

UNIVERSITE DU DROIT ET DE LA SANTE DE LILLE 2

FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

[Année de soutenance : 2018]

N°:

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

Présentée et soutenue publiquement le 12 septembre 2018

Par Lucie DELCLOY

Née le 26 FEVRIER 1993 à Armentières

LES CANAUX EN « C » : LES COMPRENDRE, LES TRAITER.

JURY

Président : Monsieur le Professeur E. DEVEAUX

Assesseurs : Monsieur le Docteur A. GAMBIEZ

Monsieur le Docteur T. BÉCAVIN

Monsieur le Docteur M. BEURAIN

Président de l'Université : Pr. J-C. CAMART

Directeur Général des Services : P-M. ROBERT

Doyen : Pr. E. DEVEAUX

Vice-Doyens : Dr. E. BOCQUET, Dr. L. NAWROCKI,
Pr. G. PENEL

Responsable des Services : S. NEDELEC

Responsable de la Scolarité : M. DROPSIT

PERSONNEL ENSEIGNANT DE L'U.F.R.

PROFESSEURS DES UNIVERSITES :

P. BEHIN Prothèses

T. COLARD Fonction – Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux

E. DELCOURT-DEBRUYNE Professeur Emérite Parodontologie

E. DEVEAUX Odontologie Conservatrice – Endodontie

Doyen de la Faculté

G. PENEL Responsable de la Sous-Section des **Sciences**
Biologiques.

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

T. BECAVIN	Dentisterie Restauratrice Endodontie
A. BLAIZOT	Prévention, Épidémiologie, Économie de la Santé, Odontologie Légale
F. BOSCHIN	Responsable du Département de Parodontologie
E. BOCQUET	Responsable du Département d' Orthopédie Dento- Faciale
C.CATTEAU	Responsable du Département de Prévention, Épidémiologie, Économie de la Santé, Odontologie Légale.
A. De BROUCKER	Fonction- Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
T. DELCAMBRE	Prothèses
C.DELFOSSE	Responsable du département d' Odontologie Pédiatrique
F. DESCAMP	Prothèses
A. GAMBIEZ	Dentisterie Restauratrice Endodontie
F. GRAUX	Prothèses
P. HILDELBERT	Dentisterie Restauratrice Endodontie
J.M. LANGLOIS	Chirurgie Orale
C. LEFEVRE	Prothèses
J.L. LEGER	Orthopédie Dento-Faciale
M. LINEZ	Dentisterie Restauratrice Endodontie
G. MAYER	Prothèses

L.NAWROCKI	Responsable du Département de Chirurgie Orale Chef du Service d'Odontologie A. Caumartin - CHRU Lille
C. OLEJNIK	Biologie Orale
P. ROCHER	Fonction- Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
L. ROBBERECHT	Dentisterie Restauratrice Endodontie
M. SAVIGNAT	Responsable du Département Fonction - Dysfonction Imagerie, Biomatériaux
T. TRENTESAUX	Odontologie Pédiatrique
J. VANDOMME	Responsable du Département de 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 2 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 des CSERD

Section Réhabilitation Orale

Département 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 de la Faculté de Chirurgie Dentaire de Lille

Membre associé national de l'Académie Nationale de Chirurgie Dentaire

Personne Compétente en Radioprotection

Ancien Président de la Société Française d'Endodontie

Vous m'avez fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury de thèse, soyez assuré de ma gratitude et de mon profond respect. J'espère que ce travail saura refléter la rigueur et la qualité de votre enseignement. Merci pour la bienveillance que vous portez aux étudiants de la faculté.

Monsieur le Docteur Alain GAMBIEZ

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier des CSERD

Section Réhabilitation Orale

Département Dentisterie Restauratrice Endodontie

Docteur en Chirurgie Dentaire

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

Vous avez accepté de diriger ma thèse avec beaucoup d'enthousiasme et vous m'avez inspiré ce sujet qui vous tenez à cœur avec toute la passion qui vous caractérise. Merci d'avoir mis à ma disposition l'ensemble de vos iconographies pour illustrer cette thèse. Vous avez su me transmettre vos conseils et, votre expérience. Cette collaboration a changé mon regard sur l'endodontie et sur l'importance se perfectionner continuellement tout en sachant se remettre en question. Merci pour votre disponibilité et votre sympathie. J'espère que ce travail sera à la hauteur de vos exigences, veuillez trouver dans cet ouvrage l'expression de mon profond respect.

Monsieur le Docteur Thibault BECAVIN

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier des CSERD

Section Réhabilitation Orale

Département Dentisterie Restauratrice Endodontie

Docteur en Chirurgie Dentaire

Master I Informatique Médicale – Lille 2

Master II Biologie et Santé – Lille 2

Docteur de l'Université de Lille

Responsable du Département de Dentisterie Restauratrice Endodontie

C'est avec spontanéité que vous avez accepté de siéger dans ce jury et je vous en suis vivement reconnaissante. Votre disponibilité et votre grande expérience ont fait de mes vacances d'OCE du lundi soir des moments enrichissants et conviviaux. Veuillez trouver ici, mes sincères remerciements.

Monsieur le Docteur Maxime BEAURAIN

Assistant hospitalo-universitaire des CSERD

Section Réhabilitation Orale

Département Dentisterie Restauratrice Endodontie

Docteur en Chirurgie Dentaire

Certificat d'Etudes Supérieures d'Odontologie Conservatrice et Endodontie – Lille 2

Certificat d'Etudes Supérieures d'Odontologie Chirurgicale mention Médecine Buccale –
Lille 2

Je vous remercie d'avoir accepté de siéger au sein de ce jury et de l'intérêt que vous avez porté à mon travail. J'ai une grande estime pour vous autant pour vos qualités pédagogiques qu'humaines, gardez toujours cette bonne humeur auprès de vos étudiants.

Table des matières

Introduction	15
1 Comprendre les canaux en C	17
1.1 <i>Rappels embryologiques</i>	17
1.1.1 Rhizagénèse	17
1.2 <i>Anatomie endodontique de base</i>	21
1.2.1 Système pulpaire	22
1.2.2 Chambre pulpaire	23
1.2.2.1 Cornes pulpaires	23
1.2.2.2 Anatomie et localisation de la chambre pulpaire	23
1.2.3 Canaux	24
1.2.3.1 Système canalaire	24
1.2.3.2 Orifices canalaires	26
1.2.3.3 Morphologie canalaire	28
1.2.3.3.1 Courbures	28
1.2.3.3.2 Variations de morphologies	30
1.2.3.3.2.1 Variations dues à l'âge	30
1.2.3.3.2.2 Variations dues aux irritants	30
1.2.3.4 Canaux accessoires	31
1.2.3.5 Zone apicale	31
1.3 <i>Anatomies endodontiques particulières</i>	32
1.3.1 Isthmes	33
1.3.2 Feuilletts	35

1.3.3	Deuxième canal mésio-vestibulaire des molaires maxillaires	35
1.3.4	Canal mésial moyen	36
1.4	<i>Anomalies anatomiques</i>	37
1.4.1	<i>Dens invaginatus</i> ou <i>dens in dente</i>	37
1.4.2	<i>Dens evaginatus</i>	37
1.4.3	Sillon palatin	38
1.4.4	Dilacérations	39
1.5	<i>Anatomie des canaux en « C »</i>	41
1.5.1	Description générale	41
1.5.1.1	Classification de Melton	42
1.5.1.2	Classification de Fan B.	42
1.5.1.3	Variations	44
1.5.2	Dents et canaux concernés par la configuration en « C »	44
1.5.2.1	Cas particulier des premières prémolaires mandibulaires	44
1.5.2.2	Cas particulier des premières molaires maxillaires	46
1.5.3	Fréquence de ce type de canal	47
1.6	<i>Problématiques cliniques posées par les canaux en « C »</i>	48
1.6.1	Problématiques cliniques inhérentes aux deuxièmes molaires mandibulaires	48
1.6.2	Cavité d'accès et identification des entrées canalaires	49
1.6.3	Inconfort du cathétérisme	51
1.6.4	Difficulté d'éliminer l'ensemble du parenchyme pulpaire	51
1.6.5	Hémorragie en cas de pulpite aigüe	52
1.6.6	Préparation et irrigation	52
1.6.7	Zone dangereuse	53
1.6.7.1	Zone de fragilité des molaires mandibulaires en « C »	53
1.6.7.2	Zone de fragilité des prémolaires mandibulaires en « C »	55
1.6.8	Zone apicale complexe	56
1.6.9	Conséquences parodontales de la configuration en « C »	58
1.6.9.1	Rapport sillon / épaisseur vestibulo-linguale	58
1.6.9.2	Relation endo-parodontale	59
1.6.9.3	Attitude préventive	59
2	Traiter les canaux en « C » : quelles solutions cliniques ?	60
2.1	<i>Examen clinique</i>	60
2.2	<i>Examens complémentaires</i>	61
2.2.1	Orthopantomogramme (OPT)	61
2.2.2	Radiographies rétro-alvéolaires	61
2.2.2.1	Caractéristiques radiologiques des canaux en « C »	62
2.2.2.2	Classification radiologique des canaux en « C »	62
2.2.2.3	Caractéristiques des radiographies per-opératoires et post-opératoire.	64
2.2.3	Cone beam	65
2.3	<i>Aides visuelles</i>	66
2.3.1	Microscope opératoire	67
2.3.2	Loupes binoculaires	68
2.3.3	Transillumination	68
2.4	<i>Analgsie</i>	68
2.5	<i>Aménagement des entrées canalaires</i>	69
2.6	<i>Cathétérisme</i>	72
2.7	<i>Détermination de la longueur de travail.</i>	73
2.8	<i>Irrigation</i>	73
2.9	<i>Préparation</i>	75
2.9.1	Instruments mécaniques	76
2.9.2	Comparaison des systèmes dans le traitement des canaux en « C »	77
2.9.3	Intérêt d'un instrument novateur : le « self-adjusting files® » (ReDent-Nova)	78
2.10	<i>Temporisation</i>	79

2.11	<i>Obturation</i>	80
2.12	<i>Restaurations post-endodontiques</i>	82
2.13	<i>Chirurgies endodontiques en cas d'échec de traitement</i>	83
	Conclusion	84
	Références bibliographiques	86
	Table des illustrations	93
	Annexes	96

Introduction

Étymologiquement, l'endodontie vient du Grec ancien et signifie « les connaissances du contenu de la dent », cette discipline s'intéresse à l'anatomie de l'endodonte. Cette connaissance permet de prendre en toute connaissance de cause, les meilleures décisions cliniques pour la réussite du traitement de la dent [17].

Le traitement endodontique est un acte de la pratique quotidienne du chirurgien dentiste. Un des objectifs est de traiter les maladies de la pulpe et du péri-apex afin de transformer une dent atteinte d'une pathologie en une entité saine, asymptomatique et fonctionnelle sur l'arcade [62].

Lorsque qu'une dent est saine, l'endodonte évolue dans un milieu stérile. Dès lors qu'une dent est atteinte par une lésion carieuse, une lésion d'usure, un traumatisme ou une pathologie parodontale, sa pulpe est agressée par des micro-organismes, des toxines ou par iatrogénie. Les atteintes pulpaires qui en découlent peuvent aller de la pulpite (réaction inflammatoire de qui peut être réversible ou irréversible) jusqu'à la nécrose de la pulpe (avec ou sans atteinte du péri-apex). Dans le cas d'une pulpite irréversible ou d'une nécrose pulpaire, le traitement endodontique est indiqué.

Schilder, père de l'endodontie moderne, a défini en 1974, le traitement endodontique comme la préparation, la désinfection et l'obturation du système canalaire dans les trois dimensions de l'espace. C'est le concept « cleaning and shaping » [114].

Un des objectifs du traitement endodontique canalaire consiste en l'exérèse totale du parenchyme pulpaire au sein du système canalaire. L'idéal est d'éliminer également le biofilm et l'ensemble des micro-organismes présents au sein du complexe dentino-pulpaire. Les variations anatomiques telles que les canaux latéraux, deltas apicaux, isthmes, et anastomoses empêchent d'accéder à l'ensemble du système pulpaire de façon mécanique. La mise en forme mécanique des canaux principaux permet d'amener la solution d'irrigation dans l'ensemble du système canalaire et favorise la désinfection chimique [119].

Malgré l'augmentation des approches thérapeutiques non invasives comme les coiffages pulpaires direct et indirect ou la biopulpotomie, le traitement endodontique canalaire initial reste un acte courant en dentisterie. Cela ne doit pas faire oublier qu'il s'agit d'un traitement souvent long et complexe et qu'il nécessite beaucoup de concentration et de rigueur dans l'application du protocole. La visibilité extrêmement réduite, parfois quasiment inexistante, fait appel à la sensibilité tactile, à des examens radiologiques complémentaires ou/et à des

aides optiques. La connaissance de l'anatomie pulpaire conventionnelle et des configurations inhabituelles est essentielle pour le succès en endodontie. Le manque de telles connaissances dans ce domaine peut conduire à l'échec du traitement.

Les variations anatomiques sont très fréquentes. Elles dépendent de l'âge, de l'ethnie, du sexe et des antécédents de la dent. Elles sont à distinguer des anomalies endodontiques, plus rares.

Les canaux en « C » constituent une morphologie canalaire inhabituelle que l'on retrouve principalement dans les deuxièmes molaires permanentes mandibulaires. En raison de leur complexité, les systèmes canaux en « C » compliquent les traitements endodontiques. Une compréhension approfondie de la morphologie du canal radiculaire est impérative pour un diagnostic correct et un traitement réussi. L'objectif de cette thèse est de résumer les connaissances actuelles acquises sur les canaux en « C » et de les confronter à la pratique clinique.

1 Comprendre les canaux en C

1.1 Rappels embryologiques

1.1.1 Rhizagénèse

Il est important de connaître et de comprendre les étapes de formation des racines pour appréhender cliniquement le traitement endodontique.

L'odontogénèse s'opère en parallèle du développement cranio-facial. Chaque étape est marquée par un évènement précis et par des changements d'apparence du germe dentaire. Des perturbations peuvent apparaître à chaque étape du développement dentaire et ainsi modifier la physiologie comme l'anatomie dentaire. Ces perturbations peuvent entraîner des anomalies ou aberrations anatomiques.

A partir de la 5^e semaine de vie intra-utérine, au niveau des arcs maxillaire et mandibulaire, la lame dentaire apparaît. Elle initie le développement de la dent. Elle résulte de la prolifération de l'épithélium oral sur le tissu ecto-mésenchymateux sous-jacent. Pour la coronogénèse, il s'en suit 4 grandes étapes : l'initiation, le stade du bourgeon primaire, le stade de cupule et le stade cloche (Fig 1).

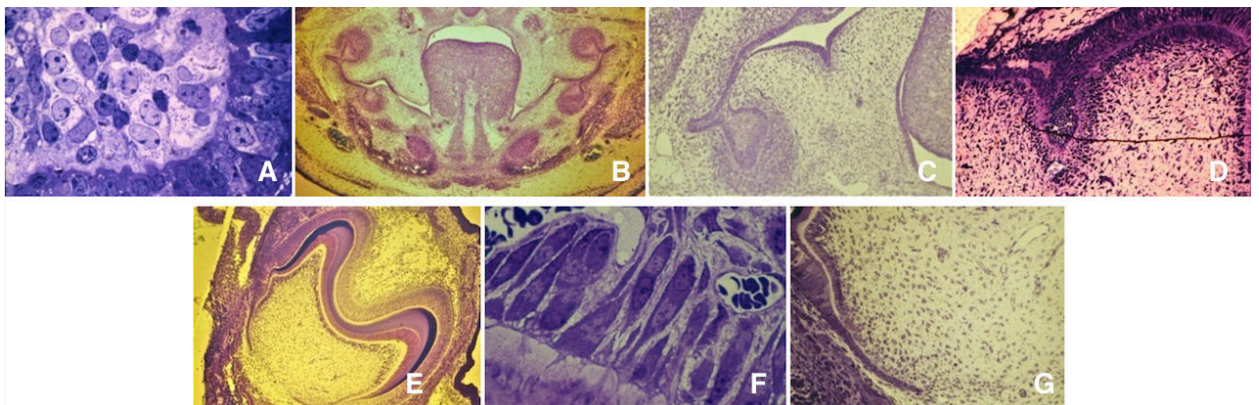


Figure 1: étapes du développement dentaire [les illustrations non reprises d'ouvrages scientifiques ont été réalisées par le Dr Alain Gambiez]

A : Lamelle dentaire et mésenchyme

B : Individualisation des bourgeons primaires

C : Début du stade de cupule

D : Stade de la cloche

F : Coronogénèse

G : Odontoblastes différenciés

H : Début de la rhizogénèse

Trois tissus vont pouvoir être individualisés au sein du germe dentaire. L'organe de l'émail dérive du tissu épithélial. Il abrite les améloblastes, cellules productrices d'émail. La papille dentaire située au centre de la cloche, dérive du tissu conjonctif, elle produit la dentine et la pulpe. Le sac folliculaire, situé autour de la cloche, dérive du tissu conjonctif et produit le cément, le ligament desmodontal et l'os alvéolaire (Fig 2).

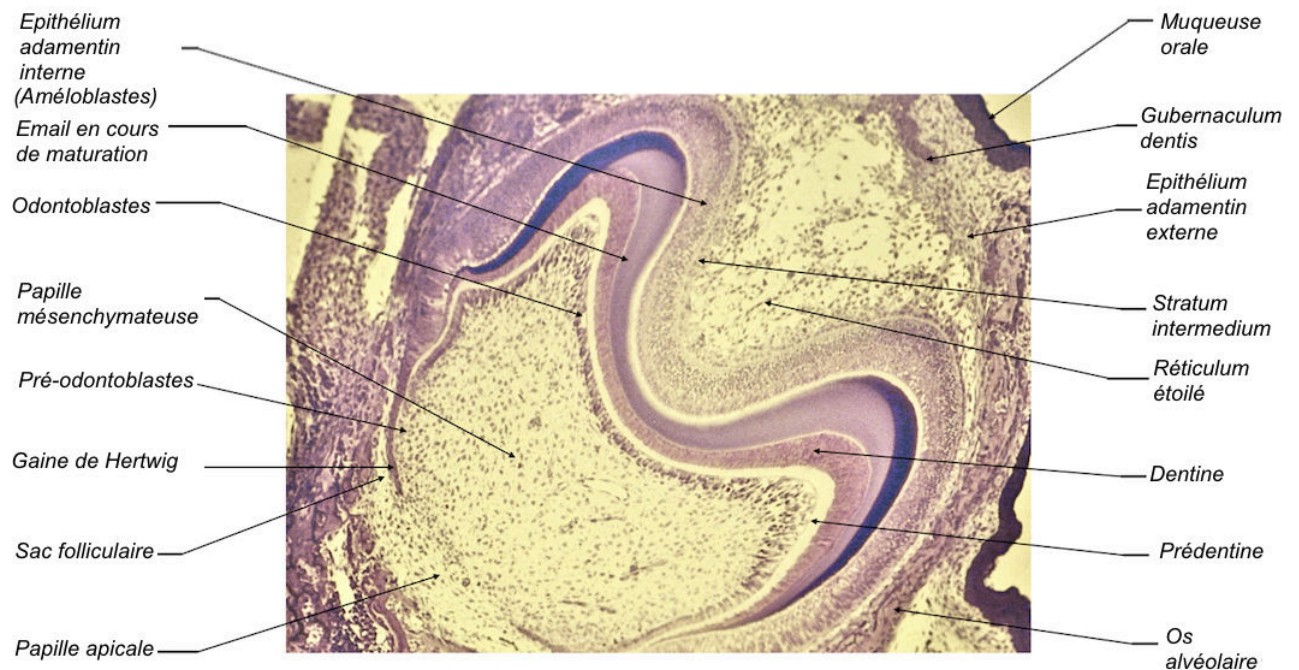


Figure 2: vue microscopique d'un germe dentaire

Les interactions entre ces différents tissus permettent au germe de se développer par des processus physiologiques d'induction en cascade, de prolifération, de différenciation, de morphogénèse et de maturation. La couronne se forme par apposition d'émail et de dentine.

La rhizagénèse commence dès que la couronne a terminé son édification. Quand la dent apparaît sur arcade, deux tiers des racines sont déjà formées [39]. La racine est complètement édiflée 3 ans après l'éruption dentaire.

Au terme du stade de cloche, la partie la plus cervicale de l'organe de l'émail est appelé diaphragme cervical. Il a pour orifice une double couche cellulaire constituée des épithéliums adamantins interne et externe qui se sont accolés. Cette structure forme un diaphragme épithélial par où débute la rhizagénèse. Elle est appelée gaine de Hertwig (Fig 3). La fonction de la gaine de Hertwig est, entre-autres, d'induire la formation de dentine en direction apicale en continuité avec la dentine coronaire. Les cellules de la papille mésenchymateuse en regard

de l'épithélium adamentin interne se différencient en odontoblastes radiculaires. Petit à petit, l'apposition de dentine radriculaire enferme la papille dentaire qui devient la pulpe canalaire.

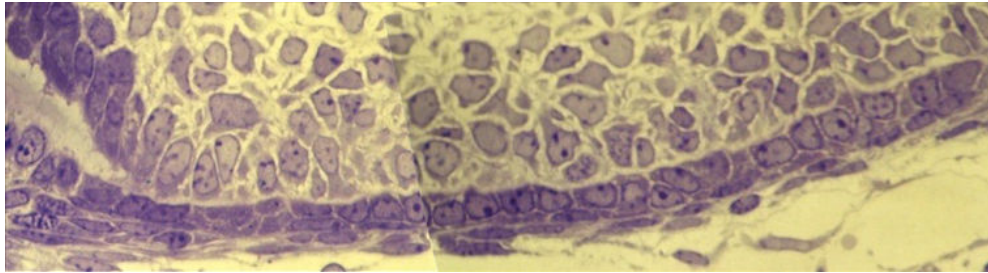


Figure 3: la gaine de Hertwig

La gaine de Hertwig détermine la forme et le nombre de racines. La rhizagénèse des dents pluri-radiculées, commence comme pour les dents monoradiculées au niveau du diaphragme. Un tronc radriculaire qui suit la forme de la couronne se forme. Puis, ce tronc se divise pour former le nombre de racines correspondant à la dent. Ce processus est induit par la gaine de Hertwig. Par croissance différentielle des cellules épithéliales, des extensions horizontales du diaphragme se dirigent de manière centripète puis fusionnent en laissant des ouvertures pour les racines. La fusion de ces extensions épithéliales correspond aux lignes sombres visibles sur le plancher pulpaire des dents pluriradiculées. Le tronc radriculaire initial est alors divisé en deux ou trois ouvertures (Fig 4-5) [14].

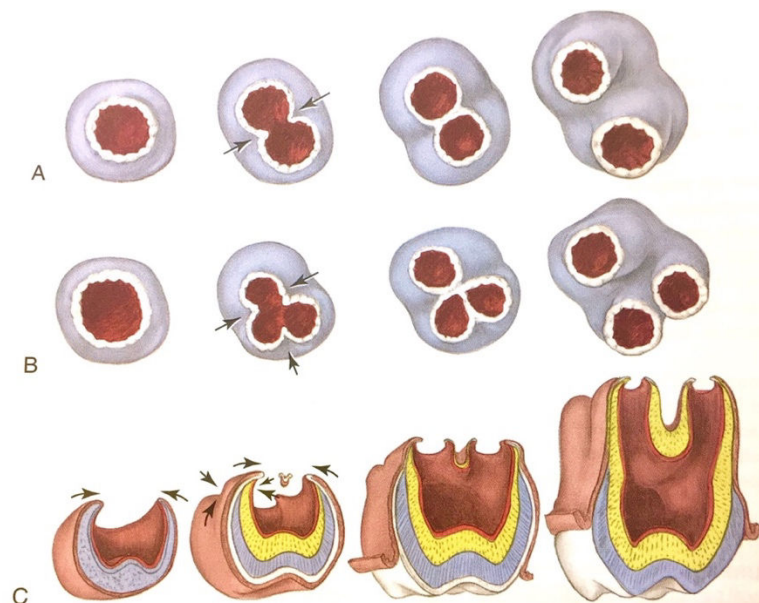


Figure 4: rhizagénèse des dents pluri-radiculées d'après Bath-Balogh & Fehrenbach [14]

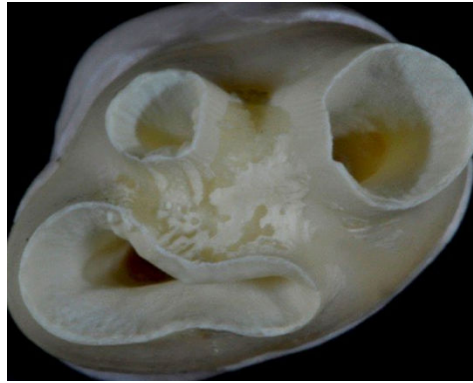


Figure 5 : une première molaire maxillaire en cours de rhizagénèse (vue apicale)

Parallèlement à l'apposition de dentine radiculaire, s'opère la formation du cément, du desmodonte et de l'os alvéolaire par des cellules d'origine mésenchymateuse sur les versants externes de la ou des racines.

L'origine embryologique des racines et des canaux en « C » est la défaillance de la gaine épithéliale de Hertwig sur la surface linguale ou vestibulaire de la racine [71]. La gaine épithéliale de Hertwig ne parvient pas à se développer ou à fusionner dans la zone de furcation [73].

La configuration en « C » peut également être formée par coalescence cémentaire (Fig 6).

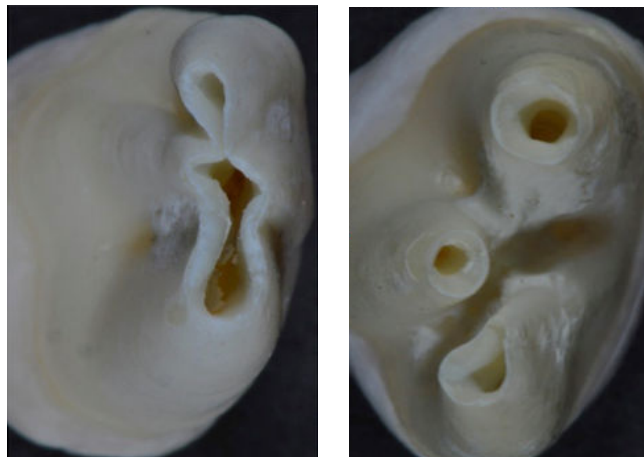


Figure 6: photographies illustrant une fusion des racines par coalescence dentinaire (à gauche) et par coalescence cémentaire (à droite).

Les racines fusionnées par coalescence dentinaire présentent des canaux interconnectés et reliés par des isthmes. Pour la fusion par coalescence cémentaire, les canaux sont individualisés, le dépôt de cément se fait autour des racines et les relie.

1.2 Anatomie endodontique de base

La connaissance de l'anatomie endodontique de base est indispensable au chirurgien-dentiste afin d'anticiper les difficultés du traitement endodontique et d'éviter échecs de traitement.

Cela passe par :

- l'étude de l'embryologie dentaire ;
- l'étude de l'histologie dentaire ;
- la formation continue ;
- l'étude de la littérature scientifique ;
- l'interprétation des examens radiologiques avec leurs différentes techniques ;
- l'exploration clinique grâce au cathétérisme et les aides optiques ;
- l'exploration in vitro de dents extraites ;
- l'expérience clinique.

La connaissance de l'anatomie endodontique de base sous-entend de connaître :

- les classifications ;
- la morphologie externe coronaire et radiculaire ;
- le nombre de racines pour chaque dent ;
- le nombre de canaux par racine et leur localisation ;
- les courbures les plus fréquentes ;
- la longueur moyenne de chaque dent ;
- le contour de la racine dans les différentes dimensions ;
- l'anatomie de la région apicale ;
- les variations anatomiques les plus fréquentes.

L'effort de visualisation du système endodontique en trois dimensions doit être réalisé avant toute intervention.

