

Année 2023

2023 TOU3 3021

T H È S E

POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

présentée et soutenue publiquement

par

Maëlle DE SOUZA

Le 14 avril 2023

**LES CARIES PROFONDES, DU DIAGNOSTIC À LA PRISE
EN CHARGE PAR LES THÉRAPEUTIQUES DE
PRÉSERVATION DE LA VITALITÉ PULPAIRE**

Directeur de thèse : Dr Marie GURGEL – GEORGELIN

JURY

Président : Pr Franck DIEMER
1^{er} assesseur : Pr Paul MONSARRAT
2^{ème} assesseur : Dr Marie GURGEL – GEORGELIN
3^{ème} assesseur : Dr Paul PAGES
Membre invité : Dr Christelle DUBOSC

**Faculté de santé
Département d'Odontologie**

➔ **DIRECTION**

Doyen de la Faculté de Santé

M. Philippe POMAR

Vice Doyenne de la Faculté de Santé

Directrice du Département d'Odontologie

Mme Sara DALICIEUX-LAURENCIN

Directeurs Adjointes

Mme Sarah COUSTY

M. Florent DESTRUHAUT

Directrice Administrative

Mme Muriel VERDAGUER

Présidente du Comité Scientifique

Mme Cathy NABET

➔ **HONORARIAT**

Doyens honoraires

M. Jean LAGARRIGUE +

M. Jean-Philippe LODTER +

M. Gérard PALOUDIER

M. Michel SIXOU

M. Henri SOULET

Chargés de mission

M. Karim NASR (*Innovation Pédagogique*)

M. Olivier HAMEL (*Maillage Territorial*)

M. Franck DIEMER (*Formation Continue*)

M. Philippe KEMOUN (*Stratégie Immobilière*)

M. Paul MONSARRAT (*Intelligence Artificielle*)

➔ **PERSONNEL ENSEIGNANT**

Section CNU 56 : Développement, Croissance et Prévention

56.01 ODONTOLOGIE PEDIATRIQUE et ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE (Mme Isabelle BAILLEUL-FORESTIER)

ODONTOLOGIE PEDIATRIQUE

Professeurs d'Université : Mme Isabelle BAILLEUL-FORESTIER, M. Frédéric VAYSSE

Maîtres de Conférences : Mme Emmanuelle NOIRRI-ESCLASSAN, Mme Marie- Cécile VALERA, M. Mathieu MARTY

Assistants : Mme Anne GICQUEL, M. Robin BENETAH

Adjoints d'Enseignement : M. Sébastien DOMINE, M. Mathieu TESTE, M. Daniel BANDON

ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE

Maîtres de Conférences : M. Pascal BARON, M. Maxime ROTENBERG

Assistants : M. Vincent VIDAL-ROSSET, Mme Carole VARGAS JOULIA

Adjoints d'Enseignement : Mme. Isabelle ARAGON

56.02 PRÉVENTION, ÉPIDÉMIOLOGIE, ÉCONOMIE DE LA SANTÉ, ODONTOLOGIE LÉGALE (Mme NABET Catherine)

Professeurs d'Université : M. Michel SIXOU, Mme Catherine NABET, M. Olivier HAMEL, M. Jean-Noël VERGNES

Assistante : Mme Géromine FOURNIER

Adjoints d'Enseignement : M. Alain DURAND, Mlle. Sacha BARON, M. Romain LAGARD, M. Jean-Philippe GATIGNOL

Mme Carole KANJ, Mme Mylène VINCENT-BERTHOUMIEUX, M. Christophe BEDOS

Section CNU 57 : Chirurgie Orale, Parodontologie, Biologie Orale

57.01 CHIRURGIE ORALE, PARODONTOLOGIE, BIOLOGIE ORALE (M. Philippe KEMOUN)

PARODONTOLOGIE

Maîtres de Conférences : Mme Sara LAURENCIN- DALICIEUX, Mme Alexia VINEL, Mme. Charlotte THOMAS

Assistants : M. Joffrey DURAN, M. Antoine AL HALABI

Adjoints d'Enseignement : M. Loïc CALVO, M. Christophe LAFFORGUE, M. Antoine SANCIER, M. Ronan BARRE ,
Mme Myriam KADDECH, M. Matthieu RIMBERT,

CHIRURGIE ORALE

Professeur d'Université : Mme Sarah COUSTY
Maîtres de Conférences : M. Philippe CAMPAN, M. Bruno COURTOIS
Assistants : M. Clément CAMBRONNE, M. Antoine DUBUC
Adjoints d'Enseignement : M. Gabriel FAUXPOINT, M. Arnaud L'HOMME, Mme Marie-Pierre LABADIE, M. Luc RAYNALDY,
M. Jérôme SALEFRANQUE,

BIOLOGIE ORALE

Professeurs d'Université : M. Philippe KEMOUN, M. Vincent BLASCO-BAQUE
Maîtres de Conférences : M. Pierre-Pascal POULET, M. Matthieu MINTY
Assistants : Mme Chiara CECCHIN-ALBERTONI, M. Maxime LUIS, Mme Valentine BAYLET GALY-CASSIT,
Mme Sylvie LE
Adjoints d'Enseignement : M. Mathieu FRANC, M. Hugo BARRAGUE, M. Olivier DENY, Mme Inessa TIMOFEEVA-JOSSINET

Section CNU 58 : Réhabilitation Orale

58.01 DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE, PROTHESES, FONCTIONS-DYSFONCTIONS, IMAGERIE, BIOMATERIAUX (M. Franck DIEMER)

DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE

Professeur d'Université : M. Franck DIEMER
Maîtres de Conférences : M. Philippe GUIGNES, Mme Marie GURGEL-GEORGELIN, Mme Delphine MARET-COMTESSE
Assistants : Mme Sophie BARRERE, Mme. Manon SAUCOURT, M. Ludovic PELLETIER
M. Nicolas ALAUX, M. Vincent SUAREZ, M. Lorris BOIVIN
Adjoints d'Enseignement : M. Eric BALGUERIE, M. Jean- Philippe MALLET, M. Rami HAMDAN, M. Romain DUCASSE,
Mme Lucie RAPP

PROTHÈSES

Professeurs d'Université : M. Philippe POMAR, M. Florent DESTRUHAUT,
Maîtres de Conférences : M. Rémi ESCLASSAN, M. Antoine GALIBOURG,
Assistants : Mme Margaux BROUTIN, Mme Coralie BATAILLE, Mme Mathilde HOURSET, Mme Constance CUNY
M. Anthony LEBON
Adjoints d'Enseignement : M. Christophe GHRENASSIA, Mme Marie-Hélène LACOSTE-FERRE, M. Olivier LE GAC, M. Jean-
Claude COMBADAZOU, M. Bertrand ARCAUTE, M. Fabien LEMAGNER, M. Eric SOLYOM,
M. Michel KNAFO, M. Alexandre HEGO DEVEZA, M. Victor EMONET-DENAND, M. Thierry DENIS,
M. Thibault YAGUE

FONCTIONS-DYSFONCTIONS, IMAGERIE, BIOMATERIAUX

Professeur d'Université : Mr. Paul MONSARRAT
Maîtres de Conférences : Mme Sabine JONNIOT, M. Karim NASR, M. Thibault CANCEILL
Assistants : M. Julien DELRIEU, M. Paul PAGES,
Adjoints d'Enseignement : Mme Sylvie MAGNE, M. Thierry VERGÉ, M. Damien OSTROWSKI

Mise à jour pour le 03 janvier 2023

REMERCIEMENTS

À Papa,

À Maman,

À Alais,

À Jessie,

À Mathis,

À Kélyan.

À notre président de thèse,

Monsieur le Professeur Franck DIEMER

- Professeur des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- D.E.A. de Pédagogie (Éducation, Formation et Insertion) Toulouse Le Mirail,
- Docteur de l'Université Paul Sabatier,
- Responsable du comité scientifique de la Société française d'Endodontie,
- Responsable du Diplôme Inter-Universitaire d'Endodontie à Toulouse,
- Responsable du Diplôme Universitaire d'hypnose,
- Co-responsable du Diplôme Inter-Universitaire d'Odontologie du Sport,
- Lauréat de l'Université Paul Sabatier

Vous nous faites le grand honneur de présider ce jury et nous vous en remercions chaleureusement. Nous saluons votre rigueur, votre volonté et votre capacité à transmettre vos connaissances. Nous vous remercions pour votre encadrement clinique. Veuillez recevoir l'expression de notre plus profond respect.

À notre membre du jury,

Monsieur le Professeur Paul MONSARRAT

- Professeur des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie,
- Lauréat de la faculté de Médecine Rangueil et de Chirurgie Dentaire de l'Université Paul Sabatier,
- Docteur de l'Université Paul Sabatier – Spécialité Physiopathologie,
- Diplôme Universitaire d'Imagerie 3D maxillo-faciale,
- Diplôme Universitaire de Recherche Clinique en Odontologie,
- Habilitation à Diriger les Recherches

Vous nous faites l'honneur de faire partie de ce jury de thèse. Nous vous sommes reconnaissante de la qualité remarquable de vos enseignements pendant notre cursus ainsi que de votre grand sens clinique. Nous vous témoignons au travers de ce travail notre profonde reconnaissance et notre plus profond respect.

À notre directrice de thèse,

Madame le Docteur Marie GURGEL – GEORGELIN

- Maître de Conférences des Universités, Praticien Hospitalier d’Odontologie,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- Maîtrise des Sciences Biologiques et Médicales,
- D.E.A. MASS Lyon III,
- Ancienne Interne des Hôpitaux,
- Doctorat d’Université – Université d’Auvergne – Clermont

Nous vous remercions chaleureusement d’avoir accepté de diriger ce travail. Nous avons grandement apprécié travailler à vos côtés et sommes reconnaissante pour tous vos conseils. Nous retiendrons votre aptitude à partager vos connaissances, votre grand sens clinique et votre enthousiasme. Veuillez trouver dans ce travail, notre profonde gratitude et notre profond respect.

À notre membre du jury,

Monsieur le Docteur Paul PAGES

- Assistant Hospitalo-Universitaire d'Odontologie,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- Master 1 Sciences, Technologies, Santé Mention Biologie – Santé,
- CES Biomatériaux en Odontologie Mention Caractérisation et Évolution,
- Lauréat de l'Université Paul Sabatier,
- Diplôme Universitaire Prothèse complète supra-implantaire implanto-portée et muco-portée

Nous voudrions vous adresser notre reconnaissance d'avoir accepté de siéger dans ce jury de thèse. Votre bienveillance et vos précieux conseils lors de nos vacations à l'Hôtel-Dieu resteront un formidable souvenir et nous ont permis de progresser grandement. Veuillez trouver dans cette thèse, un témoignage de notre profonde reconnaissance.

À notre membre du jury,

Madame le Docteur Christelle DUBOSC

- Ancienne Assistante Hospitalo-Universitaire d'Odontologie,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- Maitrise Sciences, Technologies, Santé Mention Bio-santé,
- Lauréate de l'Université Paul Sabatier

Nous vous sommes très reconnaissante de votre présence dans ce jury de thèse. Nous vous remercions affectueusement pour ces mois passés à vos côtés. Nous garderons en mémoire votre bienveillance et la pédagogie dont vous avez fait preuve à notre égard. Veuillez trouver ici le témoignage de notre profond respect et nos sentiments les plus sincères.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	16
I. RAPPELS SUR L'ORGANE DENTAIRE	17
I.1 LA CELLULE ODONTOBLASTIQUE	18
I.1.1 Anatomie des odontoblastes	18
I.1.2 Rôle des odontoblastes	19
I.1.3 La nociception	19
I.2 LA PULPE DENTAIRE	19
I.2.1 Les fonctions du tissu pulpaire	20
I.2.2 La vascularisation pulpaire	20
I.2.3 L'innervation pulpaire	21
I.3 LA DENTINE	22
I.3.1 Physiologie dentinaire	22
I.3.2 Les tubulis dentinaires	23
I.3.3 Les différentes couches principales de la dentine	23
I.3.3.1 Formation de la dentine primaire	23
I.3.3.2 Production de dentine au cours de la vie de la dent	24
I.3.3.2.1 La dentine physiologique / secondaire	25
I.3.3.2.2 La dentine tertiaire	25
I.3.3.2.2.1 La dentine réactionnelle	25
I.3.3.2.2.2 La dentine réparatrice	26
II. LA CARIE DENTAIRE	27
II.1 PREVALENCE	27
II.2 CONSEQUENCES GENERALES	27
II.3 ETIOLOGIES	28
II.4 LE BIOFILM DENTAIRE	29
II.5 LES DIFFERENTES COUCHES DE DENTINE DANS LE PROCESSUS CARIEUX	29
II.5.1 La dentine infectée	29
II.5.2 La dentine affectée	30
II.6 LA CARIE PROFONDE	30
II.7 LES BACTERIES CARIOGENES	31
II.8 LA REPOSE PULPAIRE	31
III. EVALUER CLINIQUEMENT LA SANTE PULPAIRE	33

III.1	LES ETATS PHYSIOLOGIQUES ET PATHOLOGIQUES DE LA PULPE	33
III.1.1	<i>La pulpe saine</i>	33
III.1.2	<i>La pulpite aiguë</i>	34
III.1.2.1	La pulpite aiguë réversible	34
III.1.2.2	La pulpite aiguë irréversible	34
III.1.3	<i>La pulpite chronique</i>	35
III.2	HISTOLOGIE COMPARATIVE	36
IV.	LES MATERIAUX DE COIFFAGE PULPAIRE	39
IV.1	L'HYDROXYDE DE CALCIUM	40
IV.1.1	<i>Propriétés</i>	40
IV.1.2	<i>Avantages</i>	40
IV.1.3	<i>Limites</i>	40
IV.2	LE MINERAL TRIOXIDE AGGREGATE.....	41
IV.2.1	<i>Indications</i>	41
IV.2.2	<i>Composition</i>	41
IV.2.3	<i>Propriétés</i>	41
IV.2.4	<i>Avantages</i>	41
IV.2.5	<i>Limites</i>	42
IV.2.6	<i>Le NeoMTA Plus</i>	43
IV.2.6.1	Propriétés	43
IV.2.7	<i>Le MTA Repair High Plasticity</i>	44
IV.2.7.1	Propriétés	44
IV.3	LA BIODENTINE	45
IV.3.1	<i>Indications</i>	46
IV.3.2	<i>Propriétés</i>	46
IV.3.3	<i>Avantages</i>	47
IV.3.4	<i>Limites</i>	47
IV.4	LE THERACAL.....	47
IV.4.1	<i>Propriétés</i>	48
IV.4.2	<i>Avantages</i>	48
IV.4.3	<i>Limites</i>	49
IV.5	TABLEAU RECAPITULATIF CONCERNANT LE MTA, LA BIODENTINE ET LE THERACAL	50
IV.6	LES BIOCERAMIQUES PRE-MIXEES	51
IV.6.1	<i>Propriétés</i>	52

