

UNIVERSITE DE LILLE

FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année de soutenance : 2019

N°:

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

Présentée et soutenue publiquement le 27 mai 2019

Par Angèle LECOMTE

Né(e) le 28 avril 1993 à Lille - France

LA TEMPORISATION EN ENDODONTIE

JURY

Président : Monsieur le Professeur Etienne DEVEAUX
Assesseurs : Monsieur le Docteur Alain GAMBIEZ
Monsieur le Docteur Lieven ROBBERECHT
Monsieur le Docteur Maxime BEAURAIN

Président de l'Université	:	Pr. J-C. CAMART
Directeur Général des Services de l'Université	:	P-M. ROBERT
Doyen	:	Pr. E. DEVEAUX
Vice-Doyens	:	Dr. E. BOCQUET, Dr. L. NAWROCKI et 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	Dentisterie Restauratrice Endodontie Doyen de la Faculté
G. PENEL	Responsable du Département de Biologie Orale

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

K. AGOSSA	Parodontologie
T. BECAVIN	Dentisterie Restauratrice Endodontie
A. BLAIZOT	Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie Légale.
P. BOITELLE	Prothèses
F. BOSCHIN	Responsable du Département de Parodontologie
E. BOCQUET	Responsable du Département d' Orthopédie Dento-Faciale
C. CATTEAU	Responsable du Département de Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie Légale.
A. de BROUCKER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
M. DEHURTEVENT	Prothèses
T. DELCAMBRE	Prothèses
C. DELFOSSE	Responsable du Département d' Odontologie Pédiatrique
F. DESCAMP	Prothèses
A. GAMBIEZ	Dentisterie Restauratrice Endodontie
F. GRAUX	Prothèses
P. HILDEBERT	Responsable du Département de Dentisterie Restauratrice Endodontie
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 des 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

Chevalier dans l'ordre des palmes académiques

Vous m'avez fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury et je vous en remercie.
Veuillez trouver dans ce travail l'expression de mon profond respect et ma sincère reconnaissance.

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

C'est avec plaisir que vous avez accepté de diriger ce travail et
je vous en suis reconnaissante.

Je tiens à vous remercier pour votre écoute, vos nombreux
conseils et votre disponibilité. En espérant que ce travail soit à
la hauteur de vos espérances.

Soyez assuré de ma sincère gratitude.

Monsieur le Docteur Lieven ROBBERECHT

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier des CSERD

Section Réhabilitation Orale

Département Dentisterie Restauratrice Endodontie

Docteur en Chirurgie Dentaire

Vous avez spontanément et avec enthousiasme
accepté de siéger au sein de ce jury et je vous en
sais gré. Je vous remercie aussi pour la qualité de
votre enseignement et votre pédagogie.
Soyez assuré de ma sincère reconnaissance.

Monsieur le Docteur Maxime BEURAIN

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 juger ce travail. Pour votre gentillesse et vos conseils dispensés au cours de ces dernières années, voyez dans ce travail l'expression de ma sincère reconnaissance.

Table des abréviations

ART : atraumatic restorative treatment (traitement restaurateur atraumatique)

APA : abcès péri-apical

Ca(OH)₂ : hydroxyde de calcium

CHX : chlorhexidine

CVI : ciment verre ionomère

CVIMAR : ciment verre ionomère avec adjonction de résine

HP : hyperhémie pulpaire

IDS : substitut dentinaire immédiat

IRM® : immediat restorative material (matériel de restauration immédiat)

LIPOE : lésion inflammatoire péri-radriculaire d'origine endodontique

MTA® : mineral trioxide aggregate (agrégat de trioxyde minéral)

MeSH : medical subject headings

NaOCl : hypochlorite de sodium

NPA : nécrose pulpaire asymptomatique

PAA : parodontite apicale aiguë

PAC : parodontite apicale chronique

PAF : parodontite apicale fistulisée

PAI : pulpite aiguë irréversible

PC : pulpite chronique

PEMA : polyméthacrylate d'éthyl

PMMA : polyméthacrylate de méthyl

PR : pulpite réversible

PRF : platelet rich fibrine (fibrine enrichie en plaquettes)

RTE : retraitement endodontique

TEI : traitement endodontique initial

UDMA : polyméthacrylate d'uréthane

ZOE : ciment oxyde de zinc-eugénol

ZONE : ciment oxyde de zinc-non eugénol

Table des matières

Table des abréviations	11
Introduction	15
1 Endodonte	16
1.1 Rappels anatomiques : l'odonte.....	16
1.2 Complexe dentino-pulpaire	16
1.2.1 Définition	16
1.2.2 Dentine.....	16
1.2.3 Pulpe.....	17
1.2.3.1 Histologie.....	17
1.2.3.2 Fonctions biologiques de la pulpe	18
2 Endodontie	19
2.1 Définition.....	19
2.2 Objectif	19
2.3 Pathologies endodontiques	19
2.3.1 Pathologies pulpaire	19
2.3.1.1 Hyperhémie pulpaire (HP)	19
2.3.1.2 Pulpite réversible (PR).....	19
2.3.1.3 Pulpite chronique (PC)	20
2.3.1.4 Pulpite aiguë irréversible (PAI)	20
2.3.1.5 Nécrose pulpaire asymptomatique (NPA).....	21
2.3.2 Pathologies parodontales d'origine pulpaire.....	21
2.3.2.1 Parodontite apicale aiguë (PAA).....	21
2.3.2.2 Parodontite apicale chronique (PAC).....	21
2.3.2.3 Parodontite apicale fistulisée (PAF).....	21
2.3.2.4 Abscès péri-apical (APA).....	22
2.3.3 Classification de Baume.....	22
3 Temporisation en endodontie	24
3.1 Généralités	24
3.1.1 Notion de succès.....	24
3.1.2 Nombre de séances idéal.....	24
3.1.2.1 Traitement canalair	24
3.1.2.1.1 Dents vitales.....	25
3.1.2.1.2 Dents nécrosées avec ou sans lésion péri-apicale	25
3.1.2.2 Traitement endodontique–restauration coronaire	26
3.1.2.2.1 Combien de temps avant une percolation bactérienne ?	26
3.1.2.2.2 Mise en fonction de la dent	26
3.1.2.2.3 Résistance mécanique de la structure résiduelle	27
3.1.2.2.3.1 Perte hydrique.....	27
3.1.2.2.3.2 Perte de la structure dentaire initiale.....	27
3.1.2.2.3.3 Perte des réflexes de protection.....	28
3.1.2.2.3.4 Action des agents chimiques utilisés lors des traitements canalaires.....	28
3.2 Quand et pourquoi temporiser ?	28
3.2.1 Garder la dent vitale	28
3.2.2 Facteur temps	29
3.2.2.1 Anticiper le temps de travail nécessaire	29
3.2.2.2 Temps de travail au fauteuil pas assez long	30

3.2.2.2.1	Mauvaise analyse de la difficulté.....	30
3.2.2.2.2	Gestion des erreurs iatrogènes.....	30
3.2.2.3	Facteurs liés au patient	31
3.2.3	Douleur.....	31
3.2.4	Non-assèchement canalaire.....	31
3.2.5	Dent immature.....	32
3.3	Comment temporiser ?	32
3.3.1	Notion de délai avant le prochain rendez-vous	32
3.3.2	Propriétés des matériaux recherchés.....	33
3.3.2.1	Biocompatibilité	33
3.3.2.2	Étanchéité	33
3.3.2.3	Résistance mécanique	33
3.3.2.4	Esthétique	33
3.3.2.5	Rétablissement de la fonction occlusale et de l'anatomie coronaire.....	34
3.3.2.6	Maniabilité	34
3.3.2.7	Effet thérapeutique	34
3.3.3	Matériaux et dispositifs médicaux nécessaires à la temporisation	34
3.3.3.1	Hydroxyde de calcium : Ca(OH) ₂	34
3.3.3.1.1	Propriétés du matériau.....	34
3.3.3.1.2	Utilisation clinique	35
3.3.3.2	Ca(OH) ₂ avec adjonction de résine.....	36
3.3.3.2.1	Propriétés du matériau.....	36
3.3.3.2.2	Utilisation clinique	37
3.3.3.3	Ciments à base de sulfate de calcium/ Oxyde de Zinc	38
3.3.3.3.1	Propriétés du matériau.....	38
3.3.3.3.2	Utilisation clinique	38
3.3.3.4	Ciments à base de silicate de calcium.....	39
3.3.3.4.1	Propriétés des matériaux	39
3.3.3.4.2	Utilisation clinique	41
3.3.3.5	Ciments oxydes de zinc-eugéno (ZOE).....	41
3.3.3.5.1	Propriétés du matériau.....	41
3.3.3.5.2	Utilisation clinique	43
3.3.3.6	Ciments verre-ionomère (CVI).....	44
3.3.3.6.1	Propriétés du matériau.....	44
3.3.3.6.2	Utilisation clinique	45
3.3.3.7	Ciments verre-ionomère condensables	45
3.3.3.8	Ciments verre-ionomère modifiés par adjonction de résine (CVIMAR).....	46
3.3.3.8.1	Propriétés du matériau.....	46
3.3.3.8.2	Utilisation clinique	47
3.3.3.9	Résines composites	47
3.3.3.9.1	Propriétés du matériau.....	47
3.3.3.9.2	Utilisation clinique	48
3.3.3.10	Résines composites temporaires souples	48
3.3.3.10.1	Propriétés du matériau.....	48
3.3.3.10.2	Utilisation clinique	48
3.3.3.11	Bagues de cuivre et bagues orthodontiques.....	49
3.3.3.11.1	Propriétés des dispositifs médicaux	49
3.3.3.11.2	Utilisation clinique.....	49
3.3.3.12	Couronnes provisoires.....	49
3.3.3.12.1	Propriétés des dispositifs médicaux.....	49
3.3.3.12.2	Utilisation clinique	51

3.3.3.13	Ciment provisoire.....	51
4	Principales situations cliniques donnant lieu à une temporisation	53
4.1	Temporisation pré-endodontique	53
4.1.1	Coiffage.....	53
4.1.1.1	Coiffage indirect.....	53
4.1.1.2	Coiffage direct	55
4.1.2	Pulpotomie	56
4.1.2.1	Pulpotomie partielle	56
4.1.2.2	Pulpotomie complète	56
4.1.2.2.1	Sans traitement canalaire ultérieur.....	56
4.1.2.2.2	Avec traitement canalaire ultérieur.....	57
4.1.3	La reconstitution pré-endodontique	57
4.2	Temporisation peropératoire	58
4.3	Temporisation en inter-séance.....	59
4.3.1	Temporisation en inter-séance d'endodontie.....	59
4.3.1.1	Pulpotomie.....	59
4.3.1.2	Traitement canalaire	60
4.3.1.2.1	Temps de travail insuffisant	60
4.3.1.2.2	Saignement/suintement résiduel.....	61
4.3.1.2.3	Suppuration résiduelle	61
4.3.1.2.4	Gestion des perforations	62
4.3.1.2.5	Apexification.....	63
4.3.1.2.5.1	<i>A l'hydroxyde de calcium.....</i>	<i>63</i>
4.3.1.2.5.2	<i>Au silicate de calcium.....</i>	<i>63</i>
4.3.1.2.6	Revascularisation.....	63
4.3.2	Temporisation en inter-séance endodontie-restauration.....	64
4.3.2.1	Restauration sans ancrage radiculaire	65
4.3.2.2	Restauration avec ancrage radiculaire	65
4.3.2.3	Cas de l'éclaircissement interne.....	66
4.3.3	Temporisation en inter-séance endodontie-prothèse.....	67
4.3.3.1	Prothèse fixée sans ancrage radiculaire.....	67
4.3.3.2	Prothèse fixée avec ancrage radiculaire.....	68
5	Discussion.....	70
5.1	Optimisation dans la gestion du cabinet	70
5.2	Limites de l'étude.....	71
5.3	Synthèse sous forme d'arbres décisionnels	71
5.4	Propositions.....	83
	Conclusion.....	84
	Références bibliographiques	85
	Table des illustrations.....	94
	Annexes	95
	Annexe 1 : tableau récapitulatif des principaux ciments à base de silicate de calcium disponibles sur le marché	96
	Annexe 2 : Lexique des arbres décisionnels.....	97

Introduction

L'endodontie représente une part importante de l'activité clinique du chirurgien-dentiste. Le praticien est quotidiennement amené à soigner des dents ayant subi des dommages pulpaire. Il est nécessaire d'intervenir de la façon la plus précoce et appropriée possible afin d'arrêter la propagation du processus inflammatoire, voire infectieux.

Temporiser signifie remettre à plus tard dans l'attente de conditions plus favorables. En endodontie, cela peut s'avérer particulièrement utile dans certaines situations cliniques. La temporisation permet de retarder un traitement canalair, de différer l'obturation ou de protéger la dent après la fin de celui-ci. Il existe une multitude de matériaux mis à la disposition du praticien pour répondre à ces problématiques. Tous ont des propriétés et des actions différentes. Lesquels choisir ? Pourquoi et comment les utiliser ? C'est précisément le but du présent travail.

Il porte sur la temporisation des dents permanentes. Il a pour objectif de guider le praticien dans le choix du ou des matériau(x) à utiliser en fonction de l'indication clinique. Le travail s'est focalisé sur la temporisation dans le cadre des traitements endodontiques de dents définitives présentant des pathologies n'étant pas liées à un traumatisme dentaire récent.

1 Endodonte

1.1 Rappels anatomiques : l'odonte

Une dent est constituée de quatre tissus différents : l'émail, la dentine, la pulpe et le cément. Elle est ancrée à l'os alvéolaire par un ligament desmodontal (figure 1). Des échanges entre la pulpe et les tissus parodontaux peuvent se faire par le biais des foramens apicaux et latéraux.

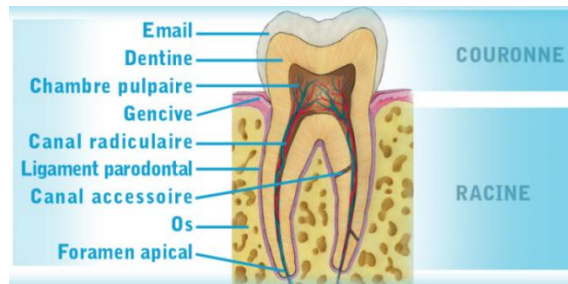


Figure 1 : anatomie de la dent [140]

1.2 Complexe dentino-pulpaire

1.2.1 Définition

Le complexe dentino-pulpaire ou endodonte est constitué de deux tissus, la dentine et la pulpe qui constituent ensemble une unité structurale et fonctionnelle. Ces deux tissus dérivent de la papille dentaire. Leur développement se fait conjointement [88]. Ces tissus ont des fonctions différentes. La dentine protège mécaniquement la pulpe en formant une barrière protectrice, tandis que la pulpe nourrit la dentine et assure la vitalité de la dent.

1.2.2 Dentine

La dentine est un tissu minéralisé constitué de nombreux canalicules ou tubuli dentinaires qui rayonnent selon une courbure en S du tissu pulpaire à la jonction amélo-dentinaire pour la couronne et à la jonction cémento-dentinaire pour la racine (figure 2). Ils permettent le passage de fluide transdentinaire d'origine pulpaire et contiennent le prolongement d'un odontoblaste.

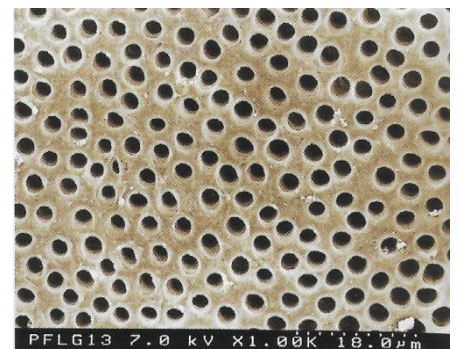


Figure 2 : tubules dentinaires visibles au microscope électronique X2000 [80]

La densité des tubuli varie de 15000/mm² dans la couche dentinaire périphérique à 55000/mm² à proximité du tissu pulpaire [88]. Leur perméabilité entraîne une vulnérabilité à l'invasion microbienne.

Il existe trois grands types de dentine [88]. La dentine primaire est sécrétée au cours de la formation de la dent. Elle constitue la majeure partie de la dentine et donne la forme de la couronne et de la racine. La dentine secondaire est sécrétée après éruption, lorsque la dent devient fonctionnelle. Sa sécrétion entraîne une diminution progressive du volume pulpaire au cours du vieillissement. La dentine tertiaire est sécrétée après éruption de la dent afin de protéger la pulpe des agressions externes de type chimique (érosion), mécanique (attrition/abrasion) ou bactérienne (processus carieux). Il s'agit d'une dentine cicatricielle. Lorsque l'agression est modérée, la dentine créée est appelée dentine réactionnelle et son aspect est tubulaire (figure 3) [146]. Lorsque l'agression est trop forte entraînant la mort des odontoblastes, de nouvelles cellules de type odontoblaste prennent le relai. On parle alors de dentine réparatrice [59]. La dentine apparaît alors comme majoritairement non tubulaire [146].

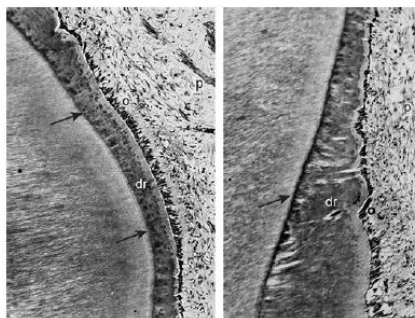


Figure 3 : coupe de dent centrée sur la dentine réactionnelle [52]

1.2.3 Pulpe

1.2.3.1 Histologie

La pulpe est un tissu conjonctif lâche divisé en deux parties. La pulpe coronaire se situe dans la chambre pulpaire. La pulpe radulaire se trouve dans les canaux radulaires (figure 4). Lors de l'édification de la dent, la pulpe a une forme homothétique à la surface de la dent. Son volume diminue au cours de la vie, par apposition de dentine secondaire et tertiaire.

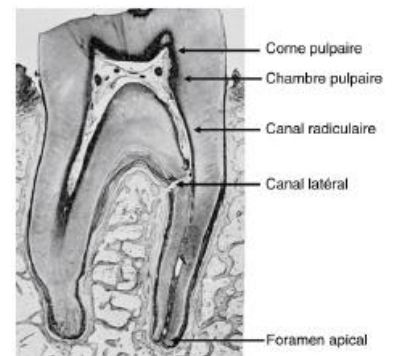


Figure 4 : anatomie pulpaire [137]

1.2.3.2 Fonctions biologiques de la pulpe

La pulpe dentaire a plusieurs fonctions :

- Induction et formation de dentine

Les odontoblastes sont des cellules hautement différenciées localisées en palissade sur une simple couche en périphérie de la pulpe. Ils permettent de synthétiser la matrice et contrôlent la minéralisation de la dentine, selon des phases d'activité et de repos. Lorsqu'une agression détruit les odontoblastes, des cellules souches (pré-odontoblastes) sont recrutées. Les molécules de signalisation libérées entraînent alors leur différenciation. Ces cellules vont migrer et se transformer en nouveaux odontoblastes afin de synthétiser de la dentine réparatrice.

- Nutrition

La pulpe est une réserve de nutriments nécessaire au maintien de son état ainsi qu'à la formation de dentine [146]. Le réseau important de capillaires conditionne son pouvoir réparateur.

- Défense

La pulpe a une fonction de défense face aux agressions extérieures. La production de dentine tertiaire initiée par la pulpe permet de former une barrière physique face aux agressions. De plus, les cellules dendritiques, les macrophages, les histiocytes et les lymphocytes T présents physiologiquement dans la pulpe saine permettent d'initier une réponse immunitaire face aux substances étrangères [74, 75].

- Sensibilité

La sensibilité de la dent est expliquée par la théorie hydrodynamique de Brännström [22]. Les mouvements de fluides à l'intérieur des tubuli dentinaires activent les fibres nerveuses responsables de la douleur [22, 114]. Ces mouvements de fluides sont causés par des stimuli sur la dentine comme le froid, la déshydratation ou les solutions sucrées hypertoniques. Les tests de sensibilité pulpaire de type test au froid se basent sur cette théorie. Ils causent une sensation de douleur d'intensité variable lors de leur application sur une dent saine.

2 Endodontie

2.1 Définition

L'endodontie est la discipline de l'odontologie qui concerne la prévention, le diagnostic et le traitement des maladies de la pulpe et des pathologies parodontales d'origine pulpaire [128].

2.2 Objectif

Les thérapeutiques endodontiques ont pour but de traiter les maladies de la pulpe et du péri-apex afin de transformer la dent dont la pulpe est pathologique en une entité saine, asymptomatique, fonctionnelle et esthétique [51, 64]. L'endodontie regroupe les pathologies réversibles dont le traitement consiste à préserver la vitalité pulpaire (endodontie de réparation) mais aussi les pathologies dites irréversibles pour lesquelles le traitement canalaire est nécessaire. Ces thérapeutiques visent à prévenir et traiter une contamination bactérienne de la pulpe camérale et du système canalaire.

2.3 Pathologies endodontiques

2.3.1 Pathologies pulpaires

2.3.1.1 Hyperhémie pulpaire (HP)

L'hyperhémie pulpaire est une pathologie non infectieuse qui a pour origine une cause mécanique (ex : fraisage proximo-pulpaire) ou chimique (ex : pose d'un matériau irritant). Cette hyperhémie est temporaire, en attendant un retour à un état non pathologique.

2.3.1.2 Pulpite réversible (PR)

La pulpite réversible est une inflammation pulpaire résultant du passage de micro-organismes et/ou de leurs toxines à travers les tubuli dentinaires vers la pulpe. Elle survient lors de restaurations défectueuses, de dentine mise à nue ou lorsque des caries dentinaires sont présentes. La dent est encore asymptomatique à ce stade, mais certains stimuli comme le froid ou le sucre peuvent engendrer des douleurs vives qui cessent immédiatement à l'arrêt de l'application. Il n'y a pas de modification radiologique visible au niveau péri-radriculaire [1].

2.3.1.3 Pulpite chronique (PC)

La pulpite chronique se caractérise par le fait que l'inflammation du tissu pulpaire est devenue irréversible dans un contexte pas ou peu algique. Même si la cause de l'inflammation est supprimée, la cicatrisation de la pulpe ne peut se faire. Sa guérison est impossible. La pulpite chronique évolue soit vers une phase symptomatique (pulpite aiguë) soit vers une nécrose. A cette étape, la présence de signes cliniques observables n'est pas obligatoire. Le patient ne ressent généralement aucun symptôme. Il existe plusieurs formes de pulpite chronique [96].

La pulpite chronique fermée se distingue par du tissu de granulation présent dans la pulpe. Il est localisé au niveau de l'entrée bactérienne ou généralisé à l'ensemble de la pulpe. La pulpite s'accompagne généralement de la sécrétion de dentine tertiaire de réparation et de pulpolithes. A la radiographie, ces structures sont souvent objectivées.

La pulpite chronique ouverte peut prendre une forme ulcéreuse ou la forme d'un polype. Dans le premier cas, la pulpe ouverte dans la cavité buccale apparaît ulcérée. Du tissu de granulation et des calcifications intra-pulpaire sont retrouvés. Le parenchyme pulpaire radiculaire peut encore être douloureux au sondage, contrairement à la pulpe coronaire. Le polype pulpaire résulte de la croissance hypertrophique d'une pulpe jeune dans une cavité carieuse, souvent occlusale (figure 5) [146]. La masse charnue, de couleur rouge, occupe quasiment la totalité de la surface occlusale et prend la forme d'un chou-fleur [51]. Il peut être mou et saigner facilement ou bien lisse et ferme. Le polype pulpaire apparaît sur les dents temporaires ou permanentes immatures, généralement pluriradiculées.



Figure 5 : polype pulpaire [139]

2.3.1.4 Pulpite aiguë irréversible (PAI)

Dans la PAI, l'inflammation est étendue à l'ensemble de la pulpe camérale, ce qui entraîne un afflux sanguin important et donc une surpression dans la cavité pulpaire. La dent est symptomatique. Une douleur intense, spontanée, tenace,

lancinante et pulsatile est ressentie par le patient, ce qui l'amène à consulter en urgence. La douleur est exacerbée par les changements de température ainsi que par le sucre. Elle est rémanente et difficilement localisable. Le décubitus dorsal aggrave les douleurs. Si le processus inflammatoire a diffusé au niveau péri-apical, une sensibilité à la percussion ou à la pression peut être ressentie. On parle alors de pulpo-desmodontite [1, 135].

2.3.1.5 Nécrose pulpaire asymptomatique (NPA)

La nécrose pulpaire se caractérise par la mort des cellules pulpaire, des structures nerveuses et une absence de perfusion de la dent. Il s'agit d'une pathologie asymptomatique. La dent ne répond plus aux tests de vitalité pulpaire. Lorsque les bactéries sont entrées dans la pulpe nécrotique, elles peuvent contaminer entièrement le système canalaire en 1 à 2 mois en utilisant les débris organiques comme source de nutriments [1].

2.3.2 Pathologies parodontales d'origine pulpaire

2.3.2.1 Parodontite apicale aiguë (PAA)

La PAA survient lorsque les bactéries et toxines présentes dans le système canalaire ont migré vers l'espace desmodontal et induisent une inflammation ligamentaire voire osseuse. La dent est alors ressentie comme symptomatique. La douleur est continue, lancinante, exacerbée à la mastication et à la percussion. Sa localisation apparaît précise pour le patient qui la qualifie de « dent plus longue ». A la radiographie rétro-alvéolaire, un épaissement desmodontal ou une image radioclaire apicale est souvent visible [124].

2.3.2.2 Parodontite apicale chronique (PAC)

La présence de bactéries dans le système canalaire peut provoquer une réaction inflammatoire chronique des tissus péri-apicaux. La dent est alors généralement asymptomatique, mais une légère gêne peut être ressentie à la percussion ou à la pression. Une radio-clarté apicale est mise en évidence à la radiographie rétro-alvéolaire ce qui illustre la destruction du tissu osseux ainsi que le développement d'un tissu granulomateux ou kystique.

2.3.2.3 Parodontite apicale fistulisée (PAF)

La dent est généralement asymptomatique. Elle n'est plus douloureuse à la percussion. Une sensation différente par rapport aux autres dents peut être

ressentie. Le drainage des bactéries se fait de manière intermittente à travers le trajet d'une fistule. Une radio-clarté apicale est souvent visible sur la radiographie rétro-alvéolaire.

2.3.2.4 Abscess péri-apical (APA)

Le processus menant à un APA se fait par passage des bactéries du système endodontique dans le tissu inflammatoire apical. Cela entraîne une infection de la lésion chronique. Les douleurs sont continues, intenses, exacerbées en période nocturne et irradiantes. Elles sont dues à la surpression intra-osseuse ou sous-muqueuse induite par la présence de pus. Des douleurs à la percussion, à la pression et à la palpation des tables osseuses et/ou des muqueuses sont ressenties. Parfois, une mobilité de la dent est visible. Une altération de l'état général peut être associée.