Pour chaque dent, il est nécessaire de connaître la fréquence d'apparition des variations anatomiques. Il existe également des variations anatomiques du système canalaire liées à la physiologie de l'organe dentaire. Les calcifications sont des modifications dues à l'âge et/ou à différentes agressions que la dent a subies. Les minéralisations contribuent à rendre le traitement endodontique canalaire plus difficile (Fig 7).



Figure 7: pulpolithes dans la chambre pulpaire

1.2.1 Système pulpaire

Le système pulpaire est un espace situé au centre de la dentine qui contient la pulpe. Il est composé d'une partie coronaire où se trouve la chambre pulpaire qui contient la pulpe camérale, et d'une partie radiculaire où se trouve le canal principal ou les canaux principaux ainsi que les canaux accessoires qui contiennent la pulpe radiculaire. La pulpe émerge de la racine par les *foramina* apicaux (Fig 8) [130].

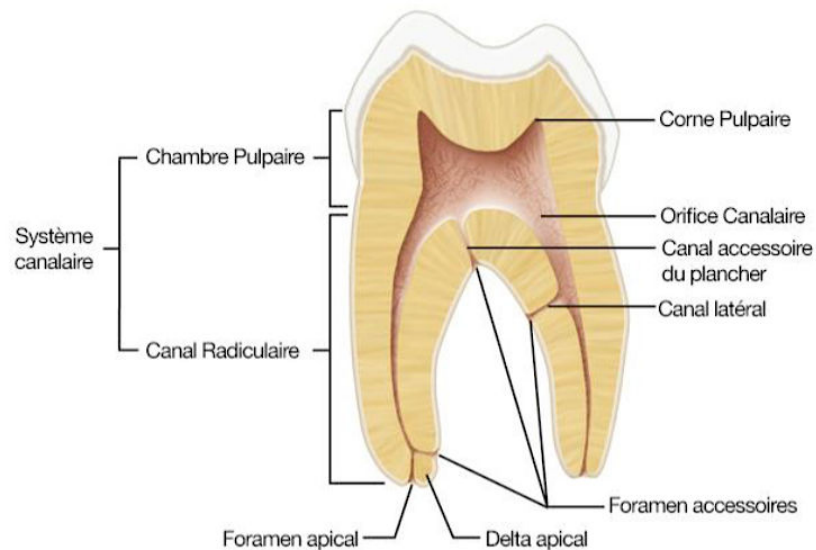


Figure 8: schéma des principaux composants anatomiques du système pulpaire [30].

1.2.2 Chambre pulpaire

1.2.2.1 Cornes pulpaires

Les cornes pulpaires sont situées dans la partie la plus coronaire de la chambre pulpaire. Pour les dents postérieures, à chaque cuspide correspond une corne. Pour les dents antérieures, il existe une corne mésiale, une corne médiane et une corne distale. Le volume des cornes pulpaires diminue avec l'âge et les agressions. Sur les dents jeunes, les cornes pulpaires sont hautes et volumineuses. Elles sont à éviter lors de soins conservateurs. Avec l'atrophie pulpaire liée à l'âge et aux agressions, les cornes pulpaires ont tendance à disparaître. En regard des zones d'agression, le dépôt minéral est constitué par de la dentine tertiaire [129].

1.2.2.2 Anatomie et localisation de la chambre pulpaire

La chambre pulpaire occupe le centre de la couronne dentaire. Sa forme est homothétique à la forme de la couronne. Cette configuration varie en fonction de l'âge, des agressions et des traumatismes que subit la dent.

Selon l'étude de Deutsch, le plafond pulpaire se situe approximativement à 6 mm de la pointe cuspidienne la plus haute, la hauteur de la chambre pulpaire est de 1,5 à 2 mm et le plancher pulpaire se situe en moyenne à 3 mm de la furcation radiculaire (Fig 9). Le repère le plus fiable pour localiser la chambre pulpaire est la jonction émail-cément [38].

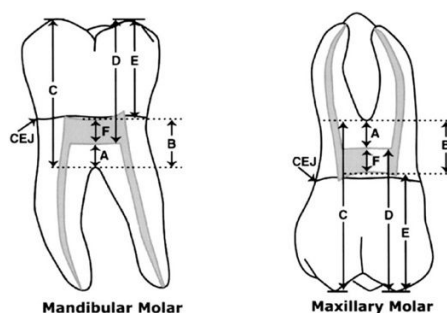


Figure 9: emplacement des mesures sur des molaires maxillaires et mandibulaires afin de localiser la chambre pulpaire [38] (CEJ : Jonction émail-cément)

Ces valeurs sont à pondérer car de nombreuses variations existent. Sur les dents postérieures, la chambre pulpaire d'un individu âgé est plutôt aplatie car la formation de dentine est plus rapide au niveau du toit et du plancher qu'au niveau des parois latérales (Fig 10) [130].

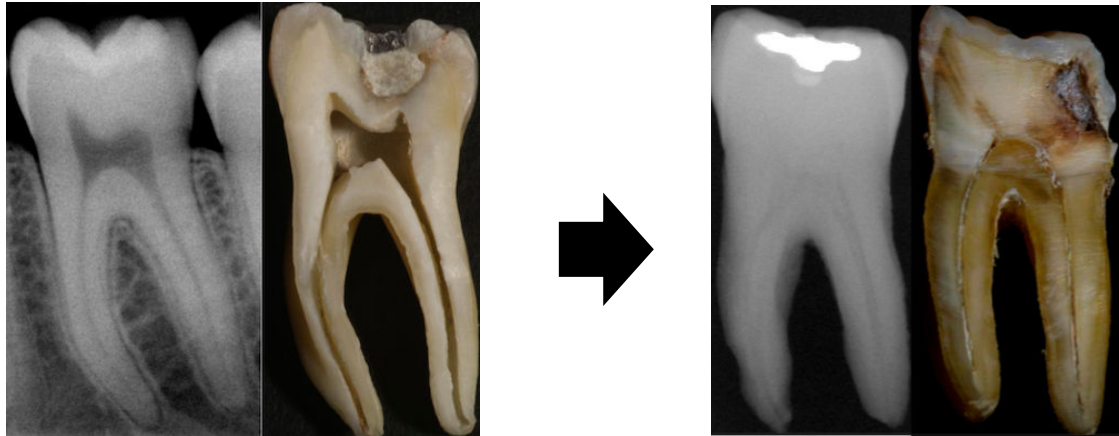


Figure 10: comparaison de la taille des chambres pulpaire de deux premières molaires mandibulaires à des âges différents, à gauche d'un individu jeune, à droite d'un individu âgé.

1.2.3 Canaux

1.2.3.1 Système canalaire

Les travaux de Hess et Zürcher [64] et Weine [137], ont montré la complexité de l'anatomie canalaire. En effet, une racine possédant un canal unique de forme ronde avec un foramen unique est une exception plutôt que la règle. Les canaux peuvent se diviser, se ramifier, ou s'anastomoser, créant ainsi un véritable réseau (Fig 11). Dans la plupart des dents qu'ils ont étudiées *in vitro*, ces auteurs ont trouvé des canaux supplémentaires, des canaux latéraux, des deltas apicaux, des *foramina* multiples, des connexions intercanalaires, des boucles, des canaux en « C », et des canaux au niveau de la furcation. Ces variations anatomiques compliquent la phase de désinfection totale du système canalaire lors du traitement endodontique.

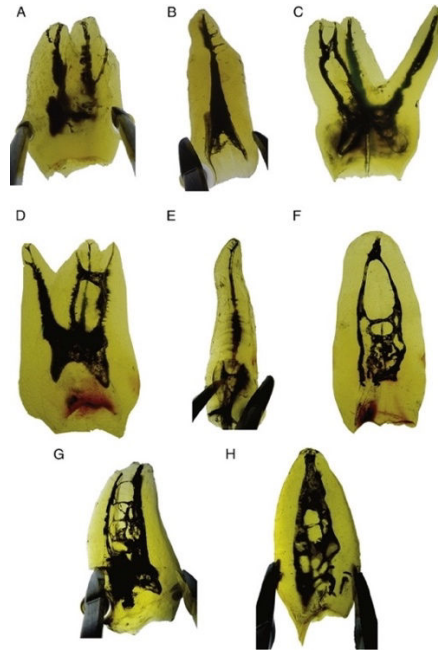


Figure 11: technique de diaphanisation sur dents permanentes qui montre que le système canalaire est organisé en réseau. D'après Weng X-L et coll [138].

En 1974, Vertucci a classé le réseau canalaire en huit configurations possibles. Cette classification est la plus couramment retenue pour décrire la morphologie canalaire (Fig 12). Cependant, cette classification ne considère que l'anatomie canalaire en 2 dimensions et n'évoque pas la configuration en « C ».

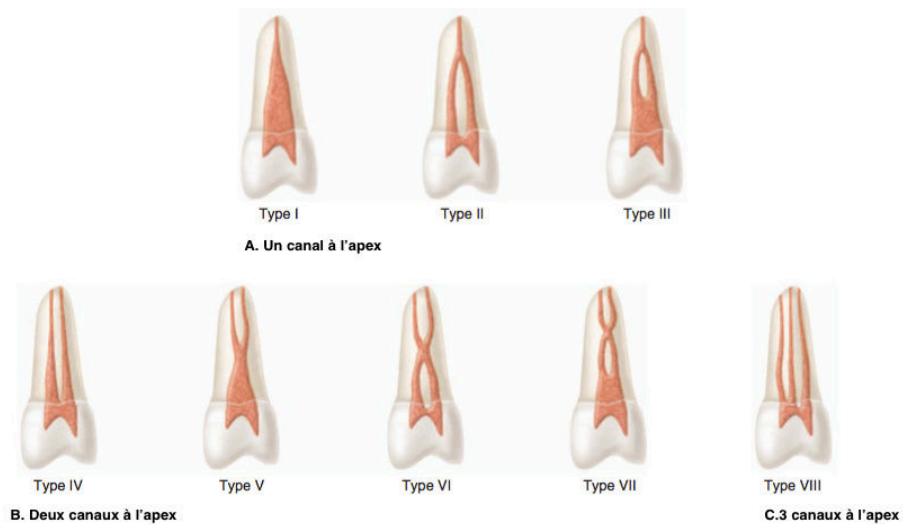


Figure 12: classification des configurations canales selon Vertucci [30].

1.2.3.2 Orifices canalaires

Une des premières étapes du traitement canalaire est la réalisation de la cavité d'accès et la localisation des entrées canalaires. Une bonne analyse de la chambre pulpaire notamment de son plancher et de ses parois, guide le praticien dans la recherche de l'ensemble des entrées canalaires. La radiographie rétro-alvéolaire conventionnelle ne permet pas à elle seule de déterminer le nombre réel de canaux présents avant le début du traitement endodontique.

Sur les dents dont la pulpe n'est pas ou est peu atrophiée, un canal radiculaire débute dans la chambre pulpaire avec une entrée en forme d'entonnoir généralement positionnée au niveau de la jonction émail-cément.

La localisation des entrées canalaires peut combiner plusieurs techniques. Elle commence par un examen visuel minutieux du plancher pulpaire, puis un examen tactile du plancher pulpaire avec une sonde endodontique. Les inserts à ultrasons peuvent être utilisés dans les rainures plus foncées du plancher pour déloger les calcifications et triangles dentinaires qui masquent les entrées canalaires. La coloration du plancher pulpaire avec du bleu de méthylène à 1% ou le test des « bulles de champagne » avec de l'hypochlorite de sodium peuvent également aider à localiser les entrées canalaires, tout comme la visualisation des points sanglants lors de l'ouverture d'une dent vivante.

L'utilisation du microscope ou des loupes binoculaires sont des aides précieuses pour cette étape du traitement canalaire.

Dans une étude réalisée en 1989 sur 500 chambres pulpaires, Krasner et Rankow [79], ont défini des lois générales pour aider les praticiens à déterminer le nombre et la localisation des entrées canalaires. Ces lois s'appuient sur l'analyse des rainures du plancher et des différences de couleur entre le plancher pulpaire et les parois latérales [130]. Elles sont particulièrement utiles pour localiser les entrées des canaux calcifiés.

La loi de symétrie dit que, sauf pour les molaires maxillaires, les entrées canalaires mésiales sont équidistantes et situées sur la perpendiculaire à la ligne tracée dans le sens mésio-distal au centre du plancher de la chambre pulpaire (Fig 13).

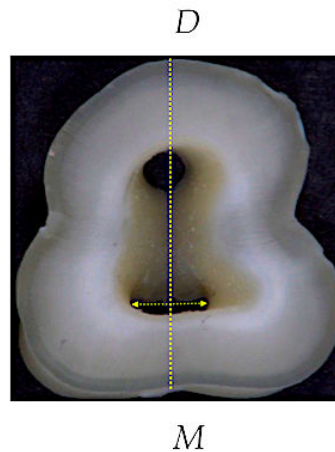


Figure 13: loi de symétrie des entrées canalaires selon Krasner et Rankow.

La loi de changement de couleur dit que la couleur du plancher de la chambre pulpaire est toujours plus sombre que les parois latérales (ou murs) (Fig 14).

Les lois de l'emplacement des orifices stipulent que les orifices des canaux radiculaires sont situés aux angles de la jonction plancher-murs et qu'ils sont situés à l'extrémité des lignes de fusion du développement des racines (Fig 14).



Figure 14: loi du changement de couleur et de l'emplacement des entrées canalaires selon Krasner et Rankow.

Les lois énoncées par Krasner ont été trouvées dans 95% des dents examinées. Les 5% restants concernent les deuxièmes et troisièmes molaires mandibulaires qui ne se conforment pas à cette rationalisation en raison de la présence d'un canal en « C ».

1.2.3.3 Morphologie canalaire

La morphologie canalaire est homothétique à la morphologie de la racine.

La section transversale du canal peut être de forme ronde, ovale, en goutte d'eau, en huit, en haricot ou en « C » (Fig 15). Cette forme peut varier de coronaire en apical le long de la racine. Dans la plupart des cas, le nombre de canaux radiculaires correspond au nombre de racines, cependant, une racine peut avoir plus d'un canal. Si la racine ne possède qu'un seul canal, il est positionné au centre de celle-ci. La présence d'un canal excentré et plus fin indique la présence d'un deuxième canal du côté opposé [130].

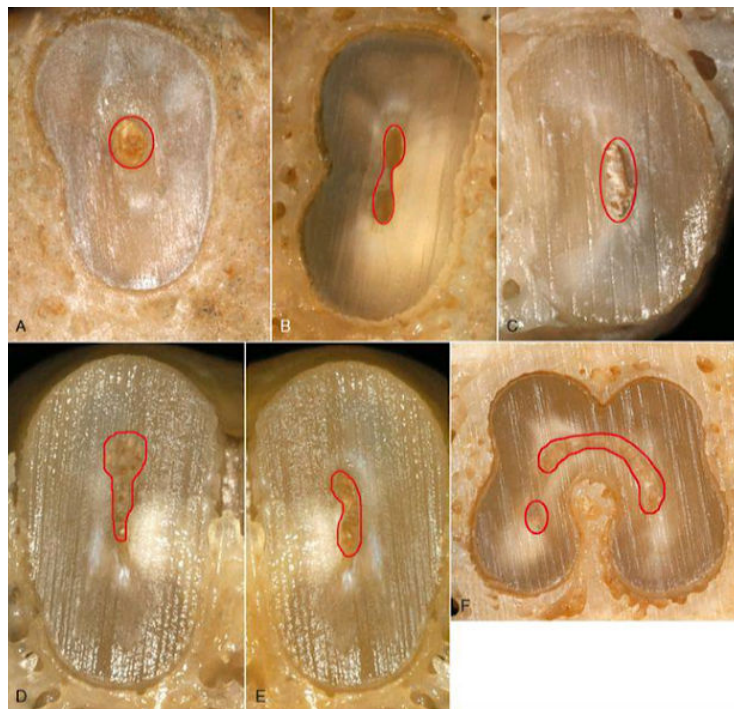


Figure 15: anatomies canales principales d'après M. Torabinejad [123].

A : ronde, B : en huit, C : ovale, D : en goutte d'eau, E : en haricot, F : en « C ».

1.2.3.3.1 Courbures

Selon Schäffer et coll., 84% des canaux radiculaires présentent une ou plusieurs courbures [112]. Plus les dents sont postérieures, plus les courbures sont fréquentes et sévères. Ces courbures peuvent poser problème lors de la mise en forme canalaire, en particulier dans le sens vestibulo-lingual, car elles ne sont pas toujours évidentes sur une radiographie rétro-alvéolaire en incidence orthogonale (Fig 16). Des incidences excentrées sont nécessaires pour déterminer leur présence, leur direction et leur sévérité. Un examen radiologique en 3

dimensions comme le cone beam peut se révéler utile en cas de multiples courbures. Une courbure peut être une courbe progressive du canal entier ou une courbure vive près de l'apex (Fig 17). Des canaux en « S », présentant une double courbure peuvent exister en particulier sur les premières prémolaires maxillaires et les premières molaires mandibulaires (Fig 18).



Figure 16: molaire mandibulaire vue dans le sens vestibulo-lingual (à gauche) et dans le sens mésio-distal (à droite).

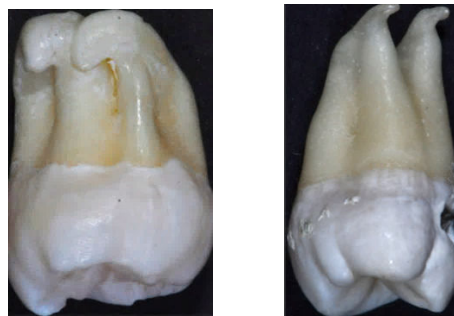


Figure 17: molaires maxillaires présentant des courbures vives près de l'apex.



Figure 18: première prémolaire maxillaire (à gauche) et première molaire mandibulaire (à droite) présentant des canaux en « S ».

1.2.3.3.2 Variations de morphologies

1.2.3.3.2.1 Variations dues à l'âge

La configuration du système canalaire change au cours de la vie. Au moment de l'éruption, la morphologie du système canalaire est homothétique au contour externe de la dent [129].

Avec l'âge, l'apposition continue de dentine secondaire diminue la taille de la chambre pulpaire et des canaux radiculaires. De manière également homothétique, l'apposition de dentine secondaire s'effectue dès que la dent entre en éruption et en occlusion, à un rythme beaucoup plus lent que l'apposition de dentine primaire. Les jeunes patients ont tendance à avoir de grands canaux uniques et des chambres pulpaires avec des configurations de type I selon Vertucci. Les jeunes adultes auront un système canalaire plus complexe, avec le dépôt de dentine et la formation d'isthmes. Les patients plus âgés tendent à avoir des canaux radiculaires plus étroits, de type II selon Vertucci (Fig 19) [50]. Les dents les plus touchées par les changements physiologiques sont les deuxièmes prémolaires maxillaires et mandibulaires et la racine distale de la première molaire mandibulaire.

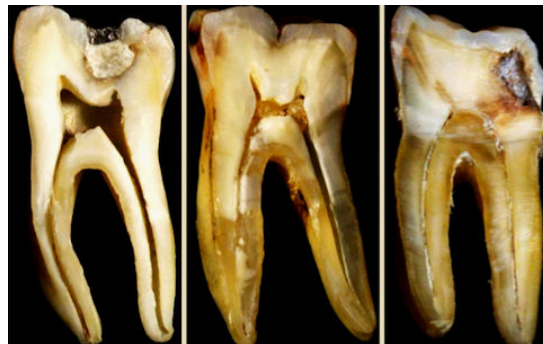


Figure 19 : photographies illustrant la calcification du système canalaire avec le temps.

1.2.3.3.2.2 Variations dues aux irritants

En plus des modifications physiologiques, d'autres facteurs pathologiques peuvent modifier l'anatomie canalaire. En effet, des stimuli tels que les lésions carieuses, des préparations iatrogènes, des restaurations juxta-pulpaires, les traumatismes occlusaux ou une maladie parodontale peuvent engendrer la formation de dentine tertiaire. Cette dentine se forme localement en réaction au stimulus afin de protéger la pulpe. Elle est reconnaissable par sa couleur orangée-brunâtre [89].

1.2.3.4 Canaux accessoires

Les canaux accessoires sont de petits canaux qui émergent du canal principal et qui peuvent s'étendre horizontalement, verticalement ou latéralement et mettant en communication la pulpe et le parodonte (Fig 11).

Ils peuvent apparaître sur toute la longueur de la racine, mais dans 74% des cas on les retrouve dans le tiers apical, dans 11% des cas dans le tiers moyen et dans 15% des cas dans le tiers cervical. Les canaux accessoires contiennent du tissu conjonctif et des vaisseaux sanguins. Ils sont formés par piégeage de vaisseaux parodontaux dans la gaine de Hertwig au cours de la rhizagénèse. Leur taille varie de quelques microns à la taille d'un canal principal. Ils sont difficiles voire impossibles à instrumenter, et rarement décelables lors de l'examen radiographique conventionnel. Lors d'une pathologie pulpaire, ceux-ci deviennent donc un véritable réservoir de débris pulpaire, de biofilm, de bactéries et de leurs toxines. Ils peuvent être associés à des échecs de traitement et à des lésions péri-radicales. Inversement, lors d'une pathologie parodontale ces canaux accessoires servent de passage aux micro-organismes parodontaux qui peuvent irriter la pulpe [125,129]. Des canaux accessoires peuvent également apparaître au niveau de la furcation des dents pluri-radiculées (Fig 20) [131].

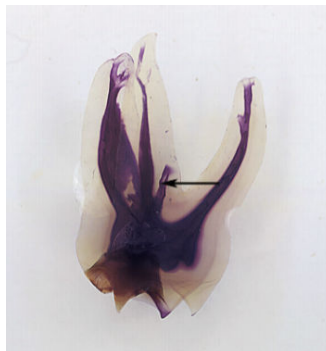


Figure 20 : première molaire maxillaire illustrant un canal de furcation d'après Vertucci [125].

1.2.3.5 Zone apicale

A l'approche de l'apex, le diamètre du canal diminue progressivement jusqu'à atteindre son plus petit diamètre à 0,5-1,5 mm du foramen apical [125]. C'est la constriction apicale. A cet endroit, la pulpe radicaire passe par le foramen et s'élargit pour atteindre la surface externe de la racine n'importe où entre 0 et 3 mm autour de l'apex anatomique de la racine (Fig 21). Il peut y avoir plus d'un foramen par racine. Cette constriction apicale constitue la

limite à ne pas dépasser lors du traitement endodontique. Le tissu pulpaire prend fin à l'endroit où le cément et la dentine se rencontrent, ce repère anatomique est appelé jonction cémento-dentinaire [130].

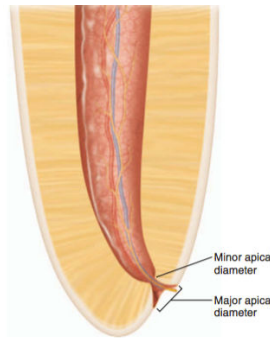


Figure 21 : morphologie de la zone apicale d'après Cohen et coll. [32].

La zone apicale est la partie de la racine qui présente le plus de variations morphologiques. De nombreuses études ont montré que la prévalence des variations anatomiques était plus élevée au niveau des 4 mm apicaux de la racine et plus fréquente dans les molaires mandibulaires [76]. Ces structures anatomiques sont complexes à aborder cliniquement, principalement les canaux accessoires, les *deltas* apicaux (Fig 22) et les isthmes.



Figure 22: un delta apical d'après Kuttler[80]

1.3 Anatomies endodontiques particulières

Les anatomies endodontiques particulières ne sont pas aussi rares que leur nom veut bien l'indiquer. Il faut distinguer les anatomies particulières des anomalies anatomiques, ces dernières étant susceptibles de causer une pathologie pulpaire à court ou moyen terme, comme le *dens invaginatus* par exemple. Les particularités anatomiques n'engendrent pas directement de pathologie pulpaire mais peuvent compliquer la phase de traitement en cas d'atteinte pulpaire.

1.3.1 Isthmes

Les isthmes sont des structures anatomiques particulières que l'on retrouve communément au sein du système canalaire des dents permanentes postérieures. Ce sont des communications étroites entre deux canaux radiculaires en forme de ruban. Les isthmes contiennent de la pulpe ou un tissu dérivé de la pulpe. Ainsi, toute racine contenant deux ou plusieurs canaux peut contenir un isthme, tout comme les racines fusionnées.

Les isthmes sont situés le plus souvent au niveau du tiers moyen et du tiers apical de la racine [40]. La première molaire mandibulaire est la dent la plus susceptible de posséder des isthmes, notamment dans sa racine mésiale. On y retrouve des isthmes dans 88% des cas, le plus souvent dans les 5 mm apicaux (Fig 24) [45,56]. On les retrouve régulièrement dans les deuxième prémolaires mandibulaires et les première et deuxième molaires maxillaires.

La présence d'isthmes dans les racines diminue avec l'âge de l'individu, car l'apposition de dentine secondaire comble progressivement ces espaces.

Ces structures présentent des variations morphologiques qui sont expliquées par le dépôt de dentine aléatoire selon les individus, en fonction de leur occlusion, des agressions et du temps. On retrouve 4 types morphologiques d'isthme décrits par Fan et coll. (Fig 23).

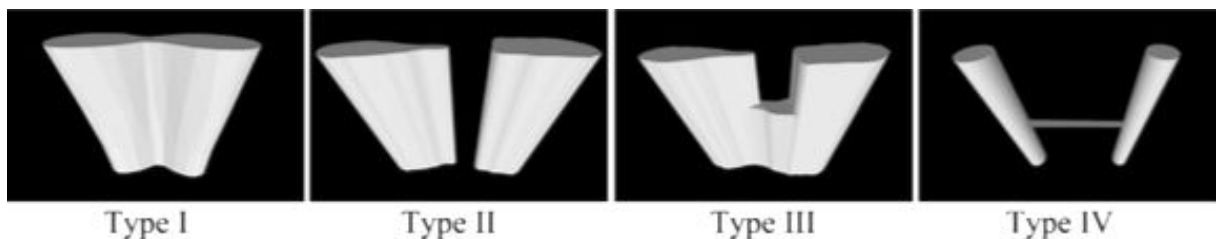


Figure 23: schéma en trois-dimensions des quatre types d'isthmes selon Fan et coll.[45].

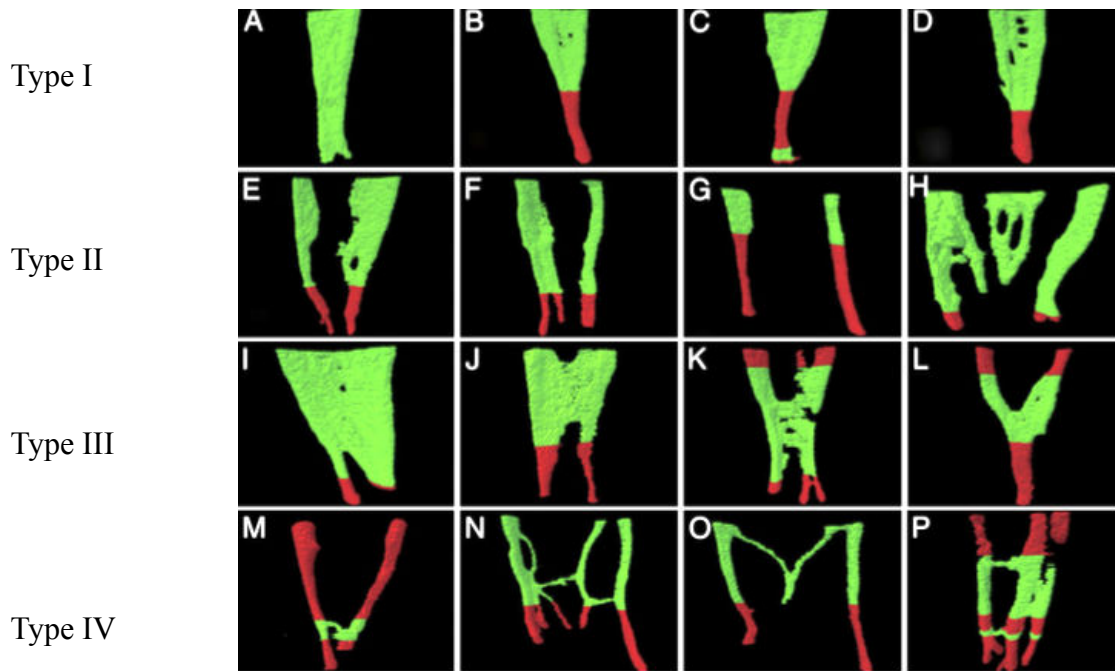


Figure 24: reconstruction en trois dimensions de la morphologie canalaire apicale des racines mésiales des molaires mandibulaires contenant des isthmes d'après Fan et coll [45]. (vue mésio-distale ; structures vertes : canaux avec isthmes ; structures rouges : canaux sans isthme).