IV.6.2	<i>Indications</i>	52
IV.6.3	<i>Matériaux disponibles</i>	52
IV.6.4	<i>Travaux et études</i>	53
IV.7	QUID DU FLUORURE DE DIAMINE D'ARGENT ?	54
IV.7.1	<i>Propriétés</i>	54
IV.7.2	<i>Avantages</i>	55
IV.7.3	<i>Limites</i>	55
IV.7.4	<i>Effet du Fluorure de Diamine d'Argent sur le complexe dentino-pulpaire</i> 56	
V.	LES TECHNIQUES DE PRESERVATION DE LA VITALITE PULPAIRE ...	58
V.1	PRINCIPE.....	58
V.2	INDICATIONS	58
V.3	OBJECTIFS	59
V.4	LES TECHNIQUES D'EVICION CARIEUSE CONSERVATRICES	59
V.4.1.1	La Stepwise Excavation ou Excavation par étapes	61
V.4.1.1.1	Définition.....	61
V.4.1.1.2	Matériaux de coiffage utilisés lors de la période de temporisation	62
V.4.1.1.3	Evolution du biofilm lors du processus de Stepwise Excavation	62
V.4.1.1.4	Avantages	63
V.4.1.1.5	Limites	63
V.4.1.2	La Partial Caries Removal ou Excavation partielle de la carie	64
V.4.1.2.1	Principe.....	64
V.4.1.2.2	Avantages	65
V.4.1.2.3	Limites	65
V.5	LE COIFFAGE PULPAIRE INDIRECT	65
V.5.1	<i>Avantages</i>	65
V.5.2	<i>Limites</i>	65
V.6	ETUDES SUR LES TECHNIQUES D'EVICION CARIEUSE CONSERVATRICES ET LE COIFFAGE PULPAIRE INDIRECT	66
V.6.1	<i>Les techniques d'éviction conservatrices</i>	66
V.6.2	<i>Le coiffage pulpaire indirect</i>	67
V.7	LE COIFFAGE PULPAIRE DIRECT	67
V.7.1	<i>Avantages</i>	67
V.7.2	<i>Limites</i>	68
V.8	LES PULPOTOMIES	68
V.8.1	<i>La pulpotomie partielle</i>	68
V.8.1.1	Indications	69

<i>V.8.2</i>	<i>La pulpotomie camérale</i>	69
V.8.2.1	Indications	70
V.8.2.2	Avantages	70
V.8.2.3	Limites.....	71
V.9	ÉTUDES SUR LE COIFFAGE PULPAIRE DIRECT ET LES PULPOTOMIES.....	71
<i>V.9.1</i>	<i>Le coiffage pulpaire direct</i>	71
<i>V.9.2</i>	<i>La pulpotomie partielle</i>	73
<i>V.9.3</i>	<i>La pulpotomie camérale</i>	73
V.10	BILAN.....	76
CONCLUSION		77
LISTE DES FIGURES		78
LISTE DES TABLEAUX		80
BIBLIOGRAPHIE		81
ANNEXES		87
RÉSUMÉ EN ANGLAIS		95

LISTE DES ABRÉVIATIONS

Ca(OH)₂ : Hydroxyde de Calcium

CVI : Ciment de Verre Ionomère

CVIMAR : Ciment de Verre Ionomère Modifié par Adjonction de Résine

DPSC : Dental Pulp Stem Cells (Cellules Souches de la Pulpe Dentaire)

ERRM : EndoSequence Root Repair Material

HE : Hématoxyline et Éosine

ICDAS : International Caries Detection and Assessment System (Système International de Détection et d'Évaluation des lésions Carieuses)

MTA : Mineral Trioxide Aggregate

MTA HP : MTA High Plasticity (MTA Haute Plasticité)

NMP : NeoMTA Plus

ODF : Orthopédie Dento-Faciale

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

PCR : Partial Caries Removal (Excavation partielle de la carie)

RRM : Root Repair Material

SDF : Silver Diamine Fluoride (Fluorure de Diamine d'Argent)

SW : Stepwise Excavation (Excavation par étapes)

TGF- β : Transforming Growth Factor – β (Facteur de Croissance Transformant - β)

INTRODUCTION

Les connaissances actuelles sur les fonctions de l'organe dentaire et du système stomatognathique montrent l'importance du maintien des dents et de la vitalité du tissu pulpaire. La recherche, portant sur les capacités de défense de la dent, permet d'étendre le concept de dentisterie minimalement invasive aux pathologies carieuses.

La carie dentaire est un fléau mondial et la maladie la plus prévalente au monde d'après le rapport de l'OMS de 2022 sur l'état de la santé bucco-dentaire dans le monde, ses conséquences pouvant mener à une réelle diminution de la qualité de vie. L'OMS déclare que la maladie carieuse non traitée touche 2,5 milliards d'êtres humains ; affectant de 35,6 à 40,6% de la population française.

Aujourd'hui, la prise en charge des caries profondes évolue vers des principes de thérapie de préservation de la vitalité pulpaire (« Vital Pulp Therapy »). Ces thérapeutiques ont pu s'imposer par une meilleure connaissance des processus cicatriciels pulpaire et grâce à l'évolution des biomatériaux.

Dans ce travail, nous étudierons les physiologies dentinaires et pulpaire ainsi que les mécanismes de défense de ces deux entités. Nous définirons la carie dentaire, ses diverses causes et conséquences avant de caractériser ce qu'est une carie profonde et quelles sont ses particularités.

En second lieu, nous nous concentrerons sur le diagnostic pulpaire ainsi que sur les différents états physiologiques et pathologiques de la pulpe dentaire.

Nous nous intéresserons aux différents biomatériaux dits bioactifs au travers de leurs propriétés et leur capacité à générer une réaction pulpaire positive.

Enfin, nous définirons et détaillerons toutes les thérapeutiques de conservation de la vitalité pulpaire.

I. RAPPELS SUR L'ORGANE DENTAIRE

Les dents sont un système organique de grande valeur possédant de nombreux rôles (fig. 1) (1) :

- Préhension et mastication de la nourriture
- Rôle de défense
- Rôle dans l'articulation
- Rôle dans la croissance
- Rôle dans l'attraction sexuelle

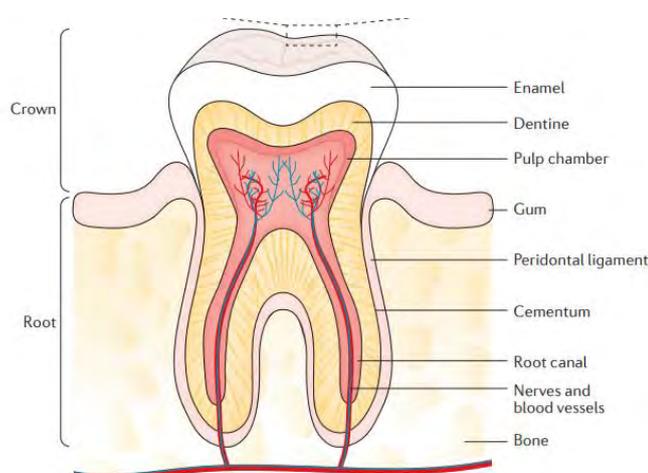


Figure 1 : Anatomie structurelle de la dent – source : Pitts et al. (1)

Les deux entités – pulpe et dentine – sont communément regroupées sous le nom de complexe pulpo-dentinaire. La vitalité de ce complexe est fondamentale pour la vie fonctionnelle de la dent.

Des échanges physiologiques et un équilibre relatif entre ces deux tissus sont le premier déterminant de la vitalité tissulaire et de la survie du tissu pulpaire.

Complexe dentino-pulpaire est une terminologie qui s'explique macroscopiquement par la proximité des deux tissus mais aussi microscopiquement par la présence des corps odontoblastiques alignés sur la paroi dentinaire interne et immergés dans le tissu pulpaire. Le complexe dentino-pulpaire forme une entité particulière impliquée dans des fonctions de dentinogenèse, de nutrition, de défense et ayant un rôle sensoriel. Son architecture, caractérisée par la présence de tubulis, permet à la pulpe de communiquer avec les tissus durs de l'organe dentaire (2).

Une grande attention doit être accordée à ce complexe pulpo-dentinaire dans la prise de décision lors des soins, or une bonne connaissance de celui-ci est absolument nécessaire pour en comprendre les mécanismes.

I.1 LA CELLULE ODONTOBLASTIQUE

Dans ce complexe, la cellule odontoblastique, ou odontoblaste, est une cellule ciliée spécialisée polarisée (3) post-mitotique organisée en palissade (fig. 2) tout au long de l'interface entre la pulpe et la dentine (4).

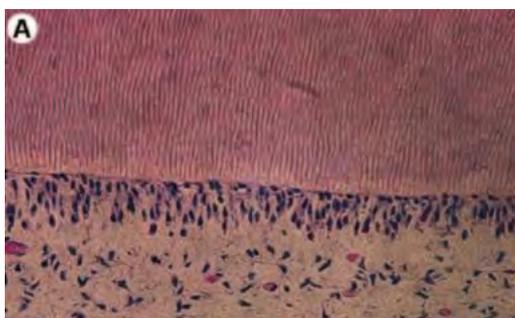


Figure 2 : Image histologique de l'interface pulpe / dentine avec la couche d'odontoblastes (x400, coloration à l'hématoxyline et à l'éosine) – source : Demarco et al. (5)

Les odontoblastes dérivent de la crête neurale (6). Ce sont des cellules stables dans le temps qui ne sont pas remplacées (3). La cellule odontoblastique nécessite un apport très important d'oxygène pour maintenir sa fonction (autant d'oxygène nécessaire que les cellules du cerveau). Certaines études montrent que ce sont les cellules les plus sensibles à l'ischémie dans le corps humain (6).

I.1.1 Anatomie des odontoblastes

Les cellules odontoblastiques ont une anatomie aux caractéristiques morphologiques uniques (fig. 3). Elles possèdent un corps cellulaire localisé à la surface de la pulpe et un procès cytoplasmique qui lui va s'étendre vers la jonction amélo-dentinaire, à l'intérieur des tubulis dentinaires. Les procès ne s'étendraient seulement que sur une distance de 200 à 700 μm (7).

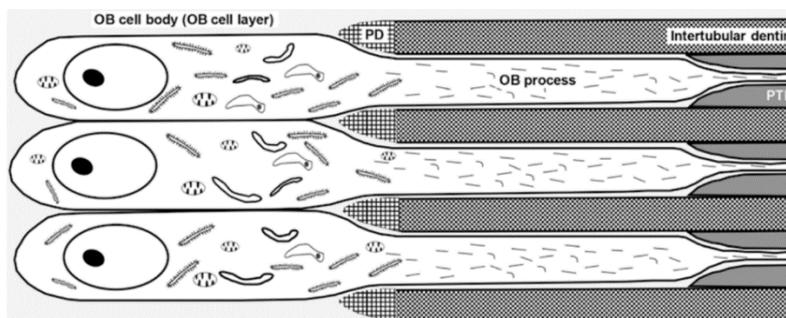


Figure 3 : Schéma de cellules odontoblastiques avec leurs extensions cytoplasmiques dans les tubulis dentinaires – source : Tjäderhane et al. (7)

I.1.2 Rôle des odontoblastes

La dentine n'est pas une barrière passive et les odontoblastes ont de nombreuses fonctions :

- Formation de la prédentine et de la dentine (physiologique comme pathologique) tout au long de la vie de la dent (3,6)
- Organisation et régulation de la synthèse de la matrice dentinaire minéralisée
- Rôle de cellules sensibles : ressentent l'invasion bactérienne lors du processus carieux et initient la réponse immunitaire pulpaire et la réponse inflammatoire (3,4)
- Relation fine avec les fibres nerveuses et les capillaires sanguins

I.1.3 La nociception

Ce sont les premières cellules cibles lors de stimuli externes.

La douleur dentaire est expliquée par l'exposition de la dentine, et donc des prolongements odontoblastiques, aux stimulations directes mécaniques, chimiques et / ou thermiques. Cette douleur est souvent associée, à tort, à de l'inflammation pulpaire.

De nombreuses jonctions communicantes (gap-junctions) ont été retrouvées entre les cellules odontoblastiques (3,6). Ces synapses aident à la communication entre les cellules et cette barrière sélective permettrait également de contrôler les interactions entre la pulpe et le reste du tissu dentaire.

I.2 LA PULPE DENTAIRE

Le tissu pulpaire, ou pulpe dentaire, est un tissu mésenchymateux unique hautement spécialisé, dérivant de l'ectomésenchyme (6). Il est retrouvé, au sein de la dent, dans une cavité inextensible faite de tissu minéralisé. Cette cavité rigide, bordée d'une couche cellulaire d'odontoblastes (8), apporte support et protection à la pulpe face à

l'environnement oral microbien. C'est le seul tissu non minéralisé de la dent, il est très riche en vaisseaux sanguins et lymphatiques, ainsi qu'en fibres nerveuses et contient de nombreuses cellules (dont les fibroblastes et les cellules mésenchymateuses indifférenciées) (3,6).

La pulpe connaît une innervation sensorielle riche et une micro-vascularisation sanguine abondante. L'entrée de la vascularisation et de l'innervation se fait à l'apex par un petit orifice, ce qui réduit la capacité du système immunitaire à combattre les infections. La capacité de régénération pulpaire est limitée due à la localisation anatomique de la pulpe et également due à la nature post-mitotique des cellules odontoblastiques. La pulpe n'a qu'une capacité très limitée de prolifération.

