette technique théorisée par Buchanan existe, où les instruments « heater » et « plugger » sont remplacés par un instrument unique qui joue le rôle de réchauffeur et de fouloir (System B®) [14].

- **Condensation thermomécanique**

Pour cette technique, un thermocompacteur, utilisé en rotation continue sur contre-angle bague bleue, est inséré dans le canal au contact du maître-cône. Cette action va permettre de chauffer ce dernier par friction, et de le compacter en direction apicale lorsque la température atteindra 49°C. Quand la gutta est à l'état plastique, le thermocompacteur est engagé verticalement jusqu'à la longueur de travail moins 1,5 mm (si la dent ne présente pas de courbure trop importante), puis retiré lentement au contact d'une paroi. Un fouloir sera ensuite utilisé pour compacter la gutta au niveau des entrées canalaires, jusqu'à son refroidissement.

- **Technique de gutta préchauffée sur tuteur**

La gutta est cette fois-ci maintenue sur un tuteur en plastique. Elle est réchauffée de manière externe dans un four adapté, avant d'être insérée dans le canal à l'aide du tuteur.

4.2.1.4 Obturation et canaux accessoires

Historiquement, la nécessité d'obturer les canaux accessoires fait presque l'unanimité dans la communauté scientifique et auprès des praticiens. Cette idée a d'abord été énoncée par Schilder qui souligne l'importance d'obturer le système canalaire dans son entièreté, canaux accessoires compris [96,97]. Depuis, d'autres auteurs appuient ses propos, en ajoutant que les techniques d'obturation tridimensionnelle seraient supérieures aux techniques permettant d'obturer le canal principal uniquement [15]. Certains rapportent que des canaux accessoires non obturés pourraient être associés ou à l'origine de la persistance de pathologie post-traitement [94].

- **Relation entre les techniques d'obturation et les canaux accessoires**

Sur la base de ces assertions, il est accepté auprès des praticiens de manière presque dogmatique que les canaux accessoires et ramifications apicales devraient être obturés si possible, afin d'augmenter les chances de succès du traitement endodontique [89]. De nombreuses études ont ainsi été publiées afin d'évaluer les techniques et ciments d'obturation cités précédemment et leur capacité à obturer les canaux accessoires [18,26,31,56,84,109,110,119] (Figure 38).

Bien que d'une étude à l'autre les techniques comparées entre elles ne soient pas toujours les mêmes, les observations sont généralement sensiblement similaires. Parmi les méthodes décrites ci-dessus, les techniques par compaction à chaud et thermoplastification de gutta-percha tendent à être plus efficaces pour injecter les canaux accessoires que les techniques à froid. Ces dernières ont plutôt tendance à

extruder du ciment de scellement dans les ramifications [119]. Parmi les techniques par compaction à chaud, les résultats sont plus mitigés d'une étude à l'autre, et une technique n'apparaît pas être significativement supérieure pour obturer les ramifications accessoires.

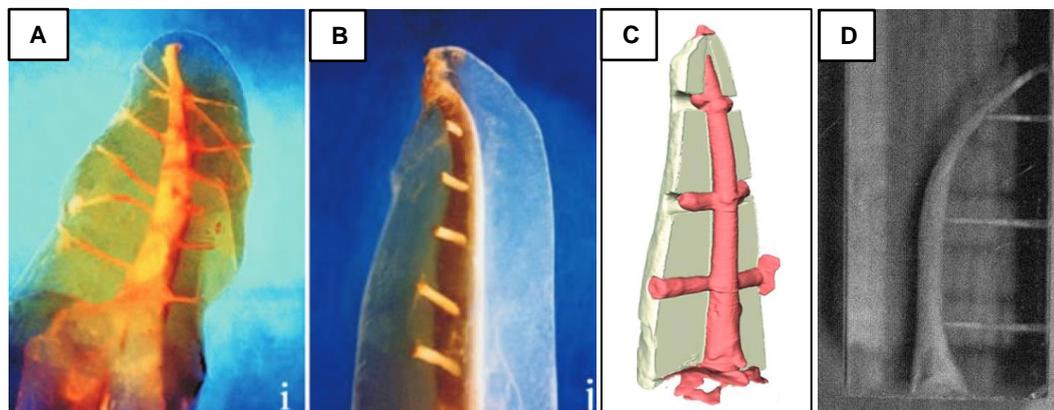


Figure 38 : Evaluation par différents moyens de la capacité des techniques d'obturation à combler des canaux accessoires artificiels :

(A, B) : diaphanisation et observation au stéréomicroscope [31],

(C) : analyse digitale par microscopie 3D assistée par ordinateur (micro-CT) [110],

(D) : visualisation d'un réseau canalaire artificiel à travers un bloc de résine [26].

Il a aussi été observé que les canaux accessoires les plus coronaires ou au niveau du milieu de la racine peuvent être obturés avec de la gutta-percha mêlée à du ciment de scellement, tandis que les ramifications situées plus apicalement et/ou de diamètre fin sont plus souvent scellées par du ciment uniquement [26,96]. Les canaux nécrosés tendent à être plus fréquemment obturés que les canaux vitaux. Ceci se justifie par l'élimination chimique plus aisée et ainsi une meilleure pénétration du matériau d'obturation dans une cavité remplie de tissu nécrotique et désorganisée, que de tissu vital, plus résistant à l'action chimique.

- **L'obturation des canaux accessoires est-elle cliniquement réellement nécessaire ?**

Malgré l'acceptation globale de l'idée que l'obturation des canaux accessoires représenterait un avantage cliniquement, certains auteurs en questionnent tout de même le bien-fondé [10,17,89,107,116,117].

En employant une approche logique, Weine [116] rappelle que la fréquence des canaux accessoires est élevée. Pour autant, ils ne sont que rarement révélés radiologiquement après obturation, même en cas de succès endodontique. En découle la déduction que le **manquement à l'obturation** de ces ramifications n'entraînerait **pas forcément d'échec endodontique** dans la majorité des cas [17,89].

Les situations, selon lui, où leur obturation pourrait être bénéfique seraient lorsqu'un flux de bactéries au sein de ces ramifications, entre le système canalaire et le ligament parodontal, est possible. Ces situations se présenteraient au niveau de dents précédemment nécrosées, dans lesquelles des bactéries auraient été laissées dans le canal principal ou les canaux accessoires après le traitement endodontique.

Dans ce cheminement de pensée, Ricucci et Siqueira, tentent de déterminer si forcer la gutta-percha et/ou du ciment de scellement dans les canaux accessoires aurait un intérêt thérapeutique [89]. Ils vont se baser sur l'observation clinique et histologique d'un vaste échantillon de dents obturées et présentant des lésions apicales et latérales d'origine endodontique.

Ils observent d'abord que les canaux accessoires n'apparaissent jamais complètement obturés (Figure 39). Ils soulignent l'importance de la sémantique afin de mieux raccorder le **vocabulaire utilisé** à la réalité clinique et éviter ainsi les confusions. Les termes « **révélé** », « **indiqué** », et « **injecté** » devrait être préférés pour désigner un canal accessoire visualisé radiographiquement, plutôt que le terme « **obturé** », qui sous-entend que le canal serait complètement comblé.

Selon leurs observations histologiques, quand du matériau d'obturation a été retrouvé dans des canaux accessoires contenant du tissu pulpaire vital, ce tissu était endommagé et inflammé. Il se retrouvait mêlé au matériau d'obturation qui ne comblait donc pas totalement la ramification. Concernant des canaux accessoires présentant une pulpe nécrosée, les constats étaient relativement similaires : des débris nécrotiques et/ou des restes de tissu inflammatoire adjacents à du matériau d'obturation, qui n'occupe que partiellement le canal (Figure 39).

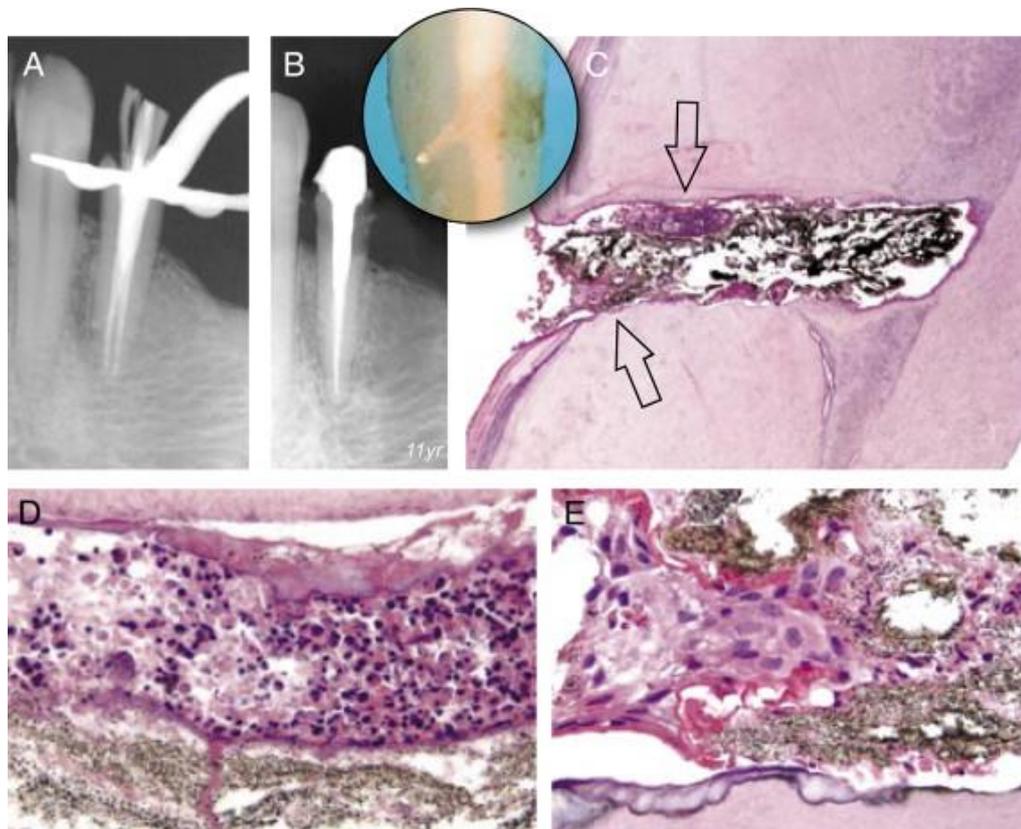


Figure 39 : Première prémolaire mandibulaire ayant subi un traitement endodontique. (A et B) radiographies rétro-alvéolaires centrées sur la dent 34 ; (C-E) photomicrographies de coupes histologiques visualisées au microscope optique après coloration à l'hématoxyline et éosine, passant par un canal accessoire [89] :