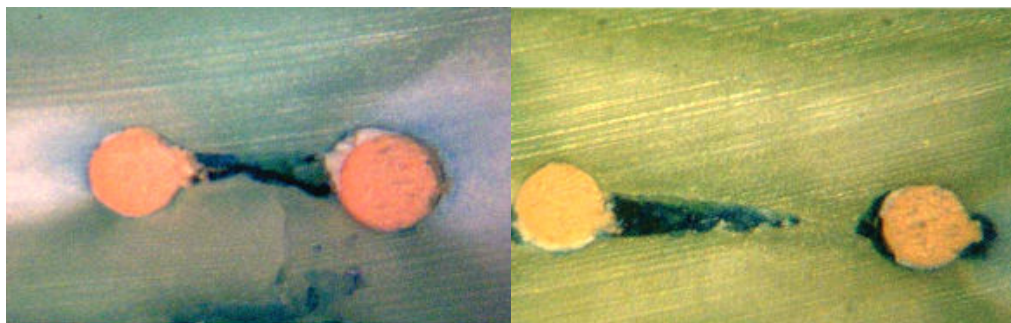


Figure 25: coupes sèches horizontales de racines mésiales de molaires mandibulaires traitées observées au microscope x100 révélant , à gauche: un isthme complet de type I , à droite: isthme incomplet de type II, d'après Jung et coll. [76].

En cas de canal infecté, les isthmes sont des zones riches en biofilm. Ils peuvent constituer un réservoir de bactéries ou de tissu pulpaire nécrotique. Cliniquement, il est difficile d'utiliser des moyens mécaniques pour nettoyer et mettre en forme ces zones inaccessibles. Les isthmes non traités peuvent être une cause d'échec du traitement endodontique (Fig 25).

1.3.2 Feuilletts

Les feuilletts sont des zones de rétrécissement ou d'aplatissement pulpaire depuis un canal vers l'extérieur de la racine. Contrairement aux isthmes, ils n'aboutissent pas à un autre canal (Fig 26). Ces extensions pulpaires peuvent concerner n'importe quelle dent et n'importe quel canal.

Comme les isthmes, ils sont difficiles voire impossibles d'accès.



Figure 26: coupe transversale d'un canal pulpaire possédant une extension vue au microscope x 4,5 d'après De Deus et coll. [36].

1.3.3 Deuxième canal mésio-vestibulaire des molaires maxillaires

La racine mésio-vestibulaire des premières molaires maxillaires a suscité plus de recherches et d'investigations cliniques que toute autre dent, à cause du fort taux d'échec des traitements endodontiques sur cette dent. Ce taux d'échec s'explique par la présence d'un deuxième canal dans la racine mésio-vestibulaire, qu'on appelle communément « MV-2 ». Il est rarement détecté par les praticiens. Son incidence est de plus de 90% selon de nombreuses études récentes utilisant le cone beam. Il est présent dans 50% des secondes molaires maxillaires. Cliniquement, à peine 40% des « MV-2 » sont traités. Ceci s'explique par la difficulté à les localiser et à les instrumenter [65]. L'emplacement du « MV-2 » varie. Il est généralement situé mésialement ou directement sur la ligne entre le canal sur la ligne entre le canal mésio-vestibulaire (ou « MV-1 ») et l'entrée du canal palatin, à moins de 3,5 mm en direction palatine et 2 mm mésialement de l'orifice « MV-1 » (Fig 27). Son entrée est parfois recouverte d'un triangle dentinaire. Il se caractérise par une double courbure, ce qui le rend particulièrement difficile à négocier. Son diamètre est très étroit. Le « MV-2 » rejoint le « MV-1 » dans 60% des cas. La présence d'isthme est fréquente entre « MV-1 » et « MV-2 »

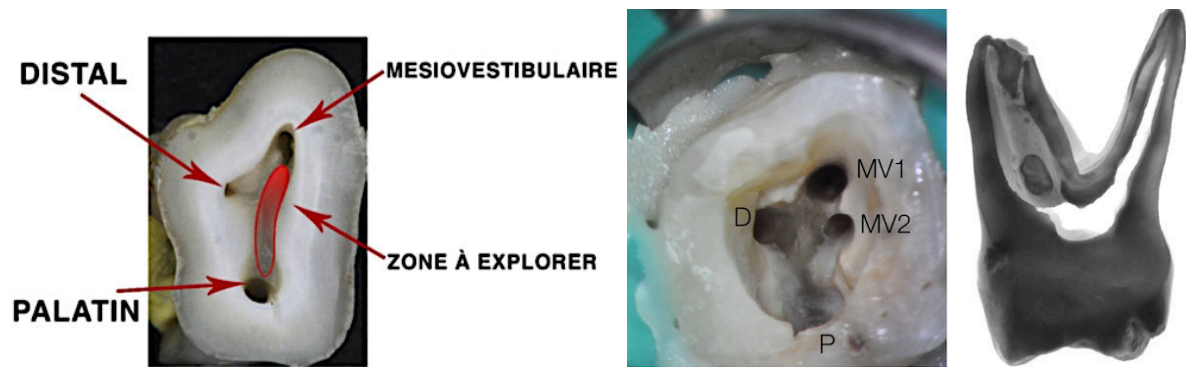


Figure 27: localisation du « MV-2 ».

L'utilisation du microscope opératoire et des loupes binoculaires augmente significativement la possibilité de détecter ce deuxième canal mésio-vestibulaire [10].

1.3.4 Canal mésial moyen

Le canal mésial moyen est un canal supplémentaire rencontré dans la racine mésiale des premières molaires mandibulaires. Il se situe entre le canal mésio-vestibulaire et le canal mésio-lingual, sur la ligne de développement entre les deux canaux (Fig 28).

Sa prévalence se situe entre 1 et 16,4% selon les études. Il peut facilement être associé à un isthme, sachant que les isthmes sont présents à plus de 60% dans les racines mésiales des molaires mandibulaires.

Son instrumentation est délicate car il se trouve en regard d'une zone dangereuse. En effet, la partie distale de la racine mésiale présente une concavité. La paroi qui sépare le canal de la face externe distale de la racine mésiale est donc très fine et le risque de perforation est élevé [2,30,126].

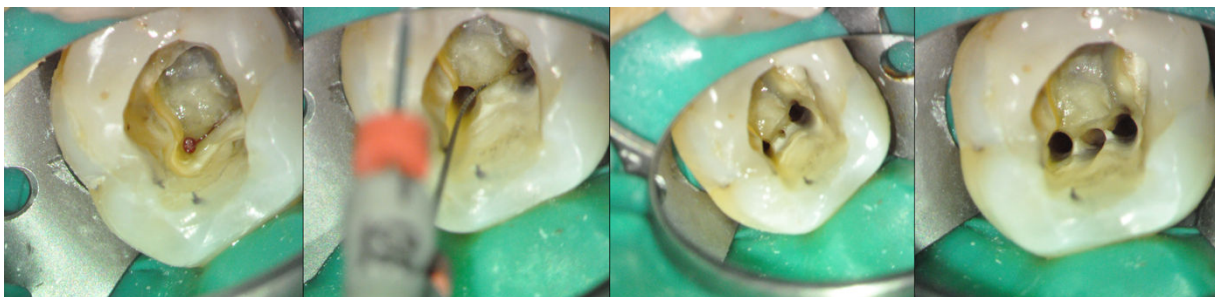


Figure 28: découverte d'un canal mésial moyen dans la racine mésiale d'une première molaire mandibulaire (vue clinique).

1.4 Anomalies anatomiques

1.4.1 Dens invaginatus ou dens in dente

Le *dens invaginatus* est une anomalie retrouvée le plus souvent dans les incisives latérales maxillaires (Fig 29A). L'étiologie est génétique et environnementale. Selon les études et les zones géographiques, la prévalence est comprise en 0,3% et 10%. Cette anomalie résulte d'un plissement de la papille dentaire au cours du développement de la dent [3]. Il en résulte souvent une communication de la pulpe avec la cavité orale, ce qui entraîne une nécrose pulpaire précoce.

Les *dens invaginatus* présentent 3 degrés de sévérité. Ils sont classés selon le système d'Oehlers du plus simple au plus complexe [101], l'invagination peut se cantonner à la couronne ou s'étendre au-delà de la jonction émail-cément et jusqu'à l'apex. Dans les cas les plus sévères, il est nécessaire d'orienter le patient vers un spécialiste qui effectue un traitement endodontique orthograde pouvant être associé à une chirurgie apicale. Le pronostic du traitement est souvent réservé.

L'invagination peut être détectée sur une radiographie rétro-alvéolaire mais son image est souvent floue et petite (Fig 29B). La fosse linguale sur les dents antérieures maxillaires représente une forme mineure de *dens invaginatus* [129][30].

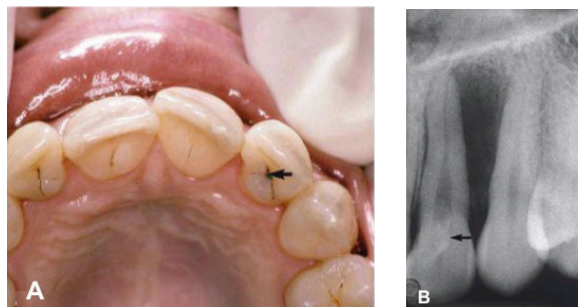


Figure 29 : *dens invaginatus* d'après M. Torabinejad [129].
(A : vue clinique ; B : cliché rétro-alvéolaire)

1.4.2 Dens evaginatus

Le *dens evaginatus* constitue une variation du *dens invaginatus*. Il est fréquemment retrouvé au niveau des prémolaires mandibulaires et plus particulièrement chez les individus asiatiques, les amérindiens et les hispaniques. Cette anomalie est souvent bilatérale.

Cliniquement, le *dens evaginatus* présente un tubercule de petite taille ou cuspidé surnuméraire sur la surface occlusale (Fig 30A). Il n'est pas toujours décelable lors de l'examen radiographique.

Ces tubercules fragiles contiennent une extension de la pulpe (Fig 30C). Ceux-ci ont tendance à se fracturer précocement à cause des traumatismes occlusaux. De plus les anfractuosités de la surface occlusale créées par ce tubercule entraînent souvent des lésions carieuses à cause de la difficulté à nettoyer cette zone. La pulpe est alors exposée et cela aboutit à une nécrose, alors que l'édification radiculaire n'est pas terminée (Fig 30B).

Il est donc nécessaire d'adopter une attitude préventive face à cette anomalie.

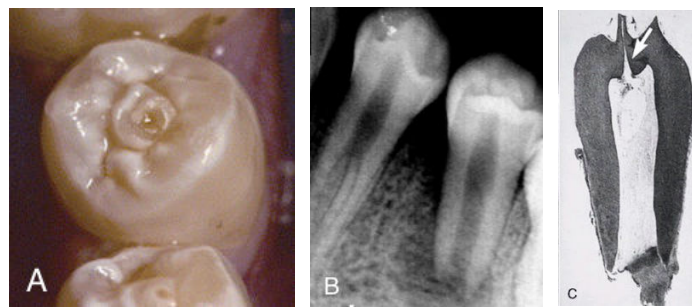


Figure 30: *dens evaginatus* d'après M. Torabinejad [129].

(A : vue clinique ; B : cliché rétro-alvéolaire ; C : coupe histologique longitudinale)

1.4.3 Sillon palatin

Le sillon palatin (ou « PGG » : palatogingival groove dans la littérature) est une aberration morphologique rare que l'on retrouve sur les dents antérieures maxillaires plus particulièrement sur les incisives latérales. Un sillon palatin apparaît comme un pli ou une fissure à la surface de la dentine. Il commence souvent au cingulum et peut s'étendre sur toute la longueur de la racine jusqu'à l'apex (Fig 31). Son incidence se situe en fonction des études entre 2,8% et 18%%. Environ 50% des sillons palatins se prolongent jusqu'à l'apex [116]. Cette fissure se situe souvent dans les régions palato-proximales. Il est discret en vue occlusale et peut être recouvert par du tissu kératinisé, ce qui exige d'être vigilant à l'examen clinique. Il en résulte souvent une poche parodontale étroite et profonde qui communique parfois avec la pulpe, provoquant une lésion endo-parodontale.

Le traitement est difficile et imprévisible. Le pronostic est mauvais [129]. Habituellement, ces dents nécessitent l'extraction, mais actuellement de nombreux rapports de cas ont montré qu'avec une prise en charge précoce et pluridisciplinaire, la conservation de

cette dent sur arcade est possible en combinant un traitement endodontique, une prise en charge parodontale et une radiculoplastie avec l'aide de matériaux comme les silicates tri-calciques [116][74][8].



Figure 31: sillon palatin d'une incisive latérale maxillaire d'après M. Torabinejad [129].
(A : vue clinique; B : incisive latérale extraite présentant un sillon longitudinal).

1.4.4 Dilacérations

La dilacération est le résultat d'une anomalie de développement dans laquelle il y a eu un changement brusque de l'inclinaison axiale entre la couronne et la racine d'une dent, ce qui crée une courbure sévère et complexe de la racine en formant un angle de plus de 90° (Fig 32 A-B). Les étiologies de cette anomalie sont les traumatismes et les troubles du développement. Il a également été suggéré qu'elle pourrait être associée à certains syndromes. La dilacération peut être observée le plus souvent en denture permanente mais aussi en denture temporaire. On la trouve sur les dents postérieures et au niveau du maxillaire. Sur les clichés rétro-alvéolaires, les courbures dans le sens mésial ou distal seront bien visibles mais les courbures dans le sens vestibulaire ou palatin seront décelables mais floutées à cause des superpositions (Fig 32C).

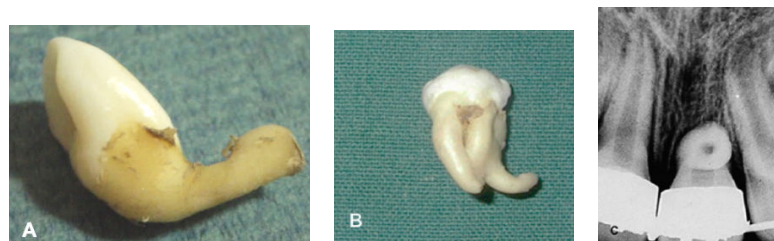


Figure 32: dilacérations d'après Jafarzadeh H. [69]
(A : incisive centrale maxillaire - vue distale; B : troisième molaire mandibulaire ; C : radiographie rétro-alvéolaire d'une incisive centrale maxillaire gauche présentant une dilacération de la racine dans le sens vestibulaire).

De nombreuses autres anomalies du système pulpaire et des racines peuvent survenir. Pour celles que le clinicien doit retenir, on peut citer : les variations du nombre de canaux ou de racines (Fig 33) [29], le taurodontisme, les fusions, les gémérations, *radix entomolaris* et *radix paramolaris* [23,98].

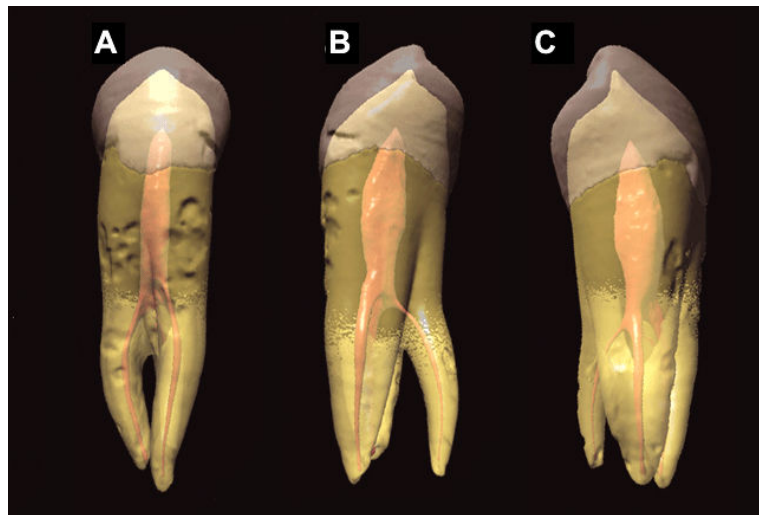


Figure 33: reconstruction tomodensitométrique en 3D d'un première prémolaire mandibulaire à trois racines et présentant un canal en « C » d'après International Endodontic Journal [29].

(A : vue vestibulaire ; B : vue mésiale ; C : vue distale)

Chaque dent ayant une anatomie canalaire inhabituelle doit être examinée cliniquement et radiographiquement. Le traitement endodontique doit être adapté en conséquence de la configuration du système canalaire.

Le canal en « C » fait partie des anatomies endodontiques particulières assez fréquemment rencontrées. Son anatomie canalaire complexe, oblige à l'étudier et le comprendre afin de prendre les précautions nécessaires pour son traitement endodontique.

1.5 Anatomie des canaux en « C »

1.5.1 Description générale

Les canaux en « C » sont des variations anatomiques que l'on retrouve le plus souvent au sein des deuxièmes molaires mandibulaires. Ils ont été décrits pour la première fois par Cooke et Cox en 1979 [31]. Leur nom vient de la forme particulière de leur anatomie canalaire qui, sur une coupe transversale de leur racine, ressemble à la lettre « C », au moins dans sa partie coronaire (Fig 35). Leur caractéristique anatomique principale est la présence d'un voile ou d'un ruban de connexion qui relie les canaux radiculaires principaux (Fig 34) [31].

La morphologie interne du canal reflète souvent le contour externe des racines [92]. Les canaux en « C » existent sur les dents qui présentent une seule racine en « carotte » [86] ou des racines fusionnées. La fusion des racines se fait principalement du côté vestibulaire. Il en résulte sur la face linguale de la racine, un sillon longitudinal (ou ligne de fusion) plus ou moins profond. Deux sillons peuvent être présents de chaque côté de la racine mais le sillon lingual est généralement le plus profond [41,63].

L'étiologie des canaux en « C » est l'échec de la gaine de Hertwig à fusionner sur la face linguale ou vestibulaire au moment de la rhizogénèse [71].



Figure 34: schéma simplifié représentant l'anatomie d'un canal en « C » (canal en « C » continu de la chambre pulpaire à l'apex) d'après Pathway of the Pulp[30]

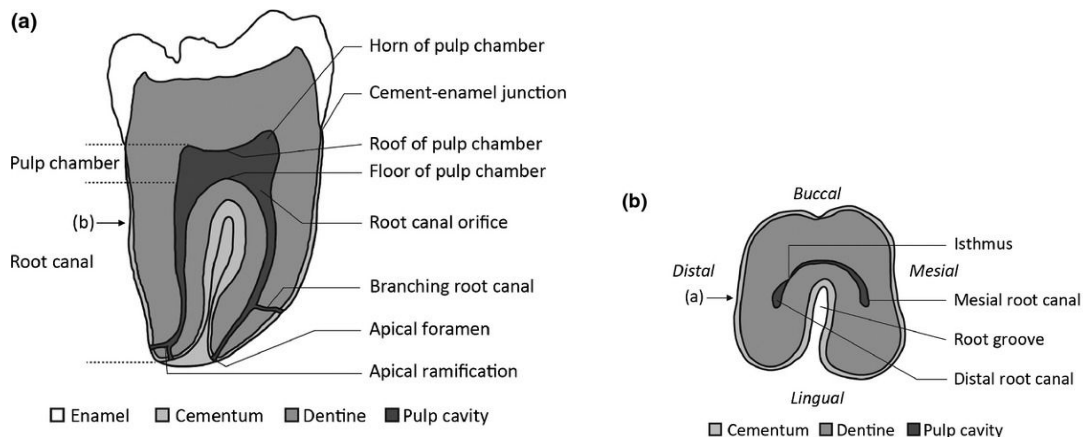


Figure 35: schéma d'une molaire mandibulaire humaine présentant un canal en « C » d'après Kato et al [77]. ((a) : coupe sagittale de la dent entière ; (b) : coupe transversale au niveau du plancher de la chambre pulpaire)

Ces illustrations sont purement schématiques (Fig 34-35), car les canaux en « C » sont sujets au polymorphisme. Un canal en « C » régulier et continu sur toute la longueur de la racine serait une exception plutôt que la règle. Les canaux en « C » constituent de véritables défis cliniques pour le praticien tant pour le débridement que pour l'obturation du système canalaire. Il existe de grandes variations anatomiques au sein d'une même dent [71].

1.5.1.1 Classification de Melton

Melton a défini 3 catégories de canaux en « C » en fonction de leur configuration sur des coupes axiales. Ces catégories servent encore aujourd'hui en référence dans la littérature. Dans la catégorie I, le canal en « C » est continu sur toute la largeur mésio-distale, il n'y a pas de séparation par de la dentine. La catégorie II est encore décrite comme la configuration en « point-virgule ». La dentine a séparé un canal distinct du canal en « C ». Le plus souvent, c'est le canal mésio-lingual qui est séparé [22]. La catégorie III se caractérise par le fait que 2 ou plusieurs éléments distincts sont séparés par de la dentine. C'est la catégorie la plus fréquente [145].

1.5.1.2 Classification de Fan

En 2004, avec l'utilisation du cone beam dans les études sur les canaux en « C », Fan et coll., ont créé une classification des canaux en « C » plus détaillée, utilisée dans les études les plus récentes. Cette classification distingue plus précisément les catégories II et III de Melton (Fig 36) [41].

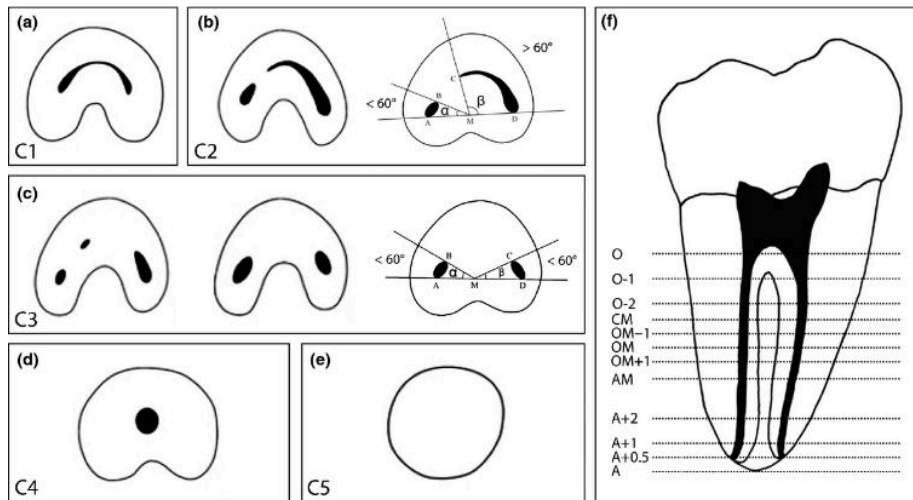


Figure 36: classification des canaux en « C » d'après Fan B. et coll.[41]

- (a) C1: canal radicaire sous la forme d'un « C » ininterrompu
- (b) C2: canal radicaire en forme de point-virgule, avec un angle α plus petit et un angle β supérieur à 60° .
- (c) C3: canal radicaire sous forme de canaux séparés, avec des angles α et β inférieurs à 60°
- (d) C4: canal radicaire simple ou ovale.
- (e) C5: absence d'une lumière du canal radicaire.
- (f) Une dent humaine est définie comme possédant un canal en « C » si une ou plusieurs des sections transversales présentent des configurations C1, C2 ou C3.

Cette classification a pour intérêt clinique de faire la différence entre une configuration de type C2 où l'un des canaux s'étend dans la zone de l'isthme et une configuration C3 où les canaux sont distincts. La configuration C2 est plus difficile à traiter endodontiquement (Fig 37) [41].

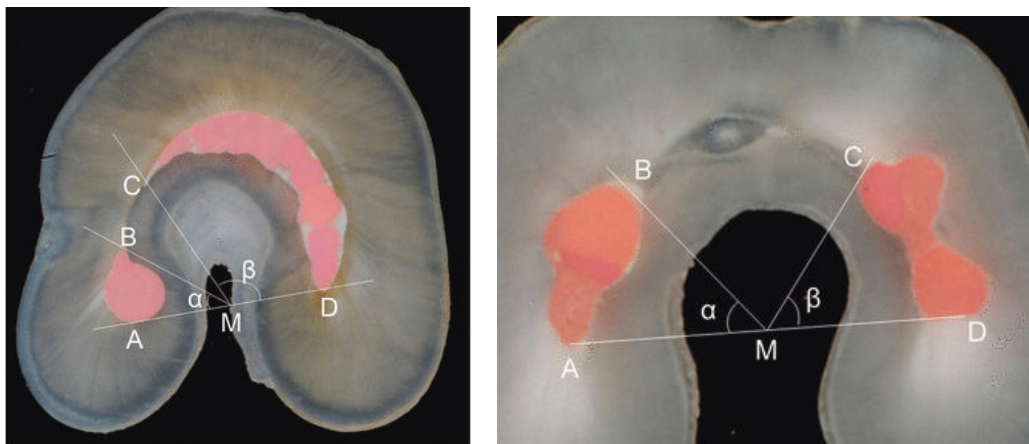


Figure 37 : différence clinique entre la configuration C2 (à droite) et C3 (à gauche) sur des coupes transversales du tiers coronaire de molaires mandibulaire en "C" traitées endodontiquement d'après Ordinola-Zapata et coll. [102].

Il a été montré qu'un canal en « C » était considéré comme tel, s'il présentait ces trois caractéristiques cliniques :

- des racines fusionnées ou proches l'une de l'autre avec des communications inter-canales ;
- la présence d'un sillon longitudinal sur la face vestibulaire ou linguale ;
- au moins une section transversale correspondant à la configuration C1, C2, ou C3.

1.5.1.3 Variations

En plus de ces différentes catégories, il a été montré que 95% des molaires mandibulaires avec un canal en « C » changent de configuration canalaire selon la hauteur de racine observée [144]. Un canal peut être continu en « C » (catégorie I de Melton) au tiers coronaire et moyen de la racine, puis se diviser en plusieurs canaux distincts au tiers apical. Inversement, un canal en « C » peut être retrouvé uniquement au niveau du tiers apical.

1.5.2 Dents et canaux concernés par la configuration en « C »

Les canaux en « C » sont retrouvés le plus souvent dans les deuxièmes molaires mandibulaires qui possèdent une seule racine ayant elle-même un contour en « C », ou des racines fusionnées. Des études ont rapporté qu'on pouvait aussi les détecter dans les incisives latérales maxillaires [20,124], les molaires maxillaires [33,78,90,96,99,117,141], les premières molaires mandibulaires [12,19,107] et les prémolaires mandibulaires [9,46,47,58,84,111,118,142].

1.5.2.1 Cas particulier des premières prémolaires mandibulaires

Les premières prémolaires mandibulaires sont les dents les plus difficiles à traiter endodontiquement parce qu'elles sont sujettes aux variations anatomiques et qu'elles sont de petite taille. La probabilité d'y rencontrer plus d'un canal est d'environ 25% [84]. Des études ont rapporté une prévalence de canaux en « C » dans les premières prémolaires mandibulaires allant de 14% à 24% selon les études et la région géographique où elles ont été réalisées [9,46,58,84].