Les pathologies pulpaires sont d'ordre inflammatoire puis infectieux. La microcirculation présente dans la pulpe dentaire saine initie alors une réponse inflammatoire. Cette réaction fait partie d'un mécanisme de défense afin de maintenir l'intégrité et la santé pulpaire (9).

I.2.1 Les fonctions du tissu pulpaire

Le tissu pulpaire possède des rôles variés (6) :

- Maintien de l'homéostasie des tissus après le développement de la dent
- Défense contre les microorganismes pathogènes
- Capacité à déclencher une réponse immunitaire
- Guide les étapes de la réparation afin de stimuler la régénération tissulaire
- Organe sensoriel qui est capable de répondre aux stimuli (stimuli thermiques, déformations mécaniques de la dent, traumatismes) en émettant toujours une réponse similaire quel que soit le stimulus, à savoir une douleur
- Fonction de proprioception qui permet à la pulpe de participer à la limitation de la charge sur les dents par les muscles masticateurs afin de protéger le système stomatognathique des éventuelles blessures.

I.2.2 La vascularisation pulpaire

La vascularisation pulpaire provient de l'artère maxillaire, branche de l'artère carotide externe. Cette artère maxillaire se divise en artères dentaires qui rentrent dans chaque dent, au niveau des apex dentaires. Cette vascularisation riche est comparable à celles des tissus les plus vascularisés du corps humain comme le cerveau ou encore la langue (6).

Le tissu pulpaire présente un plexus capillaire riche sous la surface odontoblastique. Cet apport sanguin permet l'apport de nutriments et d'oxygène aux cellules odontoblastiques et favorise, lorsque nécessaire, le recrutement de cellules inflammatoires (4).

L'espace dédié à la pulpe dentaire est inextensible donc le volume total de sang ne peut être que peu augmenté. Ce débit sanguin pulpaire est bien plus important que celui des autres tissus vascularisés oraux, certains auteurs estiment que ce débit est nécessaire pour subvenir aux besoins importants des odontoblastes (6).

Une régulation fine du débit sanguin est primordiale et il semblerait justement que des altérations de la microcirculation soient les premiers signes de l'inflammation pulpaire. Lors de l'inflammation aiguë, différents phénomènes vont se succéder en commençant par une dilatation des capillaires avec transsudation des fluides, ce qui entraîne une augmentation du volume et donc de la pression intra-pulpaire. Ces phénomènes vont venir stimuler les fibres nerveuses et le patient va alors ressentir de la douleur (6).

Des différences significatives de pression ont pu être observées sur deux sites pulpaires proches, seulement espacés de 1 à 2 mm. Ce constat est prometteur car il indique que la pression pulpaire augmente seulement dans le tissu pulpaire affecté et que le tissu pulpaire adjacent est, quant à lui, complètement sain (6).

Néanmoins, le tissu affecté risque de connaître une ischémie avec une stase vasculaire localisée, qui va conduire à une mort cellulaire locale.

De nombreux mécanismes de défense pulpaire ont été décrits notamment ceux qui concernent l'action des cellules immuno-inflammatoires qui vont entourer le tissu nécrotique et les bactéries pour en limiter la propagation. Dans de nombreux cas, à quelques millimètres de la zone nécrotique, le tissu pulpaire est sain grâce à ce système défensif. En théorie, si la partie infectée est retirée, le reste du tissu pulpaire, sain, peut être sauvé (10).

I.2.3 L'innervation pulpaire

Dans la pulpe dentaire, nous retrouvons des nerfs sensitifs et des nerfs autonomes. Les nerfs sensitifs permettent la perception du stimulus et sa transduction. Ils sont issus d'une branche du nerf trigéminal (6).

Les fibres nerveuses terminales libres peuvent franchir la couche d'odontoblastes, la couche de prédentine et se faufiler à travers la couche interne de la dentine, à proximité des procès odontoblastiques, dans les tubulis dentinaires (6).

Impliquées dans le contrôle des processus inflammatoires et des réactions immunitaires, ces fibres facilitent les processus de réparation et de cicatrisation. Ainsi, l'étroite proximité établie entre ce réseau dense de fibres nerveuses sensibles et les odontoblastes (fig. 4) pose la question des rôles respectifs joués par ces cellules dans la perception de la douleur dentaire (2).

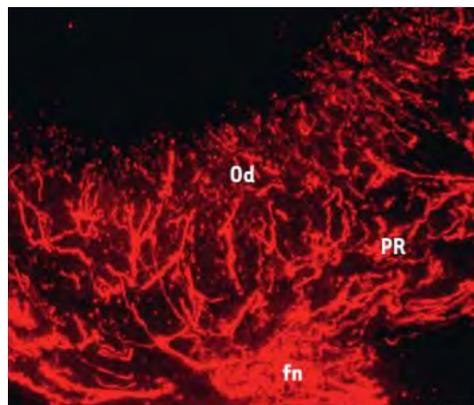


Figure 4 : Immunomarquage de l'innervation du complexe pulpe / dentine (à l'aide d'un anticorps anti-péripérine) avec Od = couche odontoblastique, fn = réseau dense de fibres nerveuses et PR = complexe de Raschkow au sein de la pulpe – source : Maurin et al . (2)

Les fibres nerveuses permettent de réguler le débit sanguin, la cicatrisation et la réponse immune (10).

I.3 LA DENTINE

I.3.1 Physiologie dentinaire

Produite par les odontoblastes, la dentine n'est pas un tissu uniforme. Nous retrouvons différentes couches, dont les trois principales sont :

- La dentine primaire
- Les dentines secondaire et tertiaire

La dentine est composée (en poids) de (7):

- 70% de minéraux
- 20% de composés organiques
- 10% d'eau

À savoir que 90% de la matrice organique dentinaire est du collagène de type I, le reste étant des protéines non collagéniques (comme les protéoglycanes, les facteurs de croissance, les enzymes et les lipides) qui jouent un rôle capital (7).

En effet, la matrice organique dentinaire est un réservoir de facteurs de croissance capables de stimuler la réponse tissulaire ; ces molécules jouent donc un rôle clé dans la formation de dentine tertiaire, dentine produite en réaction à des irritants.

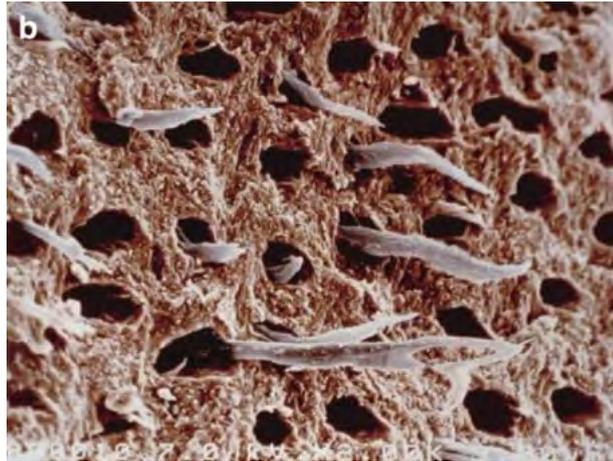


Figure 5 : Prolongements odontoblastiques émergeant des tubulis dentinaires au niveau d'un site de fracture de la dentine (x2000) – source : Goracci et al. (7)

I.3.2 Les tubulis dentinaires

Les tubulis contiennent les procès odontoblastiques (fig. 5). Autour des procès se trouve un tissu liquide : le liquide dentinaire ou fluide dentinaire (8).

La mission de ce fluide dentinaire est de ralentir la progression des bactéries. De surcroît, le liquide dentinaire pourrait contenir des anticorps et d'autres agents antimicrobiens en son sein afin d'assurer un rôle de défense (6).

I.3.3 Les différentes couches principales de la dentine

I.3.3.1 Formation de la dentine primaire

La dentine est retrouvée aux abords de la totalité de la pulpe et de la palissade d'odontoblastes (fig. 6).

La dentine primaire est formée, avant l'éruption dentaire, à une vitesse de 4 à 20 μm d'épaisseur par jour (4). Après l'éruption dentaire, les odontoblastes restent vitaux mais rentrent dans un état de quiescence.

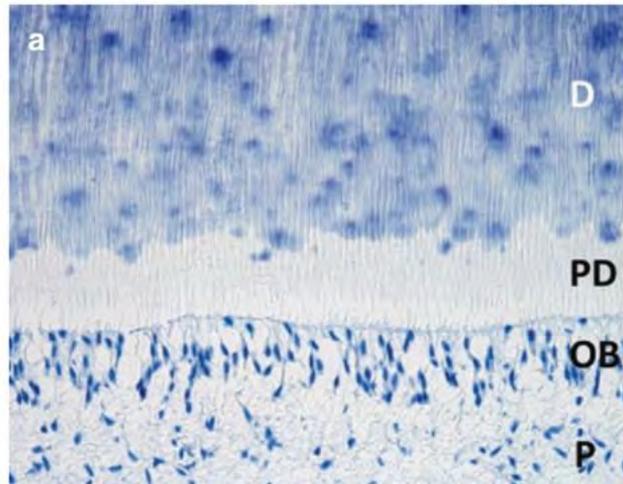


Figure 6 : Interface pulpe / dentine avec OB = odontoblastes, PD = prédentine, D = dentine tubulaire et P = pulpe (x20, section déminéralisée colorée au bleu de Toluidine) – source : Goracci et al. (7)

1.3.3.2 Production de dentine au cours de la vie de la dent

La production de dentine secondaire permet à la pulpe saine de se protéger face à l'usure dentaire par la formation d'une barrière de tissus durs.

Quant à la dentine tertiaire, sa production se fait en réponse à un phénomène pathologique de faible ou de moyenne intensité dans un but de protection de la pulpe (fig. 7).

Enfin, si l'irritation est prolongée ou trop sévère, la mort des odontoblastes survient et il n'y aura donc pas de formation de dentine tertiaire et une absence de protection pulpaire.

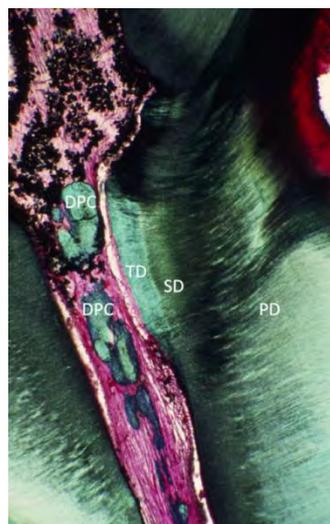


Figure 7 : Coupe d'une dent permettant de distinguer DPC = calcifications intra-pulpaire, PD = dentine primaire, SD = dentine secondaire et TD = dentine tertiaire – source : Carvalho et al. (11)

I.3.3.2.1 La dentine physiologique / secondaire

Lorsque la dent est sur l'arcade et que la formation de la racine est complète, les odontoblastes diminuent notablement leur activité de synthèse et débutent la formation de la dentine secondaire.

Cette dentine secondaire, qui se forme après l'éruption de la dent, se développe à la vitesse lente de 0,5 µm par jour (3). Elle se dépose de façon circonférentielle, les odontoblastes sécrètent la matrice dentinaire et se rétractent vers le centre de la dent.

Cette dentine secondaire a une composition chimique et une organisation structurelle proche, voire identique, à la dentine primaire (4). La dentine secondaire est responsable de la réduction progressive de la lumière canalaire. C'est ainsi que chez les dents saines des personnes âgées, nous pouvons rencontrer des oblitérations partielles ou complètes de la chambre pulpaire et des canaux avec une diminution du diamètre des tubulis : ce phénomène est appelé la sclérose dentinaire (4). L'environnement devient plus protecteur pour la pulpe avec l'âge.

I.3.3.2.2 La dentine tertiaire

La formation de dentine tertiaire est une des réponses de défense de la dent afin de préserver la pulpe. Elle se forme en réaction aux irritants externes (attrition, érosion, usure), aux traumatismes, aux caries, ...

Il existe deux sous-catégories de dentine tertiaire en fonction de la structure déposée et des cellules productrices : la dentine réactionnelle et la dentine réparatrice (7).

La structure et la régularité d'organisation de cette dentine tertiaire dépendent de l'intensité et de la durée du stimulus (7).

I.3.3.2.2.1 La dentine réactionnelle

Elle est produite par les odontoblastes primaires / originaux (7). La synthèse de dentine réactionnelle demande la réactivation des cellules sécrétant la dentine.

Cette dentine réactionnelle a des similarités anatomiques, biochimiques et fonctionnelles avec les dentines primaire et secondaire, notamment par la présence de tubulis (4).

Sa formation est inhibée par une inflammation trop importante car le métabolisme odontoblastique va davantage se concentrer sur la production d'effecteurs pro-inflammatoires et immunitaires pour augmenter la capacité de défense pulpaire (4).

I.3.3.2.2 La dentine réparatrice

Cette dentine réparatrice est produite par des odontoblastes de remplacement, qui sont nouvellement différenciés, provenant de cellules progénitrices et de cellules souches (DPSC) de la pulpe (4,7). Elle est localisée à la surface pulpaire et sera localisée en regard du site d'irritation (fig. 8) (6).

C'est une dentine avec une structure différente, davantage atubulaire ou avec quelques tubulis irréguliers. Cette dentine réparatrice serait relativement imperméable et formerait une barrière plus étanche entre la pulpe et la dentine tubulaire (7). Sa matrice est moins minéralisée et moins organisée.

Certains facteurs, comme l'irritation bactérienne ou encore l'inflammation pulpaire, pourraient entraîner cette hétérogénéité de structure.

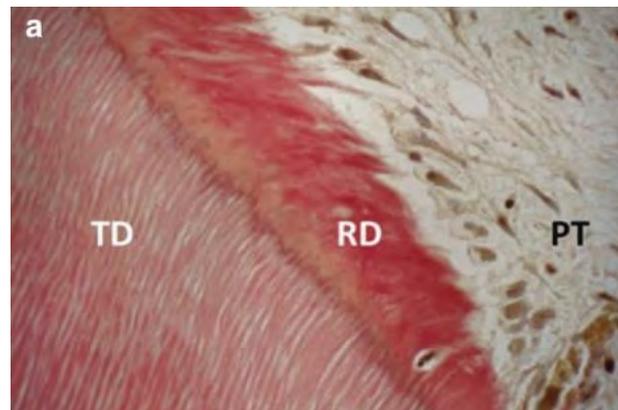


Figure 8 : Coupe histologique de la jonction dentine / pulpe avec TD = dentine physiologique tubulaire, RD = dentine réparatrice sans continuité tubulaire et PT = pulpe (x250) – source : Tjäderhane et al.