- (A) : radiographie post-opératoire montrant un canal accessoire révélé par du matériau d'obturation,
- (B) : radiographie 11 ans plus tard. Le canal n'est plus visible, et les tissus périradiculaires ne présentent pas de lésion. Une lésion carieuse importante au niveau de la face distale entrainera la décision de son extraction. L'encart circulaire montre après extraction et diaphanisation de la dent que le canal accessoire est bien toujours injecté de matériau d'obturation,
- (C) : coupe histologique passant par le canal accessoire mésial. Le canal n'est pas complètement obturé. Du tissu est présent, mélangé au matériau d'obturation (grossissement x50),
- (D) : grossissement x400 de la zone indiquée par la flèche supérieure au niveau de (C). Présence d'une accumulation de cellules inflammatoires,
- (E) : grossissement x400 de la zone indiquée par la flèche inférieure au niveau de (C). Visualisation de tissu comprenant des cellules inflammatoires mononucléaires, noyées dans du matériau d'obturation.

Ces résultats rejoignent l'idée, selon Ricucci et Siqueira, que l'obturation supposée de canaux accessoires ne présenterait **pas tant de bénéfices thérapeutiques**. Elle pourrait même, selon leurs hypothèses, avoir un potentiel effet néfaste visible histologiquement lorsque le tissu est vital dans ces ramifications, en venant potentiellement induire et alimenter une inflammation au niveau de ce tissu.

Toutefois, au-delà du débat autour des présumés bénéfices cliniques et thérapeutiques, la **révélation radiographique de matériau d'obturation** dans les **canaux accessoires** peut être considérée comme un marqueur d'une **bonne préparation canalaire**, et d'une **obturation dense** du système canalaire dans sa globalité.

4.2.2 Irrigation

4.2.2.1 Définitions et objectifs

L'instrumentation mécanique était anciennement considérée comme le vecteur premier d'une bonne désinfection canalaire. Cependant, il reste une grande quantité de bactéries non éliminées dans les zones difficiles voire impossibles d'accès du système canalaire. C'est pourquoi un changement de paradigme s'est produit ces dernières décennies, tendant à donner de plus en plus d'importance à l'irrigation.

L'irrigation se révèle maintenant être l'un des moyens principaux pour nettoyer et désinfecter le réseau canalaire. Elle joue un double rôle : elle a une **action chimique**, basée sur la composition de l'irrigant utilisé, et une **action physique**, en facilitant le passage des instruments, et en mettant en suspension les débris organiques et minéraux.

4.2.2.2 Les solutions d'irrigation

Pour être efficace, la solution d'irrigation doit répondre à certaines exigences, et présenter certaines caractéristiques[78] :

- action antimicrobienne ayant un spectre assez large,
- inactivation des bactéries ayant un facteur de virulence élevé,
- désorganisation et/ou élimination du biofilm,
- dissolution du tissu pulpaire résiduel,
- élimination des débris de tissus durs accumulés et de boue dentinaire, ou prévention de leur formation,
- peu d'effet secondaire, local (sur la dentine et le péri-apex) comme systémique (toxicité, réactions allergiques),
- acquisition aisée à bas coût.

Différentes solutions d'irrigations ont été proposées, chacune ayant des propriétés et rôles différents. Voici les principales :

- **l'hypochlorite de sodium**

De loin la plus populaire des solutions d'irrigation, l'hypochlorite de sodium dispose de nombreux avantages. Il possède un large spectre antibactérien, permet de dissoudre les composants du biofilm et le tissu pulpaire résiduel. Il est un lubrifiant efficace aux instruments rotatifs, et est aisément disponible dans le commerce.

- **le digluconate de chlorhexidine**

La chlorhexidine est un antiseptique à large spectre principalement utilisée en bain de bouche. En endodontie, concentrée à 2%, elle fait concurrence à l'hypochlorite de

sodium par sa supposée moindre cytotoxicité. Cependant, son efficacité antibactérienne plus faible et son absence d'action dissolvante des tissus empêchent son utilisation primaire. Restent ainsi la proposition de son utilisation en interséance, dont l'efficacité est toujours controversée, ou l'utilisation en irrigation finale mais qui entraîne des effets indésirables si mélangé à de l'hypochlorite résiduel.

- **les chélateurs**

L'hypochlorite de sodium n'étant actif que sur les tissus organiques, il est recommandé d'utiliser d'autres produits en parallèle capables de dissoudre les tissus durs accumulés lors de la préparation canalaire, appelés « boue dentinaire ». L'acide citrique et l'EDTA (acide éthylène diamine tétra-acétique) sont deux produits ayant été proposés, ce dernier est le plus communément employé. Combiné à l'hypochlorite, ils forment un bon compromis entre action organique et élimination minérale.

4.2.2.3 Les techniques d'irrigation [13,102]

Diverses techniques ont été proposées pour acheminer et/ou activer l'irrigant dans le système canalaire. Il est important de connaître et de savoir utiliser correctement et au moment opportun ces techniques. Elles conditionneront la capacité de la solution d'irrigation à pénétrer dans les zones les plus complexes du système canalaire, y compris les canaux accessoires.

- **Irrigation à la seringue**

Bien que la plus basique, l'irrigation à la seringue reste la technique la plus populaire auprès des praticiens. Son efficacité dépend de l'espace disponible dans le tiers apical, ainsi que de la capacité de l'aiguille à y accéder. Celle-ci peut avoir deux conformations différentes : ouverte à son extrémité, plus efficace mais avec un risque de forcer de l'irrigant au-delà de l'apex, ou fermée à l'extrémité avec une ou plusieurs fenestrations latérales, plus sécurisante.

Suffisante pour les dents monocanalaire à l'anatomie simple, l'irrigation à la seringue peine à désinfecter l'ensemble du réseau canalaire de dents à l'anatomie plus complexe.

- **Activation mécanique manuelle**

Une des manières les plus simples d'activer l'irrigant se fait à l'aide d'un cône de gutta calibré, en faisant des mouvements verticaux de va-et-vient dans le canal.

- **Activation ultrasonique**

La technique d'activation par ultrasons est la seconde plus populaire après la technique à la seringue. Une lime est introduite dans le canal, et activée, entraînant son oscillation à fréquence ultrasonique. Ce mouvement oscillatoire est transmis à la solution

d'irrigation, ce qui lui permet de pénétrer davantage dans les anfractuosités du système canalaire.

- **Activation sonore**

L'activation sonore s'appuie sur l'utilisation d'un dispositif ayant un embout en nylon, inséré à 1mm de la longueur de travail, oscillant à basse fréquence. Cette technique est plus efficace que l'utilisation d'une seringue seule. Son principe étant similaire à l'agitation ultrasonique avec une efficacité moindre, elle peut être utilisée en complémentarité.

- **Irrigation par pression négative**

L'irrigation par pression négative implique un dispositif permettant de délivrer l'irrigant et non son activation. Son principe se base sur l'aménagement d'un flux de l'irrigant, depuis la cavité d'accès où il est déposé, jusqu'à la zone apicale, aspiré par une seringue. Son utilisation n'entraîne pas un meilleur débridement que la seringue seule, mais limite considérablement le risque d'extrusion apicale de l'irrigant.

- **Irrigation activée par laser**

D'apparition plus récente, l'irrigation par laser a été source de nombreuses recherches depuis son introduction en odontologie. Son action est multiple. Elle aura une action photo-thermique antimicrobienne sur les microorganismes pigmentés. Cette méthode d'irrigation entraîne aussi un effet de « cavitation » par la mise en mouvement rapide de la solution d'irrigation, entraînant l'expansion et l'implosion de bulles à l'extrémité du laser. L'irrigation laser applique ainsi un effet mécanique de turbulence sur l'irrigant, ce qui améliore l'élimination du biofilm bactérien, et chimique en augmentant la vitesse de réaction de l'hypochlorite de sodium [5].

4.2.2.4 Irrigation et canaux accessoires

De la même manière que pour l'obturation, beaucoup d'études ont été publiées afin de déterminer les techniques ayant le plus d'efficacité pour faire pénétrer la solution d'irrigation dans les canaux accessoires. Comme l'obturation, l'irrigation est une étape du traitement endodontique qui agit au plus proche des canaux accessoires. Cependant, contrairement aux controverses concernant le besoin d'obturer ou non les ramifications accessoires, les auteurs s'accordent sur la nécessité d'y faire parvenir au mieux la solution d'irrigation [89,122].

Une méta-analyse datant de janvier 2023 établit l'état de la littérature sur le sujet [58]. Sur les 244 articles trouvés par les mots-clés initiaux, 10 répondants aux critères finaux ont été sélectionnés pour faire l'objet de l'analyse. Les critères d'inclusion sont : études d'au moins une technique d'irrigation ; études employant l'analyse par observation

directe et/ou radiologique ; utilisation d'hypochlorite de sodium associé ou non à de l'EDTA ; analyses faites sur des dents humaines extraites. Les techniques étudiées sont : irrigation par seringue, irrigation par pression négative, activation par ultrasons, activation sonore et activation manuelle.