Les premières prémolaires mandibulaires en forme de « C » présentent toujours un sillon ou une concavité sur la face externe de la racine (Fig 38). La présence d'un sillon sur la face externe d'une prémolaire mandibulaire augmente la probabilité d'y trouver une anatomie canalaire complexe. Ce sillon peut traduire un changement de morphologie canalaire comme la furcation de deux canaux ou un canal en « C » [24]. Dans 78,5% des cas, il est situé en mésio-lingual [46]. Sa profondeur ne dépasse pas un tiers de la largeur vestibulo-linguale de la racine [47]. Il débute à généralement à 3 mm de la jonction amélo-cémentaire [48].

Il est peu probable de trouver une entrée canalaire en « C » sur une prémolaire mandibulaire. La configuration en « C » est trouvée, dans la plupart des cas, dans la moitié apicale de la racine (Fig 39). On trouve rarement un canal en « C » continu jusqu'à l'apex, rapidement le canal en « C » bifurque et se divise en plusieurs canaux pulpaire (Fig 40).

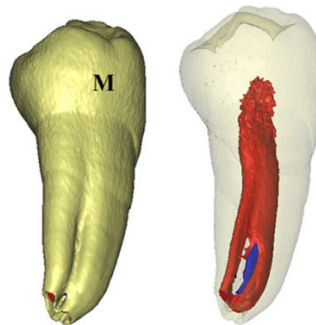


Figure 38: reconstruction 3D d'une première prémolaire mandibulaire avec un canal en "C" à partir d'un scan micro-CT de Gu et coll. [57] (M : paroi mésiale).

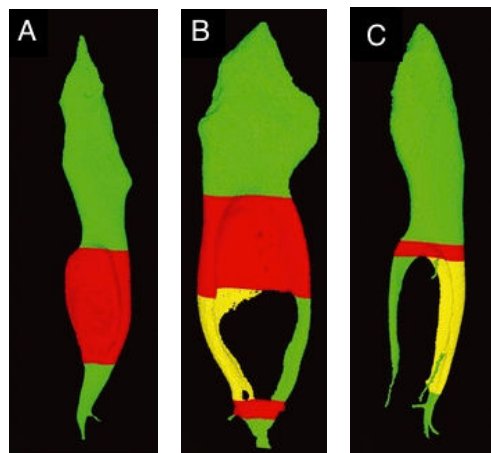


Figure 39: configuration du système canalaire de premières prémolaires mandibulaires avec un canal en « C » d'après Fan B. [47]. La zone verte ne constitue pas un canal en « C », la zone rouge correspond à la partie en « C », la zone jaune représente un canal semi-lunaire.

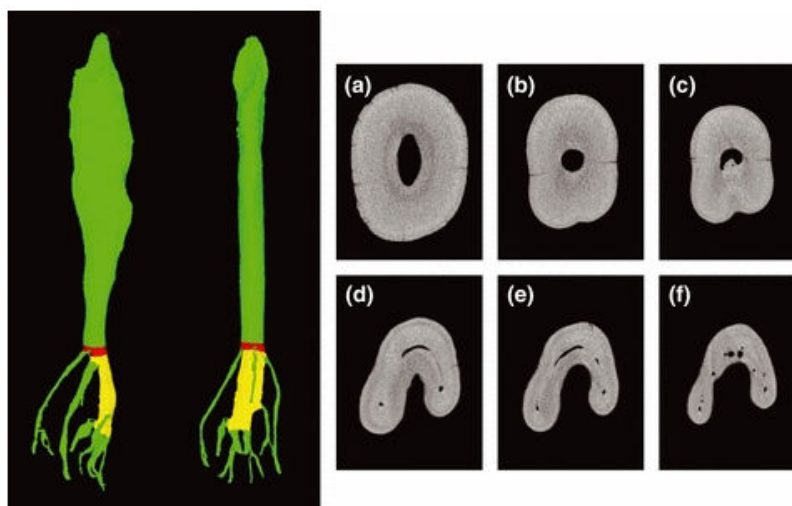


Figure 40: cas d'une première prémolaire mandibulaire avec un système canalaire particulièrement complexe et un canal en "C" d'après Fan B. [47].

1.5.2.2 Cas particulier des premières molaires maxillaires

Plusieurs rapports de cas ont présenté des premières molaires maxillaires avec un canal en « C » [33,78,90,96,99,141]. Le canal en « C » peut concerner le canal palatin, ou alors la réunion en un seul canal des canaux mésio-vestibulaire et disto-vestibulaire en forme de « C » (Fig 41).

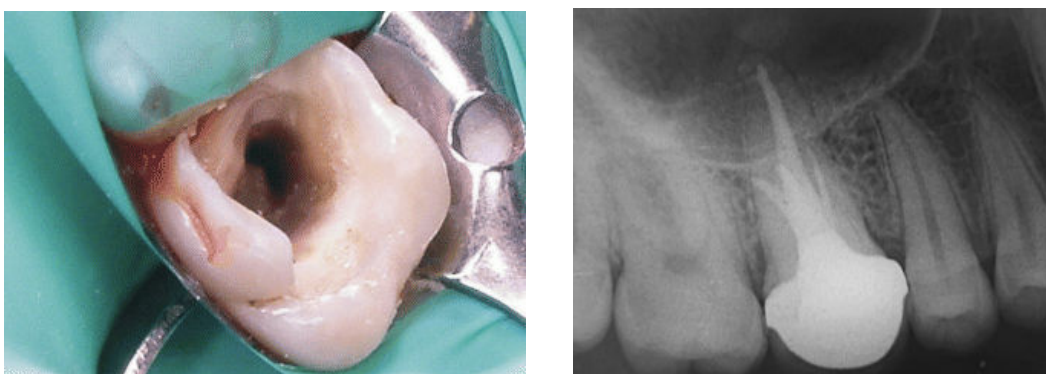


Figure 41: cas d'un canal en « C » dans une première molaire maxillaire d'après Yilmaz. A gauche, vue clinique de l'entrée canalaire vestibulaire en « C ». A droite, radiographie post-opératoire avec le canal vestibulaire présentant trois foramina apicaux [141].

1.5.3 Fréquence de ce type de canal

De nombreuses études *ex vivo* et *in vivo* ont cherché à déterminer la prévalence de l'anatomie canalaire en « C » à travers le monde. La plupart des études ont révélé que la prévalence était plus élevée dans les pays asiatiques [134,144,146]. Les études *in vivo* sont plus significatives que les études *ex vivo* car elles évitent les facteurs de confusion comme la cause de l'extraction dentaire.

Une étude transversale publiée en septembre 2017 dans *Journal of endodontics* [145], a étudié la prévalence des canaux en « C » dans les secondes molaires mandibulaires. Le but de cette étude *in vivo* était d'évaluer et de comparer la prévalence des canaux en « C » dans les secondes molaires mandibulaires à travers 9 pays différents sur 4 continents distincts, en utilisant la technologie de la tomodynamométrie à faisceau conique (ou CBCT : cone-beam computed tomography) (Fig 42).

L'intérêt du CBCT est qu'il permet d'obtenir une reconstitution en trois dimensions de l'anatomie maxillo-faciale, avec de faibles doses de rayonnement. C'est une méthode non invasive. Cette étude s'est révélée puissante et significative en termes de statistiques car elle était basée sur des méthodologies et des classifications bien définies avec un respect strict de la taille des échantillons (400 échantillons par zone géographique, soit 3600 secondes molaires mandibulaires étudiées).

Voici les résultats : les auteurs ont pu montrer que la prévalence mondiale des canaux en « C » dans les secondes molaires mandibulaires était de 13,9%. Dans tous les échantillons, ils ont montré que chez les femmes la prévalence est significativement plus élevée que chez les hommes (16,5% pour les femmes contre 10,4% pour les hommes). Ces chercheurs ont mis en évidence qu'il n'y a aucune différence significative entre les secteurs gauche et droit. Lorsque cette anatomie particulière se présente, elle est dans plus de 70% des cas bilatérale [41,71,110,144,145].

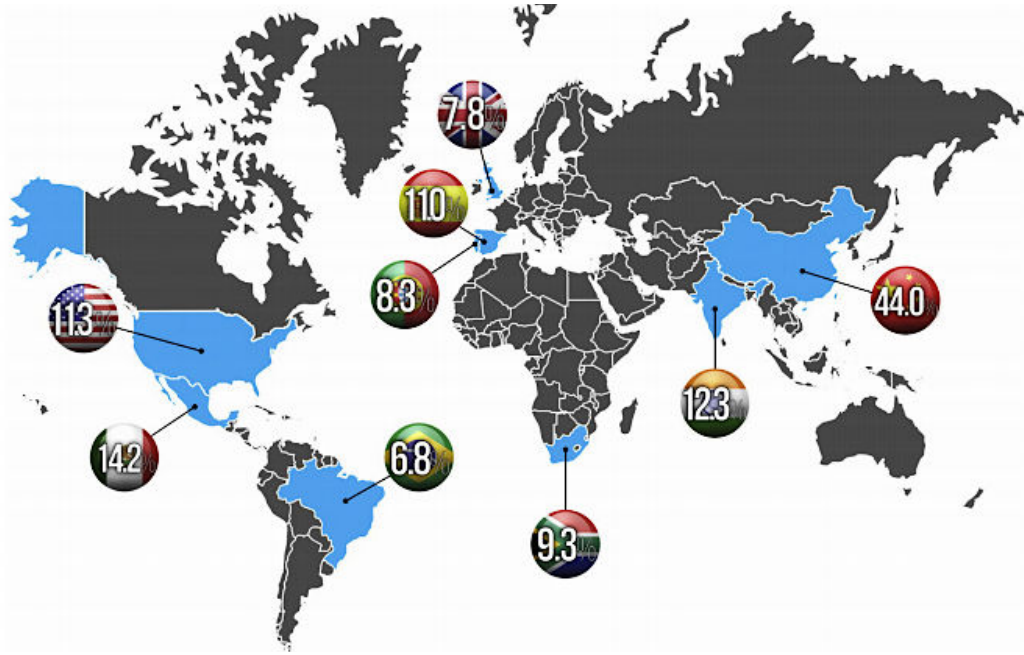


Figure 42: répartition mondiale de la prévalence des canaux en « C » dans les secondes molaires mandibulaires [145]

Les variations anatomiques des dents, comme par exemple le tubercule de Carabelli, sont souvent déterminées par un gène [11]. Le gène à l'origine des canaux en « C » n'a pas encore été identifié chez l'homme [127]. Ce trait de caractère étant génétiquement déterminé, il a été montré qu'il y a une influence ethnique sur la prévalence des canaux en « C ». Les populations natives chinoises [133][146], les asiatiques [115][60][73], les habitants du Yucatán, contemporains des Mayas [105] et les libanais [61] ont une forte prévalence de canaux en « C », contrairement aux caucasiens dont la prévalence est moindre. Il existe donc un gradient occidental-oriental, avec une prévalence élevée de plus de 40% pour les asiatiques de l'Est, notamment les chinois, coréens et japonais (Fig 42) [63].

1.6 Problématiques cliniques posées par les canaux en « C »

1.6.1 Problématiques cliniques inhérentes aux deuxièmes molaires mandibulaires



Dans plus de 75% des cas la deuxième molaire mandibulaire possède deux racines, et 3 canaux, deux mésiaux et un distal.

Elles font parties des dents les plus compliquées à appréhender cliniquement pour plusieurs raisons :

- elles possèdent une faible hauteur coronaire ce qui rend la pose de digue difficile ;
- les racines sont sujettes aux courbures sévères comme les doubles courbures en S (23%) ou les racines en baïonnettes ;
- leur éloignement postérieur sur l'arcade rend le passage instrumental compliqué et diminue la visibilité ;
- le polymorphisme est élevé ;
- le nerf alvéolaire inférieur passe à proximité de cette dent ;
- le problème anesthésique lié aux molaires mandibulaires.

1.6.2 Cavité d'accès et identification des entrées canalaires

Les deuxièmes molaires mandibulaires présentent habituellement une cavité d'accès de forme triangulaire, ou trapézoïdale s'il existe un deuxième canal distal (Fig 43)[77].



Figure 43: cavité d'accès des deuxièmes molaires mandibulaires (à gauche : schématisation d'après *Pathway of the pulp* [30], à droite : vue clinique)

Dans les molaires mandibulaires en « C », la chambre pulpaire ne présente pas plusieurs entrées canalaires distinctes mais une seule entrée en forme de ruban formant un arc de 180° du canal distal au canal mésial (Fig 44). Les canaux mésiaux et distaux sont proches l'un de l'autre avec un isthme en forme de « C » les reliant.



Figure 44: cavité d'accès des deuxièmes molaires mandibulaires avec des entrées canalaires en "C" (à gauche : schématisation d'après *Pathway of the pulp* [30], au centre : vue clinique, à droite : photographie prise au microscope opératoire d'après Kato et coll.[77])

Le plancher pulpaire qui se situe habituellement au niveau de la jonction amélo-cémentaire, est plus profond sur des canaux en « C », rappelant le taurodontisme [61]. La chambre pulpaire est donc profonde et étroite, ce qui réduit la visibilité du site.

Des calcifications de la chambre pulpaire ou des pulpolithes peuvent masquer l'aspect en « C » de l'entrée canalaire [59,71]. Il est donc important d'aménager avec soin cette cavité d'accès qui peut varier considérablement et dépend de la morphologie pulpaire elle-même [30]. En 2004, Min. et coll. ont étudié plus précisément la morphologie du plancher de la chambre pulpaire des canaux en « C » en scannant par micro tomographie des molaires extraites avec des racines en forme de « C » [95]. De cette étude, il ressort que : le plancher pulpaire se trouve en moyenne à 3 mm sous la jonction amélo-cémentaire [41]. La plupart des dents avec des racines en forme de « C » ont également un plancher pulpaire en forme de « C », mais pas toutes, ce qui complique le diagnostic. La seule présence d'un plancher pulpaire en forme de « C » ne permet pas d'affirmer que la configuration en « C » se retrouvera sur toute la longueur du canal. Des variations de la morphologie du plancher ont été observées et classées en 4 catégories (Fig 45).

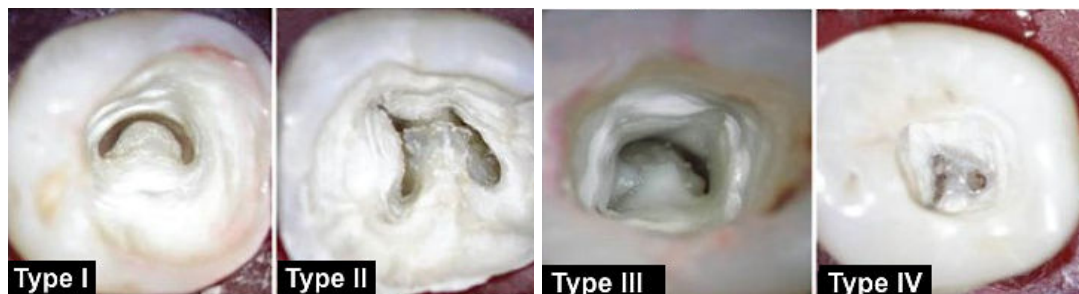


Figure 45: classification des planchers pulpaires de Min et coll., vues cliniques d'après Chhabra et coll. [27].

Grâce à l'anatomie du plancher pulpaire, il est possible de prédire l'anatomie canalaire sous-jacente. Pour les types II et IV, l'anatomie canalaire est semblable à celle des deuxième molaires mandibulaires à deux racines, c'est-à-dire, deux canaux mésiaux qui peuvent se rejoindre et un canal distal ovalaire. Pour les types I et III, l'anatomie sera plus complexe avec la présence d'un isthme. Au niveau apical, ces canaux pourront se diviser [95].

Lors de la réalisation de la cavité d'accès, un canal supplémentaire en mésio-lingual est à rechercher. Cette recherche doit se faire avec beaucoup de prudence car il se trouve dans une zone où le risque de perforation est élevé [77,141].

1.6.3 Inconfort du cathétérisme

Le cathétérisme est compliqué par l'étroit ruban de connexion entre les canaux principaux. La présence d'isthmes, de fusions dentinaires et de calcifications empêche les instruments de passer de mésial en distal sans obstructions. [71] Les variations de configurations le long du canal gênent le passage des instruments. Le cathétérisme est souvent incomplet. Des canaux peuvent ne pas être précisément localisés. La plupart des canaux en « C » présente une division des canaux dans la racine, plus particulièrement au tiers apical où la prévalence des bifurcations canalaire dans cette zone est de 34%. Quatre-vingt-dix pourcent des divisions canalaire au tiers apical ne sont pas détectées [44]. Lors du cathétérisme des canaux en « C », les instruments paraissent perforer la furcation.

1.6.4 Difficulté d'éliminer l'ensemble du parenchyme pulpaire

Melton a étudié le système canalaire de 15 deuxièmes molaires mandibulaires à l'aide de moulages en résine ou en observant des coupes histologiques à différents niveaux de la racine sur des dents présentant un traitement endodontique inadéquat [92].

Les caractéristiques les plus frappantes sur les coupes histologiques sont la quantité de débris et de zones non instrumentées en particulier dans les tiers moyen et apical de la racine. En effet, les canaux en « C » possèdent de nombreuses variations et irrégularités au sein de leur parenchyme pulpaire. Le ruban reliant le canal mésial et distal est large et fin, ce qui empêche le débridement en utilisant des techniques d'instrumentation qu'elles soient manuelles ou mécanisées.

De plus, des isthmes sont souvent retrouvés dans le tiers moyen et apical de la racine. Ils ont une orientation horizontale et sont étroits ce qui empêche leur instrumentation. Le système canalaire des canaux en « C » est particulièrement riche en canaux latéraux, accessoires et deltas apicaux [26,44]. Ces variations canalaire s'étendent souvent en forme d'éventail au niveau du tiers-apical. Les deuxièmes molaires mandibulaires avec un canal en « C » présentaient des variations anatomiques entre elles et des variations anatomiques internes le long de la racine. Il est impossible d'assurer l'élimination complète de la pulpe et des tissus nécrosés avec les instruments mécaniques seuls. Une irrigation assurant la dissolution du tissu organique est nécessaire.

1.6.5 Hémorragie en cas de pulpite aiguë

En cas de pulpite sur un canal en « C », l'hémorragie peut être abondante et persistante (Fig 46). En effet, le tissu pulpaire est plus volumineux et plus étendu dans cette configuration canalaire. La difficulté de retirer l'ensemble du parenchyme pulpaire particulièrement en regard de l'isthme, complique la possibilité d'obtenir une hémostase dès la première séance endodontique. Les restes de tissus mous et de débris infectés dans les zones non instrumentées peuvent être la cause d'un saignement persistant et de douleurs. Le recours à une médication intra canalaire temporaire est nécessaire en cas d'hémorragie ou de douleurs persistantes.

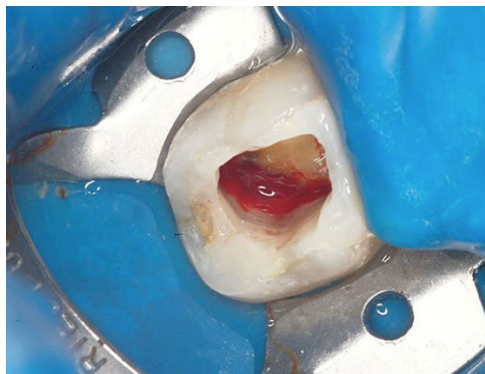


Figure 46: hémorragie pulpaire sur un canal en « C » d'après Crespo [32]

1.6.6 Préparation et irrigation

En endodontie, plus de 35% de l'aire canalaire serait non instrumentée à cause des complexités que l'anatomie canalaire peut présenter [34]. En effet, les instruments en Nickel-Titane (ou NiTi) de préparation mécanique façonnent principalement la partie centrale du canal, laissant ainsi des feuillets, isthmes et canaux accessoires intacts. Ces zones non préparées pourraient abriter des restes de tissus nécrotiques pulpaire et constituer des réservoirs bactériens pouvant conduire à l'échec du traitement endodontique canalaire. Les variabilités et les particularités anatomiques sont des milieux favorables et à la prolifération et à la survie bactérienne. Les bactéries s'immisçant dans les complexités anatomiques sont protégées des procédures de nettoyage et de mise en forme canalaire. Les variations que présentent les canaux en « C » font que de nombreuses zones du canal sont inaccessibles aux instruments endodontiques [71,92]. Seule l'irrigation peut pallier aux manques de l'instrumentation.

Les solutions d'irrigation aux propriétés requises, utilisées en volume important autorisant un renouvellement permanent peuvent compenser les insuffisances éventuelles de la mise en forme apicale. Le produit idéal devrait être non toxique. Il existe différentes solutions d'irrigation comme l'hypochlorite de sodium, l'acide éthylène diamine tétra-acétique (EDTA), le sérum physiologique, la chlorhexidine ou l'acide citrique. Aucune de ces solutions ne possède l'ensemble des critères de la solution parfaite. Il faut utiliser plusieurs solutions différentes en gardant à l'esprit que certaines interactions peuvent être néfastes ou peuvent diminuer leur efficacité.

L'hypochlorite de sodium est actuellement la solution d'irrigation de choix, la plus utilisée par les chirurgiens-dentistes. Elle possède un large spectre antibactérien et un effet solvant sur les tissus organiques et le biofilm à partir d'une concentration de 2,5%.

L'hypochlorite ne possède pas d'effet solvant sur les composants minéraux contrairement à l'acide éthylène diamine tétra-acétique. L'EDTA, grâce à son fort pouvoir chélatant, permet la dissolution des copeaux dentinaires et de l'enduit pariétal provoqué par l'instrumentation mécanique. Il désorganise et décolle le biofilm des parois canalaires. Il est préconisé à la fin de la préparation canalaire à une concentration de 17% pendant une à trois minutes, suivi d'un rinçage final à l'hypochlorite de sodium qui le neutralise et évacue les débris [6]. Certains auteurs pensent que l'utilisation de l'EDTA en alternance avec une irrigation abondante avec l'hypochlorite de sodium permet une désinfection correcte du système canalaire [77].

1.6.7 Zone dangereuse

1.6.7.1 Zone de fragilité des molaires mandibulaires en « C »

Une zone de fragilité a pu être identifiée grâce à plusieurs études sur des molaires mandibulaires : c'est la zone de concavité du « C », en regard de la ligne de fusion (Fig 47 A) [22,24,51]. C'est une zone où l'épaisseur de dentine qui sépare la pulpe du milieu extérieur peut faire moins de 1 mm. Le risque de perforation est élevé dans cette zone, pendant le traitement endodontique ou lors de la réalisation d'un logement canalaire [92].

En regard de cette ligne de fusion, la limite entre la dentine radiculaire et le cément est difficilement discernable (Fig 47 B). Le risque de perforer le cément lors de la préparation canalaire est élevé.

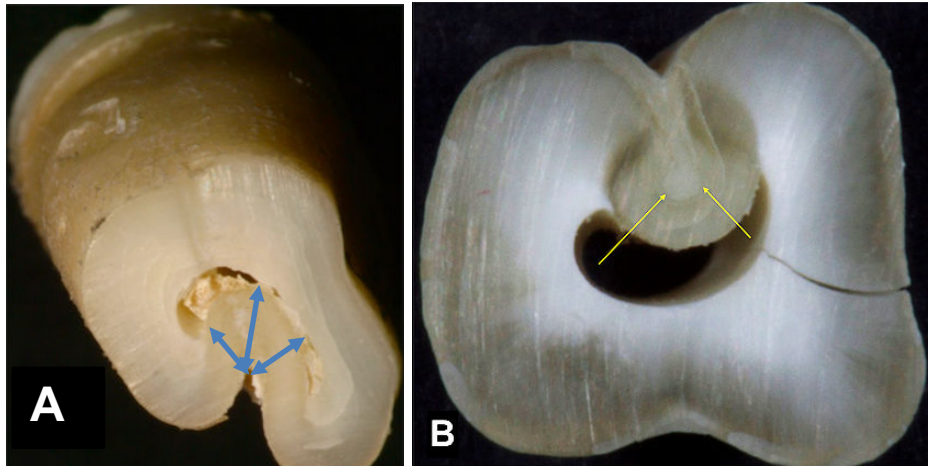


Figure 47: zone de danger des secondes molaires mandibulaires en « C ».

Il est important de pouvoir localiser l'épaisseur minimale de dentine car c'est la zone de faiblesse de la racine. Elle est sujette aux fractures et aux perforations. Des scientifiques ont mesuré l'épaisseur des parois des canaux en « C » sur des échantillons de deuxièmes molaires mandibulaires [22,24,51]. Pour ce faire, ils ont réalisé des coupes transversales à plusieurs niveaux de la racine et ont mesuré l'épaisseur minimale de dentine et sa localisation.

Au niveau coronaire, médian et apical, la largeur de dentine la plus faible concerne la paroi linguale. Les parois vestibulaires et linguales étaient toujours plus fines en mésial [22]. Au tiers coronaire, l'épaisseur minimale moyenne de dentine était de 0,9 mm. L'élargissement du tiers coronaire doit se faire avec précaution. Cette paroi faible contre-indique la pose d'un ancrage radiculaire.

Au tiers moyen, l'épaisseur minimale moyenne en regard de la paroi linguale est inférieure à 0,5 mm et au tiers apical à 0,3 mm. Or la résultante des forces de compaction pendant l'obturation sur une épaisseur restante de 0,2-0,3 mm peut entraîner une fracture de la racine [24,51].

La zone de danger des molaires mandibulaires avec des canaux en « C » se situe au niveau de leur paroi linguale, plus particulièrement en mésio-lingual (Fig 48).

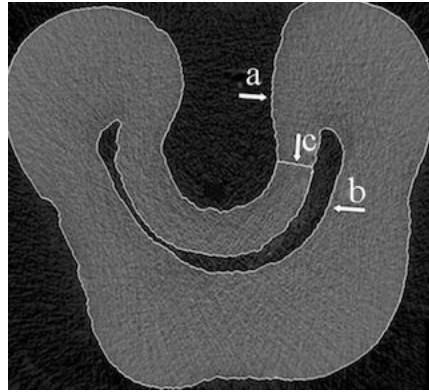


Figure 48: image μ -CT d'une coupe transversale au tiers moyen de la racine d'une deuxième molaire mandibulaire d'après Gao et coll. Peu de dentine sépare le canal radiculaire de la surface externe de la racine (a : surface externe de la racine, b : paroi interne du canal, c : paroi avec l'épaisseur minimale)[51].

1.6.7.2 Zone de fragilité des prémolaires mandibulaires en « C »

La zone de danger au niveau des prémolaires avec un canal en « C » se situe aux niveaux des parois proximales (Fig 49 A-B). Ce sont des dents étroites. L'épaisseur de dentine la plus faible se trouve au niveau de la paroi mésiale. Selon une étude de Fan B. et coll, l'épaisseur de la paroi mésiale est en moyenne de 1 mm au niveau de la jonction amélo-cémentaire. Elle décroît en direction apicale jusqu'à atteindre 0,64 mm en moyenne. L'épaisseur minimale de dentine trouvée dans la région apicale était de 0,17 mm et concernait la paroi mésiale. La profondeur du sillon lingual et sa proximité avec l'isthme en font également une zone de danger (Fig 49 C) [46,84].

Ces zones de danger sont extrêmement importantes à prendre en compte lors de la mise en forme canalaire et la restauration post-endodontique. Le risque de perforation est encore plus élevé sur les prémolaires que sur les molaires mandibulaires en « C ». L'utilisation d'instruments mécaniques de manière agressive en direction d'une paroi de faible épaisseur entraîne rapidement une perforation de la racine.