(7)

Lors d'une exposition pulpaire, les odontoblastes ne sont plus présents en regard du site d'exposition ; si un pont dentinaire se forme, il s'agira de dentine réparatrice car cela nécessite l'apparition d'une nouvelle génération de cellules type odontoblastes.

II. LA CARIE DENTAIRE

Les caries dentaires correspondent à la destruction de tissu minéral dentaire (fig. 9).

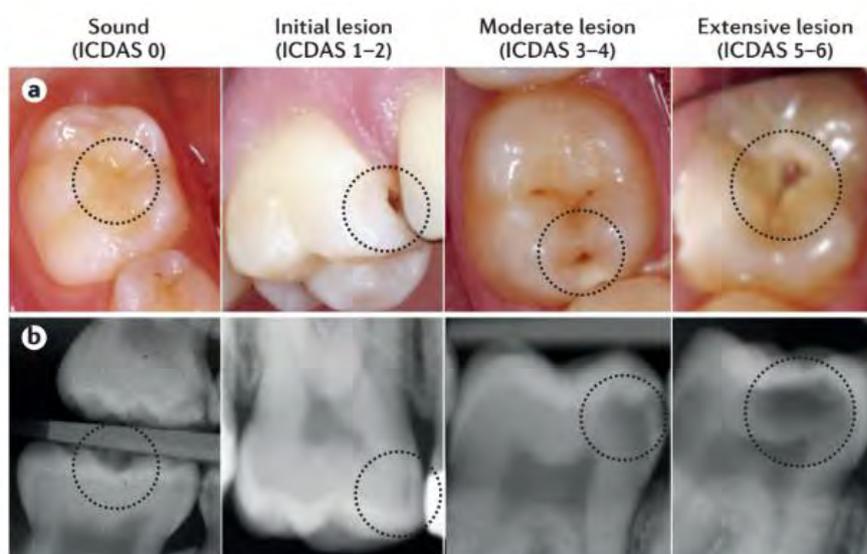


Figure 9 : Classification ICDAS des caries dentaires (Système International de Détection et d'Évaluation des lésions Carieuses) – source : Pitts et al. (1)

II.1 PREVALENCE

La maladie carieuse est la maladie orale la plus prévalente au monde avec deux milliards de personnes atteintes de caries non traitées sur des dents définitives (12). C'est un enjeu majeur de santé publique (13). C'est la maladie infectieuse la plus commune au monde dont la répartition est très inégale.

La prévalence des caries varie avec l'âge, le sexe, les habitudes alimentaires et d'hygiène, la localisation géographique et le statut économique (13).

II.2 CONSEQUENCES GENERALES

La présence de caries entraîne des douleurs dentaires, des douleurs orales ainsi qu'une dysfonction du système stomatognathique. Chez les enfants, cela affecte la croissance, l'évolution du poids corporel, leurs capacités à apprendre et à communiquer (13). Cela va affecter les capacités masticatoires, la parole et le sourire (14).

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) avertit qu'un mauvais état dentaire a un impact important sur la santé générale et sur la qualité de vie.

II.3 ETIOLOGIES

La carie dentaire est une maladie dynamique, multifactorielle, influencée par le biofilm et par la présence de sucres. L'équilibre bucco-dentaire résulte d'une alternance rapide de phases oscillant entre déminéralisation et reminéralisation des tissus durs dentaires. La pathologie carieuse est due à une interaction entre la structure dentaire, le biofilm microbien présent sur la surface de la dent et les sucres de l'alimentation (1).

Le processus carieux est déclenché, lorsqu'en présence de sucres, les bactéries de la plaque dentaire produisent des acides et dégradent la structure minérale de la dent (13).

Les facteurs de protection vont permettre la reminéralisation et l'arrêt des lésions tandis que la prévention aura un rôle sur l'apparition même des lésions carieuses.

Quant aux facteurs de risque, ceux-ci augmentent la probabilité de développer une maladie carieuse active (tableau 1).

Tableau 1 : Tableau regroupant facteurs protecteurs & de prévention et facteurs de risques de la carie

Facteurs de protection & de prévention	Facteurs de risque
<ul style="list-style-type: none"> - Alimentation saine sans grignotage et limitation de l'ingestion de sucres - Brossage avec dentifrice fluoré 2x par jour - Nettoyage interdentaire - Contrôles réguliers - Application topique de fluor par le chirurgien-dentiste - Sealants thérapeutiques et préventifs - Fonction salivaire normale (1) 	<ul style="list-style-type: none"> - Consommation fréquente de sucres - Exposition faible au fluor - Hygiène bucco-dentaire pauvre - Facteurs anatomiques favorisant la rétention de plaque - Dysfonction salivaire - Désordre génétique associé à des conditions orales - Dysfonction salivaire (syndrome de Gougerot-Sjögren) - Présence de prothèses dentaires, d'ODF, de prothèses amovibles (1) - Chimiothérapie et radiothérapie de la sphère oro-faciale - Prise fréquente de médicaments (antihistaminiques, antihypertenseurs, sirop, ...) <p>(14)</p>

Facteur protecteur naturel, la salive, par son action mécanique de nettoyage et son haut pouvoir tampon, permet de neutraliser les acides produits par la plaque dentaire. La salive est sursaturée en ions calcium et phosphate, ceux-ci permettant la reminéralisation des zones dont la déminéralisation a débuté. Elle permet également le transport et la délivrance du fluor (15).

II.4 LE BIOFILM DENTAIRE

Le microbiote oral a une relation symbiotique ou mutualiste avec son hôte. Ce microbiote oral croit en surface comme une communauté d'espèces qui interagissent entre elles, organisée structurellement et fonctionnellement. Cette communauté en surface de la dent est appelée la plaque ou encore le biofilm dentaire (1).

Dans le biofilm dentaire, le groupe le plus représenté est celui des bactéries mais on retrouve également des virus, des mycoplasmes, des protozoaires,... (1).

Il y a bien suffisamment de pouvoir tampon dans la salive pour neutraliser les acides produits en bouche mais la salive n'a pas la capacité d'accéder à la profondeur de la plaque accumulée sur les dents. Le rôle pathogénique de la plaque est incontournable dans la carie dentaire. La grande majorité des microorganismes de la plaque sont acidogènes et aciduriques (16).

II.5 LES DIFFERENTES COUCHES DE DENTINE DANS LE PROCESSUS CARIEUX

La dentine affectée et la dentine infectée sont deux couches différentes appartenant à la carie dont les caractéristiques sont intéressantes à comparer.

II.5.1 La dentine infectée

La dentine infectée, la plus superficielle, est une dentine déminéralisée avec un collagène dénaturé, elle est infiltrée de bactéries et est atteinte de façon irréparable (17).

II.5.2 La dentine affectée

Plus profonde, la dentine affectée est une dentine également déminéralisée mais dont la structure collagénique est encore largement intacte, ne contient aucune bactérie et dont le potentiel est de pouvoir être reminéralisée (17).

La dentine affectée se définit comme une dentine contenant moins de composés minéraux et dont la porosité est augmentée. L'humidité de la dentine affectée est accrue et ses capacités mécaniques sont réduites, le risque de présence d'un défaut au niveau de l'interface avec la restauration est donc plus important (7).

II.6 LA CARIE PROFONDE

Il n'existe actuellement pas de consensus global sur la définition d'une lésion profonde mais celle-ci peut être définie comme une lésion pénétrant dans le quart interne de la dentine, à proximité de la pulpe, avec une zone radio-opaque séparant la carie de la zone radio-claire de la pulpe (fig. 10) (18).

L'International Carie Consensus définit les lésions carieuses profondes comme les lésions qui, radiographiquement, impliquent le $\frac{1}{3}$ ou $\frac{1}{4}$ interne de la dentine avec un haut risque clinique d'expérimenter une exposition pulpaire (19).



Figure 10 : Radiographie d'une carie profonde avec présence d'une barrière entre la carie et le tissu pulpaire – source : Bjørndal et al. (20)

Histologiquement, quand la carie profonde a atteint le quart interne de la dentine, cela signifie que l'infection n'a pas encore atteint la potentielle dentine tertiaire et la pulpe. La pulpe peut être enflammée de façon chronique mais n'est pas infectée au sens propre du terme (18).

Dans les caries profondes, où la proximité avec la pulpe dentaire est importante, la réalisation de l'éviction carieuse peut mener à une exposition du tissu pulpaire et par la suite, à un traitement endodontique privant ainsi la dent de sa vitalité.

II.7 LES BACTERIES CARIOGENES

Les Streptocoques, les Lactobacilles (1) et les Actinomyces (4) sont reconnus comme des microorganismes présents dans le phénomène carieux (14). Mais la famille des Lactobacilles semble être davantage retrouvée dans les caries avancées (1). Ce sont en très grande majorité des bactéries Gram positives qui sont responsables de la maladie carieuse (16).

L'étude de Zheng et al. s'intéresse au microbiome des caries profondes et montre qu'il diffère en fonction de l'atteinte pulpaire (21).

Sans traitement approprié, les microorganismes vont soit envahir la pulpe par les tubulis dentinaires, soit causer une exposition pulpaire (par effondrement de la structure amélo-dentinaire).

Il existe des associations entre les bactéries spécifiques de la dentine cariée et celles de la pulpite irréversible. Cela suggère que les bactéries présentes dans les couches les plus profondes de la dentine sont des pathogènes candidats pour l'initiation de l'inflammation pulpaire. La caractérisation du microbiome carieux a le potentiel de devenir une méthode auxiliaire pour le diagnostic de la santé pulpaire (21).

Les bactéries les plus souvent retrouvées dans une pulpe vitale infectée sont les familles Streptocoques et Staphylocoques ainsi que beaucoup d'autres micro-organismes (notamment des bactéries anaérobies) (22).

II.8 LA REPONSE PULPAIRE

La réponse de la pulpe aux bactéries dépend de nombreux facteurs comme de la vitesse de progression de la bactérie et de la carie. La réponse pulpaire dépend également de l'épaisseur et du degré de calcification de la dentine restante (6).

Selon Yu et al., avant que la bactérie n'atteigne physiquement la pulpe, des signes de l'inflammation peuvent être détectés au niveau pulpaire (6). En effet, les toxines bactériennes, les enzymes, les antigènes, les chemotoxines, les acides organiques et les produits de destruction sont capables de diffuser par les tubulis dentinaires et causent, de cette façon, de l'irritation pulpaire.

Lors de caries profondes, les cellules inflammatoires rejoignent la pulpe entraînant une accumulation de celles-ci. Néanmoins, les zones les plus internes de la dentine, dans le phénomène de carie profonde, ne contiennent pas de bactéries (18).

Les cellules inflammatoires présentes dans la pulpe n'ont alors pas de contact direct avec les bactéries, ce sont donc des cellules qui attendent de prendre en charge les micro-organismes. Or, ces cellules ont une durée de vie limitée et évoluent vers la nécrose ; apparaissent alors des zones de nécrose focale. Tant que l'infection n'est pas dans la pulpe, ces zones de nécrose sont prises en charge par les autres cellules inflammatoires qui vont retirer les éléments nécrosés. Nous pouvons ainsi comprendre qu'une pulpe histologiquement très enflammée ne veut pas dire que nous sommes en présence d'une infection irréversible. Si la dentine cariée est retirée, la pulpe peut être capable de guérison grâce à cette inflammation qui va guider la cicatrisation.

Avec l'émergence du gradient thérapeutique et de la volonté constante de limiter l'impact de nos traitements, des nouvelles thérapeutiques voient le jour, ce sont les techniques novatrices de conservation du tissu pulpaire dans le cas de caries profondes.

III. EVALUER CLINIQUEMENT LA SANTE PULPAIRE

La plus grande difficulté dans le traitement d'une lésion profonde est de poser un diagnostic de l'état pulpaire (10). Cliniquement, le diagnostic de la pathologie pulpaire est basé sur des symptômes subjectifs rapportés par le patient, l'examen clinique objectif et l'étude radiologique et non pas histologique. Il n'est toutefois pas possible de savoir si notre diagnostic est correct sans mener d'étude histologique.

Tout l'enjeu d'un bon diagnostic pulpaire repose sur le concept que l'inflammation peut, si favorable, aider à la guérison alors qu'une inflammation non contrôlée peut entraîner la nécrose et l'infection de la cavité pulpaire (fig. 17) (18).

Idéalement, pour tester la santé pulpaire, le moyen utilisé doit être simple, objectif, standardisé, valide, reproductible, fiable, non douloureux et peu coûteux (9,23). Il existe deux grands groupes de tests pulpaires : les tests de sensibilité pulpaire et les tests de vitalité pulpaire (23).

III.1 LES ETATS PHYSIOLOGIQUES ET PATHOLOGIQUES DE LA PULPE

Les pathologies du tissu pulpaire sont dynamiques et progressives. Ainsi, les signes et symptômes varient en fonction de l'étendue, de la localisation de la maladie et du statut du patient (22).

III.1.1 La pulpe saine

Une pulpe saine est une pulpe vitale, sans inflammation : le patient ne rapporte aucune douleur sur la dent évaluée. Les réponses de la dent aux divers tests cliniques sont similaires à celles d'une dent contrôle ; avec une réponse positive non exacerbée au test de sensibilité pulpaire et des réponses négatives aux tests de percussion et de palpation. A la radiographie, aucun épaississement ligamentaire ou aucune image radio-claire n'est objectivable.

III.1.2 La pulpite aiguë

Le patient rapporte des sensibilités et la dent répond de façon différente aux tests par rapport à la dent contrôle. Nous retrouvons la pulpite aiguë réversible et la pulpite aiguë irréversible.

III.1.2.1 La pulpite aiguë réversible

Une dent, présentant une pulpe en pulpite réversible, développe des douleurs provoquées modérées à fortes et non spontanées. La dent aura une réponse plus sensible aux tests au chaud et au froid que la dent contrôle mais pas de persistance de la douleur au-delà de 30 secondes après avoir retiré le stimulus (21).