2.3.3 Classification de Baume

La classification de Baume a été introduite par Fiore-Donno et Baume en 1962. Il s'agit d'une classification symptomatologique des pathologies pulpaires à des fins thérapeutiques (tableau1) [18].

Tableau 1: classification de Baume [18]

Catégorie I	Pulpe vivante sans symptomatologie lésée accidentellement ou proche d'une carie profonde, susceptible d'être protégée par coiffage
Catégorie II	Pulpe vivante avec symptomatologie, dont la vitalité peut être conservée par coiffage ou biopulpotomie
Catégorie III	Pulpe vivante dont la biopulpectomie suivie d'une obturation radiculaire est indiquée (pour des raisons esthétiques, iatrogènes, prothétiques ou pronostiques)
Catégorie IV	Pulpe nécrosée associée à une infection de la dentine radiculaire impliquant ou non une infection péri-apicale dont le traitement canalaire associé à une désinfection suivi d'une obturation radiculaire étanche est nécessaire

Les catégories I et II intéressent les pathologies réversibles dont le traitement consiste à rétablir la vitalité de la dent. Au contraire, les catégories III et IV regroupent les pathologies irréversibles pour lesquelles le traitement canalaire est

nécessaire. Selon Baume, il y a 4 thérapeutiques à envisager : le coiffage pulpaire, la pulpotomie, la pulpectomie et la désinfection canalaire.

Le coiffage pulpaire se définit comme le traitement d'une pulpe vitale exposée ou non par la pose d'un matériau biocompatible afin de stimuler la formation de dentine réparatrice. Le coiffage est qualifié d'indirect s'il existe une fine couche de dentine résiduelle (déméralisée) au contact de la pulpe. Le matériau de coiffage est alors positionné sur cette couche afin de stimuler la reminéralisation. Il est appelé direct si le matériau est positionné au contact direct de la pulpe, suite à un traumatisme ou à une effraction pulpaire [7].

La pulpotomie se caractérise par l'élimination de la partie coronaire de la pulpe afin de préserver la vitalité pulpaire canalaire. Cette thérapeutique est le plus souvent utilisée lors des rendez-vous d'urgence afin de soulager le patient. Dans certains cas, l'ablation de la pulpe camérale constitue une thérapeutique à part entière (pulpotomie de CVEK) [7].

Le traitement endodontique canalaire ou pulpectomie consiste en l'élimination des tissus organiques, des bactéries pathogènes et des débris infectés du système canalaire par instrumentation mécanique et désinfection par irrigation [90]. Le tissu pulpaire est alors remplacé par une obturation biocompatible, tridimensionnelle et étanche. Cette étape est appelée traitement endodontique initial (TEI).

Lorsque le traitement initial est un échec ou qu'il semble insuffisant, que les bactéries ont colonisé le matériau, il est nécessaire d'effectuer un retraitement endodontique (RTE) [8]. L'objectif est le même que pour un TEI, mais il s'agit en plus d'éliminer tous les matériaux d'obturation caméraux et intracanaux. Après désinfection, un nouveau matériau biocompatible est mis en place dans le système canalaire [7]. Lorsqu'il est possible, le retraitement endodontique orthograde doit être envisagé. L'abord se fait par voie coronaire. Cependant, lorsque celui-ci est un échec ou qu'il n'est pas envisageable de procéder ainsi (présence d'un obstacle ou risque prothétique trop important) le retraitement endodontique rétrograde doit être effectué [80]. Le passage par voie apicale engendre un abord chirurgical. Le matériau d'obturation est alors mis en place à l'aide de micro-instrumentation.

3 Temporisation en endodontie

3.1 Généralités

3.1.1 Notion de succès

La notion de succès ou d'échec endodontique varie selon le point de vue du praticien et est extrêmement subjective. En règle générale, on peut définir le succès lorsque le résultat obtenu correspond à celui qui était attendu. L'échec endodontique est à l'inverse, la non-réalisation de l'objectif primaire avec un résultat en dessous du seuil d'acceptation [21]. L'échec endodontique regroupe donc la perte de fonction de la dent et de son confort ainsi qu'une non-élimination de la pathologie qui entraîne une survie compromise de la dent. Selon Strindberg, le critère radiologique doit être pris en compte pour qualifier le traitement de succès [21]. Cependant il existe une hétérogénéité des avis. Cette notion peut alors être caractérisée par l'absence de lésion ostéolytique détectable à l'apex d'une dent ou d'une lésion en diminution, alors que d'autres intègrent la lésion stable dans la définition de succès [21]. Certains auteurs comme Binder incluent les critères cliniques aux critères radiologiques [17] : l'apparition de douleurs à long terme, de gonflement ou de fistule deviennent alors des signes à prendre en compte. Le taux de réussite d'un traitement endodontique dépend aussi du type de traitement entrepris. Pour les traitements canalaires, si la dent est en pulpite irréversible, le taux de réussite est de l'ordre de 95 %. Il est encore de 85 % pour une dent nécrotique infectée [51, 111]. Les traitements avec maintien de la vitalité pulpaire ont quant à eux un taux de succès variable selon le type de traitement et le matériau utilisé. Selon les études et la technique utilisée, le taux de succès à 3 ans oscille entre 72,9 % et 99,4 % [3]. Simon et al. ont montré un taux de 82 % à 2 ans pour les pulpotomies au MTA® [136]. Marques et al. quant à eux, ont montré un taux de succès des coiffages pulpaires au MTA® de 91,3 % à 3,6 ans, avec un taux plus élevé pour les caries primaires par rapport aux caries secondaires [94].

3.1.2 Nombre de séances idéal

3.1.2.1 Traitement canalair

L'idéal pour un traitement endodontique est qu'il soit terminé en une séance. Les avantages résident dans le fait que le traitement est rapide et mieux accepté par le patient. De plus, la mise en place directe du matériau définitif intracanalair permet

de prévenir les risques de contamination bactérienne entre les rendez-vous [139]. La réalisation d'un ancrage, s'il est nécessaire à la reconstruction de la dent, directement après l'obturation en est un troisième avantage [71]. Des études cliniques randomisées ont montré une efficacité comparable des traitements endodontiques en une ou deux séances, le statut pulpaire initial n'influant pas sur le résultat. Seul élément important, la préparation doit être complète, une désinfection chimio-mécanique doit être réalisée, et les conditions d'obturation doivent être réunies [64, 90]. Si les conditions sont optimales, l'obturation de la dent peut être réalisée dans la même séance que la préparation canalair. Si les conditions ne sont pas réunies, l'obturation ne peut s'effectuer dans la même séance et doit être reportée. Une médication intracanalair peut être utilisée et une obturation coronaire étanche doit être présente jusqu'au rendez-vous suivant [64].

3.1.2.1.1 Dents vitales

La dent étant vitale, la pulpe n'est infectée que superficiellement par des bactéries, qui n'ont généralement pas atteint le système canalair. Si les conditions d'asepsie sont réunies et maintenues pendant le traitement, que les conditions anatomiques sont favorables et que la durée du rendez-vous est suffisante, l'obturation doit être réalisée dans la séance [139]. Dans ce cas, le taux de réussite du traitement avoisine les 100 % [21].

3.1.2.1.2 Dents nécrosées avec ou sans lésion péri-apicale

Pour les dents nécrosées, il ne semble pas y avoir de différence entre un traitement en un temps ou en plusieurs séances. Dans le cas de pulpe nécrotique avec lésion péri-apicale, des bactéries sont encore présentes après préparation mécanique et chimique au niveau tubulaire, des canaux latéraux et des ramifications terminales. L'analyse de la littérature ne permet pas de définir si le traitement en 1 ou 2 séances semble plus efficace [111, 127, 149]. Dans le cas d'un traitement en 1 séance, les bactéries sont emmurées dans le matériau d'obturation et meurent par manque d'apport en nutriments. L'utilisation d'une médication canalair (de type hydroxyde de calcium) en inter-séances permet de diminuer le nombre de bactéries avant obturation [149]. En effet, dans ce laps de temps, les micro-organismes se multiplient rapidement et peuvent reprendre jusqu'à leur nombre initial en 2 à 4 jours si le canal est laissé vide [116]. La mise en place d'une médication intracanalair permet aussi de former une barrière physique qui limite la colonisation bactérienne

[51]. Le nombre de rendez-vous ne semble pas non plus influencer sur le risque d'apparition de fusée infectieuse (« flare-up »). Un « flare-up » se définit comme un état très douloureux, un gonflement ou l'association des deux, se manifestant quelques heures à quelques jours après un traitement canalaire et amenant le patient à consulter en urgence. Selon les études, la corrélation entre les « flare-ups » et le nombre de rendez-vous diffère. Certains auteurs ont montré qu'il n'existait pas de rapport entre ces deux événements [115, 155], cependant, une corrélation a été établie avec les symptômes pulpaire et l'état de la pulpe avant le traitement. D'autres, ont au contraire montré que le taux de « flare-up » sur les molaires nécrosées était légèrement plus important pour les dents traitées en plusieurs rendez-vous [48]. Enfin, certaines études ont montré un taux plus important de douleurs post-opératoires impliquant une prise d'antalgiques pour les traitements canalaires en un rendez-vous [90]. Ces douleurs peuvent s'expliquer par un rendez-vous plus long ainsi qu'une absence de médication canalaire pouvant calmer l'inflammation de la dent.

3.1.2.2 Traitement endodontique–restauration coronaire

3.1.2.2.1 Combien de temps avant une percolation bactérienne ?

Une restauration coronaire étanche et « définitive » doit être effectuée le plus rapidement possible après traitement canalaire afin de maintenir l'obturation propre et d'éviter une invasion bactérienne [64]. En effet, les études ont montré que le taux de succès était plus important sur les dents traitées endodontiquement avec une restauration coronaire étanche [58, 101]. Une exposition directe du traitement endodontique à la flore buccale entraîne une progression bactérienne dans les canaux radiculaires. Khayat et al. ont montré que les canaux radiculaires étaient entièrement contaminés en moins de 30 jours d'exposition à la salive [79]. Les endotoxines pénètrent plus rapidement, elles envahissent entièrement le système canalaire en 20 jours. Le positionnement d'un matériau de restauration coronaire étanche est donc un acte essentiel et peut se définir comme la dernière étape du traitement endodontique afin d'empêcher une recontamination bactérienne.

3.1.2.2.2 Mise en fonction de la dent

La mise en fonction de la dent doit être la plus rapide possible. Celle-ci a plusieurs objectifs [11, 151]. Elle permet d'éviter les migrations dentaires de type égression ou version en rétablissant des contacts occlusaux stables. De plus, elle

accélère la cicatrisation pulpaire et parodontale. La mise en fonction de la dent traitée endodontiquement participe à la guérison des lésions inflammatoires péri-radicales d'origine endodontique (LIPOE).

3.1.2.2.3 Résistance mécanique de la structure résiduelle

Après un traitement endodontique, les modifications de la structure de la dent entraînent une fragilisation de celle-ci. Différents paramètres peuvent expliquer ce phénomène.

3.1.2.2.3.1 Perte hydrique

Il a longtemps été admis que la dent traitée endodontiquement était plus fragile du fait d'une perte hydrique. Cette perte d'humidité a été calculée par Helfer et al. en 1972 chez le chien. L'étude a conclu à une perte d'humidité des tissus calcifiés de l'ordre de 9 %. L'eau est présente dans la matrice calcifiée de la dentine sous deux formes : l'eau libre qui hydrate les ions inorganiques et l'eau fermement liée qui ne participe pas aux échanges ioniques, celle-ci compose les cristaux d'hydroxyapatite. Lorsque les canaux d'une dent sont traités, seule sa fraction d'eau libre est affectée [66]. En 1994, cette théorie a été abandonnée. Il a été démontré qu'il n'y a pas de différence significative entre l'humidité d'une dent vitale et d'une dent traitée endodontiquement [110]. Ce paramètre n'entraîne donc pas de modification de la résistance de la dent traitée. Il ne la fragilise pas.

3.1.2.2.3.2 Perte de la structure dentaire initiale

L'étude de Reeh a montré que la perte de la structure dentaire initiale affaiblit la dent jusqu'à 68 %. La fragilisation de la structure dentaire est majoritairement due au curetage carieux supprimant une ou plusieurs crêtes marginales (de 20 % pour une cavité occlusale à 63 % pour une cavité mésio-occluso-distale supprimant les deux crêtes marginales) (figure 6). La procédure endodontique entraîne uniquement une perte de rigidité de 5 % [122].

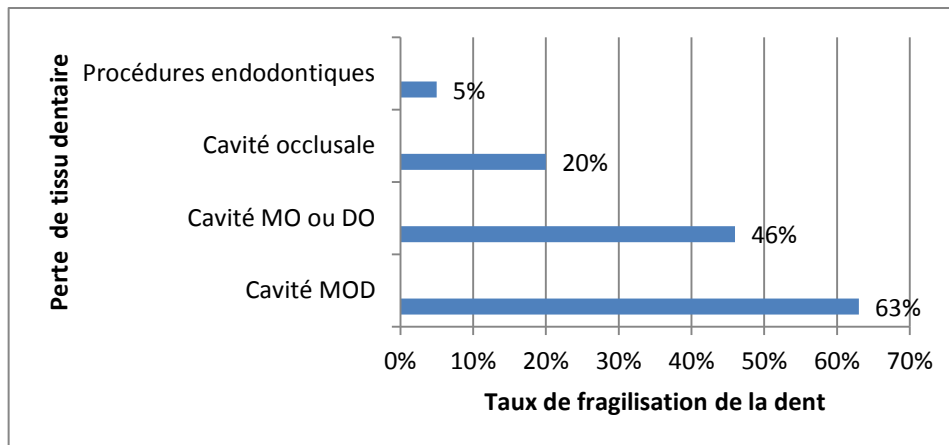


Figure 6 : perte de résistance d'une dent selon la perte de tissu [115]

3.1.2.2.3.3 Perte des réflexes de protection

La perte des réflexes de protection pulpaire altère la résistance mécanique de la dent. Les dents dont les canaux sont traités ont un seuil plus élevé de proprioception. Des mécanorécepteurs pulpaire ont été décrit sur des modèles animaux tels que les chats [45, 106]. Chez l'Homme, une étude a montré qu'en cas de pression intense délivrée sur une dent, le réflexe d'évitement par réouverture buccale est amoindri sur une dent traitée endodontiquement [14]. La force maximale de pression appliquée sur une dent avant apparition d'une douleur est plus importante sur une dent dont les canaux sont traités que sur une dent vitale. Sa force de flexion est alors augmentée (car son seuil de douleur est plus élevé) [121]. La dent traitée endodontiquement est alors plus susceptible de se fracturer, son taux de survie est inférieur à la dent vitale [37].

3.1.2.2.3.4 Action des agents chimiques utilisés lors des traitements canalaires

Les produits chimiques utilisés comme l'hypochlorite de sodium ou des solutions chélatantes interagissent en surface avec la dentine radiculaire [69, 126]. Ils ont respectivement une action sur la partie organique et minérale de la dentine [10]. Il a été démontré que l'hydroxyde de calcium diminue la résistance d'une dent à la fracture lors d'une utilisation prolongée [9].

3.2 Quand et pourquoi temporiser ?

3.2.1 Garder la dent vitale

Lorsqu'une lésion carieuse est profonde et que la dent ne présente pas de symptomatologie irréversible, il est nécessaire d'essayer de conserver au maximum sa vitalité et d'éviter un traitement endodontique. L'apport des nouvelles techniques

et des matériaux de plus en plus sophistiqués permet ainsi de ralentir au maximum le cycle de mort de la dent par une guérison du tissu pulpaire. Comme énoncé précédemment, une dent dont les canaux sont traités est plus fragile. Son taux de survie sur arcade est diminué par rapport à une dent vitale. Caplan a montré qu'à 8 ans, il est de 89 % pour la dent traitée endodontiquement, contre 96 % pour une même dent vitale [25]. La sauvegarde de la vitalité pulpaire n'est cependant pas toujours possible. Elle doit se faire après observation et analyse de certains facteurs afin d'évaluer la faisabilité du traitement [34]. Le diagnostic pulpaire préopératoire est posé après anamnèse, examen clinique, tests de vitalité et examen radiologique. Les renseignements acquis permettent d'aider le praticien à évaluer la capacité de cicatrisation pulpaire. Plus la symptomatologie est importante en intensité ou en ancienneté, moins les thérapeutiques de conservation pulpaire sont envisageables. Ces thérapeutiques ont un taux de réussite supérieur sur les pulpes jeunes, compte tenu de leur capacité de cicatrisation. Elles sont donc à envisager majoritairement dans ces cas. L'état inflammatoire de la pulpe peut être évalué en peropératoire. Lors d'une effraction pulpaire, le praticien doit observer le tissu pulpaire afin de déceler s'il est hémorragique ou ulcéré. Lorsque l'hémostase n'est pas obtenue rapidement, le pronostic pulpaire est compromis. Malgré ces aides cliniques, il n'y a pas de moyen diagnostique fiable permettant d'évaluer la sévérité de l'inflammation de la pulpe [159]. Certains diagnostics de pulpites irréversibles ont montré à l'analyse histologique une inflammation réversible. Au contraire, les pulpes diagnostiquées comme saines ou en inflammation réversible étaient concordantes avec leur analyse histologique [123].

3.2.2 Facteur temps

3.2.2.1 Anticiper le temps de travail nécessaire

Au cabinet dentaire, les créneaux horaires sont souvent préétablis selon un barème d'actes. Idéalement, le praticien doit prévoir un temps de travail nécessaire et suffisant pour mener à bien dans la même séance le traitement endodontique et la restauration post-endodontique associée en cas de besoin à une coiffe prothétique provisoire. Cette pratique doit s'inscrire dans un plan de traitement global où le nombre de séances est optimisé. Ainsi la progression dans la réhabilitation bucco-dentaire du patient est maximale et les coûts de fonctionnement du cabinet sont réduits. Lorsqu'il s'agit d'un rendez-vous d'urgence, le créneau horaire attribué est

souvent court. Dans le cas de pulpite ou de parodontite apicale aiguë, parfois, le traitement canalaire ne peut être effectué dans des conditions idéales dans le temps imparti. La temporisation de la dent est alors obligatoire en attendant un autre rendez-vous. L'objectif immédiat est de soulager le patient.

3.2.2.2 Temps de travail au fauteuil pas assez long

Divers facteurs peuvent allonger le temps de travail au fauteuil initialement prévu.

3.2.2.2.1 Mauvaise analyse de la difficulté

La standardisation du temps de travail nécessaire à un acte endodontique donné peut parfois mener à un temps de travail trop court par rapport à une difficulté anatomique ou d'un autre ordre mal ou non anticipée. L'analyse clinique et radiographique préopératoire s'avère essentielle pour ne pas sous-estimer les difficultés. Le cône beam peut être une aide précieuse dans leur diagnostic. Les cas suivants peuvent être difficiles à traiter endodontiquement et nécessiter un rendez-vous plus long que la moyenne [51] : dent difficilement accessible par sa position ou par sa version importante, anatomie dentaire complexe, calcifications intracamérales et/ou intracanales, courbures radiculaires complexes ou multiples, nombre important de canaux radiculaires. D'autres difficultés peuvent être rencontrées lors d'un retraitement endodontique. La dépose d'éléments prothétiques ou le retrait d'instruments fracturés peuvent s'avérer plus compliqués que prévu.

3.2.2.2.2 Gestion des erreurs iatrogènes

Selon la définition du petit Larousse [86], iatrogène se définit comme « une maladie ou un trouble provoqués par un acte médical ou par les médicaments, même en l'absence d'erreur du médecin ». Une erreur iatrogène se caractérise donc par une conséquence indésirable, un événement provoqué involontairement par un acte médical. Il est donc fortuit. Ce type d'erreur peut survenir à tout moment lors d'un traitement endodontique (cavité d'accès, traitement canalaire, obturation). On peut citer les perforations, les fractures instrumentales, les fausses routes, les strippings, les déchirements du foramen ou encore la projection d'hypochlorite de sodium dans le péri-apex. La temporisation de la dent permet de gérer ces aléas lors d'un rendez-vous ultérieur. Elle offre aussi la possibilité d'apaiser la situation clinique en attendant un rendez-vous chez un spécialiste en endodontie.

3.2.2.3 Facteurs liés au patient

Certains patients présentent des limitations physiques les empêchant de rester au fauteuil trop longtemps. La position allongée de manière durable peut ainsi être douloureuse pour les patients souffrant de pathologie rhumatismale. De même, une ouverture buccale prolongée peut être difficile pour les patients atteints de pathologie de l'articulation temporo-mandibulaire. Afin de limiter leur inconfort, des séances plus courtes sont à privilégier. Il convient donc de séquencer les soins si leur durée est importante. D'autres patients comme les enfants, les personnes handicapées ou âgées n'ont pas la patience de rester allongés trop longtemps. La multiplication de rendez-vous courts est alors souhaitable afin d'effectuer les soins dans les bonnes conditions.

3.2.3 Douleur

Lorsque le patient arrive au cabinet avec une douleur aiguë, l'inflammation peut être telle que l'anesthésie ne soulage pas suffisamment le patient pour finir le soin. Une fois la dose maximale anesthésique atteinte, il n'est plus possible d'en rajouter. Il est nécessaire de stopper l'acte. L'utilisation d'un matériau de temporisation associé ou non à une médication par voie générale permet dans ce cas de réduire l'inflammation pour le rendez-vous suivant.

3.2.4 Non-assèchement canalair

Pour être obturés, les canaux doivent être exempts de tissu pulpaire résiduel, désinfectés et secs. Après un rinçage final à l'hypochlorite de sodium, un séchage minutieux à l'aide de pointes de papier doit donc être effectué. L'assèchement n'est pas obtenu lorsqu'un saignement, un suintement ou un écoulement de pus résiduel perdure. Si certaines hémorragies peuvent-être stoppées dans la séance, l'écoulement de sérosités et/ou de pus obligent le praticien à différer l'obturation. La mise en place d'un matériau de temporisation permet alors de drainer les sérosités afin d'obtenir un canal sec lors d'une séance ultérieure. Lorsque la suppuration est trop importante, le positionnement intracanalair du matériau empêche l'évacuation du pus, ce qui peut créer une surpression dans la dent. S'en résulte une tuméfaction et/ou des douleurs. Il est alors préférable de laisser la dent « ouverte » 24 à 48 heures avant réintervention pour que le drainage s'effectue [124]. La dent doit être refermée au rendez-vous suivant.

3.2.5 Dent immature

Une dent est définie comme immature si la constriction cémento-dentinaire apicale n'est pas en place. En effet, lors de son apparition sur arcade, la racine de la dent n'est pas totalement formée (stade 8 de Nolla). Seuls les deux tiers coronaires sont érigés et l'apex est ouvert. Ce n'est que 3 à 4 ans après son éruption que la dent est considérée comme mature (Stade 10 de Nolla). Les traitements d'une dent immature ont pour but de terminer l'édification radiculaire de celle-ci. Ils se divisent en 3 catégories : l'apexogénèse, l'apexification et la revascularisation. Les techniques d'apexogénèse utilisent la capacité des cellules souches pulpaire à se différencier en odontoblastes. Ces techniques sont utilisées pour les dents immatures vitales et consistent en une pulpotomie partielle ou totale avec conservation de la vitalité du parenchyme résiduel. La fin de l'édification radiculaire est donc biologique. La procédure d'apexification sert à traiter la dent immature nécrosée. La méthode consiste à éliminer la pulpe nécrosée et à induire la formation d'une barrière apicale. Dans un second temps la dent est obturée de manière classique. Plus récente, la revascularisation est applicable aux dents immatures nécrosées à racines courtes. Après désinfection canalaire, un saignement apical est provoqué à l'aide d'une lime manuelle afin de stimuler les cellules souches apicales. La revascularisation cherche à créer un néo-tissu vascularisé et un allongement significatif de la racine afin d'améliorer les propriétés mécaniques de celle-ci [54].

3.3 Comment temporiser ?

3.3.1 Notion de délai avant le prochain rendez-vous

Lors de l'utilisation d'un matériau de temporisation, il est nécessaire d'évaluer la proximité du prochain rendez-vous. Chaque produit possède des propriétés différentes ainsi qu'une durée de vie et d'action différentes. Certains sont actifs sur une courte période puis leurs propriétés s'atténuent. D'autres, au contraire, permettent une utilisation prolongée. Il est indispensable de connaître la durée de maintien en bouche des différents matériaux, et de différencier un rendez-vous proche d'un rendez-vous lointain. Le matériau de temporisation peut être utilisé sur une courte durée, de quelques jours à quelques semaines. Il permet d'avoir un effet thérapeutique ou de protéger la dent entre deux rendez-vous. Dans ce cas, il est choisi pour sa maniabilité et son étanchéité à court terme. Cependant, si le patient ne peut revenir au cabinet avant plusieurs mois ou qu'il est nécessaire de surveiller

l'évolution d'une pathologie, un matériau durable, résistant mécaniquement et étanche doit être mis en place.

3.3.2 Propriétés des matériaux recherchés

3.3.2.1 Biocompatibilité

Selon le MeSH (Medical Subject Headings), un matériau biocompatible est « un matériau, résorbable ou non, qui peut être implanté dans le corps humain pour remodeler, réparer, remplacer des fonctions ou des organes défectueux, ou même susciter leur autoréparation » [31]. La biocompatibilité peut aussi être définie comme étant la « capacité d'un matériau à provoquer une réponse biologique appropriée dans une application donnée » [62]. Il existe donc une interaction entre le matériau et le milieu. En odontologie, les matériaux biocompatibles permettent le bon fonctionnement de l'organe dentaire, voire sa guérison. Ils ne doivent en aucun cas avoir un effet délétère pour la dent.

3.3.2.2 Etanchéité

Un matériau est qualifié d'étanche s'il ne laisse rien passer, s'il est hermétique [87]. D'un point de vue dentaire, les matériaux de temporisation doivent être étanches afin d'éviter l'entrée de tout fluide, de toxines et de bactéries dans la chambre pulpaire et le système canalaire. A l'inverse, ils permettent aussi d'empêcher la fuite vers le milieu extérieur de la médication intracanaire afin qu'elle reste efficace [30, 146, 156].

3.3.2.3 Résistance mécanique

Le matériau de restauration temporaire doit avoir une résistance mécanique suffisante afin de protéger les structures dentaires pendant le temps qu'il doit rester en bouche. Il doit être assez solide afin de ne pas s'effondrer sous les contraintes occlusales au cours du temps. Surtout, il doit permettre le maintien de l'intégrité de la dent jusqu'à sa restauration « définitive ».

3.3.2.4 Esthétique

L'utilisation d'un matériau de reconstitution temporaire ne doit pas faire oublier une caractéristique importante à prendre en compte pour le patient : l'aspect esthétique. Dans les secteurs visibles, notamment dans le secteur antérieur, une reconstitution inesthétique peut avoir un impact délétère. Elle peut porter préjudice au patient, aussi bien dans sa vie privée que dans son environnement professionnel.

3.3.2.5 Rétablissement de la fonction occlusale et de l'anatomie coronaire

Le rétablissement de la fonction occlusale participe à la guérison des LIPOE. Les matériaux de reconstitution temporaires doivent donc permettre de rétablir la fonction occlusale de la dent. Par ailleurs, l'absence d'antagonisme et/ou de point de contact favorise les mouvements dentaires (égression, version) ce qui peut modifier l'occlusion statique et dynamique.