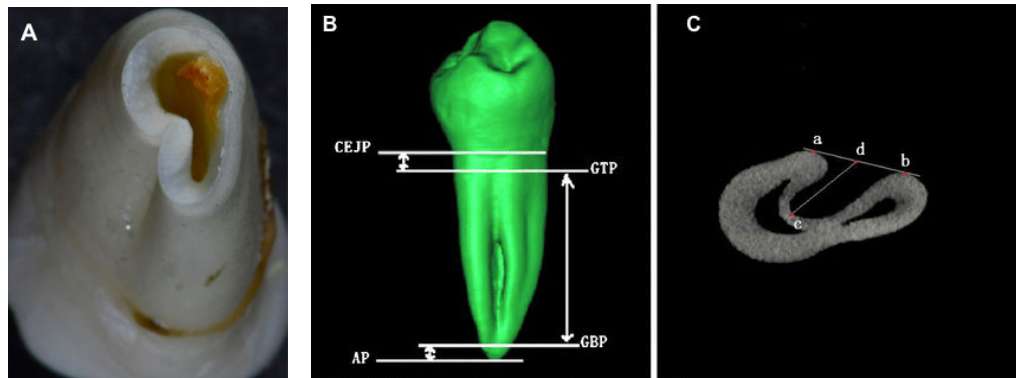


Figure 49: première prémolaire mandibulaire avec un canal en "C".

A : vue apicale d'une première prémolaire mandibulaire immature.

B : vue linguale de la reconstruction 3D d'une prémolaire mandibulaire présentant un sillon palatin d'après Chen et al. [24].

C : coupe transversale de micro-CT au tiers moyen de la racine réalisée par Chen et al. [24].

1.6.8 Zone apicale complexe

La zone apicale est toujours compliquée à gérer mais peut-être un peu plus dans le cas des canaux en « C » (Fig 50).

Manning a étudié l'anatomie des canaux en « C » de 19 deuxièmes molaires mandibulaires. Il relève que l'ensemble de ces dents possèdent une zone apicale complexe. Souvent, le foramen apical principal ne se situe pas à l'apex anatomique mais plutôt latéralement. Des *deltas* apicaux sont identifiés sur 16 des 19 molaires avec canal en « C » [88].

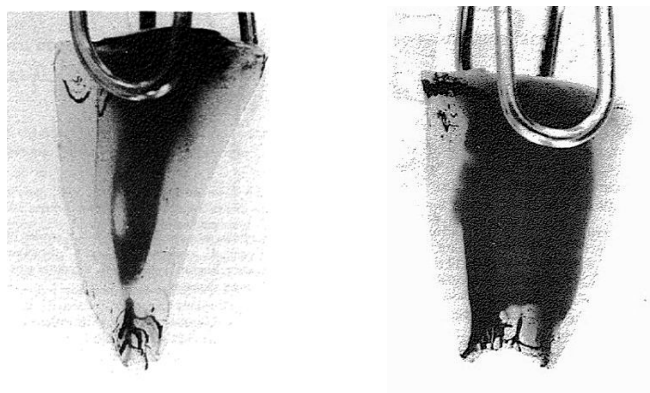


Figure 50: deltas apicaux de canaux en C de deuxièmes molaires mandibulaires d'après Manning [88].

Les secondes molaires mandibulaires avec un canal en « C » présentent de nombreuses variations dans la configuration du canal, mais leur partie apicale est certainement la plus variable avec une configuration imprévisible (Fig 51).

Dans une étude menée en 2004 par Seo et al. [115], l'objectif est de définir quelle catégorie de Melton est la plus fréquente dans la région apicale. Il en ressort qu'il n'y a pas de différence significative entre les incidences des trois catégories. Les canaux en forme de « C » continu (catégorie I de Melton) ou en points-virgules (catégorie II de Melton) à l'entrée canalaire ont une forte possibilité d'être divisés en deux ou trois canaux dans la région apicale (Fig 51).

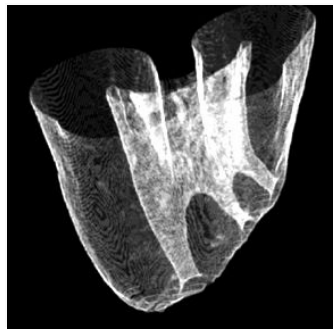


Figure 51: micro-CT scan des 5 mm apicaux d'un système canalaire en « C » d'après Cheung et coll. [25].

En 2007, Cheung et coll. réalisent une étude de l'anatomie apicale des canaux en « C ». Ils utilisent la micro-tomographie assistée par ordinateur avec des reconstructions en trois dimensions des morphologies apicales des molaires scannées. Ils étudient les 5 mm apicaux de 44 deuxièmes molaires mandibulaires, et rapportent la présence de plusieurs structures anatomiques particulières. Quarante et un pourcents de ces molaires possèdent un ou plusieurs canaux accessoires (Figure 52A). Vingt-cinq pourcents possèdent au moins un canal latéral (Figure 52B). Vingt-sept pourcents ont des isthmes (Figure 52D). Onze pourcents présentent un *delta* apical (Figure 52C). La prévalence des *foramina* accessoires est de 48%. Ils concluent que la prévalence des canaux accessoires et des isthmes augmente fortement dans les 5 mm apicaux. La présence de *foramina* multiples va compliquer la phase d'obturation.

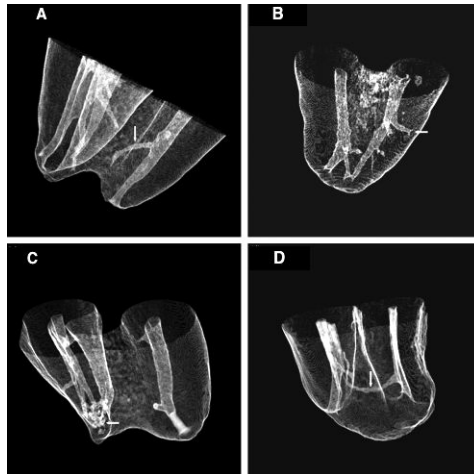


Figure 52: modèles en trois dimensions des anatomies remarquables dans la zone apicale des canaux en « C » d'après Cheung et coll.[25]

Il a été montré que l'essentiel des échecs de traitements étaient dû à la persistance de bactéries au niveau apical [109]. Malgré les variations et obstacles anatomiques que présente la zone apicale des canaux en « C », il est nécessaire que la préparation canalaire atteigne cette zone afin de permettre à la solution d'irrigation de désinfecter l'ensemble du système canalaire complexe de l'apex pour éviter la persistance de bactéries.

1.6.9 Conséquences parodontales de la configuration en « C »

1.6.9.1 Rapport sillon / épaisseur vestibulo-linguale

Toutes les dents avec un canal en « C » possèdent un sillon sur la face externe de leur racine. Sur les molaires mandibulaires, il se situe du côté lingual (Fig 53). Sur les prémolaires, il est situé en mésio-lingual. Dans l'étude de Fan [41], la profondeur moyenne du sillon lingual des molaires mandibulaires avec un canal en « C » est mesurée par le rapport profondeur du sillon / épaisseur vestibulo-linguale de la dent. La profondeur moyenne du sillon sur les molaires mandibulaires avec un canal en « C » est de 48%, ce qui correspond à un sillon profond. L'étude conclue que plus le sillon est profond, plus le risque de trouver un canal en « C » est élevé. Au contraire, un sillon peu profond (avec un rapport sillon / épaisseur vestibulo-linguale inférieur à 20%) indique une anatomie canalaire moins complexe avec un canal de forme ovale ou ronde [5,24,41].



Figure 53: sillon lingual d'une molaire mandibulaire avec des racines fusionnées d'après Ordinola-Zapata [102].

1.6.9.2 Relation endo-parodontale

Le sillon radulaire des racines en « C » est un défaut anatomique de la surface radulaire qui peut initier une atteinte parodontale et pulpaire. Dans le cadre d'une parodontite chronique généralisée, il prédispose à une aggravation locale de la parodontite.

Le sillon lingual se présente comme une gouttière susceptible de retenir la plaque dentaire et le tartre sous gingival. Cette irrégularité sous gingivale constitue une véritable niche écologique favorable à la rétention et la croissance bactérienne. Une réaction inflammatoire locale provoque la rupture de l'attachement épithélial. Le processus inflammatoire progresse apicalement créant une poche parodontale localisée et profonde, ce qui en fait un site parodontal actif et instable. Le pronostic des dents avec des sillons radulaires est souvent mauvais.

Bien que le défaut soit d'étiologie parodontale, un traitement endodontique est souvent nécessaire en raison d'une atteinte pulpaire secondaire. Si la dégradation parodontale persiste, l'extraction de la dent affectée doit être envisagée [4,49].

1.6.9.3 Attitude préventive

La plupart des anatomies particulières étant bilatérales, dès lors qu'un canal en « C » est découvert, un examen clinique de la dent controlatérale est nécessaire en prévention. Comme pour les incisives latérales présentant un sillon palatin, lors de l'examen clinique il est nécessaire d'identifier ces zones dangereuses en cas de parodontite débutante.

2 Traiter les canaux en « C » : quelles solutions cliniques ?

2.1 Examen clinique

Le diagnostic clinique pré-opératoire ne peut pas à lui seul confirmer la présence d'un canal en « C ». Aucun signe anatomique sur la couronne ne peut prédire l'existence d'un canal en « C ». Un sondage parodontal de la zone de furcation peut détecter un défaut parodontal local qui peut être la première indication diagnostique d'un canal en « C ». Le défaut parodontal se situe en regard du sillon longitudinal sur la surface externe des racines fusionnées [48]. Un sillon peu profond indique une anatomie canalaire moins complexe avec des canaux dont la forme est arrondie. Une anatomie canalaire en « C » est généralement associée à un sillon profond [5].

La jonction émail-cément (JEC) est un point de repère fiable dans la localisation des entrées canalaire et la réalisation de la cavité d'accès. Certaines lois de Krasner et Rankow sont applicables aux canaux en « C », notamment la loi de changement de couleur, et la loi de l'emplacement des entrées canalaire au niveau des jonctions plancher-murs [30].

Le diagnostic d'un canal en « C » ne peut être confirmé qu'après préparation de la cavité d'accès. Une fois qu'elle est réalisée, une analyse de la morphologie du plancher pulpaire avec l'aide de la classification de Min et coll., donne des indications quant au nombre de canaux présents (Fig 54).

Une morphologie en « C » continu (Type I-II-III de Min et coll.) prédit l'existence de 3 canaux. Une morphologie ovale ou aplatie (Type IV de Min et coll.), indique plutôt que deux canaux sont à rechercher. Une morphologie ronde (C4 de Fan B.) laisse supposer la présence d'un seul canal.

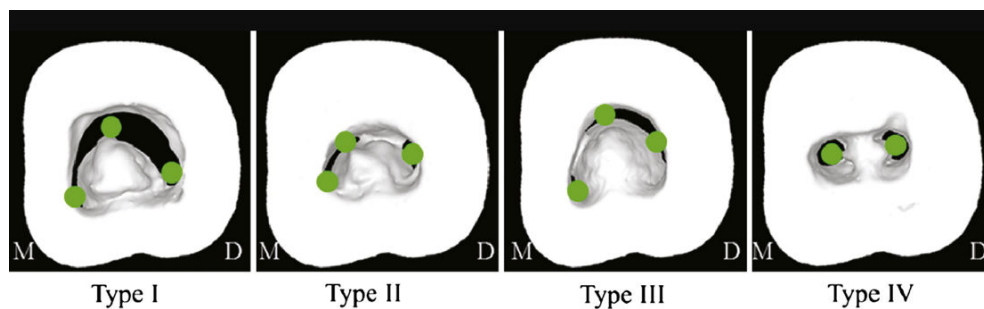


Figure 54: localisation des canaux en fonction des types de planchers pulpaire selon Min et coll. Les points verts indiquent l'endroit où placer les limes lors du cathétérisme, d'après Fan et coll. [44]

2.2 Examens complémentaires

2.2.1 Orthopantomogramme (OPT)

Dans la recherche des canaux en « C », l'OPT ou radiographie panoramique montre rapidement ses limites. Cependant, il peut servir d'examen de routine avant un traitement endodontique afin de déterminer si un examen plus approfondi est nécessaire [75].

Les deuxième molaires mandibulaires présentant des racines mésiales et distales proches l'une de l'autre ou fusionnées doivent faire suspecter un canal en « C » (Figure 55) [120].



Figure 55: images de canaux en « C » découvertes à l'OPT (au-dessus) et la confirmation du diagnostic par cone-beam (au-dessous).

2.2.2 Radiographies rétro-alvéolaires

Avant tout traitement endodontique, des radiographies pré-opératoires sont obligatoires afin d'extraire un maximum d'informations comme le nombre de canaux, l'anatomie canalaire, les calcifications ou les courbures. Ces radiographies sont essentielles dans le diagnostic des canaux en « C ». La radiographie orthogonale conventionnelle ne suffit pas dans ce cas. Plusieurs angulations sont nécessaires, elles peuvent être mésio-excentrées ou disto-excentrées.

L'incidence orthogonale permet de déterminer la longueur de travail pré-opératoire. Les incidences excentrées de 20 degrés en mésial ou distal augmentent les chances de détecter des canaux supplémentaires et les courbures dans le sens vestibulo-lingual.

2.2.2.1 Caractéristiques radiologiques des canaux en « C »

Cooke et Cox [31] déclarent que les radiographies pré-opératoires ne permettent pas de statuer sur la présence d'un canal en « C ». Cependant, des études successives ont permis de rassembler certaines caractéristiques communes pour définir une image typique qui prédirait l'existence d'une telle configuration [92][61].

Les radiographies rétro-alvéolaires doivent toujours être combinées à l'examen clinique. Certains signes peuvent indiquer qu'il s'agit d'un canal en « C ». Des racines mésiales et distales très proches l'une de l'autre, voire fusionnées sont un indicateur. Parfois, deux racines indépendantes sont distinguées, alors qu'un ruban très fin existe mais n'est pas visible sur les clichés. La limite de l'interprétation d'images en deux dimensions est vite atteinte à cause des superpositions [61]. Min et al. ont montré que le sillon longitudinal entre les deux racines est parfois décelable radiographiquement [95]. Par ailleurs, ils ont constaté qu'un canal distal large associé à un canal mésial étroit et à une image émoussée de troisième canal entre les deux, oriente vers une catégorie II de Melton [61,77]. Un canal en « C » peut aussi apparaître comme deux canaux distincts car l'isthme qui relie les canaux principaux mésiaux et distaux est si mince qu'il n'est pas visualisable [95]. D'une manière générale, ils constatent que le plancher de la chambre pulpaire est difficile à distinguer [81] et que la furcation radiculaire se situe plus apicalement [120,134].

2.2.2.2 Classification radiologique des canaux en « C »

Fan et coll. ont classé les canaux en « C » en fonction de leur aspect radiographique en trois types (Fig 56)[42]. Selon eux, l'anatomie transversale d'un canal en « C » dans les deuxièmes molaires mandibulaires peut être prédite en fonction de l'aspect radiographique. Tous les types radiographiques ont en commun des racines carrées ou coniques avec une ligne longitudinale floue et radio-claire séparant la racine en une partie distale et une partie mésiale.

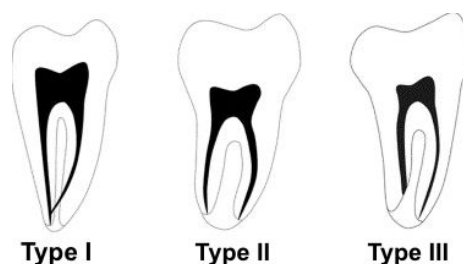


Figure 56: les types radiographiques selon Fan B [42].

Le type I, aussi nommé « type fusionnant », concerne les images où les deux canaux paraissent fusionner apicalement en un seul canal et sortent par un seul foramen.

Le type I oriente vers une configuration transversale C1 en « C » continu de l'entrée canalair à l'apex. Des zones de fusion dentinaire peuvent exister au niveau du tiers coronaire et moyen (Fig 57). A l'apex, les configurations C1 et C4 prédominent [42,102].



Figure 57: type I radiographique d'après Ordinola-Zapata et coll. [102].

(De gauche à droite : radiographie post-opératoire d'un canal en « C » de type I ; coupe transversale au tiers coronaire ; vue clinique pré opératoire).

Le type II, dit « type symétrique », regroupe les clichés où les canaux mésiaux et distaux sont distincts sur une vue vestibulo-linguale. Les deux canaux sont positionnés de manière symétrique par rapport à l'axe longitudinal de la racine. Le type II indique une configuration C3 dans la plupart des cas (Fig 58).



Figure 58: type II radiographique d'après Ordinola-Zapata et coll. avec une configuration transversale C3 [102].

Le type III est appelé « type asymétrique ». Les canaux mésiaux et distaux sont séparés et le canal distal présente un isthme large qui traverse la furcation. La configuration C2 prédomine pour le type III radiographique (Fig 59).

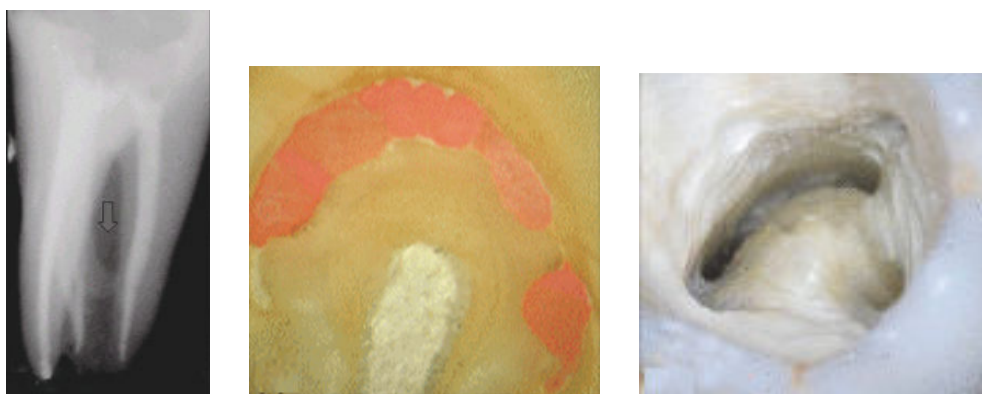


Figure 59: type III radiographique avec une configuration transversale C2 d'après ordinola-Zapata et coll.

2.2.2.3 Caractéristiques des radiographies per-opératoires et post-opératoire.

D'autres auteurs [81,92,107] ont focalisé leurs investigations sur les radiographies per-opératoires limes en place. Celles-ci sont souvent plus efficaces que les radiographies pré-opératoires seules ou post-opératoires seules pour diagnostiquer une anatomie en « C ». Elles peuvent indiquer des instruments qui semblent converger vers l'apex ou des instruments qui paraissent perforer la furcation (Fig 60).

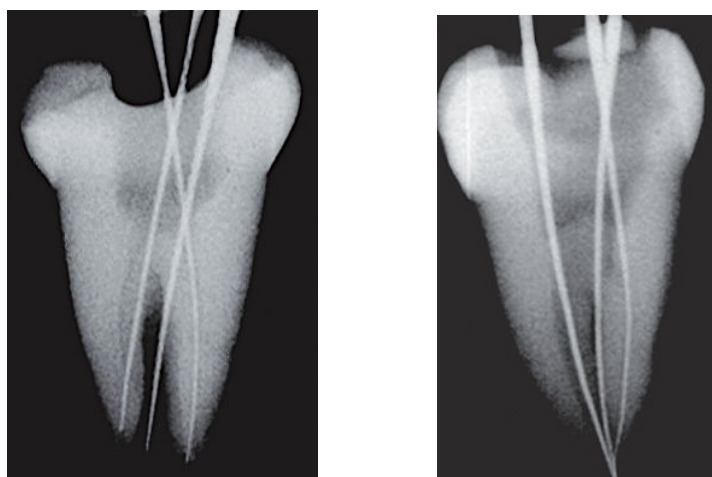


Figure 60: radiographies per-opératoires de molaires mandibulaires avec des canaux en "C" d'après Ordinola-Zapata et coll. [102].

Enfin, les radiographies post-opératoires peuvent révéler la présence de matériau d'obturation au niveau de la furcation [81]. Ceci ajoute de la confusion quant à la présence d'une perforation iatrogène (Fig 61).

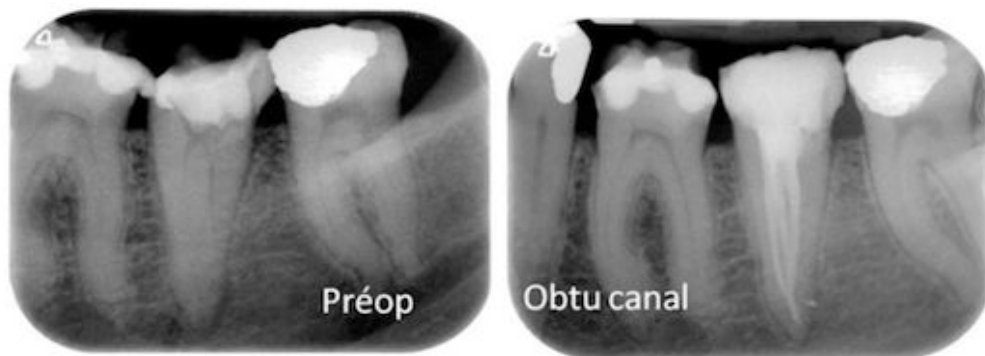


Figure 61: radiographies préopératoire et post opératoire d'une deuxième molaire mandibulaire avec un canal en "C"

Le diagnostic par radiographies rétro-alvéolaires et par l'orthopantomogramme reste souvent compliqué en 2 dimensions. Ces techniques possèdent des limites comme le biais d'interprétation, des effets de flou, des distorsions, des artefacts et une sous-évaluation de la situation clinique réelle. La superposition avec les tissus environnants tels que l'os alvéolaire diminue la possibilité de reconnaissance d'un canal en « C », en particulier dans la zone apicale. De plus, la deuxième molaire mandibulaire se trouve dans la région postérieure de la mandibule. L'os cortical lingual et surtout vestibulaire est très dense, notamment à cause des crêtes obliques externe et interne [43]

2.2.3 Cone beam

Le cone beam ou CBCT (pour cone beam computed tomography) est une technique d'imagerie utilisée en odontologie, en particulier en chirurgie maxillo-faciale et en endodontie. Son intérêt dans la planification du traitement endodontique n'est plus à démontrer [121]. Sa technologie est basée sur la tomodensitométrie à faisceau conique. Un faisceau conique de rayon X est projeté sur les tissus à explorer. Un capteur placé à l'opposé du rayon X récolte l'information et la transmet à une interface numérique qui va produire une image en trois dimensions de la zone ciblée reconstruite par l'ordinateur. Par rapport au scanner, le champ d'irradiation peut être limité en fonction du choix de la zone cible par l'opérateur, ce qui diminue la dose de radiations perçues. Plus le volume de tissus ciblé sera petit, plus la résolution sera élevée. La résolution maximale est de l'ordre de 70 microns. Cet examen précis apporte beaucoup d'informations sur les détails de l'anatomie canalaire dans les trois plans anatomiques : sagittal, coronal, et axial. La reconstruction 3D est intéressante dans la planification du traitement endodontique. Il est utile pour le diagnostic et le traitement des dents à l'anatomie complexe comme les canaux en « C » (Fig 62). Sa forte résolution

permet la visualisation d'éléments de petite taille comme les isthmes, les canaux accessoires et les *deltas* apicaux fréquemment rencontrés dans les canaux en « C ». Les lésions péri-radicaux, les fractures et les résorptions radiculaires sont facilement diagnostiquées [30]. Cet examen reproductible et peu invasif représente une aide précieuse au diagnostic, au traitement et à l'évaluation des situations cliniques.

Cependant, l'American Association of Endodontist (AAE), a publié des recommandations quant à l'utilisation du cone beam en endodontie. Le cone beam ne peut pas être utilisé systématiquement avant un traitement endodontique, sa prescription doit être justifiée et un compte rendu est obligatoire. Il doit être utilisé après qu'une anamnèse du patient et un examen clinique auront démontré que les bénéfices seraient supérieurs aux risques potentiels. En effet, ce dernier ne doit être utilisé qu'en deuxième intention lorsque la situation clinique ne permet pas un diagnostic adéquat avec une radiographie conventionnelle [120,123].



Figure 62: diagnostic de canaux en « C » bilatéraux sur des deuxièmes molaires mandibulaires par CBCT en vue coronale.

2.3 Aides visuelles

L'endodontie est une discipline qui exige une extrême précision et où l'échelle de travail est inférieure à 5/100 de millimètre. La taille du plus petit détail observable à l'œil nu est de 0,2 mm pour un objet situé à 25 cm (distance moyenne patient-praticien)[83]. Il est aisé de comprendre que l'apport des aides visuelles dans ce domaine est considérable. Mieux voir, c'est mieux comprendre la situation clinique. Les aides visuelles permettent l'amélioration des traitements et favorisent l'ergonomie du praticien. L'éclairage et le grossissement permettent une plus grande précision dans le diagnostic et dans la gestion thérapeutique d'anatomies particulières comme les isthmes, les fêlures ou les canaux en « C ».

2.3.1 Microscope opératoire

Le microscope opératoire a été introduit en endodontie dans les années 70. Ce progrès a considérablement amélioré les qualités des traitements endodontiques et des chirurgies apicales. Le microscope est composé d'un objectif associé à une source lumineuse. Il permet de voir une image agrandie de l'objet étudié grâce à un ou deux oculaires.

Le microscope opératoire se compose d'une partie mécanique, d'une partie optique et d'une partie éclairage (Fig 63).

Alors que l'endodontie était fondée sur le sens tactile, l'interprétation de clichés radiographiques en deux dimensions, les connaissances et l'expérience du praticien, le microscope opératoire a révolutionné la discipline en offrant au praticien un contrôle visuel direct. Le grossissement et l'éclairage du champ opératoire soulagent et facilitent la vision du praticien. L'inspection en vision directe de la chambre pulpaire permet la détection de canaux supplémentaires. Le microscope opératoire offre une meilleure compréhension de l'anatomie canalaire notamment de l'anatomie en « C » inhabituelle [30,141]. Les prises de vues sous microscope opératoire, photos et vidéos, sont de véritables outils de communication pour expliquer au patient la complexité de l'anatomie de sa dent (Fig 63) [119]. Malgré les performances techniques qu'il apporte, le microscope opératoire reste malgré tout un équipement encombrant et coûteux. Son utilisation nécessite une phase d'apprentissage longue et une remise en cause des habitudes de travail des omnipraticiens qui font que peu de cabinets en sont équipés.



Figure 63 : le microscope opératoire (à gauche) et la prise de vues sous microscope (à droite).

2.3.2 Loupes binoculaires

Les loupes binoculaires chirurgicales sont un compromis intéressant pour l'omnipraticien. Elles sont fixées aux lunettes ou non et ajustées à la vue du praticien ce qui leur confère une grande souplesse d'utilisation (Fig 64). La courbe d'apprentissage est plus courte par rapport au microscope opératoire. Les loupes n'encombrent pas l'espace de travail et leur coût est moindre. Elles permettent au praticien d'être libre de ses mouvements et de se déplacer autour de la dent. Le grossissement, souvent inférieur à 4 et la profondeur de champ est fixe. Sans lumière coaxiale, elles perdent beaucoup de leur intérêt. Elles suffisent pour l'analyse et l'aménagement des entrées canalaire.



Figure 64: loupes binoculaires d'après Zeiss®

2.3.3 Transillumination

La transillumination par fibre optique peut être utile pour mieux visualiser la chambre pulpaire. En plaçant l'extrémité de la fibre en vestibulaire sous le champ opératoire, le système canalaire apparaît plus sombre dans un environnement illuminé [71,72].

2.4 Analgésie

Le traitement des canaux en « C » se révèle être un traitement long et complexe. Une anesthésie efficace et durable est nécessaire. Les anesthésies tronculaires sont des techniques de choix. Elles permettent l'analgésie complète d'une région en évitant les injections multiples. Leur action est prolongée par rapport aux anesthésies para-apicales. En cas d'inflammation du site opératoire, ces techniques à distance sont plus efficaces.

Elles sont opérateurs-dépendant et augmentent le risque vasculaire, nerveux et systémique. Elles peuvent être complétées par une anesthésie para-apicale ou intra-ligamentaire en regard de la dent concernée pour permettre l'anesthésie des muqueuses nécessaire à la pose du champ opératoire et à l'hémostase du site.