La pulpite réversible correspond à une inflammation modérée de la pulpe causée par un stimulus dans laquelle la pulpe est capable de retourner à un état non enflammé après que le stimulus soit retiré (22).

Le patient ne rapporte pas d'antécédent de douleur prolongée, persistante, qui bat, mais plutôt une sensibilité modérée au froid, au sucré et à la pression de la mastication forte. Les tests de percussion, de palpation et de mobilité sont négatifs. A l'examen radiologique, aucune exposition pulpaire et aucune destruction péri-apicale n'est observable, le tissu péri-apical a un aspect normal (24).

III.1.2.2 La pulpite aiguë irréversible

Concernant la pulpite irréversible, le patient rapporte des douleurs fortes, spontanées et persistantes. Lors des tests de sensibilité, comparé à la dent contrôle, la douleur sera forte et persistante, au-delà de 30 secondes après que le stimulus soit enlevé (21).

Le diagnostic clinique de la pulpite irréversible comprend ces différents signes :

- Douleur spontanée et continue
- Réponse positive au test de sensibilité
- Douleur lors de la percussion axiale
- Saignement et douleur lors de la palpation du tissu pulpaire (si exposé dans la cavité buccale) (25)
- Les changements de position peuvent accentuer la douleur (à cause des changements de pression intra-pulpaire)

- Douleur référée possible sur d'autres dents, au niveau des tempes, des sinus et/ou de l'oreille
- Parodontite apicale absente (à part dans les stades les plus avancés où l'inflammation et / ou l'infection s'étendent au ligament parodontal) (22).

Les antalgiques disponibles sans ordonnance sont typiquement inefficaces (10).

Le critère histologique majeur de la pulpite irréversible est défini comme la nécrose partielle ou totale de la pulpe coronaire ainsi que la présence d'agrégats bactériens qui colonisent le tissu nécrotique pulpaire mais il est possible de retrouver des plages de tissu pulpaire sans infection et sans inflammation (fig. 11) (10).

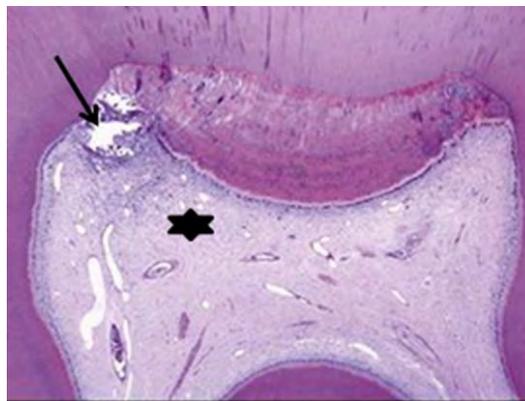


Figure 11 : Image histologique d'une pulpe présentant une zone de nécrose de la corne mésiale en regard de la carie (flèche) – pulpe saine sur le reste du tissu (étoile) (x16, coloration à l'hématoxyline et à l'éosine) – source : Lin et al. (10)

III.1.3 La pulpite chronique

Le patient décrit plusieurs épisodes de douleurs dentaires de type lancinant. Les douleurs ne sont pas intenses et n'amènent donc pas le patient à consulter, notamment car elles cèdent aux antalgiques classiques. Le stimulus principal qui crée la douleur peut être la mastication. En réponse aux tests pulpaire, la dent aura tendance à répondre faiblement à un stimulus intense (25).

A l'opposé des pulpites aiguës, la couche odontoblastique périphérique est préservée dans les pulpites chroniques (25). La pulpe présentant une pulpite chronique est davantage fibreuse et minéralisée et comporte moins de fibres nerveuses.

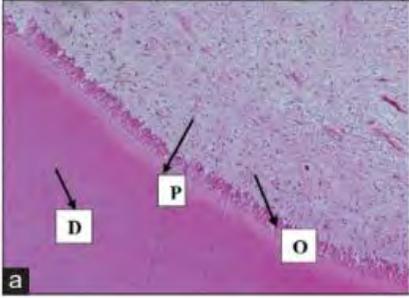
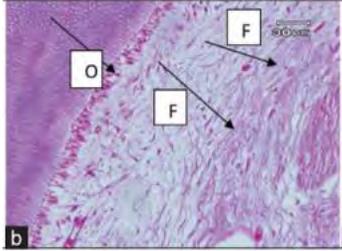
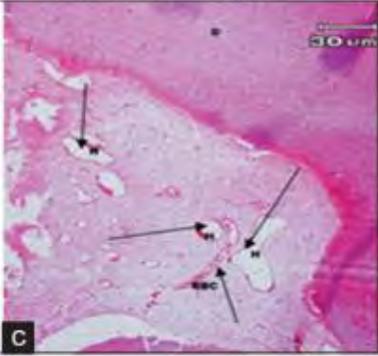
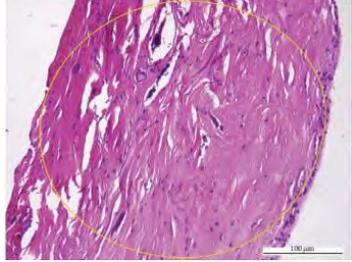
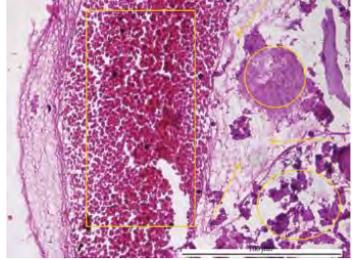
Il faut toujours garder en tête que le diagnostic pulpaire est difficile et qu'il existe une corrélation faible entre les symptômes cliniques, la réponse aux tests de sensibilité et le statut histologique de la pulpe (10).

Les tests disponibles ne peuvent pas toujours donner un diagnostic précis, c'est donc le geste clinique (hémostase possible ou non de la pulpe notamment) qui doit nous guider. Chaque pulpe a son propre potentiel de cicatrisation. Une pulpe jeune ayant subi peu d'agressions aura une capacité de cicatrisation importante ; à l'inverse, une pulpe rétractée (signe de dépôt de dentine tertiaire lors de souffrances passées) ou calcifiée (fibreuse) aura un potentiel réduit voire nul. Il est primordial de faire une analyse individuelle de la pulpe d'intérêt pour pouvoir espérer un résultat favorable de la technique appliquée.

III.2 HISTOLOGIE COMPARATIVE

Voir tableau 2 à la page suivante.

Tableau 2 : Tableau comparatif des caractéristiques histologiques de la pulpe dentaire en fonction de la santé pulpaire

Pulpe saine	Pulpite aiguë réversible	Pulpite aiguë irréversible	Pulpite chronique
<p>Tissu conjonctif non inflammatoire</p> <p>Présence de cellules abondantes ainsi que d'une couche de cellules odontoblastiques et de nombreux faisceaux neurovasculaires (fig. 12)</p>	<p>Dilatation des vaisseaux sanguins avec présence de cellules de l'inflammation aiguë et de l'inflammation chronique (fig. 13)</p> <p>Extravasation des fluides œdémateux avec perturbation de la couche odontoblastique (22) et présence de dentine réparatrice</p>	<p>Présence d'un infiltrat inflammatoire important, de lymphocytes, de cellules plasmatiques et de macrophages</p> <p>Présence de dépôts de collagène, présence de calcifications pulpaire et de nécrose (fig.14) (25)</p> <p>Présence d'une zone abcédée avec des micro-organismes (22)</p>	<p>Présence de dépôts de collagène dans la pulpe centrale qui évolue en fibrose avec présence de fibroblastes</p> <p>Présence d'un infiltrat inflammatoire chronique ainsi que de calcifications dans les tubulis dentinaires – de vraies pulpolithes, des calcifications diffuses avec une disposition linéaire, associés à des vaisseaux mais également des hémorragies, des œdèmes tissulaires et des débris cellulaires (fig. 15 & 16)</p>
 <p>Figure 12 : Image histologique d'une pulpe saine avec D = dentine, P = pré-dentine et O = couche de cellules odontoblastiques (x40, coloration à l'hématoxyline et à l'éosine) - source : Raouf et al. (24)</p>	 <p>Figure 13 : Image histologique d'une pulpe en pulpite réversible (en regard du site carieux) avec O = couche de cellules odontoblastiques et F = fibrose (x40, coloration à l'hématoxyline et à l'éosine) – source : Raouf et al. (24)</p>	 <p>Figure 14 : Image histologique d'une pulpe en pulpite irréversible (en regard du site carieux) avec flèches noires = zone d'hyperhémie sévère (x40, coloration à l'hématoxyline et à l'éosine) - source : Raouf et al. (24)</p>	 <p>Figure 15 : Image histologique d'une pulpe en pulpite chronique montrant une prolifération collagénique (x200, coloration à l'HE) – source : Giuroiu et al. (25)</p>  <p>Figure 16 : Image histologique d'une pulpe en pulpite chronique avec hémorragie massive (rectangle), œdèmes (flèches) et calcifications (cercles) (x400, coloration à l'HE) – source : Giuroiu et al. (25)</p>

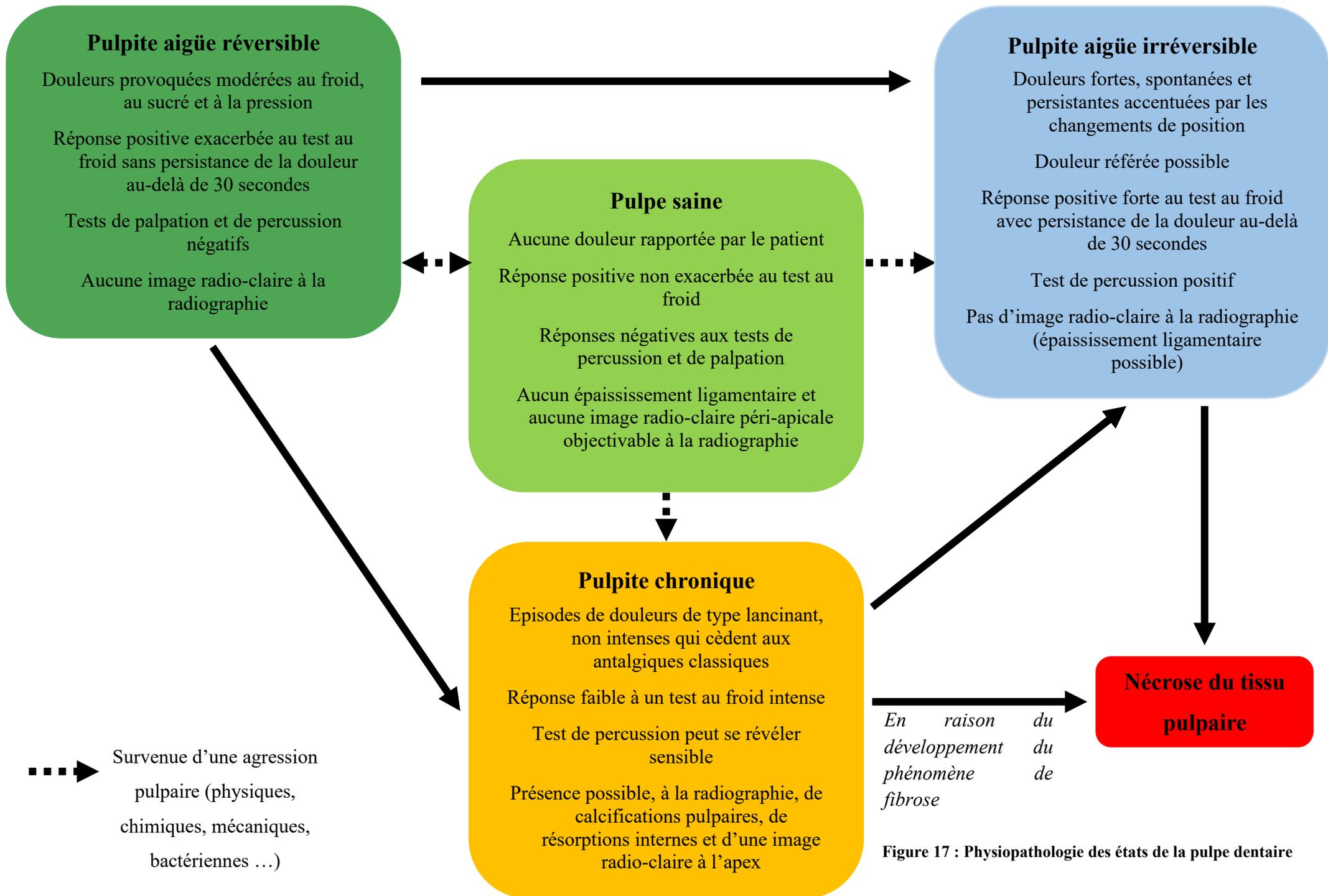


Figure 17 : Physiopathologie des états de la pulpe dentaire

IV. LES MATERIAUX DE COIFFAGE PULPAIRE

Lors de l'application des thérapeutiques de préservation de la pulpe vitale, des agents de coiffage pulpaire « bioactifs » sont mis en place.

Les matériaux dentaires dits « bioactifs » ont un effet biologique ou sont biologiquement actifs. Ils ont le potentiel d'induire une fixation d'un minéral spécifique et cela de façon intentionnelle au substrat dentinaire. Un matériau bioactif, par définition, « forme une couche de surface d'un matériau proche de l'apatite en présence d'une solution de phosphate inorganique » (26).

Les principaux matériaux bioactifs utilisés pour le coiffage pulpaire sont les ciments à base de calcium et/ou de silicate dont (26) :

- L'hydroxyde de calcium (Ca(OH)_2)
- Le Mineral Trioxide Aggregate (MTA)
- La Biodentine
- Le TheraCal

Également, depuis plusieurs années, les biocéramiques pré-mixées ont été introduites en dentisterie, matériaux présentant des caractéristiques inédites d'intérêt.

Ces matériaux présentent des propriétés similaires dont une grande biocompatibilité, une activité ostéoconductrice intrinsèque et une capacité à induire des réponses réparatrices dans le corps, notamment des ponts dentinaires et de permettre une bonne étanchéité du site de coiffage pulpaire (26).