Les auteurs en concluent que les techniques d'activation améliorent bien la pénétration de l'irrigant dans les canaux accessoires par rapport à la technique conventionnelle par seringue, et recommandent ainsi leur utilisation. Selon leurs résultats, l'activation ultrasonique est la plus efficace, suivie par l'irrigation par pression négative, l'activation sonore, et enfin l'activation manuelle. Cependant, la majorité des études, y compris celles dont il est question dans leur analyse, se font sur des dents monocanales à l'anatomie radulaire rectiligne. Ils avertissent ainsi du manque d'informations concernant les dents présentant des canaux courbes, et insistent sur la nécessité d'approfondir les recherches sur ce cas de figure [58].

L'activation par laser n'apparaît pas dans cette étude, du fait de sa relativement récente introduction qui en fait une technologie moins documentée. D'autres publications viennent cependant indiquer la supériorité de cette technique par rapport aux autres (notamment l'activation ultrasonique dont elle serait la principale concurrente) [9,25,30].

Il a aussi été proposé d'**associer plusieurs méthodes d'irrigation** entre elles, comme la combinaison de l'activation ultrasonique avec l'irrigation par pression négative ou l'activation laser. Ces associations permettraient d'obtenir une **efficacité optimale**, que ce soit dans le canal principal au niveau apical, comme dans les canaux accessoires en **alliant les avantages et champs d'action des différentes techniques** [37,78,105].

Les étapes précédentes à l'irrigation et l'obturation (mise en condition, cavité d'accès, préparation et cathétérisme) ne seront pas développées, car ayant un impact mineur sur les canaux accessoires. Leur exécution correcte contribue globalement à la réalisation conforme du traitement endodontique.

Elles n'auront ainsi qu'un effet « **indirect** » sur les canaux accessoires, en assurant un accès optimal aux instruments. Ceci favorisant ainsi une préparation adéquate du système canalaire, entraîne *in fine* une irrigation satisfaisante.

4.3 Traitement chirurgical rétrograde

Lorsque le traitement endodontique par voie orthograde est un échec et/ou si les conditions ne permettent pas d'effectuer un retraitement endodontique, le praticien peut avoir recours à des techniques chirurgicales.

4.3.1 Apicectomie

La technique chirurgicale par résection apicale, ou **apicectomie** a pour objectif d'atteindre la ou les racines concernées par voie rétrograde. Elle facilite l'accès aux instruments nécessaires au curetage de la lésion, à la résection de la racine, sa préparation apicale, et son obturation [102].

4.3.1.1 Indications et contre-indications (C-I)

Celles-ci sont résumées dans les encadrés suivants (Tableaux 4 et 5) [102].

Tableau 4 : Contres-indications (C-I) du traitement endodontique chirurgical rétrograde [102].

<p>C-I générales strictes :</p> <ul style="list-style-type: none">- hypertension artérielle non traitée,- infarctus du myocarde,- insuffisance cardiaque,- risque d'endocardite infectieuse,- perturbation de la numération formule sanguine (anémie, désordre leucocytaire, leucémie, trouble de la coagulation...),- risques d'ostéonécrose.	<p>C-I générales relatives :</p> <ul style="list-style-type: none">- patients sous antiagrégants plaquettaires,- patients sous antivitamines K.
	<p>C-I locales :</p> <ul style="list-style-type: none">- facteurs anatomiques liés à la mandibule (nerf alvéolaire inférieur, épaisseur des corticales, artère linguale),- facteurs anatomiques liés au maxillaire (position des racines palatines, sinus maxillaires, artère grande palatine),- pathologie parodontale (mauvaise hygiène bucco-dentaire, poche parodontale, qualité et hauteur de gencive attachée),- incidence dentaire (restauration prothétique inadéquate, rapport couronne/racine défavorable).

Tableau 5 : Indications du traitement endodontique chirurgical rétrograde [102].

Indications :
- persistance d'une lésion et/ou de douleurs après traitement initial ou retraitement par voie orthograde,
- fenestration de la corticale au niveau des apex,
- anatomie canalaire complexe (canal en C, canal très courbe, minéralisation, résorptions, canaux accessoires...),
- antécédent d'acte iatrogène (fracture instrumentale, dépassement de matériau, sous-obturation, butée, perforation...).

4.3.1.2 Protocole opératoire [40,102,108]

Le protocole suivant est une synthèse généraliste, qui est à adapter en fonction de la situation clinique.

Toute chirurgie endodontique doit être précédée d'un **temps décisionnel**, à travers une consultation préopératoire. Les éléments issus du questionnaire médical ainsi que l'examen clinique et les examens complémentaires (radiographies rétro-alvéolaires et cone-beam) vont amener le praticien à poser ou non l'indication de l'acte.

La première étape de l'intervention est l'**anesthésie**, qui doit être adaptée en fonction de la zone anatomique. L'opérateur initie par la suite le temps muqueux à travers l'incision – dont le type sera choisi en fonction de la situation clinique – et le décollement du lambeau.

Le praticien passe ensuite au **temps osseux**. Afin d'accéder à la zone apicale, il aménage une fenestration de la corticale osseuse, si celle-ci n'existe pas déjà.

Le **curetage** de la lésion marque le début du temps radiculaire. La lésion est éliminée en une seule fois si possible, et un curetage minutieux est réalisé.

L'opérateur effectue ensuite la **résection** proprement dite de l'apex. La majorité des canaux accessoires étant situés dans la zone apicale, il est recommandé de faire une **résection** d'approximativement **3mm**. Le canal est préparé *a retro*, idéalement à l'aide d'inserts à ultrasons diamantés. Après hémostase et assèchement de la zone opératoire, le praticien procède à l'**obturation** de la cavité *a retro* par un matériau **biocompatible**.

Le temps radiculaire alors terminé, le praticien réalise les **sutures** qui constituent le second temps muqueux, pour sécuriser la zone opératoire. Elles peuvent être associées si besoin à une **régénération tissulaire guidée**.

Après l'intervention, le patient reçoit une **ordonnance et des conseils post-opératoires**. Ceux-ci permettent de contrer et minimiser les suites post-opératoires, ainsi que de favoriser la cicatrisation et la pérennisation du site.

4.3.1.3 Cas clinique d'une apicectomie sur une incisive latérale maxillaire droite présentant un échec du traitement initial causé par un canal accessoire, par Ricucci et coll. [86]

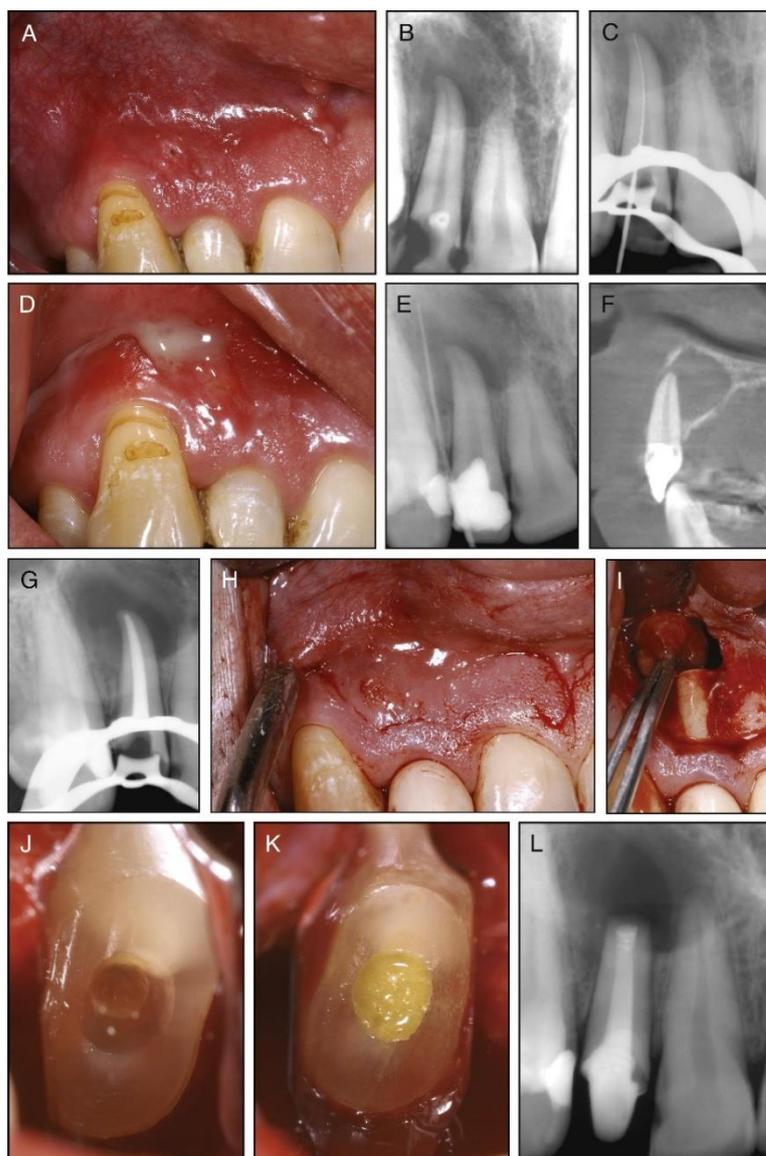


Figure 40 : Photographies endobuccales (A,D,H,I,J,K), radiographies rétro-alvéolaires (B,C,E,G,L) et CBCT (F) pré-, per-, et post-opératoire centrés sur la 12 [86] :

- (A) : état initial, fistule entre 12 et 13,
- (B) : la radiographie rétro-alvéolaire montre une large lésion apicale au niveau de la 12,
- (C) : radiographie lime en place déterminant la longueur de travail,
- (D) : après 2 sessions d'instrumentation canalaire et de temporisation à l'hydroxyde de calcium, du pus s'écoule toujours de la fistule,
- (E) : après 5 sessions d'instrumentation canalaire et 106 jours de temporisation à l'hydroxyde de calcium, la fistule est toujours présente. Un cone de gutta a été placé dans la fistule avant la prise de la radiographie,
- (F) : examen CBCT réalisé avant la chirurgie : perte d'os importante en vue sagittale,
- (G) : radiographie post-opératoire du traitement orthograde alors réalisé dans un premier temps,
- (H) : initiation du traitement rétrograde chirurgical : incision préservant le parodonte marginal,
- (I) : énucléation et élimination de la lésion après résection de la partie apicale de la racine. Absence d'os cortical en vestibulaire de la 12,
- (J et K) : préparation rétrograde de la cavité par des inserts à ultrasons diamantés, et obturation par du MTA (Mineral Trioxyde Agregate),
- (L) : radiographie post-opératoire.