La seule technique permettant d'obtenir une anesthésie profonde et durable du secteur postérieur mandibulaire est l'anesthésie du nerf alvéolaire inférieur, encore appelée anesthésie à l'épine de Spix ou bloc alvéolaire inférieur (Fig 65). Dans le contexte endodontique qui nous intéresse, une anesthésie para-apicale est illusoire dans la région des molaires mandibulaires.

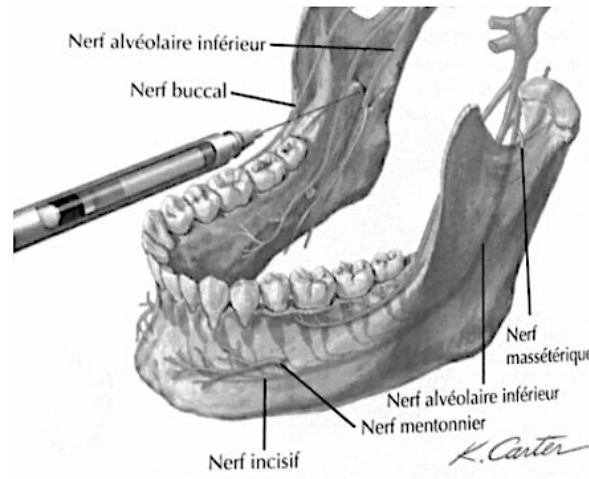


Figure 65: anesthésie à l'épine de Spix d'après Netter F.H. [100]

2.5 Aménagement des entrées canales

Après l'anesthésie et la pose de digue, la cavité d'accès est réalisée. La recherche des entrées canales par tâtonnements à l'aide d'une lime de cathétérisme ou à l'aveugle est vouée à l'échec. L'élargissement des entrées canales facilite le cathétérisme. Cette étape est d'autant plus importante dans le cas d'une configuration en « C » au vu de la complexité de l'anatomie canalaire [136]. Les canaux sont plus facilement localisables et les interférences coronaires sont levées.

La sonde endodontique DG 16 sert à explorer le plancher pulpaire, ses rainures et à définir le nombre de canaux et leur localisation.

Des fraises contre-angle en carbure de tungstène fines et à très long col (Komet®) peuvent aider à l'aménagement des entrées canales avec précision, efficacité en optimisant la visibilité (Fig 66).



Figure 66: fraise long col de Komet®

Les inserts à ultrasons spécifiques à l'aménagement des entrées canalaire sont des aides précieuses lors de cette étape du traitement canalaire (Fig 67). Ils s'utilisent le long des rainures du plancher pulpaire pour explorer les orifices canalaire, les approfondir, tout en éliminant les triangles dentinaires et autres calcifications. Ils sont peu délabrants et diminuent le risque de perforation. Ils sont longs et fins ce qui permet de conserver la visibilité du site opératoire. Cependant, leur usure est rapide et leur coût est non négligeable.

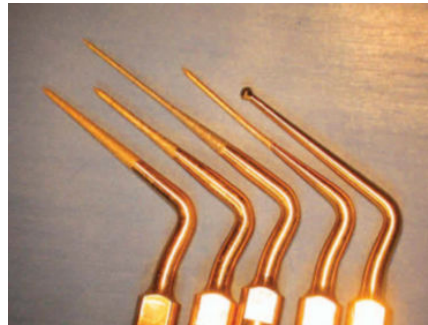


Figure 67: inserts endodontiques ultrasonores d'après Cohen et coll. [30].

Les forêts de Gates-Glidden (Dentsply®) (Fig 68) sont utiles pour supprimer les triangles dentinaires et élargir l'entrée canalaire. Cependant, ils ont une grande force de coupe. Dans le cas des canaux en « C », ils peuvent être utilisés dans les canaux principaux avec précaution et en utilisant la méthode « anti-courbure filing » sans progresser en direction apicale [136].

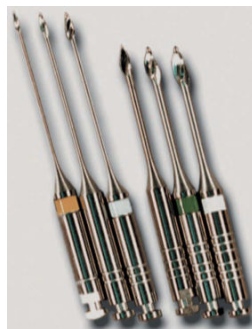


Figure 68: forets de Gates-Glidden (Dentsply)

La technique d'« anticourbure filing » est une technique de préparation canalaire décrite par Abou Rass. Elle consiste à préparer le canal avec mouvement de brossage en prenant appui contre la paroi opposée à la concavité ou à la zone de danger (Fig 69). L'élimination dentinaire se fait principalement contre la paroi la plus épaisse et réduit donc le risque de perforation [1]. Dans le cas des canaux en « C », le mouvement de brossage

s'effectuera contre la paroi vestibulaire, car la paroi mésiale et surtout mésio-linguale peut être très fine jusqu'à 0,26 mm d'épaisseur [72]. Sur une prémolaire mandibulaire en « C », la paroi est encore plus fine.

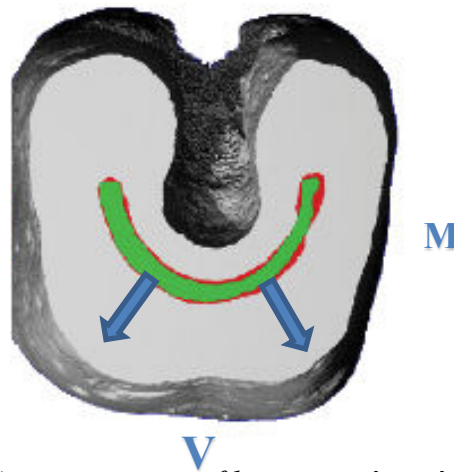


Figure 69: la technique d'« anticurvature filing » représentée sur une coupe du tiers coronaire d'une molaire mandibulaire en « C » d'après Abou Rass [1]. Les flèches bleues symbolisent l'appui pariétal à effectuer avec l'instrument de préparation.

L'utilisation de forêts de Gates-Glidden au niveau de l'isthme n'est pas recommandé car le risque de perforation est trop élevée surtout au niveau des parois linguales [72].

Les évaseurs ou « orifice opener » sont des instruments en alliage Nickel-titane, flexibles, courts et à forte conicité. Ils permettent de supprimer les interférences majeures du tiers coronaire du canal. Ils sont plus courts et plus maniables que les forêts de Gates.

Ex : EndoFlare® pour le système Heroshaper® ou Revo S® (Fig 70)



Figure 70: endoflare® d'après MicroMéga®

Lors de cette étape, une irrigation régulière et abondante, avec alternance entre l'hypochlorite et l'EDTA, est indispensable. Des boues dentinaires peuvent venir obliterer une entrée canalaire et la masquer ou obstruer le tiers coronaire d'un canal et provoquer des fausses routes ou des butées. Au cours de cette phase opératoire, il faut systématiser la recherche d'un canal supplémentaire en mésio-lingual. Les canaux mésiaux vestibulaires et distaux peuvent fusionner et avoir la même sortie apicale alors qu'un canal mésio-lingual distinct peut suivre son propre trajet parallèlement au canal en « C ».

L'aménagement des entrées canalaires d'une configuration en « C » doit donc se faire avec beaucoup de précautions, si possible avec des instruments peu agressifs. Les inserts ultrasonores sont préférables aux forêts de Gates et aux fraises à très long col. La technique « anticurvature filing » est vivement recommandée lors de ces manœuvres.

2.6 Cathétérisme

Le cathétérisme permet l'exploration et la perméabilisation du système canalaire avant la mise en forme. L'objectif de cette phase n'est pas d'atteindre directement la longueur de travail mais de recueillir des informations sur l'anatomie du canal. Le cathétérisme se fait progressivement et passivement, avant et après l'élargissement des deux tiers coronaires jusqu'à la zone apicale. Le cathétérisme manuel est réalisé avec des limes en acier. Ce sont les limes K de diamètres 08, 10 ou 15. Elles doivent être pré-courbées pour explorer les irrégularités du système canalaire.

Lorsqu'une lime de cathétérisme est introduite dans le canal en « C », elle tend à sortir du côté distal. D'après Riccucci, il est judicieux pour explorer l'isthme et la partie mésiale, de mettre une lime de gros diamètre dans le canal distal avant d'explorer le reste du système canalaire [108].

Le cathétérisme mécanisé, aussi appelé « glide path » est réalisé après l'exploration et la perméabilisation relative du système canalaire par des limes manuelles en acier (08 ou 10). Il est mené à bien avec des limes avec Ni-Ti de faible diamètre et de faible conicité qui s'utilisent en rotation continue. Ces instruments ont pour vocation de sécuriser la trajectoire canalaire en élargissant les canaux avant la mise en forme proprement dite. Ils limitent ainsi les risques de butées, de fracture instrumentale et de bouchons dentinaires. Le concept de « glide path » semble diminuer l'apparition de douleurs post-opératoires. Il est intéressant dans la préparation des canaux calcifiés, courbes ou étroits. A titre d'exemple, il existe les PathFiles® (Dentsply-Maillefer) (Fig 71), les Proglider® (Dentsply-Maillefer), G-files® (Micro Mega) et les Scout race® (FKG). Ces instruments présentent un intérêt certain dans le traitement des canaux courbes en permettant aux instruments de préparation canalaire de mieux se centrer dans le canal et d'éviter les fausses routes [139]. Les variations anatomiques que présentent les canaux en « C » comme les isthmes ou les canaux latéraux rendent le passage direct des instruments en Nickel-Titane compliqué. Dans le cas des canaux en « C », le cathétérisme mécanisé permet de sécuriser et faciliter le trajet des instruments rotatifs



Figure 71: lime de cathétérisme mécanisé: les PathFiles® (Dentsply-Maillefer)[37]

2.7 Détermination de la longueur de travail.

La constriction apicale constitue le point final idéal du traitement endodontique. Elle se situe à 0,5-1 mm du *foramen* principal.

Des mesures pré-opératoires prises sur une radiographie en incidence orthogonale donnent une indication de la longueur de travail. La radiographie lime en place peut confirmer la longueur de travail définitive avec une lime de cathétérisme introduite dans le canal à partir d'un repère coronaire fiable. Cependant, cette limite est souvent compliquée à appréhender radiographiquement car le *foramen* apical peut se situer latéralement à plus de 3 mm de l'apex anatomique. Ceci est encore plus vrai sur les canaux en « C » qui possèdent un pourcentage élevé de *foramina* multiples [26]. La radiographie lime en place n'est pas la méthode la plus fiable pour déterminer la longueur de travail car les superpositions anatomiques créent un biais d'interprétation. Le localisateur électronique d'apex (LEA) est une aide précieuse dans la détermination de la longueur de travail du traitement endodontique d'un canal en « C ». Il respecte la constriction apicale, contrairement à la radiographie lime en place qui a tendance à sur-instrumenter le canal mésio-vestibulaire [70].

La détermination de la longueur de travail se fait de préférence après la préparation des deux tiers coronaires du canal. L'accès au tiers apical est facilité par la suppression des contraintes coronaires et les mesures du LEA n'en seront que plus précises.

2.8 Irrigation

L'irrigation est une phase majeure du traitement endodontique. Elle est indissociable de la préparation mécanique canalaire. L'irrigation permet de nettoyer le canal au-delà des zones préparées, à condition que la solution d'irrigation soit distribuée en grand volume, avec un

renouvellement permanent et jusqu'au tiers apical qui comporte le plus de variations anatomiques.

L'irrigation associe une action physique et chimique dans le nettoyage et la désinfection canalaire. Ses actions physiques consistent à lubrifier les parois canales afin de faciliter le passage des instruments mécaniques et à éliminer les débris par le flux liquidien abondant (effet chasse d'eau). Son action chimique est la dissolution des tissus organiques et minéraux inaccessibles à l'instrumentation. Elle élimine les micro-organismes présents dans les *tubuli* dentinaires ou pouvant être introduits lors du traitement par une action antiseptique. L'irrigation permet de diminuer de manière drastique la charge bactérienne de l'ensemble du système canalaire.

L'irrigation des canaux en « C » suit les mêmes règles que pour les autres canaux. A ceci près qu'il faut laisser agir la solution d'irrigation plus longtemps et son renouvellement doit être plus fréquent. L'utilisation d'hypochlorite de sodium en alternance avec de l'EDTA est préconisée. L'hypochlorite est utilisé en abondance en cas hémorragie pulpaire et sur une dent jeune pour dissoudre les débris organiques. L'EDTA, grâce à son pouvoir chélatant sur les débris minéraux, est indiqué sur les dents minéralisées ou présentant des courbures radiculaires. Quand la préparation d'un canal est terminée, il faut continuer à l'irriguer. Le test d'aspiration de l'irrigant permet de savoir si le réseau canalaire communique. En aspirant un canal principal, si le ou les autres se vident, c'est que les canaux communiquent. C'est un bon indicateur de renouvellement de la solution au sein du canal en « C ».

Le débridement des parois canales peut être optimisé par l'activation de l'irrigant. Il s'agit d'agiter la solution à l'intérieur du canal manuellement ou à l'aide de systèmes spécifiques mis sur le marché.

Au vu des nombreux débris organiques laissés après l'instrumentation des canaux en « C » [92], une potentialisation de l'action de l'hypochlorite par activation mécanique est intéressante pour compléter l'irrigation. Elle permet de diluer et évacuer les débris restants ainsi que de faire pénétrer l'irrigant dans le tiers apical par des mouvements hydrodynamiques. L'activation mécanique améliore les capacités mécaniques et chimiques de la solution d'irrigation et permet le renouvellement de celle-ci. Elle entraîne la dispersion de la solution en dehors des canaux préparés.

L'activation mécanique peut se faire de manière simple, manuellement par le praticien. Une lime manuelle, une aiguille d'irrigation, ou un cône calibré à la fin de la préparation canalaire est inséré dans le canal rempli d'irrigant avec des mouvements de va-et-vient. Dans le cas des canaux en « C », une activation avec des cônes calibrés dans les canaux principaux

permettrait d'amener la solution d'irrigation dans l'isthme où l'aiguille d'irrigation ne peut pénétrer. Ce système d'activation très simple d'utilisation paraît avoir le meilleur rapport coût/efficacité [68,91].

L'activation peut être dynamique, assistée par des systèmes d'injection-aspiration tel que le RinsEndo® ou l'EndoVac® [6,67,87,97]. L'activation peut également être réalisée par des instruments sonores comme l'Endoactivator® (Denstply).

L'activation de l'irrigation par les ultrasons, se montre particulièrement utile dans le cas des canaux en « C » [35,78,85,92,115,132]. La firme Acteon® propose des limes ultrasonores appelées Irrisafe®. Les limes soniques et ultrasoniques doivent avoir un mouvement libre dans le canal, sans contact avec les parois canalaire, pour pouvoir travailler efficacement. Cet impératif constitue un inconvénient non négligeable de ces systèmes. Dès que le diamètre canalaire est inférieur au diamètre de la lime ou dès qu'une courbure canalaire se présente, le système d'activation n'est plus efficace.

L'activation photonique utilisant le laser basse puissance est une technique prometteuse mais encore au stade expérimental. [122].

Les progrès technologiques des dernières décennies ont fait naître des dispositifs d'activation qui semblent améliorer la propreté du canal par rapport à l'irrigation à l'aiguille classique. Une pléthore d'études *in vitro* ont tenté de montrer la supériorité d'un système par rapport à d'autres. Cependant aucune étude bien contrôlée n'est disponible et vérifiable. Elles sont souvent biaisées par les fabricants, et non fondée sur des preuves [55]. De plus, ces systèmes semblent efficaces dans les deux tiers coronaires mais ils atteignent rarement le tiers-apical et ses variations anatomiques.

Il est nécessaire pour le praticien de prendre du recul sur ces systèmes et de se recentrer sur le contexte clinique et la facilité d'utilisation. Une deuxième molaire mandibulaire présente un accès difficile pour le passage des instruments à cause de l'ouverture buccale limitée. De nombreux systèmes d'activation sont inutilisables dans cette zone à cause de la hauteur du système instrumental.

2.9 Préparation

Lors de la mise en forme canalaire, l'objectif est de respecter les principes de Schilder : « Cleaning and shaping » dans les 3 dimensions de l'espace. La préparation doit faciliter le nettoyage du système canalaire. L'efficacité de l'irrigation sera permise, d'une part, grâce à une conicité élevée au tiers coronaire pour fournir au reste du canal un réservoir d'irrigant,

d'autre part, par un canal de conicité régulière de l'entrée du canal jusqu'à l'apex pour faciliter l'obturation. Le foramen doit être maintenu dans sa position initiale avec un diamètre le plus petit possible pour assurer l'étanchéité de l'obturation et la cicatrisation apicale.

2.9.1 Instruments mécaniques

Les instruments endodontiques manuels en acier ont longtemps servis pour la préparation des canaux. Cette technique manuelle, en plus d'être chronophage, présente des limites comme la création de butées ou d'élargissement apical, de perforation et ont tendance à redresser un canal courbe. Les limes en acier ou « lime K » fragilisent le canal dans la concavité et peuvent créer une perforation latérale. Il est nécessaire de les pré-courber et d'utiliser la technique d'« anticourbure-filing ». Désormais, elles sont utilisées pour le cathétérisme ou pour explorer et jauger la limite et le diamètre apical. Elles peuvent être utilisées dans le cas d'anatomies spécifique comme les isthmes des canaux en « C ».

Les technologies endodontiques se sont considérablement améliorées dans les années 80 avec l'apparition des instruments en Nickel-Titane associés à la rotation continue. Les caractéristiques de ses instruments sont leur alliage flexible qui respecte la courbure canalaire, et l'utilisation de conicités élevées. Ils réalisent une préparation canalaire conique qui maintient la forme originelle du canal et la position du foramen apical. Les parois instrumentées sont lisses et le diamètre apical reste petit pour favoriser l'étanchéité de l'obturation. Ils diminuent le temps de travail par rapport aux instruments en acier inoxydables manuels. Leur supériorité par rapport à l'acier n'est plus à démontrer. Toutefois, ils présentent certains inconvénients. L'effet de vissage et la fracture instrumentale par torsion ou par fatigue cyclique sont les plus fréquents. Le risque de fracture instrumentale par fatigue cyclique est très élevé en présence de courbures sévères ou de doubles courbures. Dans ce cas, l'instrumentation manuelle est recommandée.

Pour réduire la fatigue cyclique des instruments en Nickel Titane en rotation continue, des praticiens ont mis au point le concept de réciprocité. Le mouvement de réciprocité est un mouvement alternatif asymétrique, le mouvement antihoraire est plus ample que le mouvement horaire. Ce mouvement élimine l'effet de vissage et permet la remontée des débris. La durée de vie des instruments est augmentée en réciprocité par rapport à la rotation continue. L'utilisation d'un instrument unique pour la mise en forme canalaire est rendue possible avec la réciprocité. Le gain de temps que confère ce système doit être utilisé au profit de l'irrigation. Plusieurs systèmes existent actuellement sur le marché : le WaveOne®, le

WaveOne Gold® (Dentsply-Maillefer®), le Reciproc® et le Reciproc Blue® (Dentsply-VDW®). Ils ont chacun des moteurs et des limes spécifiques. Les limes sont fabriquées en alliage nickel-titane Mwire®, un traitement thermique spécial qui le rend plus résistant à la fatigue cyclique. Comme pour la rotation continue, ces instruments doivent être utilisés avec précaution dans les canaux présentant des courbures sévères, les contraintes y sont trop élevées [119].

2.9.2 Comparaison des systèmes dans le traitement des canaux en « C »

Les instruments NiTi de rotation continue sont efficaces pour la préparation canalaire des canaux simples et étroits [113,143]. Ces instruments laissent un pourcentage élevé de parois non instrumentées sur les canaux larges de forme ovale [36,53,103,135]. Or, les canaux en « C » avec leur morphologie spécifique large et étroite, sont bien plus difficiles à instrumenter que des canaux ovalaires. Des chercheurs ont mené des études sur la préparation canalaire des canaux en « C » et ont comparé différentes méthodes [26,140]. Yin et coll., ont comparé la séquence Protaper® (Dentsply-Maillefer) aux limes K-files (Dentsply-Maillefer) associés aux fôrets de Gates-Glidden® (Dentsply-Maillefer) dans des molaires mandibulaires avec des canaux en « C » grâce à la micro-CT. Dans les deux groupes, en moyenne 50% des parois canalaires ne sont pas instrumentées. Les limes K-files associées aux forêts de Gates-Glidden ont supprimé plus de dentine et ont laissé moins de parois non instrumentées que la séquence Protaper®. Le temps de travail et les erreurs de procédures (perforations, fausses routes, butée) sont plus faibles dans le groupe instrumenté par la séquence Protaper®. Les instruments NiTi ne peuvent être introduits dans les isthmes trop fins. Les instruments NiTi sont conçus pour s'auto-centrer dans la lumière canalaire du canal principal, il est difficile de les mener vers l'isthme. En conclusion, une combinaison des deux techniques pour la préparation canalaire des canaux en « C » est conseillée. Les instruments en nickel-titane rotatifs sont utilisés pour la préparation des canaux principaux et l'utilisation des limes K-files® pour les parois fines de l'isthme. L'utilisation d'instruments avec un diamètre supérieur à 25 mm n'est pas recommandée dans la zone de l'isthme. Au vu du volume de dentine non instrumentée dans les deux groupes, l'irrigation est primordiale. Les instruments doivent être introduits passivement et progressivement pour éviter les erreurs iatrogènes tels que les perforations ou les fausses routes.

2.9.3 Intérêt d'un instrument novateur : le « self-adjusting files® » (ReDent-Nova)

Le « self-adjusting files® » (SAF, ReDent-Nova, Raanana, Israël), ou lime auto ajustable en français, est un instrument endodontique innovant proposé par le Pr Metzger de l'université de Tel Aviv. Il s'agit d'une lime creuse en nickel-titane dotée d'un maillage fin de 120 µm qui s'inspire des stents cardiaques (Fig 73). Ce cylindre creux est flexible et compressible. Il présente une extrémité effilée et asymétrique. Son design unique lui confère une grande souplesse et une capacité à la déformation intéressantes dans la préparation de canaux courbes, ovales ou canaux en « C ». Il respecte l'anatomie canalaire naturelle en s'adaptant à la forme du canal et rend l'abrasion des parois canales homogène et circonférentielle. Il respecte l'économie tissulaire car la couche de dentine abrasée est inférieure à 0,75 mm. Il associe une mise en forme canalaire en trois dimensions et une irrigation continue. Les irrigants comme l'EDTA et l'hypochlorite de sodium peuvent être utilisés en alternance avec ce système (Fig 72) [93,94,119].

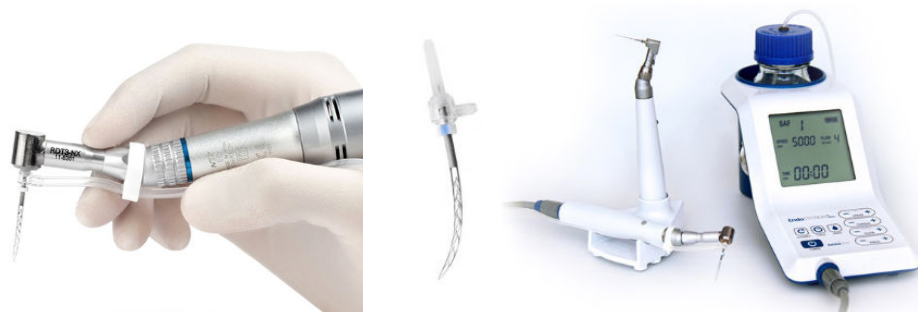


Figure 72 : système SAF® avec son moteur doté d'une pompe pour l'irrigation continue d'après ReDent-Nova [106].

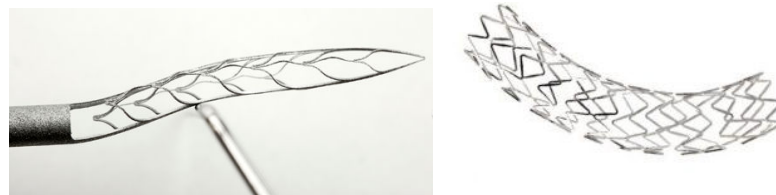


Figure 73 : le maillage du SAF comparé au stent cardiaque.

En 2011, Paqué et Peters [103] prouvent l'efficacité du SAF sur le traitement des canaux ovales, comme les canaux distaux des molaires mandibulaires. Le pourcentage des parois non

instrumentées lors de la préparation canalaire avec le SAF est inférieur à celui des instruments endodontiques en rotation continue, 23,5% en moyenne pour le SAF contre 66,1% pour le système Protaper® (Dentsply-Maillefer). Solomonov et coll. [121] étudient l'intérêt du SAF dans le traitement des canaux en « C ». Ils démontrent que le pourcentage de parois non instrumentées par le SAF est inférieur à celui du Protaper®. Le SAF laisse 41% de parois non instrumentées. Ce pourcentage est supérieur à celui de l'étude précédente car l'anatomie d'un canal en « C » est plus complexe que celle d'un canal ovale. Néanmoins, il est inférieur à celui obtenu par le traitement avec la séquence ProTaper® (66%) (Annexe 1 et 2). Malgré toutes les qualités énoncées, cet instrument présente des inconvénients non négligeables. Le SAF est un instrument à usage unique dont le coût est non négligeable (environ 80 euros la lime). Son maillage fin lui confère une grande fragilité, des morceaux de limaille peuvent être retrouvés dans les canaux lors de l'utilisation. En effet, au bout de 30 min d'utilisation il perd 40% de son efficacité. En outre, cet instrument ne permet pas de contrôler le diamètre apical, le choix du maître cône est compliqué [18,66].

2.10 Temporisation

Une stérilisation complète de l'endodonte est impossible. En revanche, le but du traitement endodontique est la diminution drastique de la charge bactérienne au sein du système canalaire. Une médication intra canalaire temporaire peut être indiquée dans le cas de canaux en « C » pour compléter la désinfection de son anatomie complexe. Ceci sera d'autant plus indiqué si la dent se situe dans un contexte d'infection pulpaire avec un assèchement impossible. La médication temporaire est recommandée en cas d'hémorragie pulpaire, de perforation iatrogène, de douleurs post ou per opératoires associées à une lésion inflammatoire péri-radicaire d'origine endodontique (LIPOE) ou si le traitement ne peut être terminé en une séance. La médication intra canalaire temporaire est une barrière physico-chimique qui inhibe la croissance bactérienne. La chlorhexidine grâce sa qualité de rémanence peut être utilisée en inter-séance mais son efficacité sur la réduction de la charge bactérienne à la concentration habituelle de 0,2% n'est pas prouvée.

L'hydroxyde de calcium possède de nombreuses propriétés biologiques qui en font un matériau incontournable pour la médication intra-canalaire temporaire. Il possède un effet bactéricide, un effet hémostatique et un effet anti-inflammatoire. Il est aussi inducteur de minéralisation. Pour une efficacité optimale, il doit être placé profondément et de manière

dense. Le produit doit être laissé au moins une semaine dans le canal [28,108,132]. L'associer à la chlorhexidine (2%) potentialise son action [7]. L'hydroxyde de calcium est pourtant un matériau difficile à retirer du système canalaire, s'il est placé dans les isthmes des canaux en « C », il doit pouvoir être totalement supprimé à la séance suivante sinon l'étanchéité de l'obturation ne sera pas optimale.

2.11 Obturation

L'obturation est la phase finale du traitement endodontique canalaire. Elle doit être étanche, stable et permanente pour assurer la cicatrisation péri-radicaire et la pérennité du traitement. Il s'agit du remplissage du réseau canalaire nettoyé, assaini et mis en forme par un matériau inerte et biocompatible. L'obturation empêche la pénétration d'agents pathogènes par différentes portes d'entrées (canaux accessoires, foramen, cavité buccale) et la recolonisation de l'espace pulpaire par des micro-organismes. La qualité de l'obturation est étroitement liée à la préparation. Les variations anatomiques tels que les canaux accessoires, *delta* apicaux, isthmes peuvent constituer des percolations s'ils ne sont pas obturés. Ce sont des zones où les bactéries réfractaires se développent préférentiellement.