Le matériau de coiffage idéal doit (27) :

- Être biocompatible et bioactif
- Adhérer au substrat dentaire
- Maintenir une bonne étanchéité
- Être insoluble dans les fluides tissulaires
- Être stable dimensionnellement
- Être non résorbable, non toxique et non carcinogène
- Être radio-opaque
- Créer une protection immédiate du tissu pulpaire, protection qui doit perdurer jusqu'à la formation du pont minéralisé (28)

La propriété principale du matériau de coiffage doit être sa capacité à relarguer des ions calcium, nécessaire pour induire la formation du pont dentinaire (29). Assurément, le calcium influence la différenciation des cellules pulpaires ainsi que la minéralisation des tissus durs (30).

IV.1 L'HYDROXYDE DE CALCIUM

Historiquement, du point de vue des matériaux de coiffage pulpaire, l'hydroxyde de calcium Ca(OH)_2 est considéré comme le Gold Standard présentant une bibliographie incomparable aux autres matériaux disponibles. Les premiers résultats positifs de guérison pulpaire avec le Ca(OH)_2 ont été publiés entre 1934 et 1941 (26).

IV.1.1 Propriétés

Ce biomatériau présente un pH élevé et possède des propriétés antibactériennes. L'hydroxyde de calcium se dissocie en ions calcium et en radical hydroxyle. Il a la capacité de stimuler les odontoblastes et autres cellules pulpaires afin de former de la dentine réparatrice (17).

Des études ont montré que son pH élevé permet de créer une coagulation de surface ainsi qu'une nécrose lors de la mise en contact avec la pulpe, permettant d'obtenir l'hémostase, de stimuler le tissu minéralisé et ainsi engendrer la formation d'un pont dentinaire (17).

IV.1.2 Avantages

L'un des grands avantages de l'hydroxyde de calcium est de promouvoir la reminéralisation de la dentine cariée avec ou sans formation d'un pont dentinaire recouvrant la pulpe et en irritant les cellules pulpaires, entraînant le relargage de facteurs de croissance qui stimulent la réparation de la pulpe.

IV.1.3 Limites

Le Ca(OH)_2 n'a pas de capacité propre d'adhésion et d'étanchéité. Ses propriétés physiques sont faibles et il présente une grande solubilité.

Plusieurs études démontrent que le pont dentinaire, obtenu avec l'hydroxyde de calcium, a tendance à avoir des défauts de tunnels et de porosité, responsables d'un manque d'étanchéité face aux bactéries (17).

Avec sa haute basicité, le Ca(OH)_2 en contact direct avec la pulpe va détruire localement une couche de tissu pulpaire et crée donc une zone nécrotique non contrôlée. Cela induit de la réaction inflammatoire qui persiste dans le temps et peut mener à la formation de calcifications intra-pulpaire (26).

IV.2 LE MINERAL TRIOXIDE AGGREGATE

Le Mineral Trioxide Aggregate (MTA), dérivant du ciment de Portland inventé par Joseph Aspdin en 1824, est un matériau dentaire bioactif à base de calcium et de silicate d'alumine (17).

IV.2.1 Indications

En premier lieu, le MTA a été utilisé pour les procédures d'apexification, les réparations endodontiques ou encore comme matériau d'obturation des apex radiculaires. Ce ciment bioactif a vu ses indications évoluer, il peut être employé pour les coiffages pulpaire directs comme indirects et pour les pulpotomies, il est considéré comme un matériau aux propriétés supérieures au $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (26).

Le MTA est utilisable dans les milieux humides ; l'eau étant un de ses composants essentiels et nécessaire pour sa prise.

IV.2.2 Composition

La poudre du MTA correspond à un mélange de ciment de Portland purifié (75%), d'oxyde de bismuth (20%) (pour la radio-opacité) et de plâtre (5%). Les constituants principaux du ciment sont le silicate tricalcique, le silicate dicalcique et l'aluminate tricalcique (26).

IV.2.3 Propriétés

Le MTA est capable d'induire la minéralisation dentinaire dans l'optique de conserver la vitalité pulpaire (fig. 18).

La biocompatibilité et l'étanchéité du MTA résultent de la libération d'ions calcium qui réagissent avec le phosphate du fluide tissulaire, induisant la formation d'hydroxyapatite. La formation de cette couche est une caractéristique clé responsable de l'étanchéité chimique entre le MTA et les murs dentinaires, adhésion qui ne peut donc pas être considérée comme une adhésion originelle (26).

IV.2.4 Avantages

Lors du mélange du MTA avec de l'eau s'enchainent des réactions complexes qui libèrent du silicate de calcium et de l'hydroxyde de calcium au pH élevé. Tout ce

conglomérat a une faible solubilité (à l'inverse du $\text{Ca}(\text{OH})_2$) et conserve son intégrité physique dans le temps (17).

Les autres avantages du MTA sont sa haute biocompatibilité, sa bio-activité, son hydrophilie ainsi que sa radio-opacité. Ce produit présente moins de toxicité que le $\text{Ca}(\text{OH})_2$ et a une bonne capacité d'obturation et de maintien de l'étanchéité.

Une étude histologique a confirmé que l'application du MTA a un effet direct sur le potentiel de régénération de la pulpe dentaire, étant associé à une augmentation de sécrétion de $\text{TGF} - \beta$ par les cellules pulpaire (26).

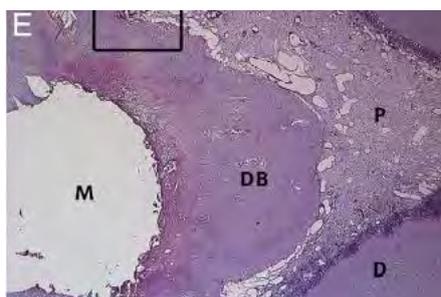


Figure 18 : Coupe histologique d'un pont dentinaire suite à l'application de MTA avec DB = pont dentinaire, M = MTA et P = pulpe (x50, coloration à l'hématoxyline et à l'éosine) – source : Nowicka et al. (31)

IV.2.5 Limites

Le MTA présente également des désavantages conséquents (17):

- Difficulté d'utilisation
- Le mélange doit être extrêmement précis
- Temps de prise long : risque de perte partielle du matériau et d'une altération de l'interface
- Coûteux
- Cause des décolorations dentaires
- Présence de métaux lourds dans la poudre (arsenic)

Les premières formulations du MTA gris (ProRoot MTA) ou encore les plus récentes avec le MTA blanc (White ProRoot MTA) causent des décolorations dentaires (26). Le MTA est donc contre-indiqué en coronaire et donc en juxta-pulpaire.

Par la suite, des accélérateurs d'hydratation (acide citrique, acide lactique, chlorure de calcium et gluconate de lactate de calcium) ont été ajoutés et des alternatives pour le radio-opacifiant ont été trouvées pour donner des MTA à la formule modifiée ou encore la Biodentine.

IV.2.6 Le NeoMTA Plus

Également à base de silicate tricalcique, le NeoMTA Plus (NMP) contient un agent radio-opaque différent des MTA précédemment commercialisés. En effet, l'oxyde de Bismuth, responsable de la décoloration dentaire, a été remplacé par l'oxyde de Tantale (32).

D'après le fabricant, le NeoMTA Plus est indiqué pour les techniques de préservation de la vitalité pulpaire, les apexifications radiculaires, la réduction des résorptions ainsi que des perforations ou encore pour les obturations orthogrades et rétrogrades (32).

Le NeoMTA Plus a été principalement développé pour les techniques de préservation de la vitalité pulpaire vu qu'il n'engendre pas de décoloration du tissu dentaire et peut donc être utilisé en coronaire.

La composition du NeoMTA Plus est la suivante :

- Une poudre à base de silicate tricalcique, de silicate dicalcique, d'oxyde de Tantale, d'aluminate tricalcique, de sulfate de calcium et de plâtre
- Un gel à base aqueuse avec des agents épaississants et des polymères solubles dans l'eau

IV.2.6.1 Propriétés

Sa présentation en poudre fine à mélanger au gel permet de varier les consistances en fonction de l'utilisation, rendant sa manipulation aisée (32).

Le taux de relargage de calcium ainsi que la radio-opacité du NMP est comparable aux autres MTA (32).

Le temps de prise du NeoMTA Plus dépend fortement de sa consistance ; ainsi, si sa consistance est épaisse, le temps de prise sera de 50 à 60 minutes versus 5h si sa consistance est liquide (33).

En bref, les propriétés du NMP sont :

- Bio-activité et biocompatibilité
- Capacité de relargage d'ions et de formation de phosphate de calcium
- Non toxique (29)
- Bonne étanchéité
- Haute basicité
- Manipulation aisée

- Ne cause pas de décoloration dentaire
- Radio-opaque (34)

IV.2.7 Le MTA Repair High Plasticity

Basé sur la formulation du MTA mais avec du Tungstate de calcium en tant qu'agent radio-opaque, le produit MTA Repair High Plasticity (MTA Repair HP) présente les propriétés chimiques du MTA originel mais avec des propriétés physiques et de manipulation déclarées comme améliorées (35).

Ses indications sont semblables aux autres MTA (35).

La composition du MTA Repair HP comporte (30) :

- Au niveau de la poudre : du silicate tricalcique, du silicate dicalcique, de l'oxyde de calcium et du Tungstate de calcium en tant qu'agent radio-opaque
- Au niveau du liquide : de l'eau et des polymères plastifiants

Ces plastifiants permettent d'en faciliter la manipulation et l'insertion dans la cavité dentaire mais rendent le matériau plus soluble et poreux (35).

IV.2.7.1 Propriétés

Le MTA Repair HP ne décolore pas les dents, tout en ayant conservé une radio-opacité satisfaisante. En effet, d'après Aguiar et al. ainsi que Marciano et al., le MTA Repair HP ne cause aucune décoloration du tissu dentaire (30,35). Il est également non-cytotoxique (36).

L'utilisation du Tungstate de calcium est bénéfique puisque, d'après Galarça et al., il a un effet stimulant sur les propriétés biologiques, antibactériennes et physico-chimiques du MTA Repair HP. Celui-ci contribue à un relargage plus important de calcium, promouvant une plus grande minéralisation (30). De facto, il présente une bio-activité rapide et efficace.

Celui-ci est aisément manipulable, possède un pH alcalin et une bonne plasticité par rapport aux MTA précédents (29).

Le matériau se solidifie lorsqu'il est conservé dans un environnement humide après spatulation. Son temps de prise initial est court, environ de 15 minutes (tableau 3) (30).

Tableau 3 : Temps de prise initial et temps de prise final des matériaux White ProRoot MTA, NeoMTA Plus et MTA Repair HP - source : Jiménez-Sánchez et al. (29)

Matériaux	Temps de prise initial	Temps de prise final
White ProRoot MTA	17 minutes	241 minutes
NeoMTA Plus	50 minutes	186 minutes
MTA Repair HP	12 minutes	199 minutes

Le MTA Repair HP a ainsi un temps de prise initial plus court et entraîne une réponse bioactive plus rapide et plus efficace en termes de formation d'une couche de surface d'hydroxyapatite (29).

D'autres formulations avec des agents radio-opaques divers existent comme le MTA Vitalcem, celui-ci est moins radio-opaque et plus soluble que les matériaux MTA précédemment cités.

Peu d'études sont disponibles sur l'utilisation de ces dérivés du MTA en tant qu'agent de coiffage pulpaire ; étant des matériaux relativement récents, les études sont principalement réalisées in vitro et commencent à se développer in vivo chez l'animal.

IV.3 LA BIODENTINE

La Biodentine est considérée comme un substitut dentinaire ayant des propriétés physiques similaires à la dentine.

La présentation en capsule de la Biodentine a permis de diminuer le temps de prise initial afin de la rendre plus facilement utilisable en clinique, entre 10 et 15 minutes (17). Sa composition, modifiée par rapport au MTA par l'ajout d'accélérateurs de liaison et des adoucissants, permet de rendre la Biodentine plus dense et moins poreuse que le MTA avec des forces de compression et de flexion meilleures (tableau 4) (37).

Ce ciment permanent biocompatible se place en une seule session avec un composite par-dessus en technique sandwich ou bien dans la totalité du volume de la cavité le temps d'observer la réaction pulpaire avant de procéder à la réalisation de la restauration finale (26).

Tableau 4 : Tableau présentant les caractéristiques de la Biodentine (26)

Biodentine	
<i>Année de commercialisation</i>	2011
<i>Composition de la poudre</i>	Silicate tricalcique, silicate dicalcique, oxyde de calcium, carbonate de Ca^{2+} , oxyde de zirconium, oxyde de fer
<i>Composition du liquide</i>	Chlorure de calcium, eau, polymère soluble dans l'eau
<i>Couleur</i>	Blanc

IV.3.1 Indications

La Biodentine est utilisée pour les coiffages pulpaire directs et indirects, les pulpotomies ainsi que comme matériau de réparation en endodontie (17).

IV.3.2 Propriétés

Les études montrent que la Biodentine favorise la différenciation des cellules progénitrices pulpaire en odontoblastes (17). Une étude *in vivo*, avec extraction des dents 6 semaines après la mise en place de la Biodentine en coiffage pulpaire direct, a démontré la formation complète d'un pont dentinaire avec une réponse inflammatoire limitée de la pulpe (fig. 19) (17).

Le liquide contient du chlorure de calcium, jouant le rôle d'accélérateur, ainsi que de l'eau. Cela permet d'améliorer ses propriétés de manipulation et sa dureté, également de réduire le risque de perte partielle d'une partie du matériau et le risque d'altération de surface comme cela peut être le cas pour le ciment MTA (26).

La Biodentine directement appliquée sur la pulpe induit la formation de dentine réparatrice résultant en la formation d'un pont dentinaire complet, sans générer de réponse inflammatoire associée et en des couches bien organisées d'odontoblastes après 6 semaines (26).

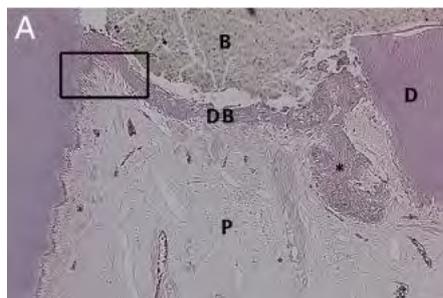


Figure 19 : Coupe histologique d'un pont dentinaire suite à l'application de Biodentine avec DB = pont dentinaire, B = Biodentine et P = pulpe (x 50, coloration à l'hématoxyline et à l'éosine) – source : Nowicka et al. (31)

IV.3.3 Avantages

La Biodentine est un matériau bioactif et non toxique lors de tests sur des cellules pulpaire humaines. Il apporte une étanchéité satisfaisante en adhérant à la dentine et à l'émail.