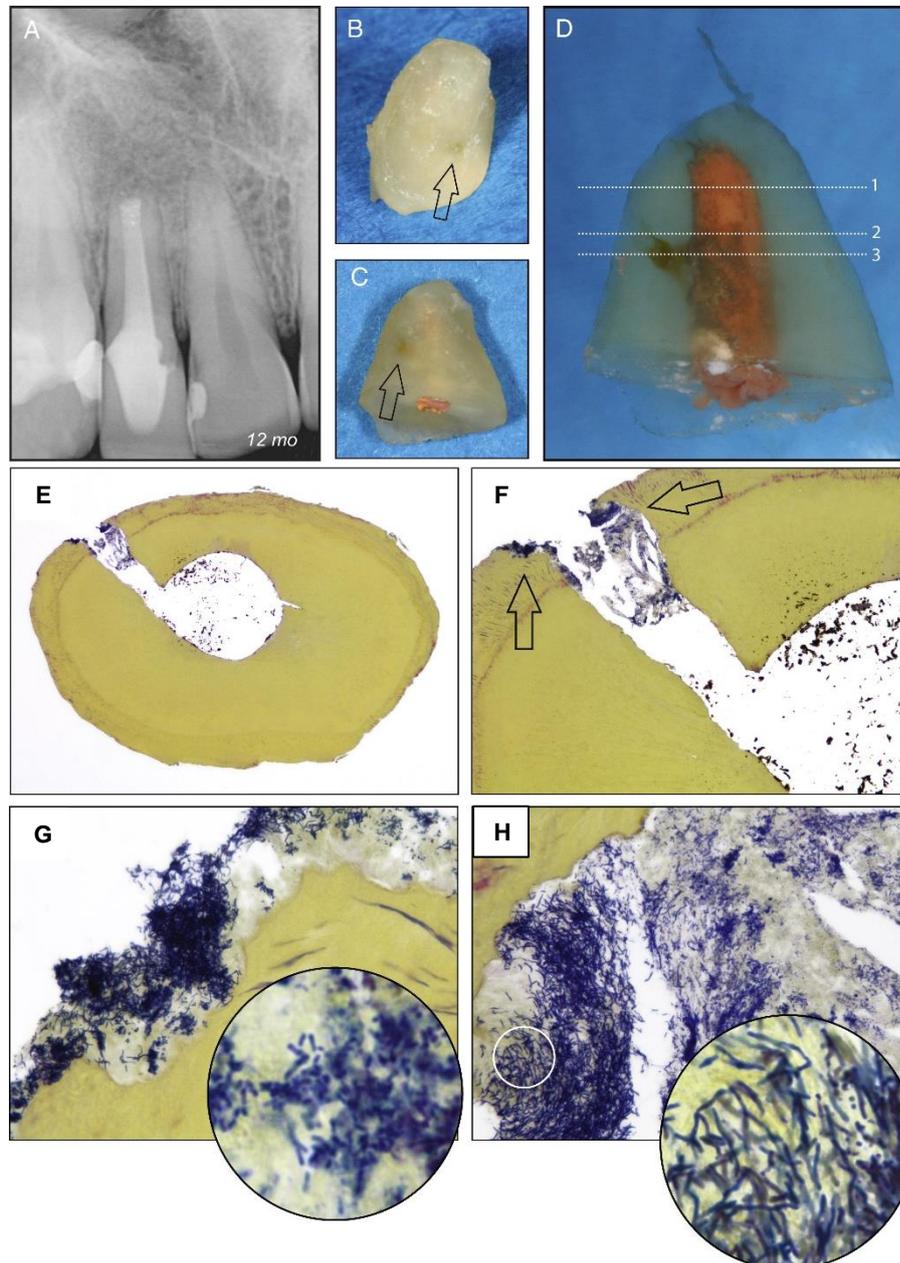


Figure 41 : Suite du cas présenté à la figure précédente : (A) radiographie rétro-alvéolaire de contrôle à 1 an centrée sur 12 ; (B et C) photographies de l'apex après résection ; (D) photographie de l'apex après diaphanisation ; (E-H) photomicrographies au microscope optique après coloration à l'hématoxyline et éosine de sections transversales passant par la ligne 3 au niveau de (D) [86] :

- (A) :** 12 mois après l'intervention, la lésion périapicale a complètement guéri,
- (B et C) :** les flèches indiquent l'orifice de sortie d'un possible canal accessoire,
- (D) :** après diaphanisation, le canal accessoire apparaît avec évidence,
- (E) :** le canal principal est bien préparé, et exempt de bactéries. La section passe par le canal accessoire (grossissement x16),
- (F) :** détails du canal accessoire. En partant du canal principal, la première moitié du canal est exempt de bactéries, tandis qu'un biofilm bactérien dense est présent dans la seconde moitié (grossissement x100),
- (G) :** grossissement x400 de la zone indiquée par la flèche de gauche sur **(F)**. Du biofilm bactérien se situe déjà au-delà de la limite du canal accessoire, s'étendant au niveau de la face externe de la racine, en regard de la précédente zone de résorption osseuse. L'encart montre un grossissement x1000 de la population bactérienne, composée alors de bacilles et cocci,
- (H) :** grossissement x400 de la zone indiquée par la flèche de droite sur **(F)**. Un entrelacement de bactéries filamenteuses en quantités abondantes est visible au niveau de cette zone. L'encart est un grossissement x1000 de la zone indiquée.

4.3.2 Gestion d'un canal accessoire isolé par abord chirurgical

4.3.2.1 Description et protocole (125–127)

Une autre manière de gérer un canal accessoire associé à une lésion par voie chirurgicale a été documentée [45,46,54]. Elle consiste à préparer et obturer le canal accessoire par voie rétrograde.

L'avantage principal de cette méthode par rapport à la technique par résection apicale est la **conservation tissulaire**. N'étant pas conditionnée par une résection de la portion radiculaire symptomatique, elle n'entraîne pas de perte de substance majeure de la racine. De plus, elle permet de traiter des lésions latérales associées à un **canal accessoire ne se trouvant pas au niveau de l'apex**, qui n'aurait pas pu être résolues par simple résection de la portion apicale.

Cependant, l'indication d'une telle technique est plus restreinte. Tout comme la méthode par résection, la **difficulté d'accès** est une problématique majeure. Ces interventions sont ainsi complexes, d'autant plus qu'il est nécessaire d'avoir un accès direct au canal concerné. Il est donc primordial de **connaitre son orientation**, qui déterminera le déroulé et la faisabilité de l'intervention.

Un autre inconvénient de cette méthode est que son indication est strictement établie à la suite du **diagnostic** du canal accessoire causal. Comme vu précédemment, la détection d'un canal accessoire *in vivo* est complexe. Elle est conditionnée par la vigilance et l'expérience du praticien. Dans un premier temps, il doit être en mesure d'établir l'hypothèse qu'un canal accessoire est à l'origine d'une lésion latérale ou apicale persistante, pour être capable, dans un second temps, de le repérer sur un examen radiographique 3D.

Le protocole est sensiblement similaire à celui de l'apicectomie. La différence se fait principalement lors du temps radiculaire. Après incision et fenestration permettant l'accès à la racine et la visualisation du canal, l'opérateur instrumente ce dernier à l'aide de fraises de petit diamètre, ou inserts à ultrasons diamantés, sous irrigation. Il vient enfin l'obturer hermétiquement par un matériau biocompatible.

4.3.2.2 Cas clinique de gestion d'un canal accessoire associé à une lésion latérale par accès chirurgical sur une incisive centrale, par Hirata-Tsuchiya et coll. [45]

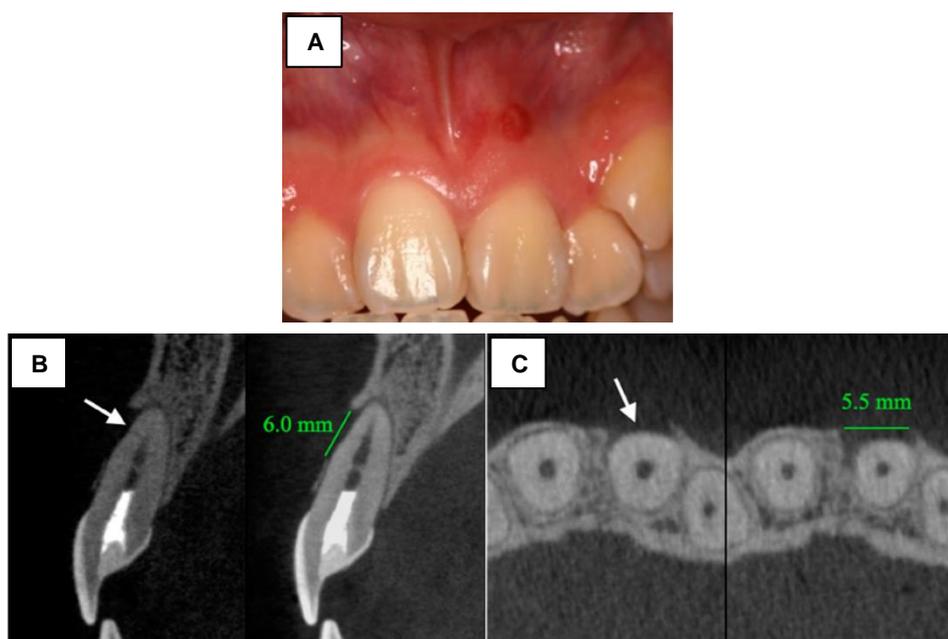


Figure 42 : photographie endobuccale centrée sur le bloc incisif maxillaire (A), et images CBCT centrées sur la 21 en vue sagittale (B) et horizontale (C), présentant l'état initial du cas clinique [45] :

(A) : présence d'une fistule en vestibulaire de 21,

(B et C) : l'orifice du canal accessoire est désigné par la flèche. Sont indiquées les mesures du défaut osseux associé à la lésion.