3.3.2.6 Maniabilité

Les matériaux de temporisation sont, par définition, conçus pour être retirés à plus ou moins long terme. Leur utilisation doit donc être aisée. La facilité de mise en place et de désinsertion sont des critères importants à prendre en compte dans le choix du matériau afin d'éviter tout désagrément au cours de leur dépose.

3.3.2.7 Effet thérapeutique

Certains matériaux de temporisation sont utilisés pour leurs effets thérapeutiques. Ils peuvent avoir une action anti-inflammatoire, antiseptique, antihémorragique ou antalgique. D'autres propriétés bioactives telles que la cicatrisation pulpaire, la régénérescence de la pulpe ou des tissus péri-apicaux doivent également être prises en considération dans le choix du matériau de restauration provisoire.

3.3.3 Matériaux et dispositifs médicaux nécessaires à la temporisation

3.3.3.1 Hydroxyde de calcium : Ca(OH)_2

3.3.3.1.1 Propriétés du matériau

L'hydroxyde de calcium, ou chaux hydratée, a été proposé en 1920 par Hermann pour le traitement des canaux infectés [21]. Son utilisation s'est ensuite élargie au traitement des pulpes vitales. Il s'agit d'un matériau alcalin (pH = 12) qui libère des ions calcium (Ca^{2+}) et hydroxyle (OH^-) en se dissolvant [55, 119].

Ses propriétés sont les suivantes [9, 33] : il est bactéricide, antifongique et antiseptique. La libération des ions calcium et hydroxyle permet d'obtenir une activité anti-inflammatoire, une action hémostatique sur le milieu et d'induire une barrière apicale par apexification.

L'hydroxyde de calcium existe sous deux formes [33]. En préparation magistrale, il s'agit d'un mélange de poudre d'hydroxyde de calcium avec du sérum

physiologique ou de l'eau permettant l'obtention d'un mélange de consistance variable selon l'utilisation que l'on souhaite donner. En préparation commerciale (ex : Calxyl®), le mélange est prêt à l'emploi. La préparation peut être fluide afin d'être utilisée en endocanalaire. Elle peut aussi être mélangée avec un durcisseur pour pouvoir être utilisée en coiffage. L'Hydroxyde de Calcium possède néanmoins quelques inconvénients [119] : il possède une mauvaise adhésion à la dentine, est hautement soluble et est instable mécaniquement. Sa force de compression est d'environ 2 MPa, ce qui est faible. Son temps de prise est long (> 60 minutes) [132]. Il est rapidement dissout en libérant les ions calcium et hydroxyle. Il ne peut pas être utilisé directement sous un matériau à base de résine car il est hydrophile et interfère avec le système adhésif [102]. Sa nature irritante cause une nécrose superficielle des cellules à son contact. En utilisation endocanalaire, son élimination totale est difficile et son maintien prolongé engendre un risque de fracture radiculaire [9, 83, 85].

3.3.3.1.2 Utilisation clinique

L'hydroxyde de calcium a plusieurs applications cliniques possibles. Il peut être utilisé en coiffage direct après effraction pulpaire. La libération d'ions calcium permet le recrutement et la prolifération de cellules indifférenciées pulpaires qui activent les cellules souches. Le pH alcalin provoque une nécrose superficielle de la pulpe par coagulation. Sur cette couche, un pont de dentine réparatrice peut alors se créer [119, 142]. Le matériau présente un intérêt dans le cadre des pulpotomies. Cette technique peut être utilisée pour permettre une apexogénèse ou dans le cas de pulpotomie en urgence. Le tissu pulpaire caméral est alors supprimé à l'aide d'une fraise boule stérile. Après hémostase et rinçage, l'hydroxyde de calcium est positionné sur les entrées canalaires puis recouvert d'un matériau de restauration temporaire de type IRM® ou CVI. Des contrôles radiographiques permettent de juger l'efficacité du traitement. Enfin, l'hydroxyde de calcium est utilisé en médication intracanaire. Le ciment est introduit dans le canal à l'aide d'un embout spécifique lorsqu'il s'agit d'une préparation commerciale. Sinon, il peut être mis en place à l'aide de fouloirs, de pointes de papier ou encore d'un bourre-pâte. L'hydroxyde de calcium peut alors avoir plusieurs objectifs, [28, 33, 53, 149]. Il permet de désinfecter le canal grâce à son action antibactérienne. Il favorise l'assèchement en cas de suppuration ou de saignement. Il induit une fermeture apicale par apexification. Il permet de gérer les perforations iatrogènes et les fractures radiculaires en

reconstituant une barrière minéralisée, prérequis nécessaire avant l'obturation définitive de la dent. Il contrôle l'acidose inflammatoire ainsi que l'activité ostéoclastique en cas de résorption radiculaire interne en alcalinisant le milieu.

3.3.3.2 Ca(OH)_2 avec adjonction de résine

3.3.3.2.1 Propriétés du matériau

L'hydroxyde calcium enrichi en résine existe sous deux formes cliniques. Sous la forme base-catalyseur, l'hydroxyde de calcium se présente comme un ciment auquel est adjoint une résine. Le matériau, radio-opaque, est disponible sous la forme d'un mélange pâte/pâte, base-catalyseur. Les produits les plus connus sur le marché sont le Dycal® (Dentsply) et Life® (Kerr) (figure 7).



Figure 7: présentation du Dycal® (Dentsply) et du Life® (Kerr) [38, 78]

La réaction est de type acide/base. L'acide alkylsalicylique réagit avec le caractère alcalin de l'hydroxyde de calcium. Le mélange ne contient pas d'eau. Cependant, le matériau est capable d'absorber une petite quantité d'eau de son environnement pour déclencher la réaction acide/base [102]. Ces matériaux à base de Ca(OH)_2 sont instables. Ils se dégradent en milieu aqueux. Les ions calcium et hydroxydes libérés permettent de réduire l'inflammation, d'avoir une action bactéricide (pH alcalin) sur le milieu et de stimuler les odontoblastes. L'avantage de ces matériaux est leur prise rapide au sein de la dent, l'humidité de la dent accélérant la prise (soit un temps de prise de 2 min 25) [132]. Leur conductivité thermique est faible. Ils favorisent la formation de dentine [128]. Cependant, ils sont sensibles à l'humidité, fortement solubles et ont une résistance à la pression faible.

Ces matériaux existent aussi sous la forme d'un monocomposant photopolymérisable. Le Calcimol LC® (Voco) en est un exemple. Il est conditionné sous forme de seringue (figure 8). Ses propriétés mécaniques sont supérieures. Il ne

se dégrade pas en milieu aqueux et libère une quantité faible de d'ions calcium et hydroxyle dans son environnement. Les hydroxydes de calcium avec adjonction de résine ne doivent pas être utilisés directement sous une résine composite. L'agent de liaison du composite adhère chimiquement à la matrice résineuse du $\text{Ca}(\text{OH})_2$ composite ce qui favorise le décollement de ce dernier lors de la contraction de polymérisation. Le hiatus créé devient alors un réservoir à bactéries subissant des phénomènes de pompage sous l'effet des contraintes encaissées par la restauration. Des dommages pulpaire sont ainsi induits par les mouvements répétés des fluides dentinaires. C'est pourquoi il est recommandé, préalablement à une reconstitution en composite, de couvrir les hydroxydes de calcium mono-composants d'un CVI conventionnel. Par ailleurs, les propriétés biologiques peu convaincantes de ces matériaux poussent à penser qu'ils n'ont pas de véritable intérêt clinique.



Figure 8 : présentation commerciale du Calcimol LC [152]

3.3.3.2 Utilisation clinique

Les hydroxydes de calcium utilisés en couche fine ont plusieurs usages. Ils sont utilisés en coiffage indirect, lorsqu'après curetage carieux il ne reste qu'une fine couche de dentine proximo-pulpaire (1 à 2 mm). L'application de ces matériaux permet de protéger la pulpe en activant les odontoblastes. En technique sandwich, ces matériaux peuvent être utilisés sous une base de restauration, afin de protéger la pulpe des agressions chimiques, thermiques et mécaniques. En coiffage direct, les études montrent que dans les ponts de dentine formés, on observe des défauts de tunnellation et des inclusions de cellules. À terme cela peut entraîner des fuites et une pénétration de bactéries [50, 119]. De plus, le pH alcalin, cytotoxique pour la pulpe, entraîne une nécrose superficielle ce qui rend la pulpe inflammatoire localement. Ces matériaux ne doivent donc plus être utilisés directement sur le tissu pulpaire exposé. Le taux de survie d'une dent coiffée avec $\text{Ca}(\text{OH})_2$ décroît avec le temps, il passe de 80 % à 1 an à 58,7 % à 9 ans [21, 158].

3.3.3.3 Ciments à base de sulfate de calcium/ Oxyde de Zinc

3.3.3.3.1 Propriétés du matériau

Ces matériaux dérivent du plâtre de Paris. Le ciment le plus connu dans cette catégorie est le Cavit®. Le Caviton® en est une autre forme commerciale (figure 9).



Figure 9 : conditionnement du Cavit® et du Caviton® [27, 56]

Il s'agit d'un mélange constitué d'oxyde de zinc, de sulfate de calcium, de sulfate de zinc, d'éthylène bis (oxyéthylène) diacétate, et d'acétate de polyvinyle. Sa réaction de prise se fait avec l'humidité, il absorbe 9,6 % de son poids en 3 heures [42, 157]. Le matériau est prêt à l'emploi ce qui lui confère une homogénéité de surface. Il est facile à manipuler et à éliminer. De plus, son expansion de prise de l'ordre de 14 % lui confère une bonne étanchéité à court terme grâce à une meilleure adaptation aux parois de la cavité [42, 157]. Il a néanmoins plusieurs inconvénients. Sa réaction de prise est lente, elle se fait au contact de la salive et donc au contact de bactéries. De plus, sa résistance à l'usure et à l'abrasion étant moindre, il se détériore assez rapidement. Sa faible force de compression entraîne la formation de fissures lorsqu'il est utilisé dans les cavités ouvertes et complexes [42, 99]. Sa coloration secondaire au cours du temps en est un autre défaut.

3.3.3.3.2 Utilisation clinique

Il est utilisé en tant que matériau de temporisation de courte durée dans les cavités de petite taille. Compte-tenu de sa prise au contact de l'eau et de la salive, il doit être utilisé préférentiellement sur les dents non vitales. Une insertion du matériau sur une dent vitale risque d'entraîner une douleur en quelques minutes seulement, par une absorption du fluide dentinaire et par l'expansion de prise [157]. La durée de maintien du matériau en bouche doit être de quelques jours au maximum. Certaines études ont montré que le Cavit® était étanche jusqu'à 3 semaines [20, 43]. L'épaisseur du matériau positionné doit toutefois être d'au moins 3,5 mm, voir 4 mm et les parois cavitaires doivent être parfaitement propres [105, 156]. La prise de ce matériau étant longue, des recommandations doivent être données au patient. Celui-ci ne doit pas manger dans l'heure voire les deux heures qui suivent le rendez-vous.

3.3.3.4 Ciments à base de silicate de calcium

3.3.3.4.1 Propriétés des matériaux

Les ciments à base de silicate de calcium font partie de la famille des biocéramiques. Ces matériaux dérivent du ciment de Portland gris. Ils ont été introduits par le Dr Torabinejad en 1995 [147]. Ils sont composés de silicates dicalciques et tri-calciques. Tout comme l'hydroxyde de calcium, ils libèrent des ions calcium et hydroxyle dans leur environnement. Leur bioactivité est toutefois étendue. Ils créent des cristaux d'hydroxyapatite lors de leur contact avec les fluides [55]. Il existe plusieurs formes de ciments à base de silicate de calcium. Le Mineral Trioxide Aggregate (MTA®) est le premier à avoir été mis sur le marché, tout d'abord sous le nom de ProRoot MTA® sous une forme grise (Gray MTA®) puis dans sa forme blanche (White MTA®) (figure 10).



Figure 10 : différentes présentations de MTA® [39, 98]

Les MTA® sont rendus actifs en mélangeant de la poudre à de l'eau distillée. La composition de la poudre varie selon le type de MTA®. Elle est majoritairement constituée de silicate tricalcique, de silicate dicalcique, d'aluminate tricalcique et d'aluminoferrite tétracalcique (figure 11). Pour permettre au matériau d'être radio-opaque, de l'oxyde de bismuth est alors ajouté [68, 147]. Lorsque la poudre est hydratée, il se forme progressivement un gel de silicate de calcium hydraté et de l'hydroxyde de calcium (à partir de l'oxyde de calcium) [23, 24]. Le matériau libère alors des ions calcium pendant plusieurs jours après le début de l'hydratation du matériau. Les avantages de ce matériau sont sa capacité de prise au contact des fluides et du sang, sa capacité de scellement optimal due à une légère expansion de prise, sa bioactivité et ses propriétés biologiques. En effet, le relargage d'ions dans son environnement permet de jouer un rôle dans les signaux épigénétiques. La libération d'ions calcium est plus importante pour ces matériaux que pour les matériaux à base d'hydroxyde de calcium [55, 72]. Le MTA® a cependant plusieurs inconvénients [13, 112]. Son temps de prise est de 2 à 3 heures. Une séance ultérieure est nécessaire afin de pouvoir reconstituer la dent. Par ailleurs, le matériau

induit des colorations dentaires grisâtres. Enfin, sa difficulté de manipulation et d'élimination associée à son coût peuvent freiner son utilisation.

Composition	Percentage
Powder	
Tricalcium silicate	66.1
Dicalcium silicate	8.4
Tricalcium aluminate	2.0
Tetracalciumaluminoferrite	-
Calcium sulphate	-
Bismuth oxide	14
Calcium oxide	8
Silicon oxide	0.5
Aluminium oxide	1.0

[Table/Fig-2]: Composition of MTA.

Figure 11: composition chimique de la poudre du MTA® [72]

Autre ciment silicaté tricalcique, la Biodentine® est commercialisée depuis 2009 par Septodont® (figure 12). Elle est présentée comme matériau de substitution dentinaire. Sa récente apparition ne permet pas d'avoir de recul à long terme. Elle a été mise au point afin d'améliorer les propriétés du MTA® tout en réduisant ses inconvénients. Il s'agit d'un mélange liquide/poudre (figure 13). Une capsule contient la poudre et une pipette, le liquide. Le fabricant recommande d'introduire cinq gouttes de liquide dans la capsule, puis de vibrer celle-ci pendant 30 secondes. Le temps de prise du matériau est annoncé comme étant de 12 minutes avec un temps de travail de 6 minutes. C'est la présence de chlorure de calcium qui permet au matériau d'avoir un temps de prise réduit à 12 minutes. Ses autres avantages résident en sa facilité de manipulation, ses propriétés mécaniques augmentées et son caractère bioactif. De plus, la Biodentine® n'entraîne pas de coloration secondaire [4]. Son inconvénient majeur est sa faible radio-opacité.



Figure 12 : conditionnement de la Biodentine® [129]

Poudre		Liquide	
Silicate tricalcique C_3S	80,75 %	Chlorure de calcium $CaCl_2 \cdot 2H_2O$	14,70 %
Carbonate de calcium $CaCO_3$	14,25 %	Premia 150	3 %
Oxyde de zirconium ZrO_2	5 %	Eau purifiée q.s.p	100 %

Figure 13 : composition chimique de la Biodentine® [122]

Un tableau récapitulatif synthétisant les principaux silicates de calcium disponibles sur le marché est présenté en annexe 1.

3.3.3.4.2 Utilisation clinique

Les ciments à base de silicate de calcium ont plusieurs utilisations cliniques [55]. En coiffage pulpaire direct, ils permettent de créer un pont de dentine minéralisée de meilleure qualité que celui obtenu avec l'hydroxyde de calcium [142]. En pulpotomie partielle et/ou totale, après nettoyage et hémostase, le ciment est positionné en couche épaisse, selon les données du fabricant. S'il s'agit d'un ciment de type MTA®, celui-ci doit être recouvert d'un coton légèrement humide surmonté d'un matériau de restauration temporaire de type Cavit® ou IRM®. Seule la Biodentine® peut être positionnée jusqu'en occlusal de la cavité. Les ciments à base de silicate de calcium sont également indiqués pour gérer les perforations et les résorptions, les obturations rétrogrades et dans les processus d'apexification et d'apexogénèse des dents immatures.

3.3.3.5 Ciments oxydes de zinc-eugéol (ZOE)

3.3.3.5.1 Propriétés du matériau

Encore appelés eugénates, les ciments oxydes de zinc-eugéol sont couramment utilisés en dentisterie pour leurs indications variées. Ils existent sous plusieurs formes selon leur utilisation clinique : en mélange poudre-liquide (en flacons), en mélange pâte-pâte ou encore sous forme de capsule pré-dosée. La présentation la plus courante en endodontie est le mélange poudre-liquide. Il est généralement composé d'une poudre contenant majoritairement de l'oxyde de zinc. Du stéarate de zinc, de l'acétate de zinc et de la colophane blanche sont souvent ajoutés afin d'améliorer l'aspect du matériau et d'accélérer sa prise. L'autre composant est un liquide contenant essentiellement de l'eugéol, de l'eau et de l'huile d'olive [128]. Les ciments oxydes de zinc-eugéol classiques ne contiennent pas de matériau additionnel et leur résistance à la compression est peu élevée (5 à 25 MPa) tout comme leur résistance à l'abrasion. Les ciments « renforcés » contiennent en plus dans leur poudre du méthyl méthacrylate ou de l'alumine et dans le liquide de l'acide ortho-éthoxy-benzoïque [128]. Ces modifications permettent d'augmenter la résistance du matériau à l'abrasion, à la compression et sa dureté [99]. De plus, cela réduit sa solubilité. Les eugénates prennent avec l'humidité. L'eau présente dans le liquide initie la réaction de prise. Puis la réaction fournit l'eau

nécessaire à la poursuite de la prise [157]. La présence d'eugénol dans la préparation leur confère des propriétés antalgiques, anesthésiantes [70, 93]. L'eugénol, par sa diffusion dans la dentine, a un effet anti-inflammatoire sur la pulpe dentaire. De plus, il est antimicrobien, il s'oppose à la pénétration de bactéries. A forte dose, l'eugénol a, au contraire, un effet cytotoxique. Les eugénates ne doivent donc pas être utilisés au contact direct de la pulpe [93]. Ces ciments ont pour inconvénient la présence d'eugénol qui inhibe la polymérisation du méthacrylate de méthyle. Ils ne peuvent donc pas être placés sous un composite. Hormis pour les capsules pré-dosées, le mélange se fait à la main à l'aide d'une spatule à ciment. Ainsi, les mélanges poudre-liquide ne permettent pas une préparation parfaitement homogène, ce qui réduit les qualités du produit [42].

L'IRM® (Intermediate Restorative Material) est l'un des matériaux les plus connus (figure 14). C'est un ciment oxyde de zinc-eugénol renforcé en polyméthyl méthacrylate. Le fabricant indique que le ciment peut être utilisé comme restauration temporaire jusqu'à 1 an pour un mélange de l'ordre de 2 mesures de poudre pour 3 gouttes de liquide [40]. A ce dosage, les qualités physiques du matériau seraient satisfaisantes. Cependant ses qualités de scellement sont perfectibles. Si on diminue la quantité de poudre dans le mélange, les qualités d'étanchéité ainsi que le pouvoir antibactérien augmentent au détriment des propriétés physiques [99]. Au contraire, un taux de poudre plus élevé engendre des propriétés physiques optimales mais une étanchéité moindre.



Figure 14 : présentation commerciale de l'IRM® (Dentsply) [40]

La force de compression de l'IRM® est double de celle du Cavit® [157]. Cependant, de nombreuses études soulignent une étanchéité inférieure de l'IRM® par rapport au Cavit® [29, 41, 42, 43]. Balto et Coll en 2002 ont étudié leur étanchéité in vitro : l'IRM® apparaît étanche jusqu'à 10 jours contre 14 pour le Cavit® [16]. De même, il a été montré in vitro qu'un IRM de 3,5 mm était complètement traversé par un colorant à 7 jours [30].

3.3.3.5.2 Utilisation clinique

Les ciments oxyde zinc-eugénoles renforcés ont plusieurs utilisations cliniques. Ils peuvent être utilisés en technique sandwich [70]. Cette technique consiste en la superposition de plusieurs matériaux afin d'ajouter les propriétés de chacun. Pour l'IRM®, il est généralement placé en surface d'un autre matériau afin de l'isoler du milieu extérieur. Dans le cas d'un coiffage pulpaire, il peut être positionné sur du Dycal®. Dans le cas d'un traitement endodontique, il est au contraire mis dans la cavité d'accès au-dessus de l'hydroxyde de calcium ou d'un Cavit® afin de protéger mécaniquement celui-ci [73]. Il est également utilisé dans le cas des coiffages indirects. Le ciment ZOE est positionné au contact de la couche de dentine affectée. Puis il est recouvert par un autre matériau afin d'assurer l'étanchéité. Dans certains cas, un deuxième temps opératoire amène le praticien à éliminer la couche de ZOE afin de vérifier la minéralisation de la dentine avant d'effectuer la restauration définitive.

Les eugénates ne sont pas compatibles avec certaines résines composites car ils inhibent leur polymérisation. Dans les études, un délai de 7 jours est souvent préconisé avant d'effectuer la restauration définitive. Cependant, celles-ci utilisent des systèmes adhésifs de type auto-mordant [100, 134]. Carvalho et al. ont différencié les systèmes auto-mordants (systèmes SAM) des adhésifs de type mordantage-rinçage (système MR). Aucune différence significative n'a été établie dans la force d'adhésion d'un système MR entre une dentine exposée et non exposée à un IRM pendant 48 heures, contrairement aux adhésifs SAM [26]. L'étude de Koch et al. a montré que l'exposition de la dentine au ciment ZOE réduit l'adhésion des résines composites indépendamment de la durée d'exposition (de 1 à 28 jours) [84]. De plus, le conditionnement à l'acide orthophosphorique diminue la quantité d'eugénoles dans la dentine (d'un facteur 10). Un nettoyage soigneux ainsi qu'un conditionnement de la dentine sont donc recommandés avant reconstitution « définitive » à l'aide de résines composites.

De par ses propriétés biologiques, l'IRM® peut être utilisé comme restauration temporaire sur dent pulpée. Il agit comme sédatif pulpaire grâce à l'eugénole. De plus, il est préférable au Cavit® car il ne pompe pas les fluides dentinaires. Il peut aussi être utilisé comme restauration temporaire sur dent dépulpée. Ses propriétés mécaniques en font un matériau intéressant pour les cavités étendues.

3.3.3.6 Ciments verre-ionomère (CVI)

3.3.3.6.1 Propriétés du matériau

Les ciments verre-ionomère ont été mis au point par Wilson au cours des années 1970. Ces ciments sont aussi appelés polyalkénoates. Il s'agit d'un mélange poudre-liquide dont la réaction de prise se fait par réaction acide-base. La poudre est constituée de fluoroaluminosilicate de verre. Le liquide est un acide polyalkénoïque en solution aqueuse. Il est majoritairement composé d'acide acrylique et itaconique. De l'acide tartrique et de l'acide maléique sont souvent ajoutés afin d'augmenter le temps de travail, réduire le temps de prise et d'améliorer la réactivité du produit [89, 97]. Ces matériaux existent sous plusieurs conditionnements [128, 133]. Deux formes de mélange liquide/poudre existent. Soit le liquide est l'acide polyalkénoïque en solution aqueuse, soit il s'agit d'eau. Dans ce cas, l'acide alkénoïque déshydraté est associé à la poudre. Conditionné en capsules pré-dosées à vibrer, le ratio poudre-liquide est idéal et homogène.

Les CVI possèdent diverses propriétés intéressantes [92, 97, 133]. Ils adhèrent spontanément à l'émail et à la dentine grâce à des liaisons chimiques, notamment avec l'apatite (adhérence de 2,6 à 9,6 MPa pour l'émail et de 1,1 à 4,5 MPa pour la dentine). Si un conditionneur est appliqué (acide polyacrylique), l'adhésion est augmentée. Ils ont une faible contraction de prise et un coefficient d'expansion thermique proche de la dent. De plus, les CVI sont des matériaux bioactifs. Ils libèrent des ions (phosphate, silicate, calcium, fluor) dans leur environnement et sont capables d'en absorber de leur environnement [103]. Les CVI semblent avoir la capacité à se recharger en fluor lors d'application topiques. Les ions calcium et fluor permettent de reminéraliser la dent. La quantité de fluor relarguée est maximale au cours des premiers jours, décroît au cours des 3 premiers mois, puis stagne pendant des années (plus de 8 ans) [52]. La libération de fluor permet une reminéralisation des tissus dentinaires ainsi qu'un effet cariostatique [52]. Leur mode de prise permet d'être positionné en une fois dans la cavité (technique « bulk fill ») [103].

Cependant les CVI ont quelques désavantages. Ils sont notamment très sensibles aux variations hydriques. Une contamination aqueuse du matériau engendre une détérioration du ciment. De plus, celui-ci devient plus translucide. Au contraire, un séchage excessif de la dentine amène à l'apparition de craquelures et

de fissures au sein du matériau [92]. Ces modifications sont liées au principe de la réaction : tout d'abord une contraction de 2 % du matériau est observée. Le matériau adhérant aux parois dentaires, des microfissures apparaissent à l'intérieur de celui-ci, puis il subit une expansion hygroscopique par absorption de l'eau dentino-pulpaire. La contraction de prise est alors compensée. L'apport d'un vernis positionné au-dessus du CVI permet de compenser la porosité du matériau, et évite ainsi l'évaporation de l'eau [103]. Les CVI sont peu résistants à l'usure et aux forces occlusales, ils ne doivent donc pas être utilisés dans les restaurations complexes soumises à de fortes contraintes mécaniques. Ils ne pénètrent pas dans les canalicules ce qui peut engendrer un hiatus à l'interface dent-matériau et donc, des micro-infiltrations. Ces matériaux ne semblent pas être cytotoxiques, cependant, ils ne peuvent pas être apposés en contact direct de la pulpe. Une épaisseur minimale de dentine et une absence d'infiltration bactérienne sont nécessaires afin d'éviter une inflammation pulpaire. C'est l'épaisseur de dentine résiduelle et l'infiltration bactérienne qui entraînent des réponses pulpaires [97].

3.3.3.6.2 Utilisation clinique

Les ciments verre-ionomères peuvent être indiqués dans plusieurs situations cliniques. Celles-ci sont la restauration temporaire, le recouvrement d'un ciment à base de silicate de calcium, le coiffage pulpaire indirect, ou encore lors d'une technique « ART » (Atraumatic Restorative Treatment) après curetage manuel.

3.3.3.7 Ciments verre-ionomère condensables

Les CVI condensables ont une haute viscosité. La réaction de prise est identique aux CVI conventionnels mais la taille des particules est différente. De l'acide polyacrylique lyophilisé est additionné à la poudre. La résistance à l'usure de ces CVI est supérieure à celle des CVI traditionnels et des CVI modifiés par adjonction de résine (CVIMAR). Ils sont moins sensibles à l'humidité, et l'application d'un vernis améliore encore les propriétés du matériau. La quantité de fluor libérée est importante. Faciles à positionner, ils sont notamment indiqués pour les techniques ART et chez les enfants [32].