Classiquement l'obturation est composée d'un noyau de gutta percha condensé ou chauffé et scellé par une fine couche de ciment de scellement [7,119]. L'objectif de la condensation est de déplacer la gutta dans les aberrations anatomiques du système canalaire. Différentes techniques d'obturations existent : la condensation latérale à froid, la condensation verticale à chaud, la condensation latérale à chaud avec des systèmes de chauffage de la gutta comme le SystemB (SybronEndo®), l'injection de gutta thermoplastique, les systèmes avec tuteur de gutta comme le Thermafil® (Dentsply-Maillefer®), la thermocompaction avec les gutta condensers (Maillefer®) [30]. Aucune différence significative à long terme n'a été prouvée entre les différentes techniques [82,104].

Sur les canaux en « C », les variations anatomiques créent des zones irrégulières non travaillées qui entraînent une résistance à l'écoulement du matériau. La communication entre les canaux empêche l'obtention d'une obturation dense. Quel que soit le type radiologique du canal en « C », le pourcentage de volume canalaire rempli de matériau d'obturation est toujours plus faible au tiers apical [102].

Une étude récente a comparé 3 techniques d'obturation sur des canaux en « C » standardisés par des modèles en résine : un système avec tuteur de gutta, un système

d'injection de gutta chaude, et la technique de condensation latérale à froid. Les techniques d'injection de gutta chaude et le système avec tuteur de gutta avaient un pourcentage plus élevé de volume canalaire total rempli par de la gutta. Avec ses deux systèmes, les tiers coronaire et moyen présentaient un bon remplissage par la gutta, contrairement au tiers apical qui présentait plus de zones vides (Fig 73 A-D-B-E). La technique de condensation latérale à froid avec des cônes accessoires présentait moins de volume canalaire rempli par la gutta, plus de ciment d'obturation mais moins de vide au tiers apical (Fig 73 C-F). Ces résultats incitent certains auteurs à recommander cette technique chronophage [52].

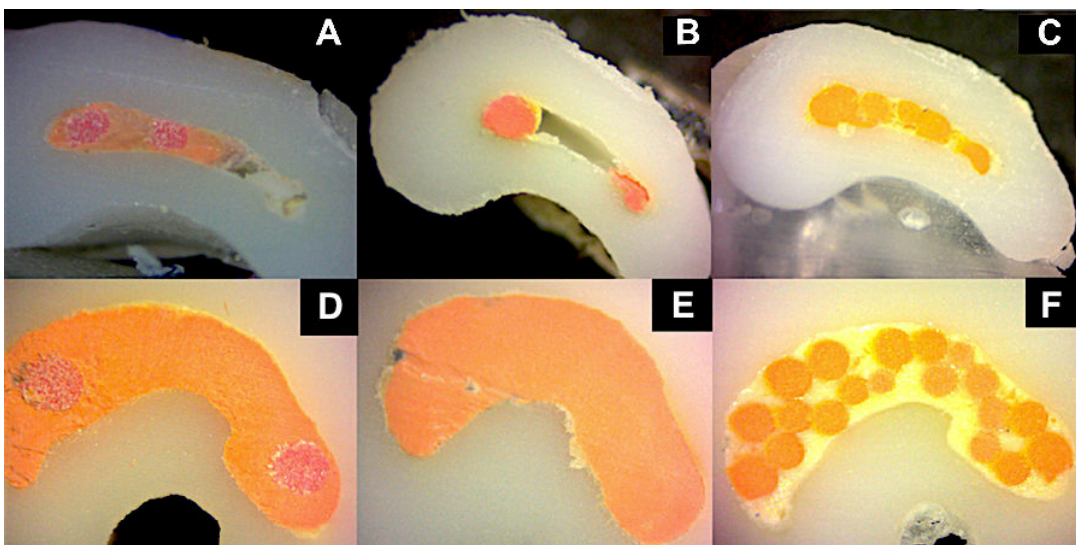


Figure 74: photographies de coupes sur des modèles en résine de molaires mandibulaires en forme de « C » (CI de Fan B.) A B C section transversale à 2 mm de l'apex, D E F section transversale à 10mm de l'apex. (AD : obturation avec tuteur de Gutta thermoplastique, BE : obturation avec système d'injection de gutta chaude, CF : technique de condensation latérale à froid)[52]

D'autres études laissent à penser que les canaux mésio-linguaux et distaux peuvent être obturés de manière « habituelle ». En effet, l'obturation des isthmes s'avère difficile, surtout avec la méthode de condensation latérale à froid, le plugger devant pouvoir être introduit en profondeur et à plusieurs endroits. Des techniques modifiées apparaissent souhaitables pour optimiser l'obturation des isthmes et pourront être mises en place pour amener la gutta vers l'isthme [12,28,90,132]. Les systèmes de gutta thermoplastifiée, comme le système Thermafil® (Densply-Maillefer®) ou SystemB® (SybronEndo®) semblent à ce titre, intéressants.

Dans une racine, un isthme constitue une zone de fragilité naturelle. Les racines à deux canaux susceptibles de posséder un isthme, ont une susceptibilité accrue aux fractures

radiculaires verticales. Il faut y être vigilant notamment lors de l'étape de condensation verticale de la gutta-percha [21]. Après la préparation canalaire, la paroi de la zone dangereuse est affaiblie avec une épaisseur pouvant diminuer jusque 0,2 mm. Lors du compactage, les forces appliquées peuvent entraîner une fêlure ou une fracture de celle-ci [51,71,132].

2.12 Restaurations post-endodontiques

La première cause d'échec endodontique est un manque d'étanchéité coronaire. La restauration corono-radiculaire qui suit le traitement endodontique doit être réalisée le plus tôt possible, idéalement immédiatement après l'obturation radiculaire. Tous les types de restaurations ne peuvent être envisagés sur une dent avec un canal en « C », principalement à cause de la fragilité de ses parois. Selon les règles de restauration par ancrage canalaire, la pose d'un tenon nécessite d'avoir au moins 1 mm d'épaisseur de dentine saine, sinon la paroi est trop faible et il y a un risque de fracture. Or, il a été montré que la paroi linguale d'une dent possédant un canal en « C » peut faire moins d'1 mm par endroit, parfois même jusque 0,5 mm. Après le nettoyage et la mise en forme, cette paroi est d'avantage fragilisée. Si un ancrage radiculaire est nécessaire, le canal distal sera privilégié pour le recevoir, en particulier, si celui-ci est bien individualisé et de forme ronde. Un petit diamètre de préparation est choisi pour limiter les risques de perforation. Les parois mésio-vestibulaires et mésio-linguales étant plus fines, la pose d'un ancrage radiculaire y est déconseillée [54,72]. De plus, la configuration de la cavité d'accès souvent profonde et étroite offre une grande rétention aux restaurations post-endodontiques insérées en phase plastique comme le composite ou l'amalgame [26,132]. Cette configuration est également idéale pour la réalisation d'une endo-couronne, d'un onlay ou d'un overlay. L'onlay est une reconstitution coronaire partielle indirecte collée utilisée dans les secteurs postérieurs. Il peut être réalisé aussi bien sur les dents dont la pulpe est vivante ou sur les dents dépulpées. Cette pièce prothétique en céramique ou en composite permet de reconstituer une ou plusieurs cuspides. L'overlay est un onlay qui recouvre toutes les cuspides de la dent. L'endo-couronne permet de reconstituer une dent dépulpée. C'est une coiffe prothétique en un bloc qui possède un ancrage caméral. Le plus souvent en céramique, elle est collée [13]. Ces alternatives à l'ancrage radiculaire sont intéressantes pour les canaux en « C », la rétention et la stabilité des pièces prothétiques sont assurées par la configuration de la chambre pulpaire, le collage

renforce la solidité des parois dentaires et la préservation tissulaire évite la fragilisation de la dent.

2.13 Chirurgies endodontiques en cas d'échec de traitement

Dans le cas des canaux en « C » l'amputation radiculaire est impossible à cause de l'absence de furcation et de la communication entre les canaux des racines fusionnées.

La chirurgie apicale en regard de la deuxième molaire mandibulaire est compliquée. L'accès au site opératoire est limité. L'os alvéolaire est épais et le nerf alvéolaire inférieur passe à proximité. De plus, les chirurgies apicales avec préparation et obturation rétrogrades sont compliquées par la présence d'isthmes et de communications inter-canalaires et sont difficiles à intégrer spatialement [71,77]. Si une chirurgie endodontique est envisagée, il est nécessaire de localiser l'isthme et d'appréhender sa configuration à partir d'un cone beam [128,130].

Si le retraitement endodontique d'un canal en « C » n'aboutit pas à une guérison malgré toutes les précautions prises pour diminuer la charge bactérienne du système canalaire, l'extraction suivie de la réimplantation intentionnelle de la dent peut être envisagée. En effet, les secondes molaires mandibulaires avec des racines fusionnées ont une forme conique, ce qui rend l'extraction atraumatique et limite le risque de fracture. De plus, elle présente l'avantage d'être moins invasive que la chirurgie apicale qui nécessite d'éliminer un large volume osseux avant d'accéder aux apex des molaires mandibulaires. Le taux de succès a été rapporté de 80 à 82% [15,16]. Une résection de 3 mm de racine avant la réimplantation est indiquée pour supprimer les *deltas* apicaux ou *foramina* accessoires [5].

Conclusion

Les canaux en « C » constituent une anatomie endodontique particulière peu connue des chirurgiens-dentistes. Pourtant, il n'est pas si rare de la rencontrer, le plus souvent dans les deuxièmes molaires mandibulaires et plus particulièrement au sein des populations asiatiques. Si un traitement endodontique canalaire est indiqué sur un canal en « C », le manque de connaissances sur cette variation peut conduire à des erreurs de la part du praticien. L'étude approfondie de cette particularité anatomique permet de mieux comprendre les problématiques cliniques engendrées par ce système canalaire particulièrement complexe. Elle permet au praticien de poser un diagnostic correct et d'anticiper les difficultés du traitement.

Les canaux en « C » ont été étudiés par de nombreux auteurs, comme Fan ou Melton, par exemple. Ils ont tenté de les classer en fonction de leur anatomie. Cependant, les canaux en « C » ont la particularité de présenter de nombreuses variations et plus particulièrement au niveau apical, ce qui rend leur nettoyage et leur préparation difficile. Finalement, un canal en « C » n'aura jamais la même configuration, que ce soit entre deux individus différents ou alors à deux niveaux d'une même dent. C'est au praticien de s'adapter à chaque cas clinique et non pas à la problématique anatomique. Les connaissances théoriques doivent être rapportées au contexte clinique et à l'expérience du praticien. Il faut garder à l'esprit que de nombreuses difficultés peuvent s'accumuler en sus de la complexité anatomique. La deuxième molaire mandibulaire est une dent distale. Cela pose des problèmes d'accès au site, de pose champ opératoire et de visibilité. Il faut obtenir la coopération du patient qui devra garder une ouverture buccale prolongée. Il est nécessaire de maîtriser l'anesthésie, l'interprétation des examens radiologiques et les aides optiques, sinon le traitement est voué à l'échec. Ce traitement complexe nécessite de la patience, de la rigueur et du temps. Le praticien va progresser pas-à-pas sans jamais savoir ce qu'il se passe au sein des racines. Un doute persiste toujours quant à l'obturation complète du système canalaire des canaux en « C ». Le maximum que le praticien puisse faire est de maîtriser plusieurs techniques et systèmes instrumentaux de manière à les combiner intelligemment, que ce soit pour la préparation, l'irrigation, et l'obturation, car il n'existe pas encore de système parfait ou de protocole consensuel. Le traitement d'un canal en « C » sur une deuxième molaire mandibulaire est un challenge ardu pour le chirurgien-dentiste, mais il l'est encore plus si un canal en « C » est retrouvé sur une première ou deuxième prémolaire maxillaire, où 3 canaux coexistent dans une racine étroite. Le praticien doit connaître ses limites et savoir référer à un

praticien plus expérimenté si le cas clinique dépasse ses compétences. S'obstiner à traiter un canal en « C » peut provoquer des erreurs comme des fractures instrumentales ou des perforations qui peuvent s'avérer irréversibles et compromettre l'avenir de la dent sur arcade. Le mot d'ordre face à un canal en « C » est de savoir rester humble.

Les technologies dans le domaine de l'endodontie s'améliorent sans cesse, autant pour le diagnostic que pour le traitement des canaux. Il ne fait aucun doute, qu'à l'avenir, des systèmes performants permettront de mieux appréhender ces anatomies endodontiques particulières. Au praticien de suivre avec attention ces avancées, afin de prodiguer au patient les meilleurs soins possibles.

Références bibliographiques

1. Abou-Rass M, Frank AL, Glick DH. The anticurvature filing method to prepare the curved root canal. *J Am Dent Assoc.* 1980;101(5):792-4.
2. Akbarzadeh N, Aminoshariae A, Khalighinejad N, Palomo JM, Syed A, Kulild JC, et al. The association between the anatomic landmarks of the pulp chamber floor and the prevalence of middle mesial canals in mandibular first molars: an in vivo analysis. *J Endod.* 2017;43(11):1797-801.
3. Alani A, Bishop K. Dens invaginatus. Part 1: classification, prevalence and aetiology. *Int Endod J.* 2008;41(12):1123-36.
4. Al-Hezaimi K, Naghshbandi J, Simon JHS, Oglesby S, Rotstein I. Successful treatment of a radicular groove by intentional replantation and Emdogain® therapy. *Dent Traumatol.* 20(4):226-8.
5. Amoroso-Silva P, De Moraes IG, Marceliano-Alves M, Bramante CM, Zapata RO, Hungaro Duarte MA. Analysis of mandibular second molars with fused roots and shallow radicular grooves by using micro-computed tomography. *J Conserv Dent JCD.* 2018;21(2):169-74.
6. Association dentaire française. Commission des dispositifs médicaux. Irrigation en endodontie. Paris, France: Association dentaire française; 2012. 52 p.
7. Association dentaire française. Commission des dispositifs médicaux. Obturation canalaire. Paris, France: Association dentaire française; 2014. 64 p.
8. Attam K, Tiwary R, Talwar S, Lamba AK. Palatogingival groove: endodontic-periodontal management—Case report. *J Endod.* 2010;36(10):1717-20.
9. Baisden MK, Kulild JC, Weller RN. Root canal configuration of the mandibular first premolar. *J Endod.* 1992;18(10):505-8.
10. Baldassari-Cruz LA, Lilly JP, Rivera EM. The influence of dental operating microscope in locating the mesiolingual canal orifice. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology.* 2002;93(2):190-4.
11. Barker BCW. Dental anthropology: some variations and anomalies in human tooth form. *Aust Dent J.* 1973;18(3):132-40.
12. Barnett F. Mandibular molar with C-shaped canal. *Endod Dent Traumatol.* 1986;2(2):79-81.
13. Barrois Q. Les reconstitutions sans ancrage radulaire des dents dépulées [Thèse d'exercice]. [Lille ; 1969-2017, France]: Université du droit et de la santé; 2017.
14. Bath-Balogh M, Fehrenbach MJ. Illustrated dental embryology, histology, and anatomy. St. Louis (Mo.) : Elsevier Saunders; 2011.
15. Bender IB, Rossman LE. Intentional replantation of endodontically treated teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1993;76(5):623-30.
16. Benenati FW. Intentional replantation of a mandibular second molar with long-term follow-up: report of a case. *Dent Traumatol.* 2003;19(4):233-6.
17. Bergenholz G, Hørsted-Bindslev P, Reit C. Textbook of endodontology. Oxford ; Ames : Wiley Blackwell; 2010.
18. Blin M. Le self-adjusting file [Thèse d'exercice]. [France]: Université Paul Sabatier (Toulouse). Faculté de chirurgie dentaire; 2013.
19. Bolger WL, Schindler WG. A mandibular first molar with a C-shaped root configuration. *J Endod.* 1988;14(10):515-9.
20. Bóveda C, Fajardo M, Millán B. Root canal treatment of an invaginated maxillary lateral incisor with a C-shaped canal. *Quintessence Int Berl Ger.* 1999;30(10):707-11.
21. Chai H, Tamse A. The effect of isthmus on vertical root fracture in endodontically treated teeth. *J Endod.* 2015;41(9):1515-9.
22. Chai WL, Thong YL. Cross-sectional morphology and minimum canal wall widths in

- C-shaped roots of mandibular molars. *J Endod.* 2004;30(7):509-12.
23. Chauhan R, Singh S. Endodontic treatment of mandibular molars with atypical root canal anatomy: reports of 4 cases. *Gen Dent.* 2015;63(3):67-70.
 24. Chen J, Li X, Su Y, Zhang D, Wen X, Nie X, et al. A micro-computed tomography study of the relationship between radicular grooves and root canal morphology in mandibular first premolars. *Clin Oral Investig.* 2015;19(2):329-34.
 25. 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.
 26. Cheung LHM, Cheung GSP. Evaluation of a rotary instrumentation method for C-shaped canals with micro-computed tomography. *J Endod.* 2008;34(10):1233-8.
 27. Chhabra S, Yadav S, Talwar S. Analysis of C-shaped canal systems in mandibular second molars using surgical operating microscope and cone beam computed tomography: A clinical approach. *J Conserv Dent.* 2014;17(3):238.
 28. Chockattu SJ, Deepak BS. Categorization and management of various types of C-shaped canals: two case reports. *J Clin Diagn Res.* 2017;11(9):6.
 29. Cleghorn BM, Christie WH, Dong CCS. Anomalous mandibular premolars: a mandibular first premolar with three roots and a mandibular second premolar with a C-shaped canal system. *Int Endod J.* 2008;41(11):1005-14.
 30. Cohen S, Burns RC, Keiser K. *Pathways of the pulp.* St. Louis (Miss.) : Mosby; 2006.
 31. Cooke HG, Cox FL. C-shaped canal configurations in mandibular molars. *J Am Dent Assoc.* 1979;99(5):836-9.
 32. Crespo JM. A closer look, symptomatic irreversible pulpitis in a c-shaped molar [Internet]. [consulté le 15 août 2018]. Disponible sur: <https://www.imgrum.pw/media/1664729857169773015>
 33. Dankner E, Friedman S, Stabholz A. Bilateral C shape configuration in maxillary first molars. *J Endod.* 1990;16:601-3.
 34. D'Arcangelo C, Varvara G, Fazio PD. An evaluation of the action of different root canal irrigants on facultative aerobic-anaerobic, obligate anaerobic, and microaerophilic bacteria. *J Endod.* 1999;25(5):351-3.
 35. De Moor RJG. C-shaped root canal configuration in maxillary first molars. *Int Endod J.* 2002;35(2):200-8.
 36. De-Deus G, Souza EM, Barino B, Maia J, Zamolyi RQ, Reis C, et al. The Self-Adjusting File optimizes debridement quality in oval-shaped root canals. *J Endod.* 2011;37(5):701-5.
 37. Dentsply Middle East & Africa. Pathfile [Internet]. [consulté le 6 avr 2018]. Disponible sur: <http://dentsplymea.com/products/endodontics/endodontic-files/pathfile>
 38. Deutsch AS, Musikant BL. Morphological measurements of anatomic landmarks in human maxillary and mandibular molar pulp chambers. *J Endod.* 2004;30(6):388-90.
 39. Estrela C. *Endodontic science.* São Paulo : Artes Medicas; 2009.
 40. Estrela C, Rabelo LEG, de Souza JB, Alencar AHG, Estrela CRA, Sousa Neto MD, et al. Frequency of root canal isthmi in human permanent teeth determined by cone-beam computed tomography. *J Endod.* 2015;41(9):1535-9.
 41. Fan B, Cheung GSP, Fan M, Gutmann JL, Bian Z. C-shaped canal system in mandibular second molars: Part I—Anatomical features. *J Endod.* 2004;30(12):899-903.
 42. Fan B, Cheung GSP, Fan M, Gutmann JL, Fan W. C-Shaped canal system in mandibular second molars: Part II—Radiographic features. *J Endod.* 2004;30(12):904-8.
 43. Fan B, Gao Y, Fan W, Gutmann JL. Identification of a C-shaped canal system in mandibular second molars-part II: the effect of bone image superimposition and intraradicular contrast medium on radiograph interpretation. *J Endod.* 2008;34(2):160-5.
 44. Fan B, Min Y, Lu G, Yang J, Cheung GSP, Gutmann JL. Negotiation of C-shaped canal systems in mandibular second molars. *J Endod.* 2009;35(7):1003-8.

45. Fan B, Pan Y, Gao Y, Fang F, Wu Q, Gutmann JL. Three-dimensional morphologic analysis of isthmuses in the mesial roots of mandibular molars. *J Endod.* 2010;36(11):1866-9.
46. Fan B, Yang J, Gutmann JL, Fan M. Root Canal Systems in Mandibular First Premolars with C-shaped root configurations. Part I: Microcomputed tomography mapping of the radicular groove and associated root canal cross-sections. *J Endod.* 2008;34(11):1337-41.
47. Fan B., Ye W., Xie E., Wu H., Gutmann J. L. Three-dimensional morphological analysis of C-shaped canals in mandibular first premolars in a Chinese population. *Int Endod J.* 2012;45(11):1035-41.
48. Fernandes M, de Ataíde I, Wagle R. C-shaped root canal configuration: A review of literature. *J Conserv Dent JCD.* 2014;17(4):312-9.
49. Gandhi A, Kathuria A, Gandhi T. Endodontic-periodontal management of two rooted maxillary lateral incisor associated with complex radicular lingual groove by using spiral computed tomography as a diagnostic aid: a case report. *Int Endod J.* 44(6):574-82.
50. Gani OA, Boiero CF, Correa C, Masin I, Machado R, Silva EJNL, et al. Morphological changes related to age in mesial root canals of permanent mandibular first molars. *Acta Odontol Latinoam AOL.* 2014;27(3):105-9.
51. Gao Y, Fan B, Cheung GSP, Gutmann JL, Fan M. C-shaped Canal System in Mandibular Second Molars Part IV: 3-D Morphological analysis and transverse measurement. *J Endod.* 2006;32(11):1062-5.
52. Gok T, Capar ID, Akcay I, Keles A. Evaluation of different techniques for filling simulated C-shaped canals of 3-dimensional printed resin teeth. *J Endod.* 2017;43(9):1559-64.
53. Grande NM, Plotino G, Butti A, Messina F, Pameijer CH, Somma F. Cross-sectional analysis of root canals prepared with NiTi rotary instruments and stainless steel reciprocating files. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology.* 2007;103(1):120-6.
54. Grocholewicz K, Lipski M, Weyna E. Endodontic and prosthetic treatment of teeth with C-shaped root canals. *Ann Acad Med Stetin.* 2009;55(3):55-9.
55. Gu L, Kim JR, Ling J, Choi KK, Pashley DH, Tay FR. Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices. *J Endod.* 2009;35(6):791-804.
56. Gu L, Wei X, Ling J, Huang X. A Microcomputed tomographic study of canal isthmuses in the mesial root of mandibular first molars in a Chinese population. *J Endod.* 2009;35(3):353-6.
57. Gu Y, Zhang Y, Liao Z. Root and canal morphology of mandibular first premolars with radicular grooves. *Arch Oral Biol.* 2013;58(11):1609-17.
58. Gu Y, Zhang Y, Liao Z, Fei X. A Micro-computed tomographic analysis of wall thickness of C-shaped canals in mandibular first premolars. *J Endod.* 2013;39(8):973-6.
59. Gulabivala K, Aung TH, Alavi A, Ng YL. Root and canal morphology of Burmese mandibular molars. *Int Endod J.* 2001;34(5):359-70.
60. Gulabivala K, Opananon A, Ng Y-L, Alavi A. Root and canal morphology of Thai mandibular molars. *Int Endod J.* 2002;35(1):56-62.
61. Haddad GY, Nehme WB, Ounsi HF. Diagnosis, classification, and frequency of C-shaped canals in mandibular second molars in the Lebanese population. *J Endod.* 1999;25(4):268-71.
62. HAS. Traitement endodontique HAS [Internet]. Haute Autorité de Santé - Traitement endodontique. 2008. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2009-01/texte_court_traitement_endodontique.pdf
63. Helvacıoglu-Yigit D, Sinanoğlu A. Use of cone-beam computed tomography to evaluate C-shaped root canal systems in mandibular second molars in a Turkish subpopulation: a retrospective study. *Int Endod J.* 2013;46(11):1032-8.
64. Hess W, Zürcher E. The anatomy of the root-canals of the teeth pp. 199. 4to; 63 plates. Bale, Sons and Danielsson. 16s. *Public Health.* 1924;38:352.
65. Hiebert BM, Abramovitch K, Rice D, Torabinejad M. Prevalence of second mesiobuccal

- canals in maxillary first molars detected using cone-beam computed tomography, direct occlusal access, and coronal plane grinding. *J Endod.* 2017;43(10):1711-5.
66. Hof R, Perevalov V, Eltanani M, Zary R, Metzger Z. The Self-adjusting File (SAF). Part 2: mechanical analysis. *J Endod.* 2010;36(4):691-6.
 67. Howard RK, Kirkpatrick TC, Rutledge RE, Yaccino JM. Comparison of debris removal with three different irrigation techniques. *J Endod.* 2011;37(9):1301-5.
 68. Huang T-Y, Gulabivala K, Ng Y-L. A bio-molecular film ex-vivo model to evaluate the influence of canal dimensions and irrigation variables on the efficacy of irrigation. *Int Endod* 2008;41(1):60-71.
 69. Jafarzadeh H, Abbott PV. Dilaceration: Review of an Endodontic Challenge. *J Endod.* 2007;33(9):1025-30.
 70. Jafarzadeh H, Beyrami M, Forghani M. Evaluation of Conventional Radiography and an Electronic Apex locator in determining the working length in C-shaped canals. *Iran Endod J.* 2017;12(1):60-3.
 71. Jafarzadeh H, Wu Y-N. The C-shaped root canal configuration: A review. *J Endod.* 2007;33(5):517-23.
 72. Jerome CE. C-shaped root canal systems: diagnosis, treatment, and restoration. *Gen Dent.* 1994;42(5):424-7; quiz 433-4.
 73. Jin G-C, Lee S-J, Roh B-D. Anatomical study of C-shaped canals in mandibular second molars by analysis of computed tomography. *J Endod.* 2006;32(1):10-3.
 74. Johns DA, Shivashankar VY, Shobha K, Johns M. An innovative approach in the management of palatogingival groove using Biodentine TM and platelet-rich fibrin membrane. *J Conserv Dent.* 2014;17(1):75.
 75. Jung H-J, Lee S-S, Huh K-H, Yi W-J, Heo M-S, Choi S-C. Predicting the configuration of a C-shaped canal system from panoramic radiographs. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology.* 2010;109(1):e37-41.
 76. Jung I-Y, Seo M-A, Fouad AF, Spångberg LSW, Lee S-J, Kim H-J, et al. Apical anatomy in mesial and mesiobuccal roots of permanent first molars. *J Endod.* 2005;31(5):364-8.
 77. Kato A, Ziegler A, Higuchi N, Nakata K, Nakamura H, Ohno N. Aetiology, incidence and morphology of the C-shaped root canal system and its impact on clinical endodontics. *Int Endod J.* 2014;47(11):1012-33.
 78. Kottoor J, Velmurugan N, Ballal S, Roy A. Four-rooted maxillary first molar having C-shaped palatal root canal morphology evaluated using cone-beam computerized tomography: a case report. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2011;111(5):e41-5.
 79. Krasner P, Rankow HJ. Anatomy of the pulp-chamber floor. *J Endod.* 2004;30(1):5-16.
 80. Kuttler Y. Microscopic investigation of root apexes. 1955. *J Indiana Dent Assoc.* 2010;89(1):20-8.
 81. Lambrianidis T, Lyroudia K, Pandelidou O, Nicolaou A. Evaluation of periapical radiographs in the recognition of C-shaped mandibular second molars. *Int Endod J.* 2001;34(6):458-62.
 82. Lea CS, Apicella MJ, Mines P, Yancich PP, Parker MH. Comparison of the obturation density of cold lateral compaction versus warm vertical compaction using the continuous wave of condensation technique. *J Endod.* 2005;31(1):37-9.
 83. université de Liège P. Ca s'explique : Observer l'extrêmement petit: au microscope, c'est possible... [Internet]. [consulté le 29 juin 2018]. Disponible sur: https://www.ulg.ac.be/upload/docs/application/pdf/2009-05/brochure_microscope.pdf
 84. Lu T-Y, Yang S-F, Pai S-F. Complicated root canal morphology of mandibular first premolar in a Chinese population using the cross section method. *J Endod.* 2006;32(10):932-6.
 85. Lunardi D, Deveaux E. Les ultrasons en endodontie : de la physique acoustique aux