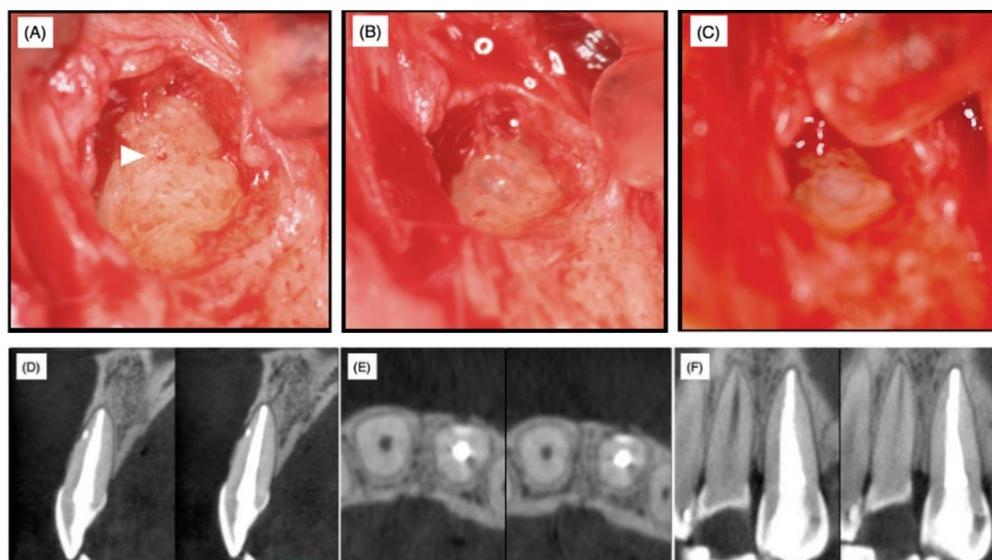


Figure 43 : Photographies per-opératoires centrées sur la zone de l'intervention au niveau de 21 (A-C), et images CBCT de contrôle à 1 an [45] :

(A) : zone d'intérêt après élimination du tissu de granulation. La flèche indique l'orifice du canal,

(B) : préparation du foramen accessoire,

(C) : obturation du canal accessoire préparé. Le praticien a opté pour une obturation à la résine composite pour palier au manque de rétention de la cavité. La résine utilisée ici contient des composants pour augmenter sa biocompatibilité par rapport aux résines composites classiques,

(D-F) : rémission avec un gain osseux par rapport à l'état initial à la figure précédente. L'utilisation de résine composite a tout de même freiné la régénération osseuse complète.

Conclusion

Les canaux accessoires sont des **variations anatomiques** du système canalaire que le praticien va devoir prendre en compte lors du traitement endodontique. Ils ont été abondamment étudiés et leur présence est assez fréquente contrairement aux idées reçues. Ces dernières se justifient par la **difficulté de détection** des canaux accessoires *in vivo*, et par leur présence qui n'est pas nécessairement associée à une pathologie.

Etant un moyen de communication physiologique entre la pulpe et le parodonte, les canaux accessoires véhiculent des microorganismes d'un milieu à l'autre. Ils peuvent ainsi être mis en cause dans l'apparition et/ou l'entretien d'une **lésion endo-parodontale**. Dans ces situations de maladie parodontale, l'implication des canaux accessoires pour induire et entretenir une perte d'attache parodontale est **possible**. À l'inverse, l'hypothèse de leur implication dans une affection pulpaire prenant son origine dans une pathologie parodontale est plus **discutée**.

Dans le cadre d'une **lésion d'origine endodontique pure**, ces ramifications peuvent aussi en être la cause principale ou secondaire. Les bactéries se développant au sein du canal principal nécrosé peuvent se propager ou répandre leurs toxines à travers ces canaux accessoires. En résulte l'apparition d'une **lésion apicale ou latérale** issue de la résorption inflammatoire du tissu osseux environnant.

L'obturation a longtemps été considérée comme une étape importante dans la prise en charge des canaux accessoires, *via* l'injection de matériau d'obturation dans ces derniers. Des observations plus récentes tendent à indiquer que l'obturation n'aurait finalement pas un si grand intérêt sur un plan purement biologique.

L'irrigation est quant à elle l'étape pouvant avoir le plus d'impact sur le nettoyage des canaux accessoires. L'utilisation d'une solution d'irrigation adaptée, couplée à une ou plusieurs **méthodes d'activation** efficaces (activation ultrasonique et laser par exemple), favorise la pénétration de l'irrigant dans les canaux accessoires.

Enfin, si la lésion persiste et si l'indication est posée, le praticien peut avoir recours à des **techniques chirurgicales**. Elles permettent, grâce à un abord rétrograde, soit d'**éliminer** par résection les derniers millimètres apicaux problématiques de la racine, soit de **préparer et d'obturer** le canal accessoire incriminé, après son indentification radiographique.

Références bibliographiques

1. Adorno CG, Yoshioka T, Suda H. Incidence of accessory canals in Japanese anterior maxillary teeth following root canal filling ex vivo. *Int Endod J.* 2010;43(5):370-6.
2. Ahmed HMA, Dummer PMH. A new system for classifying tooth, root and canal anomalies. *Int Endod J.* 2018;51(4):389-404.
3. Ahmed HMA, Neelakantan P, Dummer PMH. A new system for classifying accessory canal morphology. *Int Endod J.* 2018;51(2):164-76.
4. Ahmed HMA, Versiani MA, De-Deus G, Dummer PMH. A new system for classifying root and root canal morphology. *Int Endod J.* 2017;50(8):761-70.
5. Anagnostaki E, Mylona V, Parker S, Lynch E, Grootveld M. Systematic review on the role of lasers in endodontic therapy: valuable adjunct treatment? *Dent J.* 2020;8(3):63.
6. Arnold M, Ricucci D, Siqueira JF. Infection in a complex network of apical ramifications as the cause of persistent apical periodontitis: a case report. *J Endod.* 1 sept 2013;39(9):1179-84.
7. Arora S, Tewari S. The morphology of the apical foramen in posterior teeth in a north Indian population. *Int Endod J.* 2009;42(10):930-9.
8. Awawdeh L, Abu Fadaleh M, Al-Qudah A. Mandibular first premolar apical morphology: a stereomicroscopic study. *Aust Endod J J Aust Soc Endodontology Inc.* 2019;45(2):233-40.
9. Badami V, Akarapu S, Kethineni H, Mittapalli SP, Bala KR, Fatima SF. Efficacy of laser-activated irrigation versus ultrasonic-activated irrigation: a systematic review. *Cureus.* 2023;15(3):e36352.
10. Barthel CR, Zimmer S, Trope M. Relationship of radiologic and histologic signs of inflammation in human root-filled teeth. *J Endod.* 2004;30(2):75-9.
11. Bender IB, Seltzer S. The effect of periodontal disease on the pulp. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1972;33(3):458-74.
12. Berkovitz BKB, Holland GR, Moxham BJ. *Oral anatomy, histology and embryology* E-book. Fifth edition. Elsevier; 2017.
13. Boutsoukis C, Arias-Moliz MT. Present status and future directions - irrigants and irrigation methods. *Int Endod J.* 2022;55 Suppl 3:588-612.
14. Buchanan LS. The continuous wave of condensation technique: a convergence of conceptual and procedural advances in obturation. *Dent Today.* 1994;13(10).
15. Buchanan LS. Filling root canal systems with centered condensation: concepts, instruments, and techniques. *Dent Today.* 2004;23(11).
16. Bueno MR, Azevedo BC, Estrela CR de A, Sousa-Neto MD, Estrela C. Method to identify accessory root canals using a new CBCT software. *Braz Dent J.* 2021;32(6):28-35.
17. Camps J, Lambruschini GM. Obturation of lateral canals: necessary therapy or radiological satisfaction? *Rev Fr Endod.* 1991;10(2):19-26.