3.3.3.8 Ciments verre-ionomère modifiés par adjonction de résine (CVIMAR)

3.3.3.8.1 Propriétés du matériau

Les CVIMAR sont aussi appelés ciments verre-ionomère hybrides. Ils ont été mis au point au début des années 1990 afin de pallier les défauts des CVI conventionnels. Leur composition est sensiblement la même à la différence qu'une petite quantité de résine (HEMA) a été ajoutée [77]. Il s'agit d'un mélange poudre-liquide (figure 15). La poudre contient des particules de verre de fluoroaluminosilicate avec un complexe polyacide. Le liquide quant à lui, contient un monomère, le 2-hydroxyethylmétacrylate (HEMA) soluble dans l'eau, ainsi que des activateurs photosensibles [97]. Les CVIMAR ont une double réaction de prise. La réaction acido-basique est suppléée d'une réaction de polymérisation des radicaux qui peut être initiée par la photopolymérisation ou non. Les deux réactions ont lieu simultanément, cependant la photopolymérisation permet un durcissement du matériau en surface quasiment immédiat.



Figure 15 : conditionnement du Fuji II® LC [57]

Les CVIMAR ont pour avantage une prise rapide rendue possible par la photopolymérisation (ex : Fuji II LC®) (figure 15). Grâce à la présence de résine dans sa composition, la résistance du matériau à la compression durant les premières 24 heures critiques est de 2 à 3 fois supérieure aux CVI classiques [89]. De plus, la force de flexion et la résistance à la traction sont augmentées par rapport aux CVI conventionnels. Seule la résistance à l'usure est diminuée. Contrairement aux CVI classiques, les CVIMAR adhèrent plus à la dentine qu'à l'émail grâce aux liaisons formées par l'acide polyacrylique et à l'HEMA (qui est un composant similaire au bonding) [104]. Leur adhésion est alors augmentée.

Ils sont cependant moins biocompatibles [77]. Il a été montré qu'il pouvait y avoir une libération de HEMA (substance allergène) par les CVIMAR, majoritairement

au cours des premières 24 heures de la polymérisation. L'HEMA diffuse dans la dentine et peut entraîner des dommages de la pulpe [77]. L'épaisseur et la qualité de la dentine résiduelle influent sur l'inflammation de la pulpe. Ainsi une couche plus fine de dentine montre un taux de diffusion plus élevé. La toxicité des CVI peut être aussi due à une libération trop importante de fluor [77].

3.3.3.8.2 Utilisation clinique

Les CVIMAR ont une utilisation quasiment similaire aux CVI classiques. Ils sont utilisés en restauration temporaire, soit directement sur la dentine, soit en technique sandwich en occlusal d'un Cavit® ou d'un IRM®. Ils sont utiles lors des coiffages indirects, sous les reconstitutions composites qui adhèrent grâce à la présence de résine dans les CVIMAR. Ils peuvent être utilisés comme reconstitution pré-endodontique afin d'obtenir une cavité à 4 parois nécessaire pour isoler la dent lors du traitement endodontique. La photopolymérisation permet un durcissement rapide de la reconstitution. Ils peuvent être positionnés au-dessus d'une Biodentine® afin de la protéger lors de sa prise. Ils peuvent être utilisés au-dessus d'un ciment de type Dycal® lorsque l'épaisseur de dentine résiduelle est trop faible.

3.3.3.9 Résines composites

3.3.3.9.1 Propriétés du matériau

Les résines composites sont formées d'une phase organique, de charges qui renforcent le matériau et d'un agent de couplage organo-minéral. Elles sont présentées sous la forme d'un mélange pâte/pâte, de compules ou de seringues [128]. Il existe différents modes de polymérisation des composites. Ils peuvent être chétopolymérisables, photopolymérisables ou dual. Ces derniers cumulent les propriétés des deux autres, leur prise se fait chimiquement ainsi que par photo-activation lumineuse. Les composites n'adhèrent pas spontanément aux tissus dentaires, ils doivent donc être utilisés conjointement avec un conditionneur (l'acide orthophosphorique) et un adhésif amélo-dentinaire. Après cette procédure, ils adhèrent à la dent et sont mécaniquement résistants. Cependant, les résines composites possèdent une contraction de polymérisation. De plus, le coefficient de dilatation thermique est de 2 à 4 fois supérieur à celui de la dent. Elles entraînent donc des contraintes sur les tissus dentaires. Enfin, les résines composites ne libèrent pas de fluor.

3.3.3.9.2 Utilisation clinique

Les résines composites peuvent être utilisées lors de reconstitutions temporaires, lors de reconstitution corono-radicaux (composites dual), pour réaliser les couronnes provisoires ou encore pour réaliser des reconstitutions pré-endodontiques (composites dual).

3.3.3.10 Résines composites temporaires souples

3.3.3.10.1 Propriétés du matériau

Les résines composites souples se présentent sous la forme d'un mono-composant photopolymérisable [99]. Elles sont conditionnées en seringues ou en compules sous la forme d'une pâte prête à l'emploi (ex : Fermit®, Clip-F®, Telio CS Inlay/Onlay®) (figure 16). Ces résines composites ont pour avantage une facilité de mise en œuvre, des propriétés mécaniques et une dureté du matériau satisfaisantes, une résistance à l'abrasion et une esthétique correctes. Leur mise en place ne requiert pas de mordantage, ni de pose d'adhésif [42]. Leur stabilité à l'intérieur de la cavité et leur étanchéité sont assurées par les variations dimensionnelles du matériau. La contraction de prise initiale (de l'ordre de 2,5 %) est compensée par l'expansion secondaire due à l'absorption d'eau. Des études ont comparé l'étanchéité de ces matériaux par rapport au sulfate de calcium de type Cavit® ou à l'IRM®. Les résultats divergent. Beach et al. ont montré *in vivo* une étanchéité inférieure du TERM® par rapport au Cavit® après 3 semaines [19]. D'autres études réalisées *in vitro* ont conclu à une étanchéité semblable entre le Cavit® et des résines souples photopolymérisables [29, 42, 43]. Enfin, des articles relatent une étanchéité supérieure de ces matériaux *in vitro* [118].



Figure 16 : présentation commerciale du Clip-F® (VOCO) [153]

3.3.3.10.2 Utilisation clinique

Les résines composites souples sont utilisées pour obturer temporairement des cavités de type inlay/onlay. Leur mise en place à l'aide d'une spatule est aisée et leur photopolymérisation autorise une épaisseur de matériau jusqu'à 4 mm. Le matériau

adhère aux résines. Lorsqu'un scellement dentinaire immédiat est effectué, il est donc nécessaire d'isoler la cavité par un matériau de type vaseline ou glycérine.

3.3.3.11 Bagues de cuivre et bagues orthodontiques

3.3.3.11.1 Propriétés des dispositifs médicaux

Les bagues de cuivre et les bagues orthodontiques se présentent sous la forme d'un anneau métallique rigide. Elles se déclinent en différents formats afin d'être ajustées à la taille de la dent. Le numéro de la bague correspond au périmètre de la dent. Elles sont prédécoupées selon la morphologie de la partie cervicale, puis modifiée par bouterollage afin de sertir la dent. Lorsque l'ajustage cervical et la hauteur sont réglés, la bague peut être scellée à la dent par différents artifices.

3.3.3.11.2 Utilisation clinique

Les bagues sont utilisées lors des reconstitutions pré-endodontiques sur les dents fortement délabrées. Une étude sur l'utilisation de bagues orthodontiques a montré que leur utilisation protégeait la dent d'un risque de fracture en diminuant la flexion des cuspidés de moitié [109]. De plus, les bagues permettent de reconstituer des cavités à 4 parois afin de créer un réservoir pour les irrigants.

3.3.3.12 Couronnes provisoires

3.3.3.12.1 Propriétés des dispositifs médicaux

Les couronnes provisoires sont utilisées temporairement afin de reconstituer une dent délabrée. Elles sont scellées par un ciment provisoire, leur rétention est fonction de la qualité des parois résiduelles. Lorsque celles-ci sont insuffisantes, il est nécessaire d'adjoindre un tenon métallique afin d'assurer la rétention de la prothèse. Elles sont alors appelées couronnes provisoires à tenon. La durée de vie des couronnes provisoires varie de quelques jours à plusieurs mois. Elles sont réalisées différemment selon les indications cliniques. Il en existe plusieurs types [11, 151]. Une couronne provisoire peut être façonnée grâce à un iso-moulage. Une autre solution consiste à adapter une couronne préformée. Cette solution s'avère intéressante lorsque la dent est trop délabrée pour réaliser un iso-moulage. Il en existe en polycarboxylate (dent Ion®), en acétate de cellulose (moule Odus®), en composite malléable photopolymérisable (pour les dents postérieures) et en métal (alliage étain/argent ou acier pour les dents postérieures) [154]. La préforme est choisie selon le type de dent et selon le diamètre cervical. Les couronnes préformées

en acier sont très résistantes à l'abrasion. Ce métal étant plus rigide que l'alliage étain/argent, il doit être utilisé préférentiellement pour une temporisation longue de par sa bonne résistance aux forces de mastication. Une couronne provisoire peut aussi être obtenue par block-technique. Une boule de résine est placée sur la dent, puis travaillée par soustraction afin de reconstituer une dent provisoire. Il est encore possible de faire réaliser une couronne provisoire au laboratoire de prothèse. Cette solution, plus onéreuse donne d'excellents résultats esthétiques et fonctionnels.

Ces couronnes provisoires peuvent être réalisées en leur masse avec différents matériaux [154]. La première et la plus ancienne famille de matériaux est représentée par les résines acryliques. Les résines acryliques chémozopolymérisables sont un mélange poudre/liquide qui se fait manuellement. Il peut s'agir de résine polyméthacrylate de méthyl (PMMA) ou de résine polyméthacrylate d'éthyl (PEMA). Leurs principaux inconvénients sont leur faible résistance à l'abrasion et leur porosité de surface (ex : Unifast Trad®, TAB 2000®). Les résines acryliques photopolymérisables sont un mélange poudre/liquide à prise duale composé de polyméthacrylate de méthyl. La prise chimique initiale permet d'obtenir un matériau en phase plastique. La prise finale est effectuée par photopolymérisation (ex : Unifast LC®). Les résines acryliques thermopolymérisables sont utilisées au laboratoire de prothèse. La seconde famille de matériaux regroupe les résines composites. Elles sont composées d'une matrice organique et de charges minérales. Les résines composites chémozopolymérisables sont à base de résine bis-acryl (Bis-GMA). La présentation du matériau se fait sous la forme d'une cartouche ou seringue automélangeuse (ex : Structur 3®, Protemp 4®). Les résines composites photopolymérisables sont à base de diméthacrylate d'uréthane (UDMA). La polymérisation se fait à l'aide d'une lampe à photopolymériser.

Les couronnes provisoires ont plusieurs avantages. Elles rétablissent l'esthétique et la fonction occlusale. De plus, elles limitent le risque de fracture de la dent en répartissant les forces occlusales. La précision marginale des couronnes provisoires permet de limiter la quantité de ciment exposé au tissu buccal et donc sa dégradation. D'après Naoum et al., une couronne réalisée au laboratoire en technique indirecte avec un matériau approprié offre une meilleure étanchéité [99].

3.3.3.12.2 Utilisation clinique

Les couronnes provisoires ont différentes utilisations cliniques. Elles remettent en fonction la dent en attendant le positionnement de la prothèse définitive. Elles peuvent aussi être utilisées en reconstitution pré-endodontique afin d'obtenir une cavité d'accès à 4 parois.

3.3.3.13 Ciment provisoire

Il existe plusieurs types de ciment provisoire. Les ciments à base d'oxyde zinc-eugénoles, les ciments oxyde de zinc-sans eugénoles, les ciments renforcés à base d'oxyde de zinc-eugénoles et les ciments au polycarboxylate. Les ciments oxyde de zinc-eugénoles de type Temp-Bond® sont utilisés pour les scellements-rescellements de courte durée. Ils sont retrouvés sous la forme d'un mélange de deux pâtes. Il s'agit d'une réaction chétopolymérisable. Ils sont facilement utilisables mais leur temps de prise est long. Ils ont une action anti-inflammatoire, antibactérienne grâce à la présence d'eugénoles. Leur herméticité est correcte. Les inconvénients de ces matériaux sont leur faible résistance à la traction, à la compression et à l'abrasion [67, 154]. Leur solubilité est de 2,5 %. Ils se dégradent dans le temps ce qui amène rapidement à une percolation bactérienne [92, 95]. Les ciments oxyde de zinc-sans eugénoles ont quasiment les mêmes propriétés que ceux avec eugénoles à la différence qu'ils n'offrent pas d'action germicide et anti-inflammatoire. Ils peuvent être utilisés chez les patients allergiques. De plus l'eugénoles inhibe la polymérisation des composites et interfère avec celle des CVI (ex : TempBond Clear®, Freegénéol temporary pack®). De par leur résistance mécanique accrue, les ciments ZOE renforcés décrits précédemment peuvent être utilisés pour le scellement d'éléments temporaires devant durer plusieurs mois (IRM®, Super EBA®) [92, 154]. Les ciments polycarboxyliques se présentent sous forme liquide-poudre. La poudre contient de l'oxyde de zinc et de l'oxyde de magnésium. Le liquide contient de l'acide polyacrylique. Ces ciments possèdent des propriétés adhésives importantes ainsi qu'une bonne biocompatibilité [154]. Ils adhèrent à l'émail, à la dentine et aux alliages [92]. L'avantage de ces ciments est leur bonne étanchéité. De plus, leur temps de prise est rapide. L'inconvénient de ces matériaux est leur difficulté de désinsertion [151]. Ils peuvent donc être utilisés en matériau de scellement temporaire lorsque la surface dentaire est peu rétentive ou que la couronne provisoire est mise en place pour une longue durée (ex : Poly-F® Plus) [154]. Les ciments à l'oxyphosphate de zinc existent aussi sous la forme liquide-poudre. La

poudre est constituée d'oxyde de zinc et d'oxyde de magnésium. Le liquide contient de l'acide phosphorique et des ions zinc et aluminium [128]. Résistants à la compression, ils n'ont pas de propriété adhésive et sont perméables au milieu buccal. Leur pH acide (de l'ordre de 1 à 2 lors de la réaction de prise) les rend irritants [151]. Ces matériaux ne sont plus conseillés de nos jours (ex : Zinc Cement®, SS White).

4 Principales situations cliniques donnant lieu à une temporisation

4.1 Temporisation pré-endodontique

Les thérapeutiques de temporisation avant un éventuel traitement canalaire ont pour but de garder la dent vitale et de retarder au maximum le cycle de mort de la dent. Afin de maximiser les chances de succès, il est nécessaire de limiter toute contamination bactérienne. Aussi, de strictes conditions d'asepsie sont à respecter. Un premier curetage est effectué de façon centripète, de façon à éliminer les tissus cariés et infectés sur les parois latérales avant de descendre en direction pulpaire. Lorsque le tissu pulpaire doit être sectionné, une fraise boule diamantée stérile sur turbine sous irrigation abondante est utilisée. L'environnement doit être le moins contaminé possible afin d'espérer un retour à un état non pathologique. L'utilisation de la digue est un autre impératif. Toutes les dents traitées à l'aide des techniques décrites dans ce sous-chapitre doivent être surveillées régulièrement afin d'évaluer la cicatrisation du tissu pulpaire.

4.1.1 Coiffage

4.1.1.1 Coiffage indirect

Le coiffage indirect peut être indiqué lors d'un curetage carieux profond. Il s'agit de laisser une fine couche de dentine au contact de la pulpe. Deux possibilités se confrontent. Dans la première, le curetage est complet. Seule une fine couche de dentine minéralisée est laissée au contact de la pulpe. Le matériau de coiffage permet de protéger la vitalité pulpaire en effectuant une barrière thermique et chimique aux matériaux de reconstitution. Dans ce cas, plusieurs matériaux peuvent être utilisés. Le CVI, utilisé en technique sandwich offre la possibilité de créer une barrière thermique entre la pulpe et le matériau de reconstitution coronaire, tel que le composite. Il est utilisé pour les fonds de cavité, lorsque l'épaisseur de dentine résiduelle est comprise entre 0,5 et 1,5 mm. Trop proche de la pulpe, il est toxique. Au-delà de 1,5 mm, il n'est plus nécessaire. L'hydroxyde de calcium sous forme base/catalyseur présente un intérêt lorsque le tissu pulpaire est visible par transparence. Il peut être utilisé dès que la dentine résiduelle a une épaisseur de moins de 0,5 mm [47]. De la Biodentine® peut également être utilisée.

Dans la deuxième possibilité, le curetage est incomplet afin d'éviter une effraction pulpaire. Deux procédés sont envisageables lorsque la dent est asymptomatique ou en pulpite réversible [46]. La technique du stepwise (Bodecker, 1939) [82] consiste en un traitement en deux temps et transforme une lésion carieuse active en une carie arrêtée. Un premier curetage carieux incomplet est effectué. Il doit être centripète et total sur les parois périphériques. Une fine couche de dentine affectée est laissée au contact de la pulpe sur laquelle un matériau bioactif est positionné. Il s'agit majoritairement d'hydroxyde de calcium (ou d'un ciment ZOE), celui-ci est laissé en place sous une restauration temporaire (ZOE ou CVI) de quelques semaines (4 semaines) à plusieurs mois (24 mois) afin de permettre une guérison pulpaire et la création de dentine tertiaire [65, 82]. Les capacités bactéricides et de reminéralisation de l'hydroxyde de calcium sont ici utilisées. Une augmentation de la radio-opacité de la dentine suggère une reminéralisation de celle-ci. Cependant, il est difficile d'évaluer radiographiquement le moment où celle-ci est suffisante pour la deuxième phase du protocole [65]. Le deuxième temps opératoire amène ensuite le praticien à retirer ces matériaux et à effectuer un curetage complet. Une couche de dentine sclérotique et/ou tertiaire proximo-pulpaire doit avoir été sécrétée [107]. Elle est dure et minéralisée. La restauration définitive peut enfin être positionnée.

Une autre technique repose aussi sur l'éviction partielle du tissu carié. La couche de dentine résiduelle est laissée au contact de la pulpe puis sa reminéralisation est espérée au contact d'un matériau bioactif qui n'est pas déposé ultérieurement. Le matériau de coiffage doit cependant être protégé par un scellement étanche et une restauration définitive afin d'éviter la pénétration de bactéries [108, 117]. Les matériaux de coiffage peuvent être du Dycal®, du Theracal®, de la Biodentine®, du ciment de Portland médical ou du MTA®. Certains auteurs préconisent de l'IRM® ou du CVI [108]. Il semble nécessaire d'utiliser un matériau insoluble et non résorbable. Le Dycal® et le TheraCal® ne sont donc pas à privilégier sur le long terme pour cette technique. Les autres matériaux sont à préférer, leur taux de succès est plus important [117]. Il semblerait que l'arrêt de la carie soit principalement dû à la suppression de la partie superficielle de la nécrose et au scellement hermétique de la restauration, plutôt qu'au matériau mis au contact de la dentine cariée [108]. L'utilisation d'un CVI ou d'un hydroxyde de calcium n'a pas montré de supériorité par rapport à la pose d'un matériau inerte [35].

4.1.1.2 Coiffage direct

La procédure du coiffage consiste à appliquer un biomatériau au contact de la plaie pulpaire afin de favoriser sa réparation et son oblitération par un pont dentinaire néoformé. Lors du curetage carieux, lorsque l'opérateur s'approche de la corne pulpaire et qu'il voit cette-ci par transparence, une désinfection de la cavité est recommandée afin de diminuer la charge bactérienne avant trépanation. L'utilisation d'une nouvelle fraise boule stérile permet de faire l'effraction pulpaire dans des conditions optimales. La plaie pulpaire est rincée au sérum physiologique puis tamponnée à l'aide d'une boulette de coton imbibée d'hypochlorite de sodium (NaOCl) (0,5 à 5 %) ou de chlorhexidine (0,2 à 2 %) pour permettre l'hémostase. Celle-ci doit être obtenue dans les 5 minutes. Dans le cas contraire, l'inflammation du tissu est telle qu'un coiffage pulpaire est voué à l'échec. Une suppression plus importante du tissu pulpaire sera nécessaire [61]. Le matériau de coiffage est préparé selon les données du fabricant, puis positionné au contact de la pulpe. S'il s'agit d'un hydroxyde de calcium, celui-ci est positionné à l'aide d'un fouloir ou d'une spatule sur l'effraction pulpaire. Les parois doivent être exemptes de produit afin de ne pas altérer l'adhésion des matériaux de recouvrement. Puis, un Dycal® peut être positionné au-dessus, en sandwich. Ensuite, la restauration d'usage est appliquée. Cette technique a longtemps été le gold standard. Cependant, il a été démontré que le pont de dentine néoformé était poreux. Cette technique n'est plus à privilégier de nos jours. S'il s'agit d'un matériau de type MTA®, celui-ci est positionné à l'aide d'un fouloir dans la cavité au niveau de l'effraction pulpaire. Les parois dentinaires latérales doivent être exemptes de matériau. Afin de permettre sa prise, un coton humide est placé à son contact puis recouvert d'un matériau temporaire étanche de type Cavit® ou IRM® [36]. Un deuxième rendez-vous permet de retirer la restauration temporaire afin d'effectuer la restauration définitive qui couvre le MTA®. S'il s'agit de Biodentine®, le matériau peut être positionné à l'aide d'un porte-amalgame, puis foulé délicatement afin de remplir la totalité de la cavité. Le réglage occlusal s'effectue à l'aide d'instruments manuels à sec. Il est indispensable de ne pas utiliser d'instruments rotatifs à ce stade. Même si le matériau autorise un recouvrement après le temps de prise de 12 minutes, un rendez-vous ultérieur (au moins 48 heures après) permet d'éliminer la partie coronaire de la Biodentine® positionnée afin de restaurer la dent durablement.

4.1.2 Pulpotomie

Il s'agit d'une technique qui consiste à sectionner et à retirer tout ou partie de la pulpe camérale afin de préserver la vitalité du tissu pulpaire résiduel.

4.1.2.1 Pulpotomie partielle

La pulpotomie partielle, aussi appelée pulpotomie camérale haute (ou pulpotomie de CVEK) consiste en la suppression d'une partie de la pulpe camérale. Elle est à privilégier lorsqu'il subsiste du tissu caméral vivant et sain, donc non enflammé. Elle est à envisager lors d'un saignement persistant empêchant un coiffage pulpaire ou dans certains cas de pulpite irréversible lorsque l'inflammation pulpaire n'est pas étendue à toute la partie camérale. Ce type de pulpotomie peut notamment être utilisé pour permettre la fin de l'édification d'une dent. L'exérèse de la pulpe inflammatoire se fait sur 2-3 mm à l'aide de la fraise boule, puis un nettoyage au sérum physiologique est effectué. Un tamponnement à l'aide d'une boulette de coton désinfectée à l'hypochlorite de sodium à 2,5 % permet d'obtenir une hémostase. La mise en place du matériau se fait délicatement sans comprimer la pulpe résiduelle, sur une hauteur de 2 mm [34]. Différents matériaux peuvent être utilisés : l'hydroxyde de calcium, le MTA® ou la Biodentine®. L'utilisation de MTA® a un taux de succès double par rapport à celui de l'hydroxyde de calcium après 2 ans (85 % pour le MTA® contre 43 % pour $\text{Ca}(\text{OH})_2$). L'hydroxyde de calcium n'est donc plus à privilégier [145]. La Biodentine® et le MTA®, ont des taux de succès importants, et donnent des résultats favorables après plusieurs années [144, 148]. Il n'y a pas de différence significative entre leur taux de succès, cependant le MTA® provoque des dyschromies.

4.1.2.2 Pulpotomie complète

La pulpotomie complète se définit par l'exérèse totale de la pulpe camérale. Une ablation complète est effectuée jusqu'aux orifices canaux ou en deçà de 2 à 3 mm maximum pour les dents pluriradiculées. Pour les monocanaires, le tissu pulpaire est retiré jusqu'à la jonction amélo-cémentaire [34]. Ce type de traitement peut être utilisé temporairement ou comme traitement d'usage.

4.1.2.2.1 Sans traitement canalaire ultérieur

La pulpotomie complète comme traitement définitif de la dent permanente semble être une alternative intéressante au traitement canalaire. Le traitement, moins invasif, montre un taux de succès satisfaisant de 82 % à 2 ans pour une étude

menée par Simon S. et coll. [136]. L'inflammation pulpaire est souvent limitée à la partie camérale de la dent. La suppression de la pulpe camérale permet alors d'éliminer la source d'inflammation et de conserver la vitalité radiculaire. Pour cette technique, un nettoyage de la plaie pulpaire et une hémostase sont effectués au sérum physiologique. Puis un nettoyage de la cavité à l'hypochlorite de sodium est fait avant application du biomatériau. La pulpe radiculaire est alors coiffée par un matériau bioactif tel que du MTA® ou de la Biodentine® [136, 143].

En cas d'échec, l'avantage de ce traitement réside dans une possible ré-intervention avec réalisation du traitement canalaire. L'inconvénient est la possible oblitération canalaire consécutive au traitement et rendant difficile le traitement endodontique initial.

4.1.2.2 Avec traitement canalaire ultérieur

La pulpotomie complète suivie d'un traitement canalaire ultérieur est commune. Elle est souvent utilisée afin de terminer l'édification d'une dent ou lors d'un traitement d'urgence. Dans le cas d'une pulpite sur une dent immature, la conservation de la vitalité radiculaire permet une apexogénèse. La technique est identique à celle utilisée précédemment, seuls les biomatériaux de coiffage diffèrent. L'hydroxyde de calcium peut être ici utilisé. Il est positionné au contact des entrées canalaires, puis recouvert par un matériau provisoire étanche. L'avantage de l'hydroxyde de calcium réside dans sa facilité de dépose. Lorsque les apex des dents sont fermés, le traitement canalaire complet est exécuté.

4.1.3 La reconstitution pré-endodontique

Lorsque la pathologie pulpaire ne permet pas de conserver la vitalité de la dent, le traitement canalaire de celle-ci doit être réalisé. L'accès à la pulpe canalaire doit se faire à travers une cavité à 4 parois. Lorsque certaines parois sont insuffisantes voire manquantes, une reconstitution pré-endodontique est effectuée avant le traitement canalaire. Cette reconstitution a pour but de recréer un réservoir pour les irrigants endodontiques. Elle est effectuée après curetage carieux soigneux et suppression des anciennes restaurations coronaires. De plus, elle permet de consolider la dent entre 2 séances. Sa mise en place permet le positionnement de la digue dentaire, prérequis obligatoire au traitement canalaire. La restauration pré-endodontique doit obéir à des impératifs fonctionnels mais aussi esthétiques selon les secteurs concernés. Différents cas de figure sont à dissocier [137].