- résultats cliniques. Une revue de la littérature. *Endo*. 1993;12(1):21-33.
86. Lynn EA. Conventional root canal therapy of C-shaped mandibular second molar. A case report. *N Y State Dent J*. 2006;72(6):32-4.
 87. Malentacca A, Uccioli U, Mannocci F, Bhuva B, Zangari D, Pulella C, et al. The comparative effectiveness and safety of three activated irrigation techniques in the isthmus area using a transparent tooth model. *Int Endod J*. 51(S1):e35-41.
 88. Manning SA. Root canal anatomy of mandibular second molars. *Int Endod J*. 1990;23(1):40-5.
 89. Martins JNR, Ordinola-Zapata R, Marques D, Francisco H, Caramês J. Differences in root canal system configuration in human permanent teeth within different age groups. *Int Endod J*. 2018
 90. Martins JNR, Quaresma S, Quaresma MC, Frisbie-Teel J. C-shaped maxillary permanent first molar: a case report and literature review. *J Endod*. 2013;39(12):1649-53.
 91. McGill S, Gulabivala K, Mordan N, Ng Y-L. The efficacy of dynamic irrigation using a commercially available system (RinsEndo®) determined by removal of a collagen ‘bio-molecular film’ from an ex vivo model. *Int Endod J*. 2008;41(7):602-8.
 92. Melton DC, Krell KV, Fuller MW. Anatomical and histological features of C-shaped canals in mandibular second molars. *J Endod*. 1991;17(8):384-8.
 93. Metzger Z, Teperovich E, Cohen R, Zary R, Paqué F, Hülsmann M. The Self-adjusting File (SAF). Part 3: removal of debris and smear layer - a scanning electron microscope study. *J Endod*. 2010;36(4):697-702.
 94. Metzger Z, Teperovich E, Zary R, Cohen R, Hof R. The Self-adjusting File (SAF). Part 1: respecting the root canal anatomy - a new concept of endodontic files and its implementation. *J Endod*. 2010;36(4):679-90.
 95. Min Y, Fan B, Cheung GSP, Gutmann JL, Fan M. C-shaped canal system in mandibular second molars Part III: the morphology of the pulp chamber floor. *J Endod*. 2006;32(12):1155-9.
 96. Moor D, G RJ. C-shaped root canal configuration in maxillary first molars. *Int Endod J*. 2002;35(2):200-8.
 97. Munoz HR, Camacho-Cuadra K. In vivo efficacy of three different endodontic irrigation systems for irrigant delivery to working length of mesial canals of mandibular molars. *J Endod*. 2012;38(4):445-8.
 98. Nagaveni NB, Umashankara KV. Radix entomolaris and paramolaris in children: A review of the literature. *J Indian Soc Pedod Prev Dent*. 2012;30(2):94.
 99. Newton CW, McDonald S. A C-shaped canal configuration in a maxillary first molar. *Config Un Conducto En C En Un Primer Molar Super Span Castilian*. 1984;10:397-9.
 100. Norton NS, Netter FH, Duparc F. Netter, Précis d’anatomie clinique de la tête et du cou. Issy-les-Moulineaux : Elsevier-Masson; 2009.
 101. Oehlers FAC. Dens invaginatus (dilated composite odontome): I. Variations of the invagination process and associated anterior crown forms. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1957;10(11):1204-18.
 102. Ordinola-Zapata R, Bramante CM, De Moraes IG, Bernardineli N, Garcia RB, Gutmann JL. Analysis of the gutta-percha filled area in C-shaped mandibular molars obturated with a modified MicroSeal technique. *Int Endod J*. 2009;42(3):186-97.
 103. Paqué F, Peters OA. Micro-computed tomography evaluation of the preparation of long oval root canals in mandibular molars with the Self-adjusting File. *J Endod*. 2011;37(4):517-21.
 104. Peng L, Ye L, Tan H, Zhou X. Outcome of root canal obturation by warm gutta-percha versus cold lateral condensation: a meta-analysis. *J Endod*. 2007;33(2):106-9.
 105. Ramírez-Salomón M, Vega-Lizama E, Tiesler V, Alvarado-Cárdenas G, López-Villanueva M, Sierra-Sosa T, et al. The C-shaped canal molar: an endodontic–archaeological

- study of the relationships between Mayan pre-Hispanic and contemporary population of Yucatán. *Int Endod J.* 2014;47(11):1084-9.
106. ReDentNova. Self-Adjusting File [Internet]. [consulté le 31 mars 2018]. Disponible sur: <http://www.redentnova.com/products/self-adjusting-file>
 107. Rice RT, Gilbert BO. An unusual canal configuration in a mandibular first molar. *J Endod.* 1987;13(10):513-5.
 108. Ricucci D, Pascon EA, Langeland K. Long-term follow-up on C-shaped mandibular molars. *J Endod.* 1996;22(4):185-7.
 109. 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.
 110. Sabala CL, Benenati FW, Neas BR. Bilateral root or root canal aberrations in a dental school patient population. *J Endod.* 1994;20(1):38-42.
 111. Sandhya R, Velmurugan N, Kandaswamy D. Assessment of root canal morphology of mandibular first premolars in the Indian population using spiral computed tomography: an in vitro study. *Indian J Dent Res Off Publ Indian Soc Dent Res.* 2010;21(2):169-73.
 112. Schäfer E, Diez C, Hoppe W, Tepel J. Roentgenographic investigation of frequency and degree of canal curvatures in human permanent teeth. *J Endod.* 2002;28(3):211-6.
 113. Schäfer, Schlingemann. Efficiency of rotary nickel–titanium K3 instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile. Part 2. Cleaning effectiveness and shaping ability in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J.* 2003;36(3):208-17.
 114. Schilder H. Cleaning and shaping the root canal. *Dent Clin North Am.* 1974;18(2):269-96.
 115. Seo MS, Park DS. C-shaped root canals of mandibular second molars in a Korean population: clinical observation and in vitro analysis. *Int Endod J.* 2004;37(2):139-44.
 116. Sharma S, Deepak P, Vivek S, Ranjan Dutta S. Palatogingival groove: recognizing and managing the hidden tract in a maxillary incisor: A case report. *J Int Oral Health JIOH.* 2015;7(6):110-4.
 117. Sidow SJ, West LA, Liewehr FR, Loushine RJ. Root canal morphology of human maxillary and mandibular third molars. *J Endod.* 2000;26(11):675-8.
 118. Sikri VK, Sikri P. Mandibular premolars: aberrations in pulp space morphology. *Indian J Dent Res Off Publ Indian Soc Dent Res.* 1994;5(1):9-14.
 119. Simon S, Machtou P, Pertot W-J, Friedman S. *Endodontie.* Rueil-Malmaison, France: Editions CdP; 2012. 514.
 120. Sinanoglu A, Helvacioglu-Yigit D. Analysis of C-shaped canals by panoramic radiography and cone-beam computed tomography: root-type specificity by longitudinal distribution. *J Endod.* 2014;40(7):917-21.
 121. Solomonov M, Paqué F, Fan B, Eilat Y, Berman LH. The challenge of C-shaped canal systems: a comparative study of the self-adjusting file and ProTaper. *J Endod.* 2012;38(2):209-14.
 122. Soukos NS, Chen PS-Y, Morris JT, Ruggiero K, Abernethy AD, Som S, et al. Photodynamic therapy for endodontic disinfection. *J Endod.* 2006;32(10):979-84.
 123. Special committee to revise the joint AAE/AAOMR position statement on use of CBCT in endodontics. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 2015;120(4):508-12.
 124. Steffen H, Splieth C. Conventional treatment of dens invaginatus in maxillary lateral incisor with sinus tract: one year follow-up. *J Endod.* 2005;31(2):130-3.
 125. Stock CJR, Gulabivala K, Walker RT (chirurgien-dentiste). *Endodontics.* London : Mosby-Wolfe, cop. 2004.; 2004.
 126. Tahmasbi M, Jalali P, Nair MK, Barghan S, Nair UP. Prevalence of middle mesial canals and isthmi in the mesial root of mandibular molars: an in vivo cone-beam computed tomographic study. *J Endod.* 2017;43(7):1080-3.
 127. Tashima I, Arita K, Asada Y. Genetic study of gutter-shaped root (GSR) in AKXL RI

- mouse strains using QTL analysis. *J Oral Sci.* 2010;52(2):213-20.
128. Teixeira FB, Sano CL, Gomes BPFA, Zaia AA, Ferraz CCR, Souza-Filho FJ. A preliminary in vitro study of the incidence and position of the root canal isthmus in maxillary and mandibular first molars. *Int Endod J.* 2003;36(4):276-80.
129. Torabinejad M, Walton RE, Fouad AF, Levy G. *Endodontie : principes et pratique.* Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson, 2016.
130. Vertucci F. Root canal morphology and its relationship to endodontic procedures. *Endod Top.* 2005;(1):3.
131. 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.
132. Walid N. The use of two pluggers for the obturation of an uncommon C-shaped canal. *J Endod.* 2000;26(7):422-4.
133. Walker RT. Root form and canal anatomy of mandibular second molars in a Southern Chinese population. *J Endod.* 1988;14(7):325-9.
134. Wang Y, Guo J, Yang H-B, Han X, Yu Y. Incidence of C-shaped root canal systems in mandibular second molars in the native Chinese population by analysis of clinical methods. *Int J Oral Sci.* 2012;4(3):161-5.
135. Weiger R, ElAyouti A, Löst C. Efficiency of hand and rotary instruments in shaping oval root canals. *J Endod.* 2002;28(8):580-3.
136. Weine FS. The C-shaped mandibular second molar: incidence and other considerations. *J Endod.* 1998;24(5):372-5.
137. Weine FS, Pasiewicz RA, Rice RT. Canal configuration of the mandibular second molar using a clinically oriented in vitro method. *J Endod.* 1988;14(5):207-13.
138. Weng X-L, Yu S-B, Zhao S-L, Wang H-G, Mu T, Tang R-Y, et al. Root canal morphology of permanent maxillary teeth in the han nationality in chinese guanzhong area: a new modified root canal staining technique. *J Endod.* 2009;35(5):651-6.
139. Yilmaz A, Kucukay ES, Istektepe M, Sisli SN, Ersev H, Karagoz-Kucukay I. Comparison of the shaping ability of WaveOne reciprocating files with or without glide path in simulated curved S-shaped root canals. *J Int Soc Prev Community Dent.* 2017;7(Suppl 1):S13-7.
140. Yin X. et al. Micro-computed tomographic comparison of nickel-titanium rotary versus traditional instruments in C-shaped root canal system. *J Endod.* 2010;36(4):708-12.
141. Yılmaz Z., Tuncel B., Serper A., Calt S. C-shaped root canal in a maxillary first molar: a case report. *Int Endod J.* 2006;39(2):162-6.
142. Yu X, Guo B, Li K-Z, Zhang R, Tian Y-Y, Wang H, et al. Cone-beam computed tomography study of root and canal morphology of mandibular premolars in a western Chinese population. *BMC Med Imaging.* 2012;12:18.
143. Zhao D, Shen Y, Peng B, Haapasalo M. Root canal preparation of mandibular molars with 3 Nickel-Titanium rotary instruments: a micro-computed tomographic study. *J Endod.* 2014;40(11):1860-4.
144. Zheng Q, Zhang L, Zhou X, Wang Q, Wang Y, Tang L, et al. C-shaped root canal system in mandibular second molars in a Chinese population evaluated by cone-beam computed tomography. *Int Endod J.* 2011;44(9):857-62.
145. von Zuben M, Martins JNR, Berti L, Cassim I, Flynn D, Gonzalez JA, et al. Worldwide prevalence of mandibular second molar C-shaped morphologies evaluated by cone-beam computed tomography. *J Endod.* 2017;43(9):1442-7.
146. Zu-Pyn Yang M, Shu-Fen Yang M, Yi-Chu Lin M, Jin-Chuan Shay M, Cherng-Yeong Chi M. C-shaped root canals in mandibular second molars in a Chinese population. *Endod Dent Traumatol.* 1988;4(4):160.

Table des illustrations

Les illustrations non reprises d'ouvrages scientifiques ont été réalisées par le Dr Alain Gambiez.

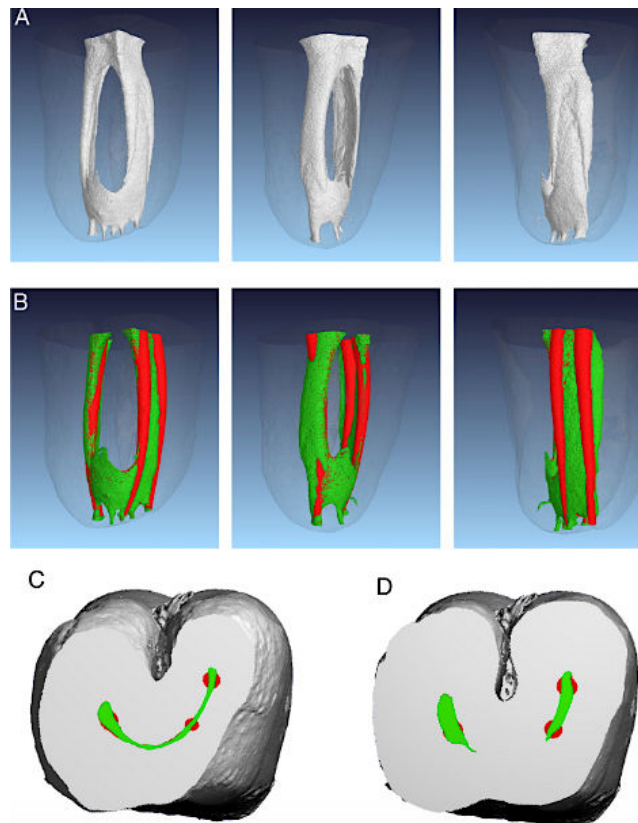
Figure 1: étapes du développement dentaire (les illustrations non reprises d'ouvrages scientifiques ont été réalisées par le Dr Alain Gambiez)	17
Figure 2: vue microscopique d'un germe dentaire	18
Figure 3: la gaine de Hertwig.....	19
Figure 4: rhizagénèse des dents pluri-radiculées d'après Bath-Balogh & Fehrenbach [14]	19
Figure 5 : une première molaire maxillaire en cours de rhizagénèse (vue apicale).....	20
Figure 6: photographies illustrant une fusion des racines par coalescence dentinaire (à gauche) et par coalescence cémentaire (à droite).	20
Figure 7: pulpolithes dans la chambre pulpaire	22
Figure 8: schéma des principaux composants anatomiques du système pulpaire [30].	22
Figure 9: emplacement des mesures sur des molaires maxillaires et mandibulaires afin de localiser la chambre pulpaire [38] (CEJ : Jonction émail-cément)	23
Figure 10: comparaison de la taille des chambres pulpaires de deux premières molaires mandibulaires à des âges différents, à gauche d'un individu jeune, à droite d'un individu âgé.....	24
Figure 11: technique de diaphanisation sur dents permanentes qui montre que le système canalaire est organisé en réseau. D'après Weng X-L et coll [137].....	25
Figure 12: classification des configurations canalaire selon Vertucci [30].....	25
Figure 13: loi de symétrie des entrées canalaire selon Krasner et Rankow.	27
Figure 14: loi du changement de couleur et de l'emplacement des entrées canalaire selon Krasner et Rankow.....	27
Figure 15: anatomies canalaire principale d'après M. Torabinejad [123].	28
Figure 16: molaire mandibulaire vue dans le sens vestibulo-lingual (à gauche) et dans le sens mésio-distal (à droite).	29
Figure 17: molaires maxillaires présentant des courbures vives près de l'apex.....	29
Figure 18: première prémolaire maxillaire (à gauche) et première molaire mandibulaire (à droite) présentant des canaux en « S ».....	29
Figure 19 : photographies illustrant la calcification du système canalaire avec le temps.	30
Figure 20 : première molaire maxillaire illustrant un canal de furcation d'après Vertucci [125].	31
Figure 21 : morphologie de la zone apicale d'après Pathway of the Pulp [32].	32
Figure 22: un delta apical d'après Kuttler[80].....	32
Figure 23: schéma en trois-dimensions des quatre types d'isthmes selon Fan et coll.[45].....	33
Figure 24: reconstruction en trois dimensions de la morphologie canalaire apicale des racines mésiales des molaires mandibulaires contenant des isthmes d'après Fan et coll [45].	34
Figure 25: coupes sèches horizontales de racines mésiales de molaires mandibulaires traitées observées au microscope x100 révélant , à gauche: un isthme complet de type I , à droite: isthme incomplet de type II, d'après Jung et coll. [76].	34
Figure 26: coupe transversale d'un canal pulpaire possédant une extension vue au microscope x 4,5 d'après De Deus et coll. [36].	35
Figure 27: localisation du « MV-2 ».....	36

Figure 28: découverte d'un canal mésial moyen dans la racine mésiale d'une première molaire mandibulaire (vue clinique).	36
Figure 29 : <i>dens invaginatus</i> d'après M. Torabinejad [128].	37
Figure 30: <i>dens evaginatus</i> d'après M. Torabinejad [128].	38
Figure 31: sillon palatin d'une incisive latérale maxillaire d'après M. Torabinejad [128].	39
Figure 32: dilacérations d'après Jafarzadeh H. [69]	39
Figure 33: reconstruction tomодensitométrique en 3D d'un première prémolaire mandibulaire à trois racines et présentant un canal en « C » d'après International Endodontic Journal [29].	40
Figure 34: schéma simplifié représentant l'anatomie d'un canal en « C » (canal en « C » continu de la chambre pulpaire à l'apex) d'après Pathway of the Pulp[30]	41
Figure 35: schéma d'une molaire mandibulaire humaine présentant un canal en « C » d'après Kato et al [77]. ((a) : coupe sagittale de la dent entière ; (b) : coupe transversale au niveau du plancher de la chambre pulpaire)	42
Figure 36: classification des canaux en « C » d'après Fan B. et coll.[41]	43
Figure 37 : différence clinique entre la configuration C2 (à droite) et C3 (à gauche) sur des coupes transversales du tiers coronaire de molaires mandibulaire en "C" traitées endodontiquement d'après Ordinola-Zapata et coll. [101].	43
Figure 38: reconstruction 3D d'une première prémolaire mandibulaire avec un canal en "C" à partir d'un scan micro-CT de Gu et coll. [57] (M : paroi mésiale).	45
Figure 39: configuration du système canalaire de premières prémolaires mandibulaires avec un canal en « C » d'après Fan B. [47]. La zone verte ne constitue pas un canal en « C », la zone rouge correspond à la partie en « C », la zone jaune représente un canal semi-lunaire	45
Figure 40: cas d'une première prémolaire mandibulaire avec un système canalaire particulièrement complexe et un canal en "C" d'après Fan B. [47].	46
Figure 41: cas d'un canal en « C » dans une première molaire maxillaire d'après Yilmaz. A gauche, vue clinique de l'entrée canalaire vestibulaire en « C ». A droite, radiographie post-opératoire avec le canal vestibulaire présentant trois foramina apicaux [140].	46
Figure 42: répartition mondiale de la prévalence des canaux en « C » dans les secondes molaires mandibulaires [144]	48
Figure 43: cavité d'accès des deuxièmes molaires mandibulaires (à gauche : schématisation d'après Pathway of the pulp [30], à droite : vue clinique)	49
Figure 44: cavité d'accès des deuxièmes molaires mandibulaires avec des entrées canalaires en "C" (à gauche : schématisation d'après Pathway of the pulp [30], au centre : vue clinique, à droite : photographie prise au microscope opératoire d'après Kato et coll.[77]	49
Figure 45: classification des planchers pulpaires de Min Y. et al., vues cliniques d'après Chhabra et coll. [27].	50
Figure 46: hémorragie pulpaire sur un canal en "C" d'après Crespo [32]	52
Figure 47: zone de danger des secondes molaires mandibulaires en "C"	54
Figure 48: image μ -CT d'une coupe transversale au tiers moyen de la racine d'une deuxième molaire mandibulaire d'après Gao et coll. Peu de dentine sépare le canal radiculaire de la surface externe de la racine (a : surface externe de la racine, b : paroi interne du canal, c : paroi avec l'épaisseur minimale)[51].	55
Figure 49: première prémolaire mandibulaire avec un canal en "C".	56
Figure 50: deltas apicaux de canaux en C de deuxièmes molaires mandibulaires d'après Manning [87].	56
Figure 51: micro-CT scan des 5 mm apicaux d'un système canalaire en « C » d'après Cheung et coll. [25].	57
Figure 52: modèles en trois dimensions des anatomies remarquables dans la zone apicale des canaux en « C » d'après Cheung et coll.[25]	58

Figure 53: sillon lingual d'une molaire mandibulaire avec des racines fusionnées d'après Ordinola-Zapata [101].	59
Figure 54: localisation des canaux en fonction des types de planchers pulpaire selon Min et coll. Les points verts indiquent l'endroit où placer les limes lors du cathétérisme, d'après Fan et coll. [44].	60
Figure 55: images de canaux en "C" découverts à l'OPT (au-dessus) et la confirmation du diagnostic par cone-beam (au-dessous).	61
Figure 56: les types radiographiques selon Fan B [42].	62
Figure 57: type I radiographique d'après Ordinola-Zapata et coll. [101].	63
Figure 58: type II radiographique d'après Ordinola-Zapata et coll. avec une configuration transversale C3 [101].	63
Figure 59: type III radiographique avec une configuration transversale C2 d'après ordinola-Zapata et coll.	64
Figure 60: radiographies per-opératoires de molaires mandibulaires avec des canaux en "C" d'après Ordinola-Zapata et coll. [101].	64
Figure 61: radiographies préopératoire et post opératoire d'une deuxième molaire mandibulaire avec un canal en "C"	65
Figure 62: diagnostic de canaux en « C » bilatéraux sur des deuxièmes molaires mandibulaires par CBCT en vue coronale.	66
Figure 63 : le microscope opératoire (à gauche) et la prise de vues sous microscope (à droite).	67
Figure 64: loupes binoculaires d'après Zeiss®	68
Figure 65: anesthésie à l'épine de Spix d'après Netter F.H. [99].	69
Figure 66: fraise long col de Komet®	69
Figure 67: inserts endodontiques ultrasonores d'après Pathway of the Pulp [30].	70
Figure 68: forets de Gates-Glidden (Dentsply)	70
Figure 69: la technique d' « anticurvature filing » représentée sur une coupe du tiers-coronaire d'une molaire mandibulaire en « C » d'après Abou Rass [1]. Les flèches bleues symbolisent l'appui pariétal à effectuer avec l'instrument de préparation.	71
Figure 70: endoflare® d'après MicroMega®	71
Figure 71: lime de cathétérisme mécanisé: les PathFiles® (Dentsply-Maillefer)[37].	73
Figure 72 : système SAF® avec son moteur doté d'une pompe pour l'irrigation continue d'après ReDent-Nova [105].	78
Figure 73 : le maillage du SAF comparé au stent cardiaque.	78
Figure 74: photographies de coupes sur des modèles en résine de molaires mandibulaires en forme de « C » (C1 de Fan B.) A B C section transversale à 2 mm de l'apex, D E F section transversale à 10mm de l'apex. (AD :obturation avec tuteur de Gutta thermoplastique, BE : obturation avec système d'injection de gutta chaude, CF : technique de condensation latérale à froid)[52]	81

Annexes

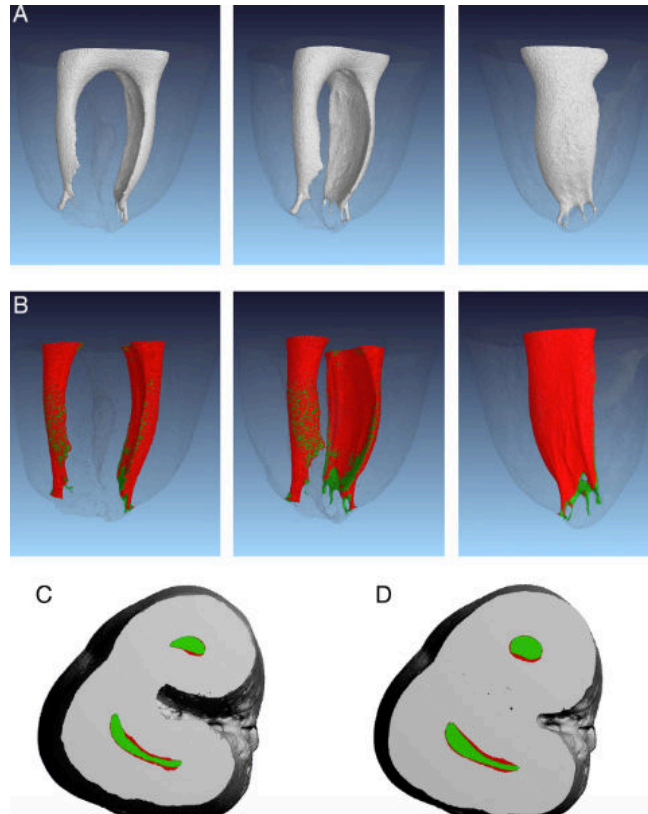
Annexe 1 : Traitement d'un canal en C avec la séquence Protaper® d'après Solomonov



Les zones vertes représentent les zones non instrumentées par la procédure, les zones rouges sont les parois qui ont été travaillées par l'instrument.

A : anatomie avant traitement ; B : anatomie après traitement ; C-D : coupes transversales à 4 et 6 mm de l'apex.

Annexe 2 : Traitement d'un canal en « C » avec le système « self-adjusting file » d'après Solomonov



Les zones vertes représentent les zones non instrumentées par la procédure, les zones rouges sont les parois qui ont été travaillées par l'instrument.

A : anatomie avant traitement ; B : anatomie après traitement ; C-D : coupes transversales à 4 et 6 mm de l'apex.

LES CANAUX EN « C » : LES COMPRENDRE, LES TRAITER.

DELCLOY Lucie - p. 97 : ill. 74 ; réf. 146.

Domaines : Endodontie

Mots clés Rameau: Endodontie ; Molaire ; Racine de la dent – Anatomie ;

Mots clés FMeSH: Endodontie ; Molaire ; Traitement de canal radiculaire ; Obturation de canal radiculaire ; Racine dentaire – anatomie et histologie ;

Mots clés libre : rhizagénèse ; isthme ;

Résumé de la thèse :

Le terme de canal en « C » a été introduit par Cooke et Cox en 1979 pour décrire la morphologie transversale des racines qui ressemblaient à la lettre C. Ils sont plus fréquemment rencontrés dans les deuxièmes molaires mandibulaires. La caractéristique principale des canaux en « C » est la présence d'un ruban de connexion entre les canaux principaux. Cette anatomie particulière les rend difficiles à nettoyer, à préparer et à obturer. Ils présentent de nombreuses variations anatomiques qui compliquent leur diagnostic. Certaines de leurs parois très fines augmentent le risque de perforations iatrogènes lors du traitement endodontique et de la restauration post-endodontique. Pour optimiser les chances de succès du traitement endodontique, une bonne compréhension de l'anatomie des canaux en « C » et de leurs caractéristiques cliniques ainsi qu'une interprétation soignée des examens radiologiques sont nécessaires. Cette thèse s'efforce de recueillir les données scientifiques acquises sur les canaux en « C » pour les comprendre et les traiter.

JURY :

Président : Monsieur le Professeur Etienne DEVEAUX

Assesseurs : Monsieur le Docteur Alain GAMBIEZ

Monsieur le Docteur Thibault BECAVIN

Monsieur le Docteur Maxime BEAURAIN