L'interaction de la Biodentine avec les tissus durs et mous dans les coiffages pulpaire indirects comme directs, apporte étanchéité et protection à la pulpe sous-jacente en induisant la synthèse de dentine tertiaire et la reminéralisation (26).

L'étanchéité marginale est permise grâce à de la rétention micromécanique due à la pénétration de la Biodentine dans les tubulis dentinaires, la Biodentine semblant avoir des valeurs d'étanchéité supérieures au MTA.

IV.3.4 Limites

Le temps de prise de la Biodentine reste néanmoins problématique, son conditionnement en capsules engendre beaucoup de gaspillage (38).

Son esthétique est peu satisfaisante, de même pour ses propriétés physiques ; il est donc nécessaire de mettre une autre restauration par-dessus (26).

Sa radio-opacité est moins importante que celle du MTA. De plus, celle-ci décroît avec le temps, la rendant difficilement détectable radiographiquement sur la durée (26).

IV.4 LE THERACAL

Le TheraCal est un MTA modifié par adjonction de résine, c'est un matériau hydrophile commercialisé en 2011 (tableau 5). Décrit comme un produit à base de silicate de calcium modifié par adjonction de résine photo-polymérisable, celui-ci peut être utilisé,

d'après le fabricant, pour les coiffages pulpaire directs et indirects (17). Le TheraCal facilite notamment le placement immédiat de la restauration finale et a été mis sur le marché pour contrer les mauvaises valeurs d'adhésions des autres matériaux aux restaurations finales à base de résine (26).

IV.4.1 Propriétés

La biodisponibilité des ions calcium dans le TheraCal est dans la fourchette de concentration pour une activité potentielle de stimulation de la pulpe dentaire et des odontoblastes, mais en concentration significativement plus basse que dans la Biodentine (26).

Deux études in vivo ont montré que le TheraCal a la capacité d'induire la formation de dentine réparatrice et la formation d'un pont dentinaire quand celui-ci est utilisé en coiffage pulpaire direct et indirect. Il est épineux de connaître le taux de relargage d'ions des différents matériaux, seules des études in vitro ont été réalisées avec des contextes différents de la réalité in vivo (17).

Tableau 5 : Tableau récapitulatif des caractéristiques du TheraCal (26)

TheraCal	
<i>Année de commercialisation</i>	2011
<i>Composition de la poudre</i>	Pâte unique photo-polymérisable : Résine bis-phényl glycidyle méthacrylate (BisGMA) & polyéthylène glycol, Diméthacrylate (PEGD), silicate de calcium modifié, particules de silicate de calcium (type III - Ciment de Portland), verre de strontium, silice fumée, sulfate de baryum, zirconate de baryum
<i>Couleur</i>	Blanc

IV.4.2 Avantages

Le TheraCal a de très bonnes propriétés de compression et de flexion et son temps de prise est immédiat suite à la photopolymérisation (39).

Le TheraCal étanchéfie le site de coiffage pulpaire malgré le contact avec le fluide dentinaire ou pulpaire car il présente une solubilité moindre que le MTA ou encore la Biodentine (26).

IV.4.3 Limites

Le produit a été rapporté comme toxique pour les cellules pulpaire in vitro et in vivo, créant une inflammation étendue dans $\frac{3}{4}$ des cas après 4 semaines chez des dents de chien, avec formation d'un pont dentinaire complet dans seulement 33% des cas (39).

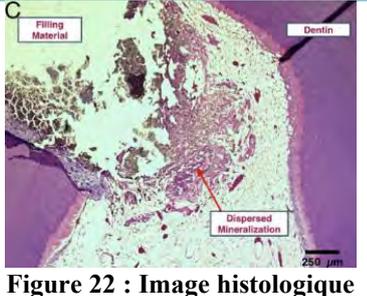
Le processus d'hydratation du TheraCal est incomplet à cause de la diffusion limitée de l'humidité dans le matériau. De plus, aucun hydroxyde de calcium n'est produit et moins de relargage d'ions calcium est enregistré ; le potentiel de reminéralisation du TheraCal est donc moins important que la Biodentine (26).

Une étude sur la toxicité des résines ajoutées dans les silicates tricalciques montre que le TheraCal est toxique pour les fibroblastes pulpaire et induit une inflammation plus importante, avec un potentiel bioactif plus faible que la Biodentine. La capacité réparatrice du TheraCal est ainsi moindre que celle de la Biodentine. En effet, les résultats montrent que le TheraCal est à l'origine de la formation d'un pont dentinaire d'une épaisseur moindre associé à une réaction inflammatoire modérée chronique signant ainsi un score inflammatoire plus haut.

A savoir que la photopolymérisation du TheraCal est associée à une faible augmentation de température, cela pourrait toujours potentiellement induire des effets indésirables sur la pulpe lors des procédures de coiffages pulpaire (26).

IV.5 TABLEAU RECAPITULATIF CONCERNANT LE MTA, LA BIODENTINE ET LE THERACAL

Tableau 6 : Tableau récapitulatif des propriétés des différents biomatériaux (26)

	MTA	Biodentine	TheraCal
Adhésion marginale à la dentine	<ul style="list-style-type: none"> - Adhésion chimique et / ou micromécanique - Pénétration dans les tubulis dentinaires 		<ul style="list-style-type: none"> - Adhésion chimique ou micromécanique pauvre - Retrait lors de la photopolymérisation
Réponse de la pulpe	<ul style="list-style-type: none"> - Pas de réaction inflammatoire - Augmentation du taux de TGF-β - Non toxiques pour les cellules pulpaire - Favorise la formation d'une couche odontoblastique 	<ul style="list-style-type: none"> - Pas de réaction inflammatoire - Augmentation du taux de TGF-β - Non toxique pour les cellules pulpaire - Odontoblastes bien ordonnés 	<ul style="list-style-type: none"> - Inflammation moyenne chronique - Toxique pour les fibroblastes pulpaire - Moins favorable à la formation de la couche odontoblastique
Qualité de la barrière de tissus durs	<ul style="list-style-type: none"> - Régulière, homogène avec une épaisseur uniforme - Absence de certaines caractéristiques de la dentine naturelle 	<ul style="list-style-type: none"> - Formation d'un pont dentinaire complet, régulier avec une épaisseur uniforme 	<ul style="list-style-type: none"> - Barrière calcique de qualité faible avec épaisseur de dentine réduite - Formation d'un pont dentinaire de qualité inférieure
Images histologiques du pont dentinaire formé en fonction du matériau utilisé lors d'une pulpotomie partielle	 <p style="text-align: center;">Figure 20 : Image histologique d'un pont dentinaire formé suite à l'application de MTA avec présence d'un pont complet (x40) – source : Bakhtiar et al. (39)</p>	 <p style="text-align: center;">Figure 21 : Image histologique d'un pont dentinaire formé suite à l'application de Biodentine avec présence d'un pont complet (x40) – source : Bakhtiar et al. (39)</p>	 <p style="text-align: center;">Figure 22 : Image histologique d'un pont dentinaire formé suite à l'application de TheraCal avec présence d'un pont incomplet et une minéralisation désorganisée (x40) – source : Bakhtiar et al. (39)</p>

Une étude menée sur des patients adultes démontre la formation d'un pont dentinaire dans 100% des cas avec la Biodentine, 11% des cas avec le TheraCal et 56% avec le ProRoot MTA (26). Des études in vitro montrent que la Biodentine et le ProRoot MTA induisent une reminéralisation de la dentine à des plus grandes vitesses et intensités que le TheraCal (26).

Au niveau de la qualité de la dentine formée, le MTA est au-dessus de la Biodentine mais au niveau de l'achèvement du pont dentinaire, la Biodentine a de meilleurs résultats (26).

Par rapport au MTA, la Biodentine a des valeurs d'adhésion moindres aux matériaux de restauration comme le composite, les composites et les Ciments de Verre Ionomère Modifiés par Adjonction de Résine (CVIMAR). Il est toujours nécessaire de laisser le MTA et la Biodentine finir leur prise totale avant de placer la restauration finale par-dessus (26).

Le MTA et la Biodentine déclenchent une activité métabolique favorable et promeuvent la même réponse cellulaire voulue, ce qui résulte en des succès cliniques plus nombreux et moins de défauts au niveau de la dentine.

IV.6 LES BIO-CERAMIQUES PRE-MIXEES

Disponibles depuis plus de 50 ans en médecine, les biocéramiques pré-mixées ont été introduites récemment en dentisterie pour leurs propriétés ostéogéniques et odontogéniques.

Un des grands avantages de ces biocéramiques est leur présentation pré-mixée, évitant ainsi les erreurs de l'opérateur dans le ratio poudre / liquide pouvant grandement altérer les propriétés des matériaux ainsi que leur capacité à être manipulés (40).

Également appelées ciments pré-mixés à base de silice et de calcium, les biocéramiques pré-mixées sont des ciments hydrauliques blancs composés de (40) :

- Silicate de calcium
- Oxyde de zirconium
- Oxyde de tantale
- Phosphate de calcium monobasique
- Charges

IV.6.1 Propriétés

Les biocéramiques présentent des propriétés odontogéniques indéniables, une bonne biocompatibilité et une activité antimicrobienne satisfaisante (grâce à leur pH basique).

Les biocéramiques pré-mixées ont des propriétés mécaniques et biologiques de qualité (38,40,41):

- Matériaux prêts à l'emploi en présentation pré-mixée afin d'éviter les erreurs de l'opérateur lors du mélange
- Propriétés de manipulation supérieures
- De nature hydrophile
- Pas de décoloration de l'organe dentaire
- Diffusion active d'hydroxyde de calcium
- Pas de délitement au moment de la prise
- Pas de gaspillage du matériau
- Pas de contamination croisée
- Sans aluminium
- Insensible à l'humidité et à la contamination sanguine

De consistance homogène et facilement condensable, leur mise en place est facile dans les zones difficiles d'accès. Ces biocéramiques ont besoin d'humidité pour leur prise, provenant notamment du fluide dentinaire présents dans les tubulis. Lors de leur prise, en durcissant, elles s'expandent légèrement permettant d'obtenir une étanchéité sur le long terme.

IV.6.2 Indications

Leurs indications sont fortement semblables aux matériaux précédemment décrits (40):

- Coiffages pulpaire et pulpotomies
- Réduction de perforations et de résorptions
- Obturations orthogrades et rétrogrades
- Apexification

IV.6.3 Matériaux disponibles

Les biocéramiques pré-mixées disponibles, dont la composition est similaire mais le nom commercial change en fonction du pays du fabricant, sont l'iRoot BP (Canada), l'EndoSequence Root Repair (Etats-Unis) et le TotalFill (Suisse) (40).

Elles sont classées selon leur consistance (tableau 7) :

Tableau 7 : Les différentes biocéramiques pré-mixées disponibles en fonction du fabricant et de leur consistance (avec RRM = Root Repair Material) – source : Motwani et al. (40)

Consistance	Noms des matériaux		
Davantage liquide : pâte dispensée en seringue	iRoot BP et iRoot SP	TotalFill BC RRM paste	EndoSequence BC RRM (ERRM)
Epaisse et plus malléable : Putty form	iRoot BP Plus putty	TotalFill BC RRM putty	EndoSequence BC RRM putty
Epaisse avec temps de prise réduit : Fast-set Putty form	iRoot FS	TotalFill BC RRM fast-set-putty	EndoSequence BC RRM fast-set-putty

Tous les matériaux cités ci-dessus ont un temps de prise final de 2h, sauf l'iRoot FS dont le temps de prise final est d'1h. Également, l'EndoSequence BC RRM fast-set-putty bénéficie d'un temps de prise final réduit à 20 minutes.

Pour les techniques de préservation de la vitalité pulpaire, les biocéramiques pré-mixées à consistance épaisse (Putty), davantage malléables, se révèlent particulièrement intéressantes.

Le temps de prise initial des consistances Putty est de 30 minutes avec un temps de prise final estimé à 2h (42).

IV.6.4 Travaux et études

Les biocéramiques pré-mixées sont des matériaux biocompatibles avec la capacité d'induire la formation d'un pont dentinaire, avec un taux de prolifération des cellules pulpaires humaines identique voire supérieur à celui du MTA, sans causer de complications sévères. Le pont dentinaire formé est en continuité avec la dentine primaire avec des tubulis bien distinguables (41).

La Biodentine, les biocéramiques pré-mixées et les divers MTA ont des biocompatibilités et des propriétés odontogéniques similaires, la Biodentine présente néanmoins une plus grande viabilité des cellules pulpaires (43).

Les biocéramiques pré-mixées ont la capacité d'induire la formation de dentine réparatrice lors de coiffages pulpaire directs ou lors de pulpotomies ainsi que de permettre la reminéralisation de la dentine affectée en 4 semaines lors de l'éviction carieuse sélective de dentine cariée (44).

Les biocéramiques pré-mixées ont des propriétés conformes pour être des candidates comme matériaux de coiffage pulpaire, avec une biocompatibilité et une cytotoxicité similaires au MTA.

Les biocéramiques pré-mixées sont des biomatériaux relativement récents avec peu d'études disponibles sur leur utilisation, en coronaire notamment, dans les techniques de préservation de la vitalité pulpaire. Aucun recul clinique sur le long terme à 5 – 10 ans n'est actuellement disponible. Il est donc difficile de conclure si celles-ci sont efficaces en tant qu'agent de coiffage pulpaire ; néanmoins jusqu'à preuve du contraire, ces biocéramiques pré-mixées peuvent être utilisés dans les thérapeutiques de préservation de la vitalité pulpaire.

IV.7 QUID DU FLUORURE DE DIAMINE D'ARGENT ?