Lorsque la dent possède des parois résiduelles en nombre suffisant, une reconstitution pré-endodontique est réalisée en composite ou en CVI. Son positionnement se fait à l'aide d'une matrice et d'un coin de bois afin de rétablir le point de contact avec la dent adjacente. Le CVI peut être utilisé pour les pertes de substance de faible étendue alors que le composite est à privilégier lors des pertes de substance plus importantes. L'utilisation du composite pour la réalisation de la reconstitution pré-endodontique trouve son deuxième avantage dans le fait que la reconstitution peut être conservée après traitement canalaire pour la reconstitution définitive. Cela permet de gagner du temps et d'éviter une élimination supplémentaire de tissu dentaire sain. Cette pratique est donc à privilégier. De plus, la reconstitution en composite dual permet par l'adhésion du matériau à la dent, une reconstitution étanche, solide et résistante dans le temps. Lorsque les parois dentaires sont insuffisantes, l'utilisation d'une bague de cuivre ou d'une bague orthodontique permet de consolider la dent entre les séances endodontiques. Elle est utilisée lors des pertes de substances importantes, supérieures à deux parois sur les molaires. Elle est scellée à l'aide d'un CVI après protection des entrées canalaires par une boulette de coton ou un Cavit®. La reconstitution peut aussi être réalisée à l'aide d'une couronne provisoire ou d'une coiffe préformée. La couronne est scellée au CVI après protection des entrées canalaires puis la cavité d'accès est réalisée à travers celle-ci [137]. Cette technique, plus longue à réaliser, présente en plus un risque de perforation lors de la réalisation de la cavité d'accès.

4.2 *Temporisation peropératoire*

Lorsque la durée de rendez-vous le permet, il est possible d'utiliser extemporanément un matériau de temporisation afin d'améliorer l'environnement et de finir le traitement canalaire. Lorsqu'un saignement apical perdure après nettoyage chimio-mécanique complet, le positionnement intracanalair d'hydroxyde de calcium pendant quelques minutes peut entraîner l'assèchement du canal. Ainsi, sur les dents pluriradiculées, une optimisation du temps peut être effectuée en finissant de travailler les autres canaux, puis en les obturant. Lorsque le praticien enlève l'hydroxyde de calcium du canal qui saignait, celui-ci est sec. Il peut le nettoyer et finir d'obturer la dent. La même procédure peut être utilisée pour un canal sur-préparé apicalement. Lorsque le diamètre apical est trop important, un bouchon au Ca(OH)_2 de faible épaisseur est positionné. Il permet d'arrêter les saignements et de créer une barrière apicale. Il est laissé en place, puis le canal est préparé plus

coronairement à un diamètre de préparation supérieur. Lors de la résorption du matériau, les cellules péri-apicales auront pris la place du $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Lorsqu'une dent est immature, son diamètre apical est trop important pour permettre une obturation étanche. Une apexification de celle-ci peut être réalisée en un temps si le canal est sec : un bouchon apical est positionné afin d'étanchéifier le canal. L'utilisation de la Biodentine® permet d'obturer la dent lors de la même séance d'endodontie. Après nettoyage et séchage à l'aide de pointes papier, le matériau est positionné dans le canal puis poussé à son extrémité à l'aide de fouloirs préalablement calibrés. L'apport successif de matériau est effectué jusqu'à obtenir une épaisseur de 4 mm puis son bon positionnement est vérifié à la radiographie. Une fois que la Biodentine® a fini sa prise initiale, la dent est obturée avec de la gutta-percha, puis restaurée de façon définitive [15, 81]. Il n'est cependant pas possible d'obturer immédiatement la dent selon une technique compressive, seules les techniques de Gutta injectée ou de scellement monocône avec un biomatériau de type BioRoot® sont possibles. Certains auteurs préconisent de positionner une membrane de collagène en dessous du bouchon de Biodentine® afin de servir de matrice à la minéralisation [150]. D'autres préfèrent l'utilisation de platelet-rich fibrin (PRF) afin de décupler les propriétés de la Biodentine® et d'accélérer la cicatrisation de la lésion péri-apicale si elle existe [131]. L'utilisation du MTA®, qui se fait selon le même procédé ne permet pas de finir le traitement lors de la même séance, l'obturation « définitive » du canal doit être reportée.

4.3 Temporisation en inter-séance

4.3.1 Temporisation en inter-séance d'endodontie

4.3.1.1 Pulpotomie

Lorsqu'un patient consulte en urgence pour des douleurs de type pulpite irréversible, un traitement canalair est à effectuer. Cependant, le rendez-vous d'urgence est souvent rajouté à l'agenda du praticien, ce qui limite sa durée. L'objectif primaire est alors de soulager le patient en attendant une date ultérieure disponible pour le traitement canalair complet. Le traitement immédiat consiste à libérer la pression contenue dans la chambre pulpaire grâce à la réalisation d'une pulpotomie. L'hémostase des entrées canalaires doit être obtenue, puis les matériaux de temporisation sont positionnés. De l'hydroxyde de calcium est placé au

niveau des entrées canalaires, puis il est recouvert d'un pansement provisoire étanche non compressif. Il peut s'agir d'un pansement à base de sulfate de calcium (type Cavit®) ou d'un eugénate (type IRM®). Afin d'améliorer l'étanchéité de ces matériaux pour les dents soumises à des contraintes occlusales importantes, une technique sandwich peut être réalisée en plaçant de l'IRM® au-dessus de la couche de Cavit® (à noter que l'épaisseur du Cavit® doit être au moins de 3,5 mm pour que celui-ci soit étanche). Ce protocole rallonge le temps d'intervention.

4.3.1.2 Traitement canalair

4.3.1.2.1 Temps de travail insuffisant

Lorsqu'un traitement canalair n'est pas terminé dans la séance, l'obturation de la dent doit être différée. Pour que le système canalair soit hermétique aux bactéries, la dent est refermée. En intracanalair, de l'hydroxyde de calcium peut être positionné. Il permet de remplir le canal et d'éviter la prolifération de bactéries. De plus, son pH élevé optimise la destruction de certaines bactéries. Il est cependant important de veiller à bien désinfecter le canal avant son positionnement. Son élimination lors de la réouverture est compliquée et doit être minutieuse, afin de ne pas laisser de vide dans le système canalair (lors de la résorption du matériau). Dans le cas d'une biopulpectomie sur dent pluriradiculée, il est préférable de limiter le nombre de canaux à temporiser en préparant un canal à la fois. Cela limite la possibilité de prolifération bactérienne entre les rendez-vous. Le choix de la restauration coronaire provisoire se fait selon plusieurs critères : le délai du prochain rendez-vous, la quantité de tissu résiduel, la sollicitation occlusale et l'esthétique. Ainsi, lorsque l'obturation provisoire a pour vocation de rester moins de 2 ou 3 semaines, un Cavit® d'une épaisseur minimale de 3,5 mm peut être positionné dans les cavités simples de petites étendues (de type occlusales). Il ne sera que très peu dégradé car peu soumis aux forces masticatoires. Dans les secteurs soumis à des forces occlusales plus importantes, un IRM® va permettre d'être plus résistant et moins se dégrader. Afin de potentialiser les avantages de ces deux matériaux, l'IRM® peut être placé au-dessus du Cavit®. Il s'agit alors d'une technique sandwich. Lorsque le délai d'attente avant le prochain rendez-vous est supérieur à 3 semaines ou que la dent est soumise à des forces importantes, il est nécessaire de temporiser à l'aide d'un matériau adhérent à la dent : le CVI. Il est le plus souvent placé au-dessus d'un Cavit® afin de ne pas abîmer le plancher pulpaire lors de sa dépose.

Lorsque la dent est reconstituée par une couronne provisoire, à tenon ou sans, le ciment doit être suffisamment résistant pour éviter la pénétration bactérienne mais facilement déposable. Ainsi, en inter-séances, de l'oxyde de zinc-eugénole est à privilégier si le délai entre les rendez-vous n'est que de quelques jours à quelques semaines. Lorsque la couronne provisoire a vocation à rester plus longtemps en bouche, l'étanchéité assurée par le ciment ZOE n'est plus suffisante. Un ciment polycarboxylique ou ZOE renforcé doit être préféré.

4.3.1.2.2 Saignement/suintement résiduel

Après nettoyage chimio-mécanique complet, un saignement résiduel ou un exsudat apical peuvent perdurer. Un rinçage à l'hypochlorite de sodium ainsi qu'un séchage à l'aide de pointes de papier ne permet pas toujours d'obtenir un assèchement canalaire complet. L'utilisation d'hydroxyde de calcium est alors nécessaire. Celui-ci est positionné en intracanaire à l'aide d'une seringue à embout spécifique s'il s'agit d'une pâte prête à l'emploi. La bonne mise en place du matériau avec une lime endodontique reste aléatoire. Il faut préférer l'application avec un bourre-pâte suivie d'une condensation avec des fouloirs ou des pointes de papier. Afin que son efficacité ne soit pas altérée, l'hydroxyde de calcium intracanaire doit être protégé par un matériau provisoire étanche facilement retirable de type Cavit® ou IRM®. Au rendez-vous suivant, le canal doit normalement être sec. Les propriétés hémostatiques, antibactériennes et anti-exsudatives de l'hydroxyde de calcium sont ici utilisées. Elles permettent de lutter contre le saignement et d'assécher le canal.

4.3.1.2.3 Suppuration résiduelle

Lors d'une PAA ou d'un APA, une suppuration résiduelle du péri-apex peut être observée malgré un nettoyage chimio-mécanique soigneux. De l'hydroxyde de calcium peut être positionné en intracanaire. Il permet d'éliminer les bactéries grâce à son pH élevé. Il doit rester en place une semaine pour que son action soit optimale. Cependant, l'hydroxyde de calcium n'a pas d'action sur certaines bactéries Gram + comme le *Streptococcus Faecalis* ou le *Candida Albicans* [138]. Une temporisation à base de chlorhexidine (CHX) peut également être utilisée. Le matériau, utilisé sous forme de gel dosé à 2 % possède une activité antibactérienne. Il agit sur les bactéries Gram + et Gram -, les levures, ainsi que sur certaines bactéries résistantes à l'hydroxyde de calcium [12]. Il est efficace jusqu'à 15 jours, puis son activité antibactérienne diminue pour devenir nulle à 30 jours [60]. Il n'a

cependant pas d'action sur les endotoxines. Afin de potentialiser les effets de ces 2 produits, il est possible de les utiliser conjointement. Dans ce cas, la chlorhexidine est utilisée en tant que liquide pour mélanger l'hydroxyde de calcium. Le mélange a pour avantage de permettre de créer une barrière mécanique aux bactéries, d'agir sur les endotoxines ainsi que d'élargir le spectre bactérien. Cependant, les résultats divergent selon les études. Une méta-analyse réalisée par Saatchi et al. en 2014 n'a pas conclu à une efficacité supérieure du mélange hydroxyde de calcium additionné de chlorhexidine par rapport à l'hydroxyde de calcium seul, le dosage de chlorhexidine étant variable de 0,12 à 2 % selon les études [125]. La CHX est bactéricide lorsqu'elle est concentrée à 2 %, elle est moins efficace à une concentration plus faible. L'étude réalisée in vivo par Sinha et al. a démontré une efficacité supérieure de la CHX 2 % ou du mélange Ca(OH)_2 -CHX 2 % à une semaine comparé au Ca(OH)_2 seul [138]. Gomes et al. ont montré in vitro que l'activité antibactérienne du mélange Ca(OH)_2 -CHX était réduite dans le temps par rapport à la CHX seule pour la bactérie *E. Faecalis*. Le pH fortement alcalin de Ca(OH)_2 annulerait le potentiel antibactérien de la CHX, et sa capacité d'adhésion aux cellules bactériennes [60]. Il n'existe donc pas à ce jour de consensus concernant ce mélange.

4.3.1.2.4 Gestion des perforations

Lors de la découverte d'une perforation, qu'elle soit apicale ou latérale, il est nécessaire de l'obturer afin de rendre hermétique le système canalaire. Après la gestion des saignements par apport d'hydroxyde de calcium, la perforation doit être colmatée. Pour cela, des matériaux de type MTA® ou Biodentine® peuvent être utilisés. Leur positionnement se fait à l'aide d'applicateurs spécifiques pour plus de précision. Le matériau bioactif est placé et compacté dans la perforation. Afin de ne pas « boucher » le système canalaire par des débris de ciment au silicate de calcium, lorsque la perforation est haute, un cône de gutta est positionné dans le canal avant traitement de la perforation. La prise du MTA® étant longue et hydrophile, un coton humide (ou une pointe de papier humidifiée) est positionné à son contact afin de l'accélérer, puis la cavité est refermée à l'aide d'un Cavit® ou un IRM®. Une deuxième séance opératoire permet d'obturer le canal à la gutta-percha une fois que la prise du MTA® est terminée. L'avantage de la Biodentine® est sa prise rapide. Après avoir vérifié le durcissement (12 minutes minimum), la fin du traitement canalaire peut être envisagée.

4.3.1.2.5 Apexification

Pour les dents immatures, il est parfois envisagé d'effectuer une apexification en plusieurs séances. Dans ce cas, 2 techniques existent et peuvent se compléter. Le même prérequis est nécessaire pour ces techniques, le canal doit être nettoyé, irrigué à l'hypochlorite de sodium sans pression puis asséché à l'aide de pointes de papier pré-calibrées afin de ne pas irriter le péri-apex.

4.3.1.2.5.1 A l'hydroxyde de calcium

La fermeture apicale d'une dent peut tout d'abord être obtenue par apports successifs d'hydroxyde de calcium. Le positionnement intracanal du ciment se fait à l'aide d'un embout spécifique ou d'un bourre-pâte. Puis, à l'aide de pointes de papier ou de fouloirs de Machtou, le matériau est condensé verticalement. Une radiographie post-opératoire est effectuée afin de vérifier le bon positionnement du matériau. La dent est refermée à l'aide d'un Cavit® ou d'un IRM®. Cette séance est répétée plusieurs fois à intervalles réguliers jusqu'à fermeture apicale. Le protocole peut s'étendre de 6 mois à 1 an voire plus. Il a été démontré une plus grande fragilité de la racine après apexification à l'hydroxyde de calcium. Cette technique est donc à limiter de nos jours. La création d'un bouchon apical de silicate de calcium est à préférer.

4.3.1.2.5.2 Au silicate de calcium

Le protocole de mise en place d'un bouchon apical à l'aide d'un silicate de calcium est comparable à celui expliqué précédemment pour les perforations. Le canal doit être sec et bien désinfecté, une séance à l'hydroxyde de calcium est souvent recommandée avant d'envisager l'apexification avec une biocéramique. Le bouchon apical doit faire entre 3 et 5 mm d'épaisseur. La radiographie de contrôle est réalisée, les parois latérales sont nettoyées afin d'être exemptes de résidus. Là encore, si le matériau est de type MTA®, un coton humidifié est positionné dans le canal, puis celui-ci est refermé à l'aide d'un pansement provisoire. La prise du matériau étant longue, il est préférable de reporter l'obturation canalaire à la gutta-percha à une séance ultérieure.

4.3.1.2.6 Revascularisation

La revascularisation est un traitement endodontique applicable aux dents nécrosées immatures [54, 76, 141]. Contrairement aux thérapeutiques d'apexification dans lesquelles les racines restent fines et courtes, la technique de revascularisation

a pour objectif de provoquer la poursuite du développement radiculaire. Lors du premier rendez-vous, le parenchyme pulpaire nécrotique est éliminé, puis le système canalaire est nettoyé en évitant l'utilisation d'instruments mécaniques qui pourraient fragiliser les parois canalaires et les cellules souches apicales. Après désinfection à l'hypochlorite de sodium (1,5 à 3 %), le canal est rincé à l'aide d'une solution saline, puis nettoyé à l'EDTA 17 %. Une médication intracanaire de type hydroxyde de calcium est positionnée dans l'intégralité du système canalaire et recouverte d'une obturation coronaire provisoire étanche. Deux à quatre semaines après, les matériaux précédemment insérés sont éliminés. L'anesthésie doit être sans vasoconstricteur pour ne pas altérer la procédure. Après nettoyage à l'EDTA, rinçage au sérum physiologique et séchage à l'aide de pointes de papier, un saignement apical est provoqué à l'aide d'une lime K pré-courbée jusqu'à remplir le système canalaire. Avant poursuite de la procédure, un caillot sanguin doit être stabilisé. Pour ce faire, et grâce à sa concentration en facteurs de croissance, du PRF est parfois utilisé conjointement. Une fine couche de silicate de calcium de type MTA® ou Biodentine® est ensuite positionnée sur le caillot à 2 mm sous la jonction émail-cément. Afin de stabiliser cette épaisseur de silicate de calcium et d'éviter sa migration apicale, une matrice de collagène peut être positionnée entre le caillot sanguin et le biomatériau. Le système canalaire est protégé à l'aide d'un ciment au sulfate de calcium ou d'un CVI photopolymérisable, puis la dent est reconstituée à l'aide d'une reconstitution adhésive. Un contrôle régulier est à effectuer tous les 6 mois, puis tous les ans pendant 5 ans. Il ne semble pas y avoir de différence significative dans le taux de succès entre l'utilisation de la Biodentine® et du MTA® [6]. Toutefois, ce matériau provoque des dyschromies, ce qui est problématique pour des raisons esthétiques.

4.3.2 Temporisation en inter-séance endodontie-restauration

Une fois que le traitement endodontique est terminé, l'herméticité de la dent est à conserver afin de pallier une éventuelle réinfection bactérienne. L'obturation radiculaire de la dent ne permet pas à elle seule de lutter efficacement contre l'entrée de pathogènes, c'est pourquoi, lorsque la restauration définitive n'est pas réalisable dans la séance, il est impératif de protéger la dent.

4.3.2.1 Restauration sans ancrage radiculaire

En attendant sa réalisation, plusieurs techniques de restauration coronaire provisoire sont envisageables. Si la dent est restaurée dans les jours qui viennent (1 à 2 semaines maximum), le positionnement d'un matériau facile à déposer est intéressant. Pour les cavités simples, après nettoyage des excès de ciment et de gutta percha, un ciment à base de sulfate de calcium de type Cavit® d'une épaisseur de 3,5 mm minimum est positionné dans la cavité d'accès afin d'assurer l'étanchéité. Pour les cavités complexes, un eugénate renforcé type IRM® peut être apposé dessus (technique sandwich) ou complètement remplir la cavité. Si la restauration définitive est plus tardive, cette technique n'est plus envisageable. Il est nécessaire d'utiliser un matériau qui adhère à la dent. Le CVI est un matériau de choix. La dent doit être bien nettoyée à l'aide d'une fraise sur contre-angle afin que le matériau puisse adhérer. Le risque d'abîmer la structure dentaire lors de la dépose du CVI est important. Il doit être préférentiellement placé au-dessus d'un Cavit® (technique sandwich), celui-ci étant placé dans la chambre pulpaire au contact de la gutta. Le CVI par ses propriétés adhésives permet de conserver un scellement adéquat jusqu'à 8 semaines [49]. Un mordantage à l'acide polyacrylique améliore ses propriétés adhésives. La pose d'un vernis permet de le protéger.

4.3.2.2 Restauration avec ancrage radiculaire

La dent à restaurer peut nécessiter un ancrage radiculaire. Dans ce cas, un forage canalaire est à réaliser à l'aide de forêts de Gates et de forêts Largo. Un minimum de 4 mm de matériau doit être laissé au niveau apical afin d'assurer l'étanchéité. Plusieurs cas de figure sont à dissocier.

La dent a été obturée à la gutta percha et au ciment oxyde de zinc-eugénol. Afin de remplir le canal de façon tridimensionnelle, le matériau a été chauffé et condensé. La réalisation de l'ancrage radiculaire est à réaliser préférentiellement dans la séance. L'élimination de la gutta-percha à l'aide de forêts de Gates ou Largo est aisée. Juste après le forage, il est nécessaire de condenser la gutta résiduelle à l'apex de la dent. Un nettoyage soigneux des parois doit être effectué afin d'éliminer toute trace d'eugénol qui nuirait à la prise du composite et à son adhésion. La restauration corono-radiculaire est réalisée à l'aide d'un composite dual dans la séance afin de sceller la dent hermétiquement. Dans le cas où le composite à tenon ne peut se faire dans la séance, la réalisation de l'ancrage canalaire est reportée afin

de ne pas laisser de vide au niveau canalair. Un sandwich Cavit®-CVI est positionné temporairement comme restauration.

Certaines techniques d'obturation ne permettent pas d'effectuer le logement canalair dans la séance. L'utilisation actuelle des silicates de calcium en est un exemple. Ils sont utilisés comme ciment de scellement d'un cône de gutta-percha. Le cône est positionné dans le canal afin d'assurer un passage possible après la prise du matériau, il n'est ni chauffé, ni condensé. Compte tenu du temps de prise important de ces ciments, le forage ne doit pas être effectué le jour de l'obturation. Il est reporté afin de ne pas altérer les propriétés du ciment. Un matériau étanche est alors positionné au-dessus de l'obturation, en attendant la restauration définitive qui doit être réalisée le plus tôt possible. Comme pour les restaurations sans ancrage, un matériau à base de sulfate de calcium ou un pansement de type IRM® peuvent être utilisés. La restauration définitive est effectuée le plus tôt possible.

De même, sur des dents obturées à l'aide de tuteurs plastiques, il semble compliqué d'exécuter le forage canalair à l'aide de fraises spécifiques juste après l'obturation canalair. La prise du matériau et son refroidissement sont à privilégier avant d'éliminer le tuteur au centre de la pâte (ex : tuteurs Herofill®).

4.3.2.3 Cas de l'éclaircissement interne

Lorsqu'une dent traitée endodontiquement est dychromiée, un éclaircissement interne de celle-ci peut être réalisé avant d'effectuer la pose du matériau de restauration définitif. Le matériau éclaircissant peut être du peroxyde d'hydrogène ou du peroxyde de carbamide. Le produit, positionné à l'intérieur de la cavité d'accès de la dent permet une oxydation des pigments colorés et ainsi, éclaircit la dent. Afin de protéger l'obturation endodontique de la diffusion des produits éclaircissants, un bouchon étanche doit être mis en place. La technique consiste à supprimer le matériau d'obturation dans les entrées canalaires, puis à placer sur celui-ci, un bouchon étanche de 2 mm d'épaisseur. Le bouchon doit être positionné 2 mm sous la jonction émail-cément. Il permet d'étanchéifier l'obturation canalair, et ainsi la protéger. Il est réalisé à l'aide d'un CVI ou un IRM®. Dans le cas contraire, le produit éclaircissant va diffuser dans le canal et risque d'entraîner des résorptions cervicales externes. Lors d'un éclaircissement ambulatoire, un Cavit® est positionné dans la cavité d'accès au-dessus du produit d'éclaircissement pour étanchéifier la dent. Des fibres de coton sont positionnées avec le produit éclaircissant afin de permettre l'expansion des gaz. Après éclaircissement, il est important de veiller à l'élimination

complète des agents oxydants, une phase d'hydroxyde de calcium est alors souhaitable avant la restauration définitive [2].

4.3.3 Temporisation en inter-séance endodontie-prothèse

4.3.3.1 Prothèse fixée sans ancrage radiculaire

Lorsqu'une dent traitée endodontiquement doit être reconstituée par une pièce prothétique de type onlay/overlay, un scellement dentinaire immédiat (IDS) doit être réalisé [44]. Il permet d'étanchéfier l'obturation canalaire, de supprimer les contre-dépouilles sans mutiler la dent, d'amortir les contraintes et d'obtenir une meilleure adhésion de la pièce prothétique [120]. Un composite fluide est préférentiellement utilisé. Certains auteurs tolèrent l'utilisation du CVIMAR dans la chambre pulpaire afin d'amortir les contraintes [91]. En attendant la livraison de la pièce prothétique, une prothèse provisoire en résine composite photopolymérisable est réalisée après isolation de la cavité à l'aide d'un séparateur ou de vaseline. Celle-ci est scellée à l'aide d'un ciment sans eugénol afin de ne pas altérer le collage de la pièce définitive. Compte tenu d'une préparation pour onlay non rétentive, un ciment polycarboxylique est généralement utilisé, le ciment oxyde de zinc non-eugénol (ciment ZONE) n'étant pas assez puissant. Afin d'augmenter la rétention, des languettes de composite fluide peuvent être positionnées sur les faces vestibulaires et buccales [63]. Si la pièce provisoire est amenée à rester plus longtemps en bouche, un ciment ZOE renforcé peut être utilisé. Comme pour les dents pulpées, dans le cas où il n'y a pas de restauration provisoire de réalisée, une résine temporaire souple photopolymérisable de type Tempofill2® ou Luxatemp-inlay® est positionnée dans la cavité pour onlay afin de la protéger. Si la profondeur de la préparation est au moins de 3,5 mm, un ciment au sulfate de calcium de type Cavit® peut être positionné. Ces solutions ne sont cependant pas à privilégier. La prothèse définitive doit être positionnée le plus tôt possible. La résine souple ne doit pas rester plus d'une semaine en bouche compte tenu de son manque d'étanchéité à terme [130].

Lorsque la dent traitée endodontiquement est reconstituée par une endocouronne, l'ancrage caméral permet la rétention de la prothèse. Une étape de laboratoire est alors nécessaire. Ainsi, comme pour la réalisation d'un inlay, le traitement canalaire est à protéger entre les séances. Une couche de composite peut être positionnée afin d'étanchéfier le système canalaire et de supprimer les zones de

contre-dépouille. Cependant, il est nécessaire de conserver au maximum la hauteur disponible pour la rétention de la couronne, et cette étape n'est pas toujours réalisée. Une résine autopolymérisable ou photopolymérisable temporaire est placée comme restauration provisoire.

4.3.3.2 Prothèse fixée avec ancrage radiculaire

Lorsqu'une prothèse fixée doit être réalisée avec un ancrage radiculaire, le scellement hermétique canalaire est à réaliser le plus tôt possible. Cet ancrage radiculaire peut être formé par une restauration adhésive foulée de type reconstitution corono-radiculaire par matériau inséré en phase plastique (RMIPP) ou coulée de type inlay-core (IC). La réalisation de l'ancrage radiculaire s'effectue le jour de la réalisation de la restauration insérée en phase plastique pour les RMIPP. La temporisation est alors identique à celle expliquée précédemment pour les composites à tenon. Pour les inlay-cores, il est réalisé le jour de l'élaboration de la couronne provisoire à tenon afin de ne pas laisser d'espace vacant intracanalair propice à la prolifération bactérienne. Celle-ci est réalisée à l'aide d'une résine acrylique ou composite préalablement décrite et d'un tenon métallique. Son ajustement cervical doit être optimal. La couronne provisoire doit rester en place le moins longtemps possible. Elle est donc scellée à l'aide d'un ciment provisoire de type Tempbond® car elle doit être facile à retirer. Pour les patients allergiques, un ciment oxyde de zinc–non eugénol doit être privilégié.