18. Carvalho-Sousa B, Almeida-Gomes F, Carvalho PRB, Maníglia-Ferreira C, Gurgel-Filho ED, Albuquerque DS. Filling lateral canals: evaluation of different filling techniques. *Eur J Dent.* 2010;4(3):251-6.
19. Cheung GSP, Yang J, Fan B. Morphometric study of the apical anatomy of c-shaped root canal systems in mandibular second molars. *Int Endod J.* 2007;40(4):239-46.
20. Chuppani Dastgerdi A, Navabi M, Rakhshan V. Isthmuses, accessory canals, and the direction of root curvature in permanent mandibular first molars: an in vivo computed tomography study. *Restor Dent Endod.* 2020;45(1):e7.
21. Dahlgren BE. The root canal problem, asepsis and sterilization. *J Natl Dent Assoc.* 1917;4(1):49-53.
22. Dammaschke T, Witt M, Ott K, Schäfer E. Scanning electron microscopic investigation of incidence, location, and size of accessory foramina in primary and permanent molars. *Quintessence Int.* 2004;35(9):699-705.
23. Daniel J. Chiego Jr. *Essentials of oral histology and embryology* E-book. Fifth edition. St. Louis, Missouri: Elsevier; 2018.
24. De Deus QD. Frequency, location, and direction of the lateral, secondary, and accessory canals. *J Endod.* 1975;1(11):361-6.
25. De Meyer S, Meire MA, Coenye T, De Moor RJG. Effect of laser-activated irrigation on biofilms in artificial root canals. *Int Endod J.* 2017;50(5):472-9.
26. DuLac KA, Nielsen CJ, Tomazic TJ, Ferrillo PJ, Hatton JF. Comparison of the obturation of lateral canals by six techniques. *J Endod.* 1999;25(5):376-80.
27. Dummer PMH, Wesselink PR, Wu MK. Consequences of and strategies to deal with residual post-treatment root canal infection. *Int Endod J.* 2006;39(5):343-56.
28. ElAyouti A, Hülber-J M, Judenhofer MS, Connert T, Mannheim JG, Löst C, et al. Apical constriction: location and dimensions in molars—a micro-computed tomography study. *J Endod.* 2014;40(8):1095-9.
29. Estrela C, Bueno MR, Couto GS, Rabelo LEG, Alencar AHG, Silva RG, et al. Study of root canal anatomy in human permanent teeth in a subpopulation of Brazil's center region using cone-beam computed tomography - Part 1. *Braz Dent J.* 2015;26(5):530-6.
30. Fidan ME, Erdemir A. Effect of different irrigation activation techniques on irrigation penetration into the simulated lateral canals. *Odontology.* 2023;111(1):132-41.
31. Fragachán M, Pons M, Barriuso E, Frigola J, Ballester ML, Berástegui E. Micro-computed tomography assessment of different obturation techniques for filling lateral canals. *J Clin Exp Dent.* 2018;10(7):e702-8.
32. Gao X, Tay FR, Gutmann JL, Fan W, Xu T, Fan B. Micro-CT evaluation of apical delta morphologies in human teeth. *Sci Rep.* 2016;6:36501.
33. Gautam S, Galgali SR, Sheethal HS, Priya NS. Pulpal changes associated with advanced periodontal disease: a histopathological study. *J Oral Maxillofac Pathol.* 2017;21(1):58-63.
34. Graunaite I, Lodiene G, Maciulskiene V. Pathogenesis of apical periodontitis: a literature review. *J Oral Maxillofac Res.* 2012;2(4):e1.

35. Green D. A stereo-binocular microscopic study of the root apices and surrounding areas of 100 mandibular molars; preliminary study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1955;8(12):1298-304.
36. Green D. Stereomicroscopic study of 700 root apices of maxillary and mandibular posterior teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1960;13(6):728-33.
37. de Gregorio C, Estevez R, Cisneros R, Paranjpe A, Cohenca N. Efficacy of different irrigation and activation systems on the penetration of sodium hypochlorite into simulated lateral canals and up to working length: an in vitro study. *J Endod.* 2010;36(7):1216-21.
38. Grossman LI. *Endodontic practice.* 7th ed., thoroughly rev. Philadelphia: Lea & Febiger; 1970.
39. Gutmann JL, Lovdahl PE. *Problem solving in endodontics - prevention, identification and management.* Fifth Edition. Saint Louis: Mosby; 2011.
40. Hargreaves KM, Berman LH. *Cohen's pathways of the pulp expert consult.* Eleventh edition. St. Louis, Missouri: Mosby; 2016.
41. Harrington GW, Steiner DR, Ammons Jr WF. The periodontal–endodontic controversy. *Periodontol 2000.* 2002;30(1):123-30.
42. Haznedaroğlu F, Ersev H, Odabaşı H, Yetkin G, Batur B, Aşçı S, et al. Incidence of patent furcal accessory canals in permanent molars of a Turkish population. *Int Endod J.* 2003;36(8):515-9.
43. Heboyan A, Avetisyan A, Karobari MI, Marya A, Khurshid Z, Rokaya D, et al. Tooth root resorption: a review. *Sci Prog.* 2022;105(3):1-29.
44. Hiatt WH. Pulpal periodontal disease. *J Periodontol.* 1977;48(9):598-609.
45. Hirata-Tsuchiya S, Suzuki S, Nakamoto T, Kakimoto N, Yamada S, Shiba H. Surgical sealing of laterally localized accessory root canal with resin containing S-PRG filler in combination with non-surgical endodontic treatment: a case report. *Dent J.* 2020;8(4):E131.
46. Jang JH, Lee JM, Yi JK, Choi SB, Park SH. Surgical endodontic management of infected lateral canals of maxillary incisors. *Restor Dent Endod.* 2015;40(1):79-84.
47. Jansson LE, Ehnevid H. The influence of endodontic infection on periodontal status in mandibular molars. *J Periodontol.* 1998;69(12):1392-6.
48. Ji Y, Wen S, Liu S, Zhu M, Yao M, Wang T, et al. Could cone-beam computed tomography demonstrate the lateral accessory canals? *BMC Oral Health.* 2017;17(1):142.
49. Johnston HB. Pulp canal filling and ionization results. *J Am Dent Assoc* 1922. 1922;9(8):649-54.
50. Johnston HB, Orban B. Interradicular pathology as related to accessory root canals. *J Endodontia.* 1948;3(3):21-5.
51. Karamifar K, Tondari A, Saghiri MA. Endodontic periapical lesion: an overview on the etiology, diagnosis and current treatment modalities. *Eur Endod J.* 2020;5(2):54-67.
52. Kasahara E, Yasuda E, Yamamoto A, Anzai M. Root canal system of the maxillary central incisor. *J Endod.* 1990;16(4):158-61.

53. Kerekes K, Olsen I. Similarities in the microfloras of root canals and deep periodontal pockets. *Endod Dent Traumatol.* 1990;6(1):1-5.
54. Kim HJ, Yu MK, Lee KW, Min KS. Surgical management of an accessory canal in a maxillary premolar: a case report. *Restor Dent Endod.* 2019;44(3):e30.
55. Kirkham DB. The location and incidence of accessory pulpal canals in periodontal pockets. *J Am Dent Assoc.* 1975;91(2):353-6.
56. Ko SY, Choi HW, Jeong ED, Rosa V, Hwang YC, Yu MK, et al. Main and accessory canal filling quality of a premixed calcium silicate endodontic sealer according to different obturation techniques. *Mater Basel Switz.* 2020;13(19):E4389.
57. Koenigs JF, Brilliant JD, Foreman DW. Preliminary scanning electron microscope investigations of accessory foramina in the furcation areas of human molar teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1974;38(5):773-82.
58. Kumar RS, Ankola AV, Sankeshwari RM, Hebbal M, Hampiholi V, Kumar S L, et al. Effectiveness of various irrigant activation techniques on the penetration of sodium hypochlorite into lateral canals of mature permanent teeth: a systematic review and meta-analysis. *Saudi Dent J.* 2023;35(1):1-23.
59. Langeland K, Rodrigues H, Dowden W. Periodontal disease, bacteria, and pulpal histopathology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1974;37(2):257-70.
60. Lasfargues JJ, Colon P, Vanherle G, Lambrechts P. *Odontologie conservatrice et restauratrice. Tome 1. Une approche médicale globale.* Rueil-Malmaison: Editions CdP; 2009.
61. Leoni GB, Versiani MA, Pécora JD, Damião de Sousa-Neto M. Micro-computed tomographic analysis of the root canal morphology of mandibular incisors. *J Endod.* 2014;40(5):710-6.
62. Marroquín BB, El-Sayed MAA, Willershausen-Zönnchen B. Morphology of the physiological foramen: I. Maxillary and mandibular molars. *J Endod.* 2004;30(5):321-8.
63. Mazur B, Massler M. Influence of periodontal disease on the dental pulp. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1964;17(5):592-603.
64. McCabe PS, Dummer PMH. Pulp canal obliteration: an endodontic diagnosis and treatment challenge. *Int Endod J.* 2012;45(2):177-97.
65. Miyashita M, Kasahara E, Yasuda E, Yamamoto A, Sekizawa T. Root canal system of the mandibular incisor. *J Endod.* 1997;23(8):479-84.
66. Morfis A, Sylaras SN, Georgopoulou M, Kernani M, Prountzos F. Study of the apices of human permanent teeth with the use of a scanning electron microscope. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1994;77(2):172-6.
67. Nair PNR. Pathogenesis of apical periodontitis and the causes of endodontic failures. *Crit Rev Oral Biol Med.* 2004;15(6):348-81.
68. Nair PNR. On the causes of persistent apical periodontitis: a review. *Int Endod J.* 2006;39(4):249-81.

69. Nair PNR, Henry S, Cano V, Vera J. Microbial status of apical root canal system of human mandibular first molars with primary apical periodontitis after « one-visit » endodontic treatment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2005;99(2):231-52.
70. Nascimento EHL, Abrahão Elias MR, Vasconcelos VHF, Haiter-Neto F, Mendonça EF, Sousa TO. Ex vivo detection of apical delta in premolars: a comparative study using periapical radiography, cone-beam computed tomography, and micro-computed tomography. *J Endod.* 2019;45(5):549-53.
71. Nelson SJ, Ash MM. Wheeler's dental anatomy, physiology, and occlusion. 9th ed. St. Louis, Mo: Saunders/Elsevier; 2010.
72. Nicholls E. Lateral radicular disease due to lateral branching of the root canal. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1963;16(7):839-45.
73. Niemann RW, Dickinson GL, Jackson CR, Wearden S, Skidmore AE. Dye ingress in molars: furcation to chamber floor. *J Endod.* 1993;19(6):293-6.
74. Ørstavik D. Endodontic treatment of apical periodontitis. In: *Essential endodontology.* John Wiley & Sons, Ltd; 2019.
75. Palatyńska-Ulatowska A, Fernandes MC, Pietrzycka K, Koprowicz A, Klimek L, Souza RA, et al. The pulp stones: morphological analysis in scanning electron microscopy and spectroscopic chemical quantification. *Med Kaunas Lith.* 2021;58(1):5.
76. Parahitiyawa NB, Chu FCS, Leung WK, Yam WC, Jin LJ, Samaranayake LP. Clonality of bacterial consortia in root canals and subjacent gingival crevices. *J Investig Clin Dent.* févr 2015;6(1):32-9.
77. Paras LG, Rapp R, Piesco NP, Zeichner SJ, Zullo TG. An investigation of accessory canals in furcation areas of human primary molars: Part 2. Latex perfusion studies of the internal and external furcation areas to demonstrate accessory canals. *J Clin Pediatr Dent.* 1993;17(2):71-7.
78. Patel S, Bhuvu B, Bose R. Present status and future directions: vertical root fractures in root filled teeth. *Int Endod J.* 2022;55(Suppl 3):804-26.
79. Patel S, Durack C, Abella F, Shemesh H, Roig M, Lemberg K. Cone beam computed tomography in Endodontics – a review. *Int Endod J.* 2015;48(1):3-15.
80. Peiris HRD, Pitakotuwege TN, Takahashi M, Sasaki K, Kanazawa E. Root canal morphology of mandibular permanent molars at different ages. *Int Endod J.* 2008;41(10):828-35.
81. Peiris R, Takahashi M, Sasaki K, Kanazawa E. Root and canal morphology of permanent mandibular molars in a Sri Lankan population. *Odontology.* 07;95(1):16-23.
82. Pineda F, Kuttler Y. Mesiodistal and buccolingual roentgenographic investigation of 7,275 root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1972;33(1):101-10.
83. Rankine-Wilson RW, Henry P. The bifurcated root canal in lower anterior teeth. *J Am Dent Assoc.* 1965;70(5):1162-5.
84. Reader CM, Himel VT, Germain LP, Hoen MM. Effect of three obturation techniques on the filling of lateral canals and the main canal. *J Endod.* 1993;19(8):404-8.

85. Rhodes JS, Ford TR, Lynch JA, Liepins PJ, Curtis RV. Micro-computed tomography: a new tool for experimental endodontology. *Int Endod J.* 1999;32(3):165-70.
86. Ricucci D, Loghin S, Siqueira JF. Exuberant biofilm infection in a lateral canal as the cause of short-term endodontic treatment failure: report of a case. *J Endod.* 2013;39(5):712-8.
87. Ricucci D, Siqueira JF. Anatomic and microbiologic challenges to achieving success with endodontic treatment: a case report. *J Endod.* 2008;34(10):1249-54.
88. Ricucci D, Siqueira JF. Apical actinomycosis as a continuum of intraradicular and extraradicular infection: case report and critical review on its involvement with treatment failure. *J Endod.* 2008;34(9):1124-9.
89. Ricucci D, Siqueira JF. Fate of the tissue in lateral canals and apical ramifications in response to pathologic conditions and treatment procedures. *J Endod.* 2010;36(1):1-15.
90. Ricucci D, Siqueira JF. Biofilms and apical periodontitis: study of prevalence and association with clinical and histopathologic findings. *J Endod.* 2010;36(8):1277-88.
91. Ricucci D, Siqueira JF, Bate AL, Pitt Ford TR. Histologic investigation of root canal-treated teeth with apical periodontitis: a retrospective study from twenty-four patients. *J Endod.* 2009;35(4):493-502.
92. Ricucci D, Siqueira JF, Rôças IN. Pulp response to periodontal disease: novel observations help clarify the processes of tissue breakdown and infection. *J Endod.* 2021;47(5):740-54.
93. Rotstein I, Simon JHS. Diagnosis, prognosis and decision-making in the treatment of combined periodontal-endodontic lesions. *Periodontol 2000.* 2004;34(1):165-203.
94. Rud J, Andreasen JO. A study of failures after endodontic surgery by radiographic, histologic and stereomicroscopic methods. *Int J Oral Surg.* 1972;1(6):311-28.
95. Rwenyonyi CM, Kutesa AM, Muwazi LM, Buwembo W. Root and canal morphology of maxillary first and second permanent molar teeth in a ugandan population. *Int Endod J.* 2007;40(9):679-83.
96. Schilder H. Filling root canals in three dimensions. *Dent Clin North Am.* 1967;11(3):723-44.
97. Schilder H. Cleaning and shaping the root canal. *Dent Clin North Am.* 1974;18(2):269-96.
98. Seltzer S, Bender IB, Ziontz M. The interrelationship of pulp and periodontal disease. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1963;16(12):1474-90.
99. Shambarger S, Johnson D, Versulius-Tantbirojin D, Bowles WR, McClanahan SB. The incidence of furcation region patency in molars before and after simulated periodontal therapy. *Northwest Dent.* 2015;94(2):27-32.
100. Siew KL, Goh V, Goo CL, Leung EFC and WK. The periodontal-endodontic relationship, what do we know ? *Periodontology and Dental Implantology.* IntechOpen; 2018.
101. Simon JH, Glick DH, Frank AL. The relationship of endodontic-periodontic lesions. *J Periodontol.* 1972;43(4):202-8.
102. Simon S, Machtou P, Pertot WJ, Friedman S. *Endodontie.* Rueil-Malmaison: Editions CdP; 2012.

103. Siqueira JF, Rôças IN, Ricucci D, Hülsmann M. Causes and management of post-treatment apical periodontitis. *Br Dent J.* 2014;216(6):305-12.
104. Sousa TO, Hassan B, Mirmohammadi H, Shemesh H, Haiter-Neto F. Feasibility of cone-beam computed tomography in detecting lateral canals before and after root canal treatment: an ex vivo study. *J Endod.* 2017;43(6):1014-7.
105. Spoorthy E, Velmurugan N, Ballal S, Nandini S. Comparison of irrigant penetration up to working length and into simulated lateral canals using various irrigating techniques. *Int Endod J.* 2013;46(9):815-22.
106. Sundqvist G. Bacteriological studies of necrotic dental pulps. Umeå University; 1976.
107. Teja KV, Ramesh S. Is a filled lateral canal – A sign of superiority? *J Dent Sci.* 2020;15(4):562-3.
108. Torabinejad M, Walton RE, Fouad AF, Lévy G. *Endodontie: principes et pratique.* Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson; 2016.
109. Venturi M. An ex vivo evaluation of a gutta-percha filling technique when used with two endodontic sealers: analysis of the filling of main and lateral canals. *J Endod.* 2008;34(9):1105-10.
110. Venturi M, Di Lenarda R, Prati C, Breschi L. An in vitro model to investigate filling of lateral canals. *J Endod.* 2005;31(12):877-81.
111. Vertucci FJ. Root canal anatomy of the human permanent teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1984;58(5):589-99.
112. Vertucci FJ, Anthony RL. A scanning electron microscopic investigation of accessory foramina in the furcation and pulp chamber floor of molar teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1986;62(3):319-26.
113. Vertucci FJ, Williams RG. Furcation canals in the human mandibular first molar. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1974;38(2):308-14.
114. Wada M, Takase T, Nakanuma K, Arisue K, Nagahama F, Yamazaki M. Clinical study of refractory apical periodontitis treated by apicectomy. Part 1. Root canal morphology of resected apex. *Int Endod J.* 1998;31(1):53-6.
115. Weine FS. *Endodontic therapy.* St. Louis : Mosby; 1982.
116. Weine FS. The enigma of the lateral canal. *Dent Clin North Am.* 1984;28(4):833-52.
117. Weine FS, Buchanan LS. Controversies in clinical endodontics: part 1. the significance and filling of lateral canals. *Compend Contin Educ Dent.* 1996;17(11):1028-32, 1035-6, 1038.
118. Weine FS, Healey HJ, Gerstein H, Evanson L. Canal configuration in the mesiobuccal root of the maxillary first molar and its endodontic significance. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1969;28(3):419-25.
119. Wolcott J, Himel VT, Powell W, Penney J. Effect of two obturation techniques on the filling of lateral canals and the main canal. *J Endod.* 1997;23(10):632-5.
120. Wolf TG, Wentaschek S, Wierichs RJ, Briseño-Marroquín B. Interradicular root canals in mandibular first molars: a literature review and ex vivo study. *J Endod.* 2019;45(2):129-35.

121. Xu T, Gao X, Fan W, Fan B. Micro-computed tomography evaluation of the prevalence and morphological features of apical bifurcations. *J Dent Sci.* 2020;15(1):22-7.
122. Xu T, Tay FR, Gutmann JL, Fan B, Fan W, Huang Z, et al. Micro-computed tomography assessment of apical accessory canal morphologies. *J Endod.* 2016;42(5):798-802.
123. Yoshida H, Yakushiji M, Sugihara A, Tanaka K, Taguchi M. Accessory canals at floor of the pulp chamber of primary molars. *Shika Gakuho Dent Sci Rep.* 1975;75(3):580-5.
124. Yoshiuchi Y, Takahashi K, Yokochi C. Studies on the anatomical forms of the pulp cavities with new method of vacuum injection (II) Accessory canal and apical ramification. *Jpn J Oral Biol.* 1972;14(2):156-85.
125. Zehnder M, Gold SI, Hasselgren G. Pathologic interactions in pulpal and periodontal tissues. *J Clin Periodontol.* 2002;29(8):663-71.