Après cette étape, la pose de la couronne définitive dissocie deux cas de figure. Dans le premier cas, la dent a subi un traitement canalaire suite à une pulpite ou à une nécrose pulpaire sans signe de parodontite apicale. La réalisation de la couronne se fait successivement à la reconstitution corono-radiculaire. La temporisation est de courte durée et permet de garder la dent en fonction le temps de l'étape du laboratoire. La couronne provisoire est réalisée soit extemporanément, soit au laboratoire de prothèse. Elle ne reste en bouche que de quelques jours à quelques semaines. Un ciment ZOE ou ZONE est à privilégier pour faciliter la dépose des éléments prothétiques.

Dans le second cas, la dent présentait des signes de parodontite apicale lors du traitement endodontique. Après la pose d'un ancrage radiculaire étanche, une provisoire est réalisée afin de remettre la dent en fonction, prérequis indispensable pour sa guérison. La couronne provisoire peut être réalisée uniquement en résine ou

à l'aide d'une coiffe métallique. Son intérêt réside dans sa coque en acier ou en alliage étain/argent qui lui confère une résistance accrue à l'abrasion, de quelques semaines pour l'alliage étain/argent à quelques mois pour l'acier. De même, le scellement doit être performant pour attendre l'évolution de la lésion. Le ciment doit donc avoir une herméticité suffisante et une résistance accrue aux forces de mastication. La couronne provisoire est préférentiellement scellée au ciment polycarboxylate. Dès que la dent montre des signes de guérison, la couronne définitive est effectuée.

5 Discussion

5.1 Optimisation dans la gestion du cabinet

En endodontie, il est communément admis de passer par une phase de temporisation pour certaines indications cliniques précises. La fin d'un acte de soin peut alors être décalée à un autre rendez-vous. Cependant, augmenter le nombre de séances multiplie les agressions chimiques et mécaniques sur la dent traitée. Si celle-ci est vitale, son potentiel biologique diminue. De plus, la multiplication des séances entraîne une consommation plus importante de matériel dentaire, de stérilisation et de temps. Il est donc essentiel de traiter, lorsque cela est possible les pathologies pulpaire en un minimum de séances afin d'optimiser la gestion du cabinet dentaire.

La technique du coiffage pulpaire indirect en deux temps (technique stepwise) agresse doublement le tissu pulpaire de par la réintervention. De plus, le matériau est positionné dans la cavité pendant un délai variant de quelques semaines à quelques mois. La décision de le retirer se fait selon des critères subjectifs, la reminéralisation de la dentine n'étant pas visible radiographiquement sur un délai court. Il est donc préférentiellement souhaitable de réaliser un coiffage indirect en un temps à l'aide de biomatériaux appropriés.

Dans le cas d'une apexogénèse, le matériau positionné au contact des entrées canalaires stimule la fermeture apicale. Une fois que celle-ci est réalisée, le traitement endodontique initial est usuellement entrepris. Cependant, l'induction de la fermeture apicale sous-entend que la pulpe possède encore un potentiel biologique qui lui est propre. Il semble alors intéressant de maintenir celui-ci en conservant la vitalité pulpaire grâce aux matériaux adaptés.

L'hydroxyde de calcium a longtemps été un matériau de choix pour bon nombre de situations cliniques telles que le coiffage pulpaire, la procédure d'apexogénèse ou celle d'apexification. Ce produit, longtemps considéré comme le « gold-standard », présente cependant des inconvénients. Le pont dentinaire néoformé après coiffage pulpaire est poreux. De plus, le Ca(OH)_2 fragilise la dent lors d'une utilisation endocanalaire prolongée. Depuis quelques années, l'utilisation de l'hydroxyde de calcium tend donc à disparaître au profit des silicates de calcium. Ces matériaux bioactifs aux propriétés intéressantes font l'objet de nombreuses publications scientifiques.

5.2 Limites de l'étude

Ce travail a abordé les principaux matériaux nécessaires à la temporisation. Malgré un souci d'exhaustivité, le nombre important de produits disponibles sur le marché est en constante évolution. Il est difficile de tous les aborder, que ce soit dans leurs indications ou dans leurs modes d'utilisation. Un produit « gold-standard » actuellement ne le sera peut-être plus dans un an. De plus, l'autorisation de mise sur le marché d'un dispositif médical ou d'un médicament se fait après évaluation du rapport bénéfice/risque. Chaque pays a ses propres restrictions. Un produit toléré à l'étranger peut ne pas être autorisé en France.

Au cours de cette recherche documentaire, un nombre important d'articles a été analysé. Cependant, il est possible que certaines références scientifiques aient été écartées. La mise en place d'un protocole de recherche automatisée par le biais de mots clés comme dans une revue systématique aurait permis d'éviter ce biais de résultat.

5.3 Synthèse sous forme d'arbres décisionnels

La temporisation en endodontie est un sujet qui reste d'actualité malgré le développement de matériaux de plus en plus performants. Elle est utilisée dans de nombreuses situations que ce soit avant, pendant ou après le traitement endodontique. Pour plus de clarté, une synthèse des différentes situations cliniques a été réalisée sous forme d'arbres décisionnels. Chaque arbre a pour but de présenter les techniques qui semblent les plus pertinentes par rapport aux données acquises de la science (figures 17 à 27). Afin de simplifier leur lecture, différentes abréviations ont été utilisées. Le lexique des abréviations est disponible en annexe 2.

Coiffage pulpaire indirect

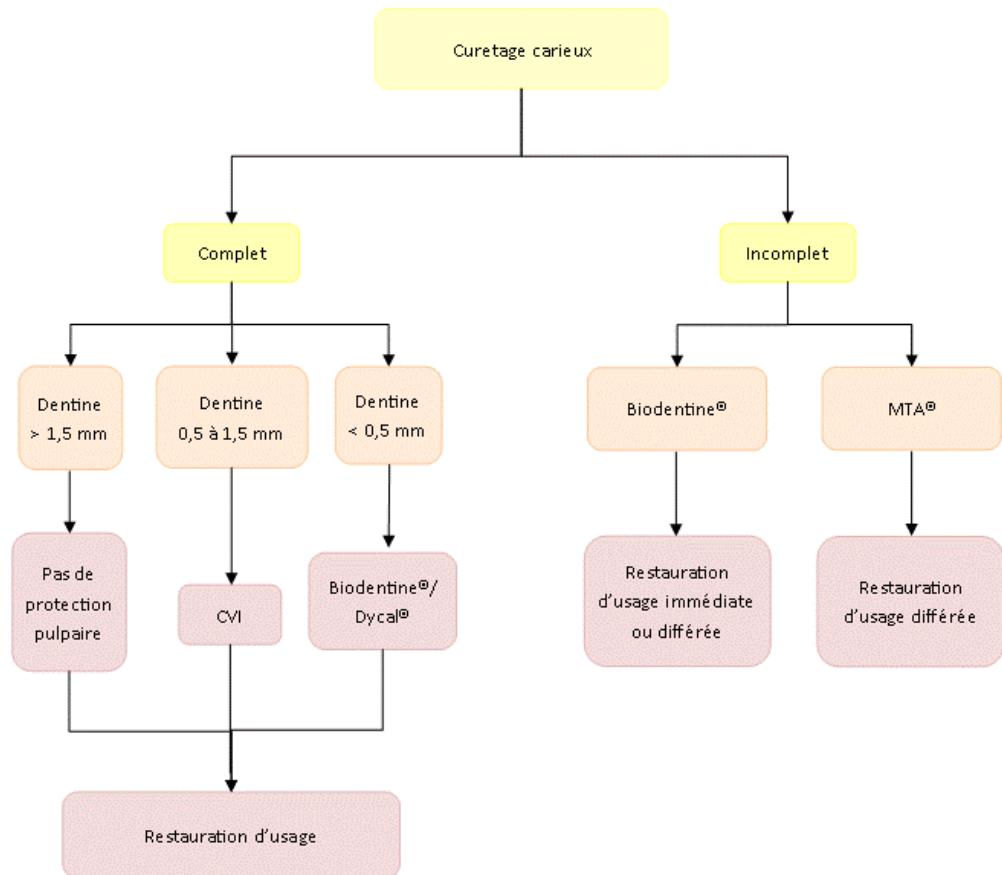


Figure 17 : arbre décisionnel relatif à la technique du coiffage pulpaire indirect

Coiffage pulpaire direct

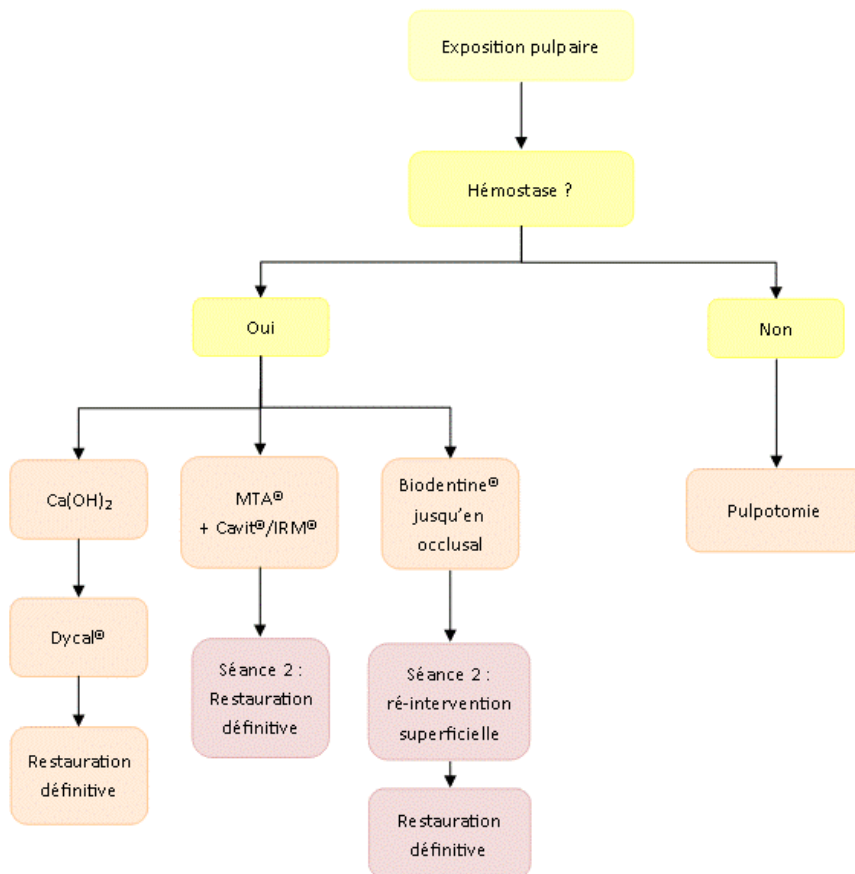


Figure 18 : arbre décisionnel relatif à la technique du coiffage pulpaire direct

Pulpotomie complète

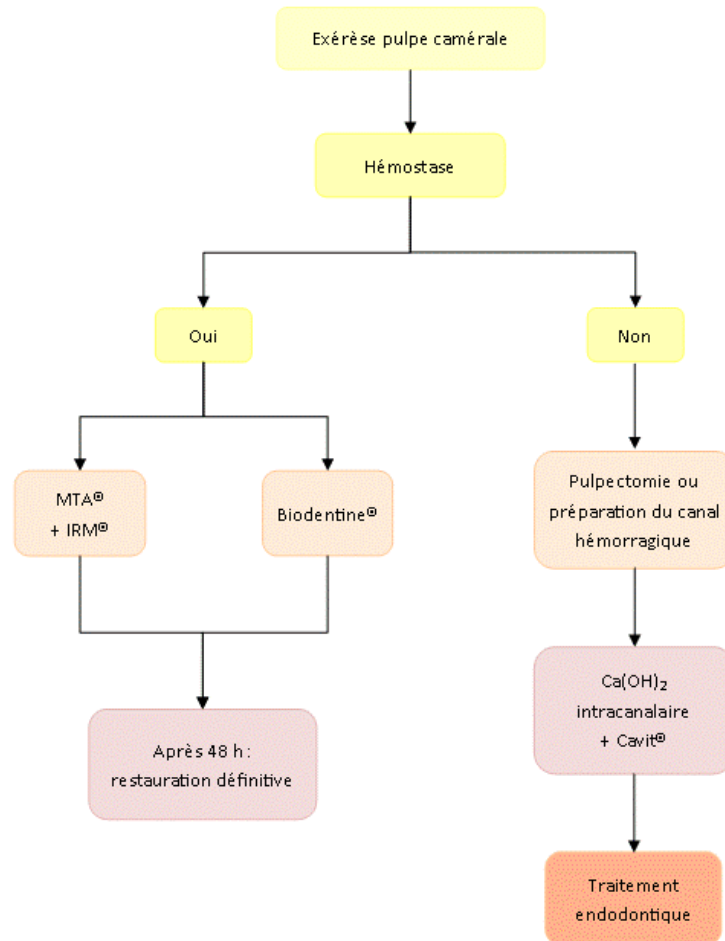


Figure 19 : arbre décisionnel relatif à la technique de la pulpotomie

Reconstitution pré-endodontique

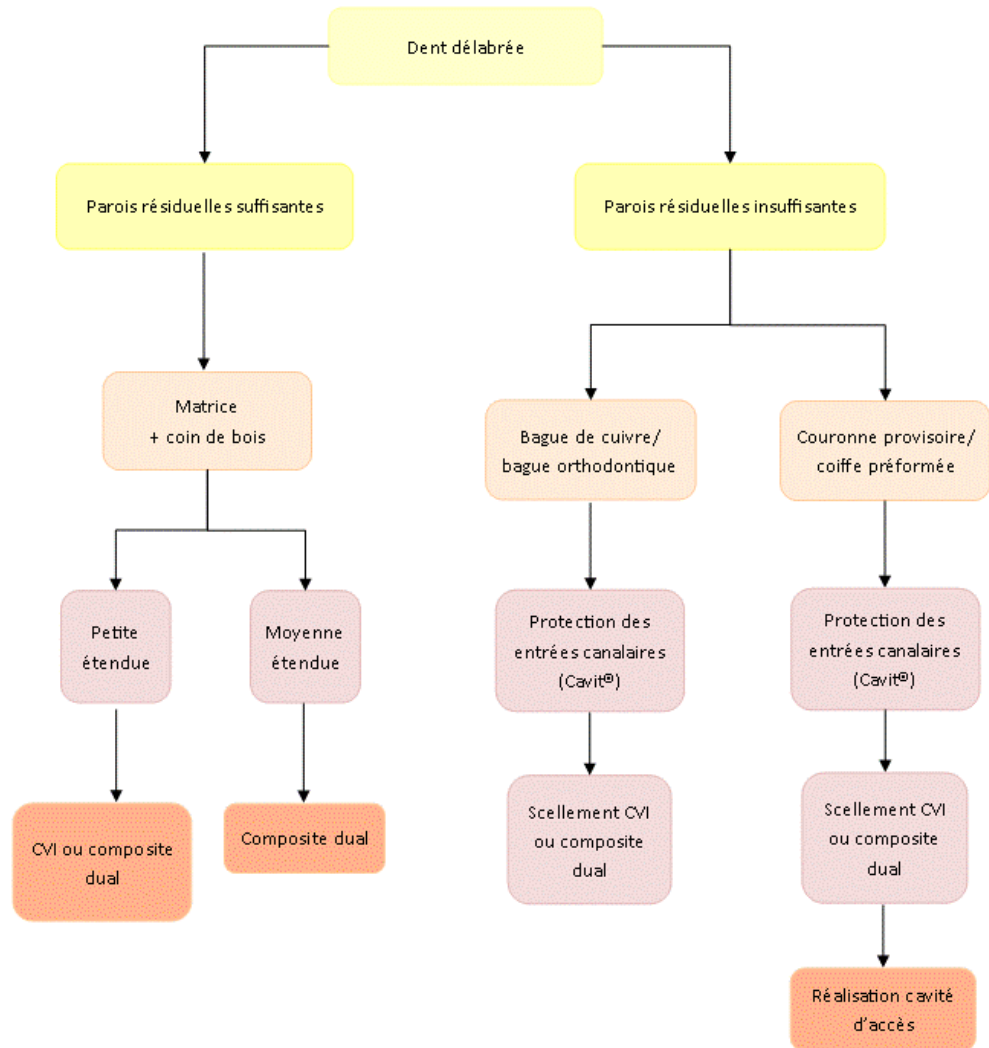


Figure 20 : arbre décisionnel relatif à la réalisation d'une reconstitution pré-endodontique

Reconstitution per-opérateur

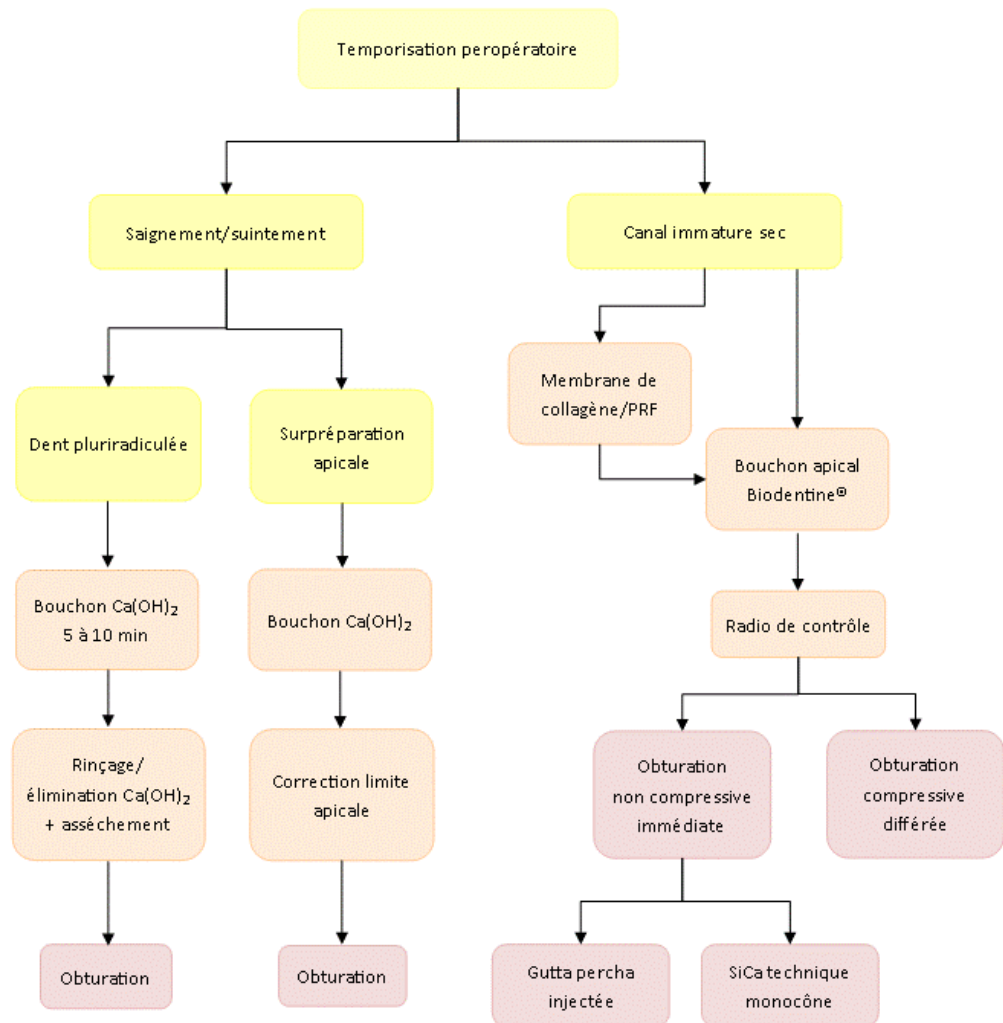


Figure 21 : arbre décisionnel relatif à la temporisation per-opérateur

Temps de travail insuffisant

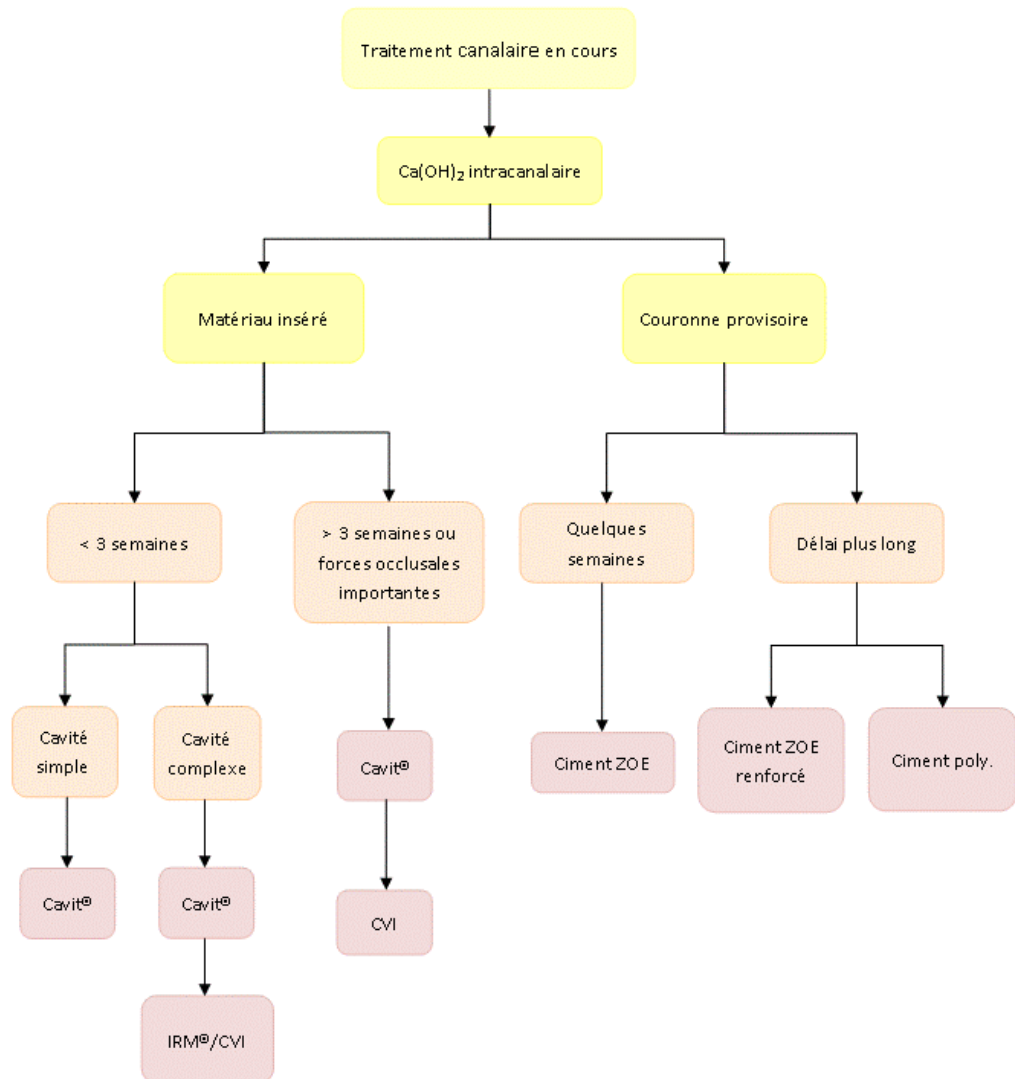


Figure 22 : arbre décisionnel relatif à la temporisation inter-séances dans le cas d'un temps de travail insuffisant

Non assèchement canalaire

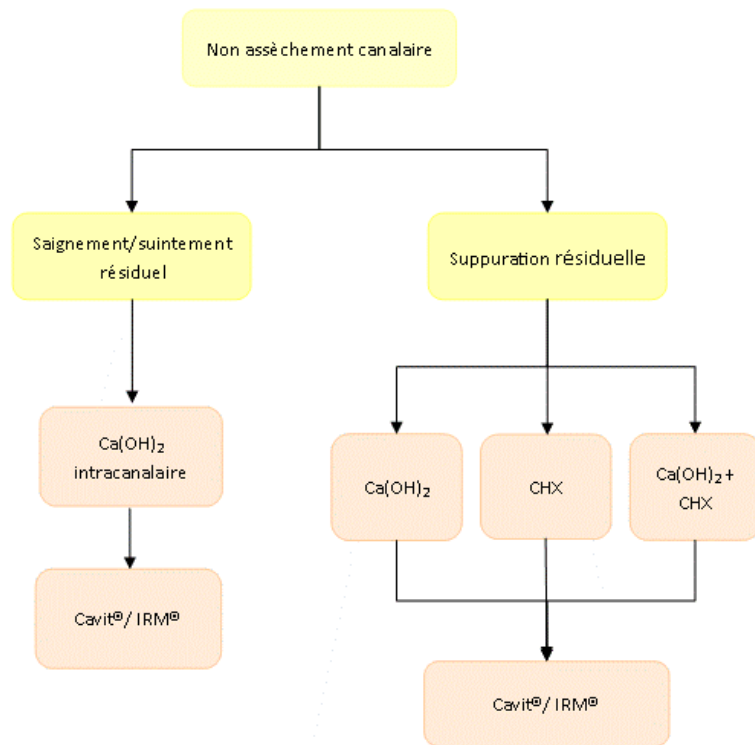
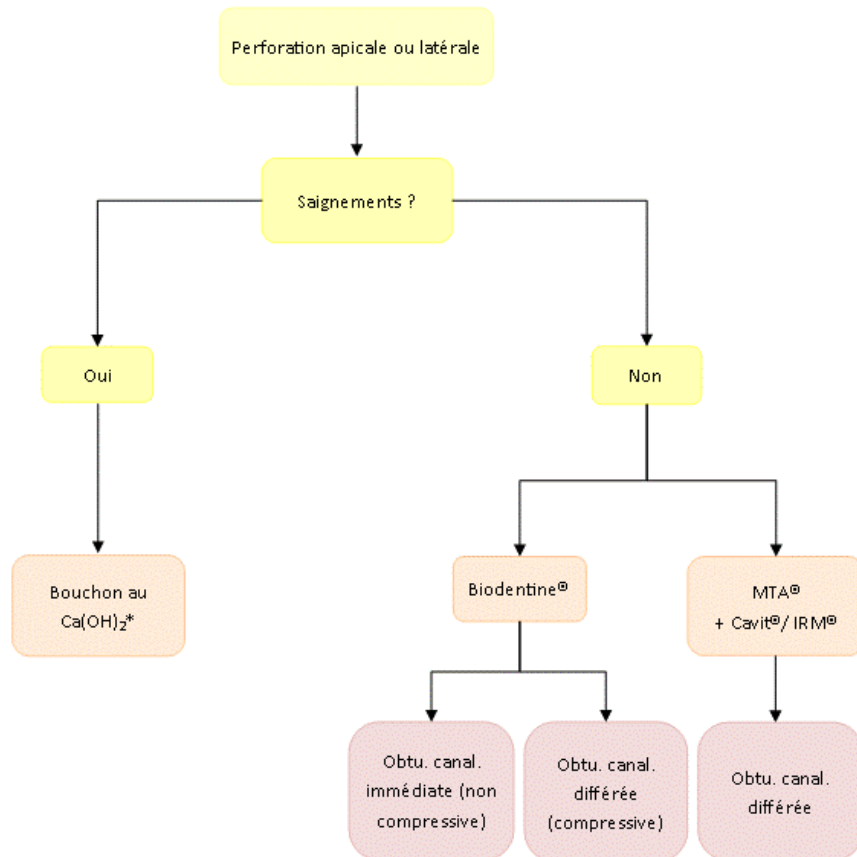


Figure 23 : arbre décisionnel relatif à la temporisation inter-séances dans le cas d'un non-assèchement canalaire

Gestion des perforations



* Lorsqu'il n'y a plus de saignement, se référer à la branche de droite

Figure 24 : arbre décisionnel relatif à la gestion des perforations

Apexification

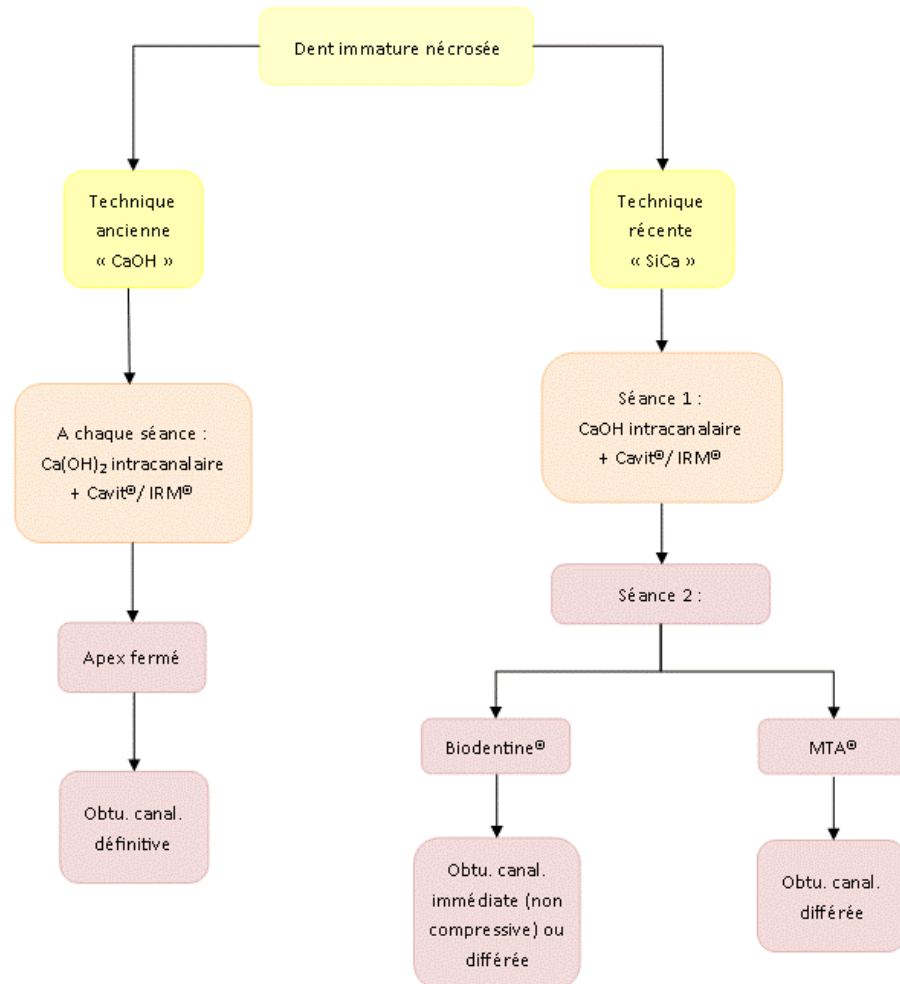
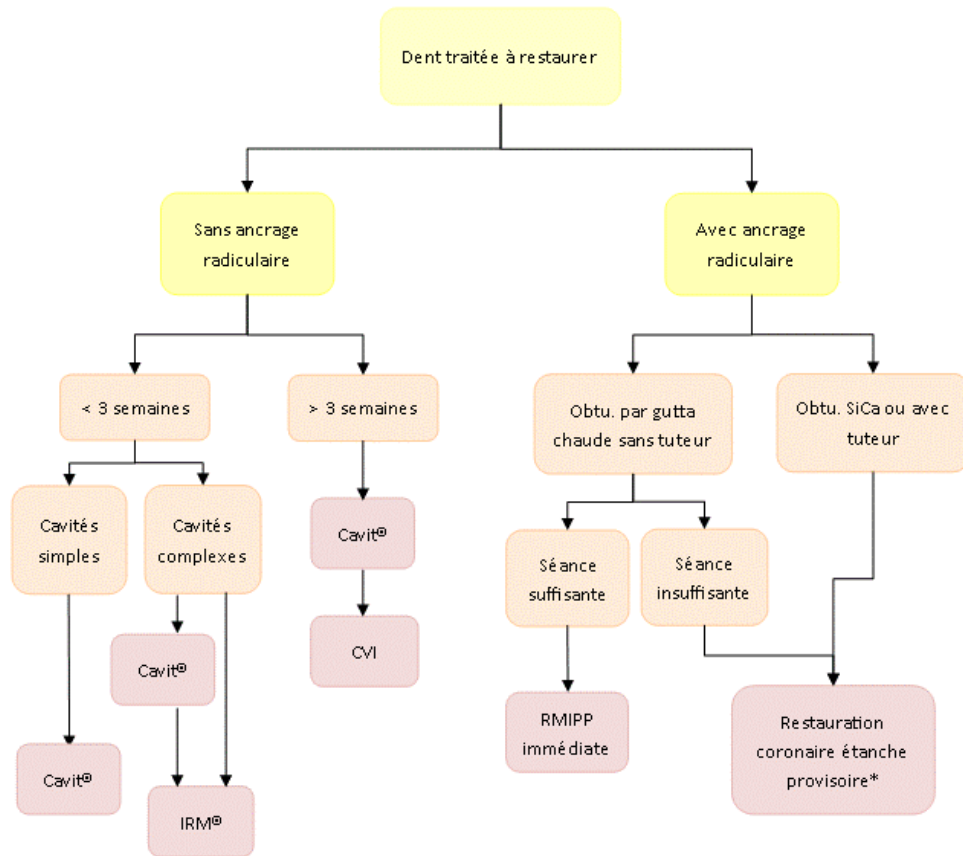


Figure 25 : arbre décisionnel relatif à la technique d'apexification

Temporisation endodontie-restauration



* Se référer à la branche concernant la reconstitution sans ancrage radiculaire

Figure 26 : arbre décisionnel relatif à la temporisation endodontie-restauration

Temporisation endo-prothétique

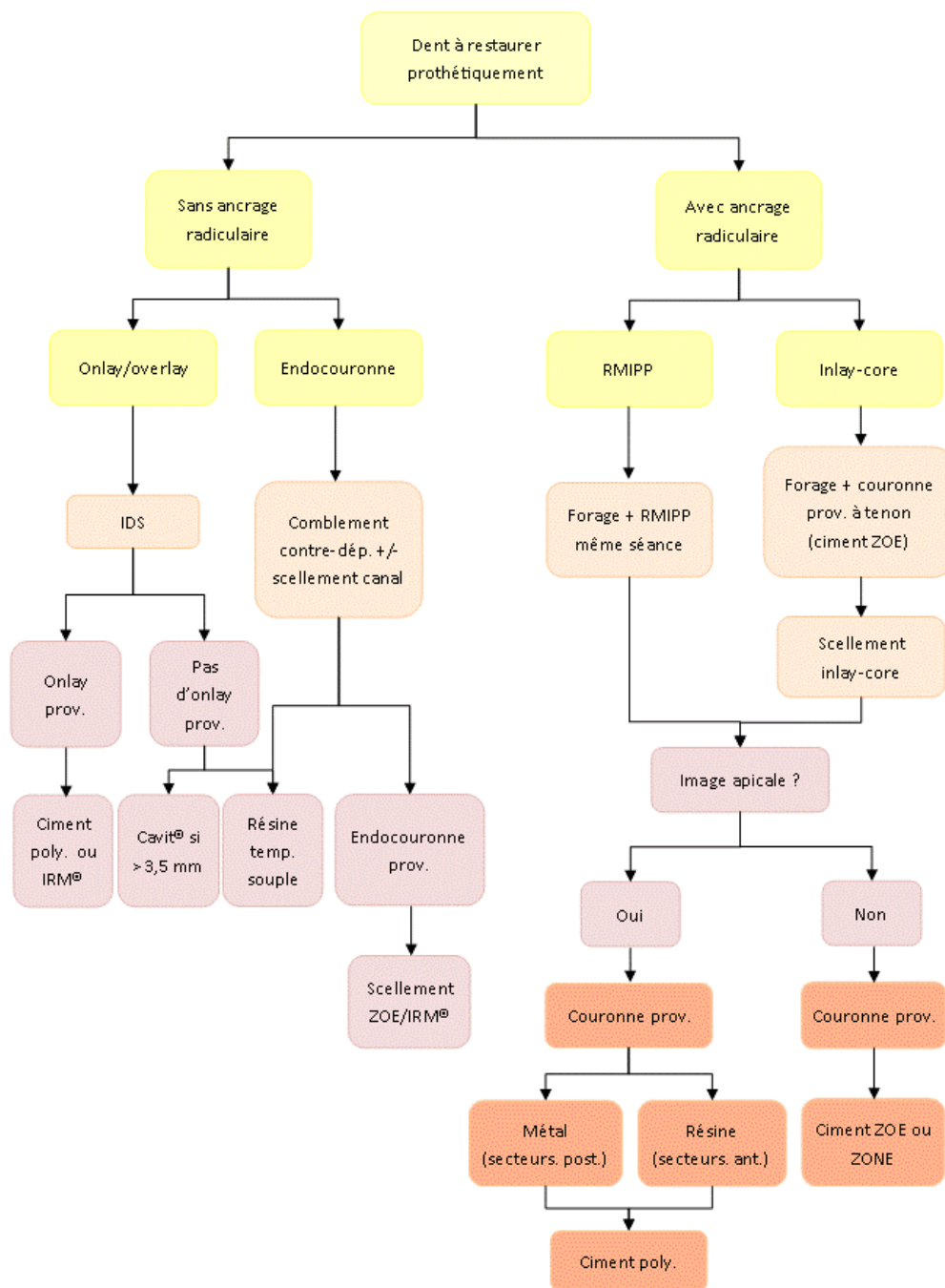


Figure 27 : arbre décisionnel relatif à la temporisation endo-prothétique

5.4 Propositions

Afin de limiter les biais de résultats précédemment expliqués, il pourrait être intéressant d'élaborer un protocole de recherche systématisé pour chaque situation clinique. Ainsi, l'ensemble des articles relatant d'un sujet précis seraient analysés ce qui permettrait de comparer plus précisément les matériaux.

En outre, une recherche plus poussée sur les matériaux est indispensable. Celle-ci doit être constamment réactualisée afin de permettre une pratique la plus exacte possible de l'art dentaire.

Conclusion

En endodontie, il est courant qu'une phase de temporisation soit utilisée pendant le traitement de la dent. Qu'il s'agisse d'essayer de conserver la vitalité pulpaire, de modifier l'environnement intracanal pendant le traitement canalaire, ou même après sa réalisation lorsqu'une restauration d'usage doit être effectuée, il existe une multitude de situations cliniques pour lesquelles un protocole précis est à appliquer. Cette étude a été menée afin d'éclairer le praticien face à l'abondance des matériaux disponibles sur le marché dans le cadre de situations cliniques diverses et variées.

Après redéfinition des objectifs de l'endodontie et les pathologies qui lui sont associées, ce travail a mis en lumière les objectifs et les buts de la temporisation. Il aborde la majorité des matériaux, explique leur composition et leur usage. Au travers de différents cas cliniques, des procédures distinctes sont établies concernant la prise en charge des pathologies. Afin de synthétiser les recommandations et aider à leur mémorisation, des fiches récapitulatives, sous forme d'arbres décisionnels, sont proposées ci-dessus. Il serait néanmoins intéressant de continuer l'analyse de la littérature en réalisant une revue de littérature systématique pour chaque situation clinique afin de répondre de façon précise à chaque question de recherche.

Ce travail permet de mettre en avant la nécessité d'anticipation. Afin d'effectuer les soins dans des conditions optimales, il est important de poser un diagnostic précis lors de la consultation. Pour cela, le praticien se base sur l'anamnèse du patient, les tests cliniques et les examens radiographiques. C'est le discernement dans l'analyse des contraintes et/ou des difficultés propres à chaque cas clinique qui permet de faire les bons choix thérapeutiques. Comprendre la situation puis prévoir le temps et les protocoles à mettre en place demande rigueur et expérience. Prévoir le temps optimal pour un acte endodontique et restaurateur reste difficile et une marge supplémentaire pour pallier les imprévus est une approche sage pour certaines situations cliniques.

Références bibliographiques

1. Abbott PV, Yu C. A clinical classification of the status of the pulp and the root canal system. *Aust Dent J.* 2007;52(1 Suppl):S17-31.
2. Aboudharam G, Fouque F, Pignoly C, Claisse A, Plazy A. Éclaircissement dentaire. /data/traites/od1/23-50440/ [Internet]. 7 mars 2008 [consulté le 1 avr 2019]; Disponible sur: <https://www.em-consulte.com/en/article/109371>
3. Aguilar P, Linsuwanont P. Vital pulp therapy in vital permanent teeth with cariously exposed pulp: a systematic review. *J Endod.* 2011;37(5):581-7.
4. Al Singh H, Kaur E, Markan S, et al. Biodentine: A Promising Dentin substitute. *Journal of Interdisciplinary Medicine and Dental Science.* 2014; 2(5):1-5
5. Al-Haddad A, Che Ab Aziz ZA. Bioceramic-Based Root Canal Sealers: A Review. *Int J Biomater.* 2016;2016:9753210.
6. Aly MM, Taha SEE-D, El Sayed MA, Youssef R, Omar HM. Clinical and radiographic evaluation of Biodentine and Mineral Trioxide Aggregate in revascularization of non-vital immature permanent anterior teeth (randomized clinical study). *Int J Paediatr Dent.* 2019;
7. American Association of endodontists. Glossary of Endodontic Terms 2016 [Internet]. [consulté le 21 août 2018]. Disponible sur: <http://www.nxtbook.com/nxtbooks/aae/endodonticglossary2016/index.php>
8. American Association of endodontists. Guide to Clinical Endodontics - 6th Edition [Internet]. [consulté le 21 août 2018]. Disponible sur: <http://www.nxtbook.com/nxtbooks/aae/guidetoclinicalendodontics6/index.php>
9. Andreasen JO, Farik B, Munksgaard EC. Long-term calcium hydroxide as a root canal dressing may increase risk of root fracture. *Dental Traumatology.* 2002;18(3):134-7.
10. Assif D, Gorfil C. Biomechanical considerations in restoring endodontically treated teeth. *The Journal of Prosthetic Dentistry.* 1994;71(6):565-7.
11. Assila L, Figuigui LE, Soualhi H, Yamani AE. La prothèse provisoire fixée par technique directe : une solution d'urgence. *Actual Odonto-Stomatol.* 2014;(269):10-5.
12. Attia DA, Farag AM, Afifi IK, Darrag AM. Antimicrobial effect of different intracanal medications on various microorganisms. *Tanta Dental Journal.* 2015;12(1):41-7.
13. Awawdeh L, Al-Qudah A, Hamouri H, Chakra RJ. Outcomes of Vital Pulp Therapy Using Mineral Trioxide Aggregate or Biodentine: A Prospective Randomized Clinical Trial. *J Endod.* 2018; 44(11):1603 - 1609
14. Awawdeh L, Hemaïdat K, Al-Omari W. Higher Maximal Occlusal Bite Force in Endodontically Treated Teeth Versus Vital Contralateral Counterparts. *Journal of Endodontics.* 2017;43(6):871-5.
15. Bajwa NK, Jingarwar MM, Pathak A. Single Visit Apexification Procedure of a Traumatically Injured Tooth with a Novel Bioinductive Material (Biodentine). *Int J Clin Pediatr Dent.* 2015;8(1):58-61.
16. Balto H. An Assessment of Microbial Coronal Leakage of Temporary Filling Materials in Endodontically Treated Teeth. *Journal of Endodontics.* 2002;28(11):762-4.
17. Basmadjian-Charles CL, Farge P, Bourgeois DM, Lebrun T. Factors influencing the long-term results of endodontic treatment: a review of the literature. *International Dental Journal.* 2002;52(2):81-6.
18. Baume LJ. Diagnosis of diseases of the pulp. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology.* 1970;29(1):102-16.
19. Beach CW, Calhoun JC, Bramwell JD, Hutter JW, Miller GA. Clinical evaluation of bacterial leakage of endodontic temporary filling materials. *J Endod.* 1996;22(9):459-

- 62.
20. Beach CW, Calhoun JC, Bramwell JD, Hutter JW, Miller GA. Clinical evaluation of bacterial leakage of endodontic temporary filling materials. *Journal of Endodontics*. 1996;22(9):459-62.
 21. Bergenholtz G, Spångberg L. Controversies in Endodontics. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine*. 2004;15(2):99-114.
 22. Brännström M. The hydrodynamic theory of dentinal pain: Sensation in preparations, caries, and the dentinal crack syndrome. *Journal of Endodontics*. 1986;12(10):453-7.
 23. Camilleri J. The chemical composition of mineral trioxide aggregate. *J Conserv Dent*. 2008;11(4):141-3.
 24. Camilleri J, Pitt Ford TR. Mineral trioxide aggregate: a review of the constituents and biological properties of the material. *Int Endod J*. 2006;39(10):747-54.
 25. Caplan DJ, Cai J, Yin G, White BA. Root Canal Filled Versus Non-Root Canal Filled Teeth: A Retrospective Comparison of Survival Times. *Journal of Public Health Dentistry*. 2005;65(2):90-6.
 26. Carvalho CN, de Oliveira Bauer JR, Loguercio AD, Reis A. Effect of ZOE temporary restoration on resin-dentin bond strength using different adhesive strategies. *J Esthet Restor Dent*. 2007;19(3):144-52; discussion 153.
 27. Cavit. 3M™ Cavit™ Matériaux d'obturation provisoire [Internet]. [consulté le 25 avr 2019]. Disponible sur: https://www.3mfrance.fr/3M/fr_FR/notre-societe-fr/tous-les-produits-3M/~/-cavit-3M-Cavit-Matériaux-d-obturation-provisoire/?N=5002385+8707795+8707799+8710720+8711017+8713393+3294736250&rt=rud
 28. Chong BS, Ford TRP. The role of intracanal medication in root canal treatment. *International Endodontic Journal*. 1992;25(2):97-106.
 29. Ciftçi A, Vardarli DA, Sönmez IS. Coronal microleakage of four endodontic temporary restorative materials: an in vitro study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2009;108(4):e67-70.
 30. Çiftçi A, Vardarli DA, Sönmez IŞ. Coronal microleakage of four endodontic temporary restorative materials: An in vitro study. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. 2009;108(4):e67-70.
 31. CISMef. HeTOP [Internet]. [consulté le 11 déc 2018]. Disponible sur: https://www.hetop.eu/hetop/#rr=MSH_D_001672&q=mat%C3%A9riau+biocompatible
 32. CISMef. Les ciments verres ionomères (CVI) [Internet]. CISMef. [consulté le 1 févr 2019]. Disponible sur: <http://www.chu-rouen.fr/page/ciment-ionomere-au-verre>
 33. Claisse-Crinquette A. Pharmacologie endodontique (III). Les médicaments temporaires. <http://www.em-premium.com/data/traites/mb/28-56351/> [Internet]. 23 déc 2016 [consulté le 19 janv 2019]; Disponible sur: <https://www-em-premium-com.ressources-electroniques.univ-lille.fr/article/1098208/resultatrecherche/1>
 34. Clot D, Lasfargues J-J, Boukpepsi T. Gérer l'exposition pulpaire sur une dent permanente. *Réalités Cliniques*. 2013;(4):265-76.
 35. Corralo DJ, Maltz M. Clinical and ultrastructural effects of different liners/restorative materials on deep carious dentin: a randomized clinical trial. *Caries Res*. 2013;47(3):243-50.
 36. Daniele L. Mineral Trioxide Aggregate (MTA) direct pulp capping: 10 years clinical results. *Giornale Italiano di Endodonzia*. 2017;31(1):48-57.
 37. Decup F, Marczak E, Soenen A, Guerrieri A. L'état "dent dépulpée" Données essentielles. *Réalités Cliniques*. 2011; 22(1):5 - 13.
 38. Dentsply. DYCAL Ivory - Fonds de cavité Hydroxyde de Calcium - Dentsply - DSM Dentaire [Internet]. [consulté le 25 avr 2019]. Disponible sur:

- <http://www.dsmdentaire.com/prod-10783.php>
39. Dentsply. ProRoot MTA Root Repair Material WHITE Refill Kit, 5 - 1 gm packets [Internet]. [consulté le 25 avr 2019]. Disponible sur: <https://www.dentsplysirona.com/en-ca/products/endodontics/obturation.dir.html/Endodontics/Obturation/Cements/ProRoot-MTA-Root-Repair-Material/p/TUL-PRCEMW/c/1000145.html>
 40. Dentsply Sirona. IRM CEMENT PACKUNG 40G/15ML [Internet]. [consulté le 25 avr 2019]. Disponible sur: [https://www.dentsplysirona.com/fr-fr/produits/restauration/direct-restoration/intermediate-restoratives.dir.html/Restoration/Restoration-Direct/Obturation-temporaire/Oxyde-de-Zinc-Eug% c3% a9nol/IRM/p/DET-60661500/c/1000795.html](https://www.dentsplysirona.com/fr-fr/produits/restauration/direct-restoration/intermediate-restoratives.dir.html/Restoration/Restoration-Direct/Obturation-temporaire/Oxyde-de-Zinc-Eug%c3%a9nol/IRM/p/DET-60661500/c/1000795.html)
 41. Deveaux E. Etanchéité de quatre ciments d'obturation temporaire à usage endodontique : étude bactériologique in-vitro [Internet] [thesis]. Lille 2; 1993 [consulté le 25 avr 2019]. Disponible sur: <http://www.theses.fr/1993LIL2C003>
 42. Deveaux E, Hildelbert P, Neut C, Boniface B, Romond C. Bacterial microleakage of Cavit, IRM, and TERM. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*. 1992;74(5):634-43.
 43. Deveaux E, Hildelbert P, Neut C, Romond C. Bacterial microleakage of Cavit, IRM, TERM, and Fermit: A 21-day in vitro study. *Journal of Endodontics*. 1999;25(10):653-9.
 44. D'inciau E, Soenen A, Pia JP. Restaurer sans tenon et sans couronne les dents postérieures ? [Internet]. LEFILDENTAIRE magazine dentaire. 2014 [consulté le 30 mars 2019]. Disponible sur: <https://www.lefildentaire.com/articles/clinique/esthetique/restaurer-sans-tenon-et-sans-couronne-les-dents-posterieures/>
 45. Dong WK, Chudler EH, Martin RF. Physiological properties of intradental mechanoreceptors. *Brain Research*. 1985;334(2):389-95.
 46. Duncan HF, Galler KM, Tomson PL, Simon S, El-Karim I, Kundzina R, et al. European Society of Endodontology position statement: Management of deep caries and the exposed pulp. *Int Endod J*. 2019;
 47. El Arrouf, Sakout, Abdallaoui. Protection pulpo-dentinaire et adhésion : évolution des concepts biologiques et implications cliniques en pratique quotidienne. *Revue Odonto Stomatologique*. 2010;39(2):112-33.
 48. Eleazer PD, Eleazer KR. Flare-up rate in pulpally necrotic molars in one-visit versus two-visit endodontic treatment. *J Endod*. 1998;24(9):614-6.
 49. Eliyas S, Jalili J, Martin N. Restoration of the root canal treated tooth. *Br Dent J*. 2015;218(2):53-62.
 50. Eskandarizadeh A, Shahpasandzadeh MH, Shahpasandzadeh M, Torabi M, Parirokh M. A comparative study on dental pulp response to calcium hydroxide, white and grey mineral trioxide aggregate as pulp capping agents. *J Conserv Dent*. 2011;14(4):351-5.
 51. FACD KMHDPF, FACD LHBD. Cohen's Pathways of the Pulp Expert Consult. 11^e éd. St. Louis, Missouri: Mosby; 2015. 928 p.
 52. Forsten L. Fluoride release and uptake by glass-ionomers and related materials and its clinical effect. *Biomaterials*. 1998;19(6):503-8.
 53. Fuss Z, Tsesis I, Lin S. Root resorption – diagnosis, classification and treatment choices based on stimulation factors. *Dental Traumatology*. 2003;19(4):175-82.
 54. Galler KM, Krastl G, Simon S, Van Gorp G, Meschi N, Vahedi B, et al. European Society of Endodontology position statement: Revitalization procedures. *Int Endod J*. 2016;49(8):717-23.
 55. Gandolfi MG, Siboni F, Botero T, Bossù M, Riccitiello F, Prati C. Calcium silicate and

- calcium hydroxide materials for pulp capping: biointeractivity, porosity, solubility and bioactivity of current formulations. *J Appl Biomater Funct Mater*. 2015;13(1):43-60.
56. GC europe. Caviton - Matériau d'obturation provisoire [Internet]. GC EUROPE. [consulté le 25 avr 2019]. Disponible sur: <https://gceurope.be/products/caviton/>
 57. GC europe. Fuji II LC - Verre ionomère photopolymérisable pour restaurations [Internet]. GC EUROPE. [consulté le 25 avr 2019]. Disponible sur: <https://www.gceurope.com/products/fuji2lc/>
 58. Gillen BM, Looney SW, Gu L-S, Loushine BA, Weller RN, Loushine RJ, et al. Impact of the quality of coronal restoration versus the quality of root canal fillings on success of root canal treatment: a systematic review and meta-analysis. *J Endod*. 2011;37(7):895-902.
 59. Goldberg M, Smith AJ. Cells and Extracellular Matrices of Dentin and Pulp: A Biological Basis for Repair and Tissue Engineering. *Crit Rev Oral Biol Med*. 2004;15.
 60. Gomes BPFA, Souza SFC, Ferraz CCR, Teixeira FB, Zaia AA, Valdrighi L, et al. Effectiveness of 2% chlorhexidine gel and calcium hydroxide against *Enterococcus faecalis* in bovine root dentine in vitro. *Int Endod J*. 2003;36(4):267-75.
 61. Grégoire G, Bayle M-A, Guyonnet J-J. Évaluation de la biocompatibilité des dispositifs médicaux utilisés en odontologie : moyens et protocoles d'expérimentation. //www.em-premium.com/data/traites/mb/28-49117/ [Internet]. 23 déc 2016 [consulté le 12 déc 2018]; Disponible sur: <http://www.em-premium.com.ressources-electroniques.univ-lille.fr/article/1098215/resultatrecherche/4>
 62. Grégoire G, Populer P, Magne S, Guyonnet J-J. Biocompatibilité des matériaux utilisés en odontologie. //www.em-premium.com/data/traites/mb/28-53449/ [Internet]. 22 déc 2016 [consulté le 12 déc 2018]; Disponible sur: <http://www.em-premium.com.ressources-electroniques.univ-lille.fr/article/1097942/resultatrecherche/1>
 63. Hajtó J, Marinescu C, Ahlers O. Inlays et onlays en céramique : critères de succès. *Réalités Cliniques*. 2013;24(4):99 - 104.
 64. HAS. Haute Autorité de Santé - Traitement endodontique [Internet]. [consulté le 24 avr 2019]. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/portail/jcms/c_736791/fr/traitement-endodontique
 65. Hayashi M, Fujitani M, Yamaki C, Momoi Y. Ways of enhancing pulp preservation by stepwise excavation--a systematic review. *J Dent*. 2011;39(2):95-107.
 66. Helfer AR, Melnick S, Schilder H. Determination of the moisture content of vital and pulpless teeth. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*. 1972;34(4):661-70.
 67. Hill EE, Lott J. A clinically focused discussion of luting materials. *Australian Dental Journal*. 2011;56(s1):67-76.
 68. Hilton T. Keys to Clinical Success with Pulp Capping: A Review of the Literature. *Oper Dent*. 2009;34(5):615-25.
 69. Hülsmann M, Heckendorff M, Lennon Á. Chelating agents in root canal treatment: mode of action and indications for their use. *International Endodontic Journal*. 2003;36(12):810-30.
 70. Hume WR. The pharmacologic and toxicological properties of zinc oxide-eugenol. *J Am Dent Assoc*. 1986;113(5):789-91.
 71. Inamoto K, Kojima K, Nagamatsu K, Hamaguchi A, Nakata K, Nakamura H. A Survey of the Incidence of Single-Visit Endodontics. *Journal of Endodontics*. 2002;28(5):371-4.
 72. Islam I, Chng HK, Yap AUJ. Comparison of the physical and mechanical properties of MTA and portland cement. *J Endod*. 2006;32(3):193-7.
 73. Jensen AL, Abbott PV, Castro Salgado J. Interim and temporary restoration of teeth during endodontic treatment. *Aust Dent J*. 2007;52(1 Suppl):S83-99.