Table des figures

Figure 1 : Schéma d'une canine maxillaire en coupe sagittale [71].	16
Figure 2 : Représentation de la classification de Vertucci de 1974 [113] pour la morphologie des canaux radiculaires [40] :	18
Figure 3 : (A) schéma représentant la morphologie de l'apex [40], (B) vue clinique du foramen apical [39], (C) vue histologique de la constriction (flèche noire) et du foramen apical [39].	18
Figure 4 : Représentation de la formation de dentine réparatrice ou réactionnelle en fonction du type d'agression [40].	19
Figure 5 : Schéma représentant le début de la formation d'émail et de dentine [23] :	22
Figure 6 : Coupe histologique de la région apicale de la racine lors de son édification (technique de coloration à l'hématoxyline et l'éosine, grossissement x80) [12] :	24
Figure 7 : Schéma représentant l'édification radiculaire [23] :	24
Figure 8 : Représentation de la ramification canalaire selon De Deus [24] :	26
Figure 9 : Illustration différents types de ramifications accessoires selon Cheung [19] :	27
Figure 10 : Division longitudinale de la racine en dixièmes (A) selon la classification de Yoshiuchi et coll. de 1972 [124], et en sixièmes (B) selon les modifications de Kasahara et coll. [52].	30
Figure 11 : Division de la racine en cadran d'horloge en coupe transversale selon la technique de classification de Yoshiuchi et coll. de 1972 [124] :	31
Figure 12 : Formule générale utilisée pour décrire la configuration des canaux accessoires d'une dent monoradiculée selon la classification de Ahmed et coll. [3].	31
Figure 13 : Formule générale utilisée pour décrire la configuration des canaux accessoires d'une dent pluriradiculée selon la classification de Ahmed et coll. [3].	32
Figure 14 : Illustration de l'utilisation de la codification aO-C-aF selon la classification de Ahmed et coll. [3] :	32
Figure 15 : Représentations schématiques de la codification générale pour une dent monoradiculée (en haut), et une dent pluriradiculée (en bas) selon la classification de Ahmed et coll. [3].	33
Figure 16 : Exemples de l'utilisation de la classification de Ahmed et coll., dans le cas où des canaux accessoires se trouvent dans un seul des tiers de la racine concernée [3] :	34
Figure 17 : Exemples de l'utilisation de la classification de Ahmed et coll., dans le cas où des canaux accessoires se trouvent dans un à deux des tiers de la racine concernée [3] :	34
Figure 18 : Exemples de l'utilisation de la classification de Ahmed et coll., dans le cas où des canaux accessoires se trouvent dans les trois tiers de la racine concernée [3] :	35
Figure 19 : Photographies de dents rendues transparentes par diaphanisation, dont le réseau canalaire a été teint à l'encre de chine, laissant apparaître des canaux accessoires [24].	37
Figure 20 : Photographies de dents visualisées sous stéréomicroscope (x 40), centrées au niveau de l'apex, exposant 1 (a), 2 (b), 3 (c), ou 4 (d) foramina apicaux [8].	39
Figure 21 : Photomicrographies au microscope électronique à balayage du plancher pulpaire d'une première molaire mandibulaire [112] :	40
Figure 22 : Photomicrographie au microscope optique centrée sur l'apex d'une première molaire maxillaire, obtenue par résection apicale, par Ricucci et coll. Grossissement x25 [91] :	41
Figure 23 : Reconstitution en 3 dimensions par micro-tomodensitométrie assistée par ordinateur du segment apical de dents présentant des deltas apicaux [122].	42
Figure 24 : Diagramme à barres indiquant la répartition du diamètre des canaux accessoires en fonction du type de dent selon l'étude de Xu et coll. [122].	44
Figure 25 : diagramme à barre indiquant la répartition de la longueur des canaux accessoires en fonction du type de dent selon l'étude de Xu et coll. [122].	45
Figure 26 : diagramme à barre indiquant la répartition de la tortuosité des canaux accessoires en fonction du type de dent selon l'étude de Xu et coll. [122].	46
Figure 27 : Représentation de la classification des lésions endo-parodontales selon Simon et coll. [101] :	52
Figure 28 : Radiographies rétro-alvéolaires pré- (A), post- (B) opératoire, et de contrôle à 9 mois (C), centrées sur une première molaire mandibulaire gauche atteinte d'une lésion inter-	

radiculaire ayant pour étiologie supposée un canal accessoire dans la zone de la furcation [101] :	54
Figure 29 : Photomicrographie d'une coupe histologique de la racine d'une première molaire mandibulaire, au microscope optique, par Seltzer et coll. en 1963. Grossissement x92 [98] : .	54
Figure 30 : Apex d'une incisive maxillaire obtenu par apicectomie, et rendu transparent par diaphanisation, par Wada et coll. [114] :	59
Figure 31 : Photomicrographies d'une coupe transversale de la racine distale d'une molaire non- instrumentée et non-obturée, présentant une parodontite apicale. (A-C : microscope optique, D-F : microscope électronique à transmission) [69] :	60
Figure 32 : Cas clinique d'une molaire maxillaire symptomatique, traitée par résection apicale suite à l'échec du retraitement endodontique (A-C : radiographies rétro-alvéolaires centrées sur la dent 26 ; D-G : photomicrographies au microscope optique de sections de la portion apicale de la racine mésio-vestibulaire réséquée, après coloration par la technique de Brown & Brenn modifiée par Taylor), par Ricucci et coll. [91] :	62
Figure 33 : Racine d'une molaire maxillaire après extraction. (A) : photographie après diaphanisation de la racine ; (B-D) : photomicrographies de coupes de la racine après préparation histologique et coloration par la technique de Brown & Brenn modifiée par Taylor, par Ricucci et coll. [89] :	63
Figure 34 : Radiographies rétro-alvéolaires centrées sur la 35 (A) pré-opératoire, (B) post- opératoire [documents personnels] :	65
Figure 35 : Radiographie rétro-alvéolaire post-opératoire centrée sur la 46 [document personnel] :	65
Figure 36 : Identification d'un canal accessoire au niveau de la face distale d'une première prémolaire mandibulaire à l'aide du CBCT, avec la technique de Bueno et coll. [16] :	66
Figure 37 : Identification d'un canal accessoire au niveau de la face vestibulaire d'une incisive centrale maxillaire à l'aide du CBCT et du logiciel e-Vol DX, avec la technique de Bueno et coll. [16] :	68
Figure 38 : Evaluation par différents moyens de la capacité des techniques d'obturation à combler des canaux accessoires artificiels :	73
Figure 39 : Première prémolaire mandibulaire ayant subi un traitement endodontique. (A et B) radiographies rétro-alvéolaires centrées sur la dent 34 ; (C-E) photomicrographies de coupes histologiques visualisées au microscope optique après coloration à l'hématoxyline et éosine, passant par un canal accessoire [89] :	75
Figure 40 : Photographies endobuccales (A,D,H,I,J,K), radiographies rétro-alvéolaires (B,C,E,G,L) et CBCT (F) pré-, per-, et post-opératoire centrés sur la 12 [86] :	82
Figure 41 : Suite du cas présenté à la figure précédente : (A) radiographie rétro-alvéolaire de contrôle à 1 an centrée sur 12 ; (B et C) photographies de l'apex après résection ; (D) photographie de l'apex après diaphanisation ; (E-H) photomicrographies au microscope optique après coloration à l'hématoxyline et éosine de sections transversales passant par la ligne 3 au niveau de (D) [86] :	83
Figure 42 : photographie endobuccale centrée sur le bloc incisif maxillaire (A), et images CBCT centrées sur la 21 en vue sagittale (B) et horizontale (C), présentant l'état initial du cas clinique [45] :	85
Figure 43 : Photographies per-opératoires centrées sur la zone de l'intervention au niveau de 21 (A-C), et images CBCT de contrôle à 1 an [45] :	85

Table des tableaux

Tableau 1 : Exemples d'études proposant des statistiques sur la prévalence des canaux accessoires, en fonction de la méthode d'analyse et de la zone d'intérêt	49
Tableau 2 : Population et prévalence de dents présentant des canaux accessoires, provenant des études présentées au tableau 1.....	50
Tableau 3 : Propriétés que le ciment d'obturation (encadré gauche) et le matériau de base d'obturation (encadré droit) devraient avoir selon Grossman [38].	70
Tableau 4 : Contres-indications (C-I) du traitement endodontique chirurgical rétrograde [102].	80
Tableau 5 : Indications du traitement endodontique chirurgical rétrograde [102].	81

L'importance des canaux accessoires en endodontie.

Nicolas MARISSAL. - p. 97 : ill. 43 ; réf. 125.

Domaines : Endodontie

Mots clés FMeSH : Odontologie ; Endodontie ; Pulpectomie ; Apicectomie ; Traitement de canal radiculaire ; Obturation de canal radiculaire ; Obturation *a retro* ; Parodontite périapicale.

Mots clés Libres : Anatomie endodontique ; Canal accessoire ; Canal latéral ; Delta apical ; Irrigation canalaire.

Résumé de la thèse :

Les canaux accessoires sont des variations anatomiques du système canalaire que le praticien est amené à rencontrer lors des traitements endodontiques qu'il entreprend. Ce sont des ramifications d'un canal principal ou de la chambre pulpaire, communiquant avec la surface externe de la dent selon le glossaire de définitions de l'Association Américaine des Endodontistes.

Ayant été vastement décrits et étudiés à partir de la seconde moitié du XXe siècle, les canaux accessoires sont source de désaccords entre les auteurs sur certains points. En effet, des sujets comme leur capacité à transmettre un état pathologique entre la pulpe et le parodonte, ou l'intérêt purement clinique de leur obturation font encore débat.

Ce travail a pour objectif de recontextualiser la notion de canal accessoire dans la littérature en parcourant les différents points de vue des auteurs. Seront ainsi abordés leurs définitions, méthodes de mise en évidence, catégorisations, potentiel pathogénique, degré d'importance lors d'un traitement endodontique, et leur gestion lors de ce dernier.

JURY :

Président : **Monsieur le Professeur Etienne DEVEAUX**

Asseseurs : **Monsieur le Docteur Marc LINEZ**

Monsieur le Docteur Lieven ROBBERECHT

Madame le Docteur Marine HENAUT