74. Jontell M, Gunraj MN, Bergenholtz G. Immunocompetent Cells in the Normal Dental Pulp. *J Dent Res.* 1987;66(6):1149-53.
75. Jontell M, Okiji T, Dahlgren U, Bergenholtz G. Immune Defense Mechanisms of the Dental Pulp. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine.* 1998;9(2):179-200.
76. Jung C, Kim S, Sun T, Cho Y-B, Song M. Pulp-dentin regeneration: current approaches and challenges. *J Tissue Eng.* 2019;10:2041731418819263.
77. Kanjevac T, Milovanovic M, Volarevic V, Lukic ML, Arsenijevic N, Markovic D, et al. Cytotoxic effects of glass ionomer cements on human dental pulp stem cells correlate with fluoride release. *Med Chem.* 2012;8(1):40-5.
78. Kerr. LifeTM [Internet]. Kerr Dental. 2016 [consulté le 28 avr 2019]. Disponible sur: <https://www.kerrdental.com/fr-fr/produits-de-restauration-dentaire/life-fond-de-cavite>
79. Khayat A, Lee SJ, Torabinejad M. Human saliva penetration of coronally unsealed obturated root canals. *J Endod.* 1993;19(9):458-61.
80. Khayat B. Chirurgie endodontique ou endodontie chirurgicale ? *L'information dentaire.* 2006;26:1523 - 1527
81. Khetarpal A, Chaudhary S, Talwar S, Verma M. Endodontic management of open apex using Biodentine as a novel apical matrix. *Indian J Dent Res.* 2014;25(4):513-6.
82. Kidd E a. M. How « clean » must a cavity be before restoration? *Caries Res.* 2004;38(3):305-13.
83. Kim SK, Kim YO. Influence of calcium hydroxide intracanal medication on apical seal. *Int Endod J.* 2002;35(7):623-8.
84. Koch T, Peutzfeldt A, Malinovskii V, Flury S, Häner R, Lussi A. Temporary zinc oxide-eugenol cement: eugenol quantity in dentin and bond strength of resin composite. *Eur J Oral Sci.* 2013;121(4):363-9.
85. Lambrianidis T, Margelos J, Beltes P. Removal efficiency of calcium hydroxide dressing from the root canal. *J Endod.* 1999;25(2):85-8.
86. Larousse É. Définitions : iatrogène - Dictionnaire de français Larousse [Internet]. [consulté le 11 déc 2018]. Disponible sur: <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/iatrog%C3%A8ne/41322>
87. Larousse É. Définitions : étanche - Dictionnaire de français Larousse [Internet]. [consulté le 11 déc 2018]. Disponible sur: <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/%C3%A9tanche/31300>
88. Linde A, Goldberg M. Dentinogenesis ,
Dentinogenesis. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine.* 1993;4(5):679-728.
89. Lohbauer U. Dental Glass Ionomer Cements as Permanent Filling Materials? — Properties, Limitations Future Trends. *Materials (Basel).* 2009;3(1):76-96.
90. Manfredi M, Figini L, Gagliani M, Lodi G. Single versus multiple visits for endodontic treatment of permanent teeth. *Cochrane Database Syst Rev.* 2016;12:CD005296.
91. Mannocci F, Cowie J. Restoration of endodontically treated teeth. *Br Dent J.* 2014;216(6):341-6.
92. Margerit J, Felenc S, Dupuis V. Les matériaux de l'interface dento-prothétique: Scellement et collage. *Rueil-Malmaison: CDP; 2011. 173 p.*
93. Markowitz K, Moynihan M, Liu M, Kim S. Biologic properties of eugenol and zinc oxide-eugenol: A clinically oriented review. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology.* 1992;73(6):729-37.
94. Marques MS, Wesselink PR, Shemesh H. Outcome of Direct Pulp Capping with Mineral Trioxide Aggregate: A Prospective Study. *J Endod.* 2015;41(7):1026-31.
95. Mash LK, Beninger CK, Bullard JT, Staffanou RS. Leakage of various types of luting agents. *The Journal of Prosthetic Dentistry.* 1991;66(6):763-6.

96. Masson E. Pathologie endodontique. Ensemble pulpo-dentinaire. Clinique pulpaire. [Internet]. EM-Consulte. [consulté le 5 févr 2019]. Disponible sur: <https://www.em-consulte.com/article/20361/pathologie-endodontique-ensemble-pulpo-dentinaire>
97. Masson E. Ciments verres ionomères et matériaux hybrides [Internet]. EM-Consulte. [consulté le 30 janv 2019]. Disponible sur: <https://www.em-consulte.com/article/20480/ciments-verres-ionomeres-et-materiaux-hybrides>
98. MicroMega. Réparations canalaires et endodontiques MM-MTA [Internet]. Micro-Mega SA. [consulté le 28 avr 2019]. Disponible sur: <https://micro-mega.com/obturation/mm-mta>
99. Naoum HJ, Chandler NP. Temporization for endodontics. *Int Endod J.* 2002;35(12):964-78.
100. Nasreen F, Guptha ABS, Srinivasan R, Chandrappa MM, Bhandary S, Junjanna P. An in vitro evaluation of effect of eugenol exposure time on the shear bond strength of two-step and one-step self-etching adhesives to dentin. *J Conserv Dent.* 2014;17(3):280-4.
101. Ng Y-L, Mann V, Rahbaran S, Lewsey J, Gulabivala K. Outcome of primary root canal treatment: systematic review of the literature – Part 2. Influence of clinical factors. *International Endodontic Journal.* 2008;41(1):6-31.
102. Nicholson J, Czarnecka B. 9 - Materials for pulp capping. In: Nicholson J, Czarnecka B, éditeurs. *Materials for the Direct Restoration of Teeth* [Internet]. Woodhead Publishing; 2016 [consulté le 30 janv 2019].p.177-96. Disponible sur: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978008100491300009X>
103. Nicholson J, Czarnecka B. 6 - Conventional glass-ionomer cements. In: Nicholson J, Czarnecka B, éditeurs. *Materials for the Direct Restoration of Teeth* [Internet]. Woodhead Publishing; 2016 [consulté le 30 janv 2019].p.107-36. Disponible sur: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081004913000064>
104. Nicholson J, Czarnecka B. 7 - Resin-modified glass-ionomer cements. In: Nicholson J, Czarnecka B, éditeurs. *Materials for the Direct Restoration of Teeth* [Internet]. Woodhead Publishing; 2016 [consulté le 1 févr 2019].p.137-59. Disponible sur: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081004913000076>
105. Noguera AP, McDonald NJ. A comparative in vitro coronal microleakage study of new endodontic restorative materials. *Journal of Endodontics.* 1990;16(11):523-7.
106. Olgart L, Gazelius B, Sundström F. Intradental nerve activity and jaw-opening reflex in response to mechanical deformation of cat teeth. *Acta Physiol Scand.* 1988;133(3):399-406.
107. Oliveira EF, Carminatti G, Fontanella V, Maltz M. The monitoring of deep caries lesions after incomplete dentine caries removal: results after 14-18 months. *Clin Oral Investig.* 2006;10(2):134-9.
108. Opal S, Garg S, Dhindsa A, Taluja T. Minimally invasive clinical approach in indirect pulp therapy and healing of deep carious lesions. *J Clin Pediatr Dent.* 2014;38(3):185-92.
109. Pane ES, Palamara JEA, Messer HH. Stainless steel bands in endodontics: effects on cuspal flexure and fracture resistance. *International Endodontic Journal.* 2002;35(5):467-71.
110. Papa J, Cain C, Messer HH. Moisture content of vital vs endodontically treated teeth. *Dental Traumatology.* 1994;10(2):91-3.
111. Paredes-Vieyra J, Enriquez FJJ. Success Rate of Single- versus Two-visit Root Canal Treatment of Teeth with Apical Periodontitis: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Endodontics.* 2012;38(9):1164-9.

112. Parirokh M, Torabinejad M. Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review--Part III: Clinical applications, drawbacks, and mechanism of action. *J Endod.* 2010;36(3):400-13.
113. Parirokh M, Torabinejad M, Dummer PMH. Mineral trioxide aggregate and other bioactive endodontic cements: an updated overview - part I: vital pulp therapy. *Int Endod J.* 2018;51(2):177-205.
114. Pashley DH, Carvalho RM. Dentine permeability and dentine adhesion. *Journal of Dentistry.* 1997;25(5):355-72.
115. Pekruhn RB. Single-Visit Endodontic Therapy: A Preliminary Clinical Study. *The Journal of the American Dental Association.* 1981;103(6):875-7.
116. Peters LB, Wesselink PR. Periapical healing of endodontically treated teeth in one and two visits obturated in the presence or absence of detectable microorganisms. *International endodontic journal.* 2002;35(8):660-667.
117. Petrou MA, Alhamoui FA, Welk A, Altarabulsi MB, Alkilzy M, H Splieth C. A randomized clinical trial on the use of medical Portland cement, MTA and calcium hydroxide in indirect pulp treatment. *Clin Oral Investig.* 2014;18(5):1383-9.
118. Pieper CM, Zanchi CH, Rodrigues-Junior SA, Moraes RR, Pontes LS, Bueno M. Sealing ability, water sorption, solubility and toothbrushing abrasion resistance of temporary filling materials. *Int Endod J.* 2009;42(10):893-9.
119. Poggio C, Ceci M, Beltrami R, Dagna A, Colombo M, Chiesa M. Biocompatibility of a new pulp capping cement. *Ann Stomatol (Roma).* 2014;5(2):69-76.
120. Qanungo A, Aras MA, Chitre V, Mysore A, Amin B, Daswani SR. Immediate dentin sealing for indirect bonded restorations. *Journal of Prosthodontic Research.* 2016;60(4):240-9.
121. Randow K, Glantz PO. On cantilever loading of vital and non-vital teeth. An experimental clinical study. *Acta Odontol Scand.* 1986;44(5):271-7.
122. Reeh ES, Messer HH, Douglas WH. Reduction in tooth stiffness as a result of endodontic and restorative procedures. *Journal of Endodontics.* 1989;15(11):512-6.
123. Ricucci D, Loghin S, Siqueira JF. Correlation between clinical and histologic pulp diagnoses. *J Endod.* 2014;40(12):1932-9.
124. Romieu G, Bertrand C, Panayotov I, Romieu O, Levallois B. Conduite à tenir face à une urgence endodontique. *Actualités Odonto-Stomatologiques.* 2012;(259):231-44.
125. Saatchi M, Shokraneh A, Navaei H, Maracy MR, Shojaei H. Antibacterial effect of calcium hydroxide combined with chlorhexidine on *Enterococcus faecalis*: a systematic review and meta-analysis. *J Appl Oral Sci.* 2014;22(5):356-65.
126. Saleh AA, Ettman WM. Effect of endodontic irrigation solutions on microhardness of root canal dentine. *Journal of Dentistry.* 1999;27(1):43-6.
127. Sathorn C, Parashos P, Messer HH. Effectiveness of single- versus multiple-visit endodontic treatment of teeth with apical periodontitis: a systematic review and meta-analysis. *Int Endod J.* 2005;38(6):347-55.
128. Scheller-Sheridan C. *Basic Guide to Dental Materials.* 1 edition. Chichester, West Sussex; Ames, Iowa: Wiley-Blackwell; 2010. 288 p.
129. Septodont. Biodentine™ - RESTAURATION DENTINAIRE - Septodont [Internet]. [consulté le 22 janv 2019]. Disponible sur: <https://www.septodont-fr.be/produits/biodentine>
130. Serfaty OE Charles Toledano, Francesco Paladino et René. *Restaurations tout-céramique sur dents vitales - Editions CdP: Prévenir et traiter les sensibilités postopératoires.* Initiatives Sante; 172 p.
131. Sharma S, Sharma V, Passi D, Srivastava D, Grovel S, Dutta SR. Large Periapical or

- Cystic Lesions in Association with Roots Having Open Apices Managed Nonsurgically Using 1-step Apexification Based on Platelet-rich Fibrin Matrix and Biodentine Apical Barrier: A Case Series. *J Endod.* 2018;44(1):179-85.
132. Shen Q, Sun J, Wu J, Liu C, Chen F. An in vitro investigation of the mechanical–chemical and biological properties of calcium phosphate/calcium silicate/bismutite cement for dental pulp capping. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials.* 2010;94B(1):141-8.
 133. Sidhu SK, Nicholson JW. A Review of Glass-Ionomer Cements for Clinical Dentistry. *J Funct Biomater.* 2016;7(3),16.
 134. Silva JPL, Queiroz DM, Azevedo LH, Leal LC, Rodrigues JL, Lima AF, et al. Effect of eugenol exposure time and post-removal delay on the bond strength of a self-etching adhesive to dentin. *Oper Dent.* 2011;36(1):66-71.
 135. Simon S. L'endodontie de A à Z: Traitement et retraitement. Avec des vidéos en complément sur le web ! CDP; 2018. 293 p.
 136. Simon S, Perard M, Zanini M, Smith AJ, Charpentier E, Djole SX, et al. Should pulp chamber pulpotomy be seen as a permanent treatment? Some preliminary thoughts. *Int Endod J.* 2013;46(1):79-87.
 137. Simon S, Pertot PM Willy. *Endodontie - Editions CdP. Initiatives Sante; 2015. 1347 p.*
 138. Sinha N, Patil S, Dodwad PK, Patil AC, Singh B. Evaluation of antimicrobial efficacy of calcium hydroxide paste, chlorhexidine gel, and a combination of both as intracanal medicament: An in vivo comparative study. *J Conserv Dent.* 2013;16(1):65-70.
 139. Siqueira JF. Strategies to treat infected root canals. *CDA.* 2001;29(12):825–838.
 140. Société Française d'Endodontie. Guide patient [Internet]. SFE Endodontie. 2017 [consulté le 24 avr 2019]. Disponible sur: <https://sfe-endo.fr/guide-differentes-options-de-traitement-endodontique/>
 141. Staffoli S, Plotino G, Nunez Torrijos BG, Grande NM, Bossù M, Gambarini G, et al. Regenerative Endodontic Procedures Using Contemporary Endodontic Materials. *Materials (Basel).* 2019;12(6),908.
 142. Swarup SJ, Rao A, Boaz K, Srikant N, Shenoy R. Pulpal response to nano hydroxyapatite, mineral trioxide aggregate and calcium hydroxide when used as a direct pulp capping agent: an in vivo study. *J Clin Pediatr Dent.* 2014;38(3):201-6.
 143. Taha NA, Abdelkhalder SZ. Outcome of full pulpotomy using Biodentine in adult patients with symptoms indicative of irreversible pulpitis. *Int Endod J.* 2018;51(8):819-28.
 144. Taha NA, Abdulkhalder SZ. Full Pulpotomy with Biodentine in Symptomatic Young Permanent Teeth with Carious Exposure. *Journal of Endodontics.* 2018;44(6):932-7.
 145. Taha NA, Khazali MA. Partial Pulpotomy in Mature Permanent Teeth with Clinical Signs Indicative of Irreversible Pulpitis: A Randomized Clinical Trial. *J Endod.* 2017;43(9):1417-21.
 146. Torabinejad M, Walton RE, Fouad A, Lévy G. *Endodontie: Principes et pratique.* Elsevier Masson; 2016. 512 p.
 147. Torabinejad M, White DJ. Tooth filling material and method of use [Internet]. US5415547A, 1995 [consulté le 17 janv 2019]. Disponible sur: <https://patents.google.com/patent/US5415547A/en>
 148. Uesrichai N, Nirunsittirat A, Chuveera P, Srisuwan T, Sastraruji T, Chompu-Inwai P. Partial pulpotomy with two bioactive cements in permanent teeth of 6- to 18-year-old patients with signs and symptoms indicative of irreversible pulpitis: a noninferiority randomized controlled trial. *Int Endod J.* 2019; 52(6):749 -759.
 149. Vera J, Siqueira JF, Ricucci D, Loghin S, Fernández N, Flores B, et al. One- versus two-visit endodontic treatment of teeth with apical periodontitis: a histobacteriologic

- study. *J Endod.* 2012;38(8):1040-52.
150. Vidal K, Martin G, Lozano O, Salas M, Trigueros J, Aguilar G. Apical Closure in Apexification: A Review and Case Report of Apexification Treatment of an Immature Permanent Tooth with Biodentine. *J Endod.* 2016;42(5):730-4.
 151. Viennot S, Malquarti G, Guiu C, Pirel C. Prothèse fixée de temporisation. //www.em-premium.com/data/traites/mb/28-53476/ [Internet]. 22 déc 2016 [consulté le 12 déc 2018]; Disponible sur: <http://www.em-premium.com.ressources-electroniques.univ-lille.fr/article/1097996/resultatrecherche/3>
 152. VOCO. Calcimol LC - Fonds de cavité | VOCO GmbH [Internet]. [consulté le 25 avr 2019]. Disponible sur: <https://www.voco.dental/fr/produits/restaurations-directes/fonds-de-cavite/calcimol-lc.aspx>
 153. VOCO. Clip F - Provisoires | VOCO GmbH [Internet]. [consulté le 25 avr 2019]. Disponible sur: <https://www.voco.dental/fr/produits/restaurations-indirectes/provisoires/clip-f>
 154. Walter B. Prothèse fixée: Approche clinique. Malakoff: CDP; 2017. 327 p.
 155. Walton R, Fouad A. Endodontic interappointment flare-Ups: A prospective study of incidence and related factors. *Journal of Endodontics.* 1992;18(4):172-7.
 156. Webber RT, Rio CE del, Brady JM, Segall RO. Sealing quality of a temporary filling material. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology.* 1978;46(1):123-30.
 157. Widerman FH, Eames WB, Serene TP. The physical and biologic properties of Cavit. *J Am Dent Assoc.* 1971;82(2):378-82.
 158. Willershausen B, Willershausen I, Ross A, Velikonja S, Kasaj A, Blettner M. Retrospective study on direct pulp capping with calcium hydroxide. *Quintessence Int.* 2011;42(2):165-71.
 159. Zanini M, Meyer E, Simon S. Pulp Inflammation Diagnosis from Clinical to Inflammatory Mediators: A Systematic Review. *J Endod.* 2017;43(7):1033-51.

Table des illustrations

Figure 1 : anatomie de la dent [140].....	16
Figure 2 : tubules dentinaires visibles au microscope électronique X2000 [80].....	16
Figure 3 : coupe de dent centrée sur la dentine réactionnelle [52]	17
Figure 4 : anatomie pulpaire [137]	17
Figure 5 : polype pulpaire [139].....	20
Figure 6 : perte de résistance d'une dent selon la perte de tissu [115].....	28
Figure 7: présentation du Dycal® (Dentsply) et du Life® (Kerr) [38], [78]	36
Figure 8 : présentation commerciale su Calcimol LC [149]	37
Figure 9 : conditionnement du Cavit® et du Caviton® [56], [27]	38
Figure 10 : différentes présentations de MTA® [39], [98].....	39
Figure 11: composition chimique de la poudre du MTA® [72]	40
Figure 12 : conditionnement de la Biodentine® [128].....	40
Figure 13 : composition chimique de la Biodentine® [122]	40
Figure 14 : présentation commerciale de l'IRM® (Dentsply) [39]	42
Figure 15 : conditionnement du Fuji II® LC [57].....	46
Figure 16 : présentation commerciale du Clip-F® (VOCO) [152]	48
Figure 17 : arbre décisionnel relatif à la technique du coiffage pulpaire indirect.....	72
Figure 18 : arbre décisionnel relatif à la technique du coiffage pulpaire direct	73
Figure 19 : arbre décisionnel relatif à la technique de la pulpotomie.....	74
Figure 20 : arbre décisionnel relatif à la réalisation d'une reconstitution pré-endodontique ...	75
Figure 21 : arbre décisionnel relatif à la temporisation per-opératoire	76
Figure 22 : arbre décisionnel relatif à la temporisation inter-séances dans le cas d'un temps de travail insuffisant	77
Figure 23 : arbre décisionnel relatif à la temporisation inter-séances dans le cas d'un non-assèchement canalaire.....	78
Figure 24 : arbre décisionnel relatif à la gestion des perforations.....	79
Figure 25 : arbre décisionnel relatif à la technique d'apexification.....	80
Figure 26 : arbre décisionnel relatif à la temporisation endodontie-restauration	81
Figure 27 : arbre décisionnel relatif à la temporisation endo-prothétique.....	82

Annexes

Annexe 1 : tableau récapitulatif des principaux ciments à base de silicate de calcium disponibles sur le marché

Tableau 2 : les principaux ciments à base de silicate de calcium disponibles sur le marché [51], [5], [113]

Nom commercial	Nom du laboratoire	Utilisation clinique							Temps de prise
		Obturation canalaire	Coiffage pulpaire	Pulpotomie	Perforation	Apexification	Obturation à rétro	Résorption interne	
Totalfill BC Sealer	FKG	×							?
iRoot SP	Innovative BioCeramix	×							4h
Ortho MTA	BioMTA	×	×		×	×	×	×	324 min
DiaRoot Bioaggregate	DiaDent group	×							4 à 72 h
EndoSeal	Maruchi	×			×				12,31 min
Endo-CPM	Egeo	×							22-27 min
MTA Plus (white/gray)		×							128 min (MTA white) 15 min à 3 h (MTA gray)
MTA Fillapex	Angelus	×							19,3 min
Endosequence BC Sealer	Brasseler	×							4 h
NeoMTA Plus	Avalon BioMed	×	×	×	×	×	×	×	1h (forme putty) 5h (forme fluide)
QuickSet2	Avalon BioMed	×							?
ProRoot Endo Sealer	Dentsply	×							?
BioRoot RCS	Septodont	×							<4 h
ProRoot MTA (gray/white)	Dentsply		×	×	×	×	×	×	70 à 74 min (prise initiale) 210 à 320 min (prise finale)
MTA Angelus	Angelus		×	×	×	×	×	×	8,5 min (prise initiale) 130 à 230 min (prise finale)
Endosequence RRM	Brasseler		×		×	×	×	×	2 h (>1h)
Bioaggregate	Innovative BioCeramix		×		×				240 min
iRoot BP, iRoot BP+, iRoot BP FS	Innovative BioCeramix				×				5 à 7 jours 1h (FS)
Retro MTA	BioMTA		×	×	×	×	×		150 à 180 s (prise initiale) 360 min (prise finale)
Endo Cem MTA	Maruchi		×		×	×	×	×	4,5 à 15min
MM MTA	MicroMega		×		×	×	×		20 min (selon le fabricant) 120 à 150 min (selon les études)
TechBiosealer	Isasan		×			×			55 à 77min
TheraCal LC	Bisico		×						Photopolymérisable
Well-Root	Vericom	×							?
Biodentine	Septodont		×	×	×	×	×	×	12 min
Totalfill BC RRM (prise rapide/ prise normale)	FKG		×		×	×	×	×	20 min (prise rapide) 2 h (prise normale)

Annexe 2 : Lexique des arbres décisionnels

- Ca(OH)_2 : hydroxyde de calcium
- Canal. : canalaire
- Cavit® : matériaux à base de sulfate de calcium apparentés au Cavit®
- Ciment poly. : ciment polycarboxylique
- Compo. : composite
- Contre-dep. : contre-dépouille
- Dycal® : hydroxyde de calcium sous forme base/catalyseur apparenté au Dycal® ou au Life®
- IDS : scellement dentinaire immédiat
- IRM® : matériaux à base de ciment ZOE renforcé apparentés à l'IRM®
- MTA® : matériaux à base de silicate de calcium apparentés au MTA® ou ayant le même usage clinique. La mise en place du MTA® se fait en milieu légèrement humide, elle implique donc le positionnement d'un coton humide ainsi qu'une séance supplémentaire.
- Obt. : obturation
- Prov. : provisoire
- Résine temp. : résine temporaire
- SiCa : sous cette appellation est regroupée la famille des ciments à base de silicate de calcium

Domaines : Endodontie

Mots clés Rameau: Endodontie clinique ; Matériaux dentaires ; Recommandations pour la pratique clinique

Mots clés FMeSH: Endodontie ; Matériaux biomédicaux et dentaires

Mot clé Libre : Temporisation

Résumé de la thèse :

Lors de sa pratique clinique, le chirurgien-dentiste est régulièrement amené à soigner des dents présentant des dommages pulpaire qui nécessitent une thérapeutique adaptée. Le traitement de ces pathologies doit être réalisé en un minimum de séances. Cependant, lorsqu'il est impossible d'effectuer le soin complet en un seul rendez-vous, une phase de temporisation est nécessaire. Pour ce faire, il existe de nombreux matériaux disponibles sur le marché. Chacun possède une préparation spécifique et des indications cliniques précises.

Cet ouvrage a pour but de guider le praticien dans le choix des matériaux en fonction de la situation clinique. La majorité des familles de matériaux disponibles sur le marché est ici abordée. Après description de leurs propriétés, leur mode d'utilisation est expliqué. Pour plus de clarté, une synthèse sous forme d'arbres décisionnels est proposée en annexe.

Dans cet écrit, seul le cas de la temporisation dans le cadre des traitements endodontiques des dents définitives présentant des pathologies pulpaire n'étant pas liées à un traumatisme dentaire récent a été abordé.

JURY :

Président : Pr DEVEAUX Etienne

Asseseurs : Dr GAMBIEZ Alain

Dr ROBBERECHT Lieven

Dr BEAURAIN Maxime