Le Fluorure de Diamine d'Argent (ou SDF pour Silver Diamine Fluoride) est une solution topique de fluorure, utilisé depuis des décennies, notamment en Chine et au Japon. Le SDF contient des ions Argent, des ions Fluor et de l'ammoniaque. Les ions Ammoniaque se combinent avec les ions Argent pour former un complexe appelé « ion diamine d'Argent », complexe plus stable que le fluorure d'argent. Le SDF est communément utilisé dans des solutions dont la concentration est de 38% (contenant 44 800 ppm de fluor) afin de traiter l'hypersensibilité et pour stopper le développement des caries (45).

IV.7.1 Propriétés

Le SDF stoppe la progression de la carie en formant une couche imperméable, noire, durcie sur la surface dentaire cariée.

Cette solution, de par ses différents composants, a de nombreux effets :

- Effet bactéricide des ions Argent sur le biofilm carieux
- Effet reminéralisant des ions Fluor sur les caries de l'émail et de la dentine

- Effet inhibiteur du SDF sur les cathepsines et les métalloprotéinases (responsables de la dégradation du collagène dentinaire)
- Les précipités d'Argent peuvent réduire la perméabilité des tubulis dentinaires permettant de prévenir le passage des micro-organismes et de leurs produits jusqu'à la pulpe dentaire (46).

Une surface dentinaire traitée par le SDF voit une diminution significative de la croissance de *S. Mutans* par rapport aux zones non traitées. Très peu de bactéries sont retrouvées vivantes à la suite de l'application de SDF ; *S. mutans*, *S. oralis*, *Lactobacillus Casei*, *Actinomyces Naeslundii* et *Lactobacillus Acidophilus* se retrouvent en concentrations réduites. Le SDF inhibe aussi l'adhérence de *S. mutans* sur la surface dentaire (47).

L'action du SDF peut être résumée par ses propriétés antibactériennes sur les bactéries cariogènes, son effet reminéralisant sur le contenu inorganique et son effet inhibiteur de la dégradation de la matrice organique.

IV.7.2 Avantages

L'application de SDF est une procédure rapide, efficace, non invasive et facile, ne nécessitant ni électricité, ni eau. Ce produit peut être utilisé pour traiter les patients jeunes anxieux, les patients non-coopérants à besoins spécifiques ou encore les patients âgés.

IV.7.3 Limites

Les lésions carieuses traitées vont se colorer en noir après l'application du SDF (fig. 23). La solution peut également tâcher la peau et les muqueuses (pour une durée de sept jours environ) et les vêtements (de façon permanente). Il y a également un risque d'irritation gingivale ou muqueuse (le tissu affecté devient alors blanc de façon temporaire). Un goût métallique désagréable peut être rapporté par le patient (45).



Figure 23 : Colorations suite à l'application de SDF sur des zones déminéralisées et/ou cariées – source : May et al. (45)

C'est un produit à usage professionnel, au vu notamment de la forte concentration en fluor (44 800 ppm) qui, si appliqué en larges doses, peut causer une fluorose chez les enfants. Concernant la sécurité d'utilisation du produit, aucune complication significative n'a été rapportée dans la littérature malgré un usage depuis plus de 50 ans dans certaines régions du monde (45).

IV.7.4 Effet du Fluorure de Diamine d'Argent sur le complexe dentino-pulpaire

Tableau 8 : Tableau récapitulatif des résultats de la revue systématique de Zaeneldin et al. sur le SDF et le complexe pulpo-dentinaire (46)

Auteurs	Résultats
<p>Zaeneldin et al. (2022)</p> <p>Revue de littérature sur la réponse du complexe dentino-pulpaire lors de l'application de SDF en présence de caries profondes (46)</p>	<p>Lors de l'application indirecte de SDF sur le tissu pulpaire :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pas de cellules inflammatoires, ni de vaisseaux dilatés retrouvés dans la pulpe (Korwar et al.) - Présence d'une petite inflammation pulpaire après l'application de SDF (Bimmstein et Damm) - Aucune nécrose pulpaire rapportée et aucune bactérie retrouvée dans le tissu pulpaire - Aucune pénétration d'ions Argent dans le tissu pulpaire mais des précipités sont présents dans les tubulis dentinaires dans les zones traitées par le produit (fig. 24) - Le produit SDF bloque l'arrivée des irritants dans la pulpe - A 30 jours : un pont dentinaire est visible avec dépôt de dentine tertiaire à un rythme rapide <p>Lors de l'application directe de SDF sur la pulpe :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le SDF a un effet inhibiteur sur les cellules pulpaires, même à des concentrations très faibles (Kim et al.) - Les cellules en contact avec le SDF ont une activité métabolique affaiblie avec un taux de prolifération diminué et un accroissement de la mort cellulaire - 30 jours après l'application directe de SDF -> 8 pulpes sur 11 sont entièrement nécrosées (Hosoya et al.)

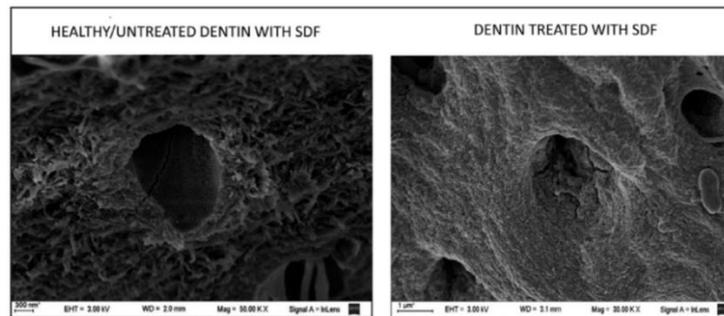


Figure 24 : Images au microscope électronique à balayage (SEM) de tubulis sans et avec application de SDF – source : Glenda et al. (48)

D'après la littérature disponible limitée, l'application directe de SDF sur le tissu pulpaire cause une inflammation sévère et la nécrose du tissu ; le SDF étant cytotoxique pour les cellules pulpaires, même en concentration très faible.

Le SDF, lors des applications indirectes, se révèle biocompatible et entraîne une réponse inflammatoire modérée ainsi que la formation d'un pont dentinaire en permettant l'augmentation de l'activité des cellules proches de la lésion.

Des études complémentaires sont nécessaires pour comprendre l'activité biologique du tissu pulpaire en réponse à l'application de SDF (46).

V. LES TECHNIQUES DE PRESERVATION DE LA VITALITE PULPAIRE

Les techniques de préservation de la vitalité pulpaire se basent sur l'élimination du tissu ne pouvant pas cicatriser, recherchent la protection des tissus adjacents, notamment en stimulant leur cicatrisation.

V.1 PRINCIPE

De nos jours, le concept de dentisterie minimalement invasive se développe et peut s'appliquer également aux caries profondes.

Dans l'optique de déployer des approches plus conservatrices, les thérapeutiques de préservation de la pulpe vitale (« Vital Pulp Therapy ») ont été développées. Les avantages de ces thérapies sont le maintien de la structure dentaire intègre avec une conservation de la résistance mécanique ainsi que des mécanismes de défense de la pulpe vitale (24).

Nous développerons les évictions carieuses conservatrices, le coiffage pulpaire indirect, le coiffage pulpaire direct et les pulpotomies (partielles et camérales).

V.2 INDICATIONS

Ces techniques de préservation de la pulpe vitale ont premièrement été indiquées pour le traitement de dents immatures avec des pulpites réversibles.

Aujourd'hui, ces thérapies se concentrent sur les dents immatures mais également matures, présentant une carie profonde avec une réponse positive au test au froid, une absence de douleur spontanée, une absence de sensibilité au test de percussion ainsi qu'une absence d'image péri-apicale à la radiographie.

L'Association Américaine d'Endodontie (AEE - American Association of Endodontists) énonce que les dents matures présentant une pulpite irréversible ne peuvent être traitées avec des techniques de préservation de la pulpe vitale (10).

En effet, le traitement des dents définitives matures en pulpite irréversible ne fait pas partie du concept initial de ces techniques de préservation de la vitalité pulpaire mais de plus en

plus d'études se concentrent sur le sujet. Si l'infection est contrôlée, il est attesté que même les pulpites irréversibles peuvent être soignées (10).

V.3 OBJECTIFS

Les objectifs communs de ces différentes techniques sont les suivants :

- Limiter la population bactérienne
- Arrêter la progression des caries
- Stimuler les cellules pulpaire pour former de la dentine tertiaire
- Fournir une étanchéité biocompatible qui protège la pulpe des bactéries et des agents nocifs (17)

L'objectif majeur de l'approche moderne de la dentisterie restauratrice est d'induire la reminéralisation de la dentine cariée hypo-minéralisée (26).

V.4 LES TECHNIQUES D'ÉVICTION CARIEUSE CONSERVATRICES

L'éviction carieuse sélective consiste en une éviction des couches superficielles de la lésion en regard de la pulpe, réduisant ainsi le risque d'exposition pulpaire et favorisant l'arrêt du développement carieux. Pour l'application de ces techniques, la dent doit être vitale et asymptomatique et la mise en place d'une restauration étanche est obligatoire afin de garder les bactéries en dormance dans les couches les plus profondes de la dentine (17). L'objectif est de faciliter la réaction physiologique du complexe dentino-pulpaire, d'engager le phénomène de sclérose dentinaire et la formation de dentine tertiaire.

Si la pulpe dentaire montre des signes cliniques et radiologiques de bonne santé et de vitalité, l'éviction carieuse devrait se concentrer à ne pas risquer l'exposition pulpaire, celle-ci entraînant l'introduction de bactéries, réduisant alors la probabilité de cicatrisation de la pulpe dentaire et de la conservation de la vitalité pulpaire. C'est dans cette optique qu'ont été développées les techniques d'éviction carieuse partielles dites conservatrices (49).

L'expérience qui suit (fig. 25), menée par Bjørndal, permet de mieux cerner le concept et d'en comprendre le fonctionnement ; chez un patient présentant une carie profonde active, le praticien réalise la dépose de tout l'émail non soutenu ainsi qu'un nettoyage professionnel de la surface de la carie et donc du biofilm. Le patient utilise une

brosse à dents électrique pendant deux semaines, permettant de garder la surface propre. Il est alors constaté que l'aspect de la dentine change en devenant plus noir et plus ferme, avec une apparence clinique moins humide (ce qui correspond à notre vision clinique d'une carie arrêtée) ; ainsi la dentine cariée réagit rapidement au changement marqué du biofilm et de l'environnement. La carie active s'est transformée en lésion inactive (18).

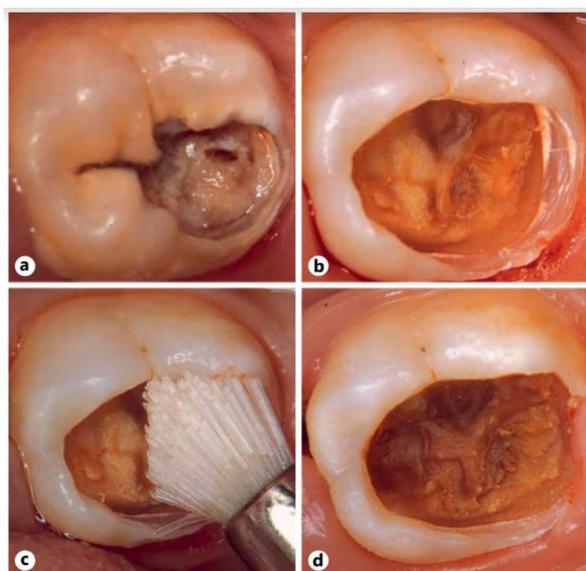


Figure 25 : Illustration de l'expérience de Bjørndal avec a = situation initiale de la carie profonde à J0, b = photographie suite à l'élimination des pans d'émail non soutenue à J0, c = nettoyage professionnel de la carie profonde à J0 et d = photographie à J + 14 – source : Bjørndal et al. (18)

Le contrôle du biofilm est primordial dans l'arrêt du développement d'une carie active. La modification du biofilm de surface est le point clé pour comprendre les techniques d'éviction carieuse moins invasives (26).

Dans ces techniques de préservation tissulaire, nous étudierons principalement les techniques de Stepwise Excavation - SW (« Excavation par étapes ») et de Partial Caries Removal - PCR (« Élimination partielle de la carie »). Ces techniques peuvent être réalisées pour des dents définitives dès lors que le diagnostic d'une pulpe saine ou enflammée réversiblement, capable de guérison, est posé (26).

Pour espérer un succès, ces trois éléments sont primordiaux : le diagnostic pulpaire pré-traitement, la quantité de dentine retirée et l'étanchéité de la restauration (26).

V.4.1.1 La Stepwise Excavation ou Excavation par étapes

V.4.1.1.1 Définition

La technique d'excavation par étapes est une technique minimalement invasive qui se réalise en deux étapes (fig. 26) ; une excavation initiale durant laquelle les tissus dentinaires nécrotiques et désorganisés sont retirés, laissant du tissu mou au-dessus du plafond pulpaire tout en réalisant une excavation complète au niveau de l'émail et des murs périphériques. La cavité est alors temporairement restaurée pour laisser du temps à la pulpe de réagir et de produire de la dentine tertiaire. Après une période de temporisation, la cavité est rouverte et la dentine déminéralisée restante est retirée jusqu'à obtenir de la dentine ferme (50).

Le but de la première séance est de convertir l'environnement de la lésion active en un environnement de lésion inactive ou avec un développement lent (18).

La période de temporisation entre les deux séances permet de modifier l'environnement dentinaire et de transformer la dentine cariée molle, décolorée et humide en une dentine cariée plus dure, plus noire et avec un aspect sec. L'intervalle entre les deux séances varie en fonction des études, de 3 à 12 mois (18,51). Cette temporisation permet d'isoler les micro-organismes de l'environnement oral et de rendre l'exposition pulpaire moins risquée par la réaction de stimulation du complexe dentino-pulpaire.

A la seconde séance, la cavité est optimisée pour mettre en place la restauration finale (18). Le but de cette seconde étape est de renforcer l'interface restauration / dent.

Il faut noter que, lors de la réouverture au second rendez-vous, il a été remarqué la présence d'un gap entre la restauration temporaire et la dentine sous-jacente, dû au rétrécissement de la dentine cariée active qui prend place lors de l'inactivation de la lésion carieuse (18). Il se pose donc la question de l'étanchéité d'une restauration définitive mise en place dès la première séance.

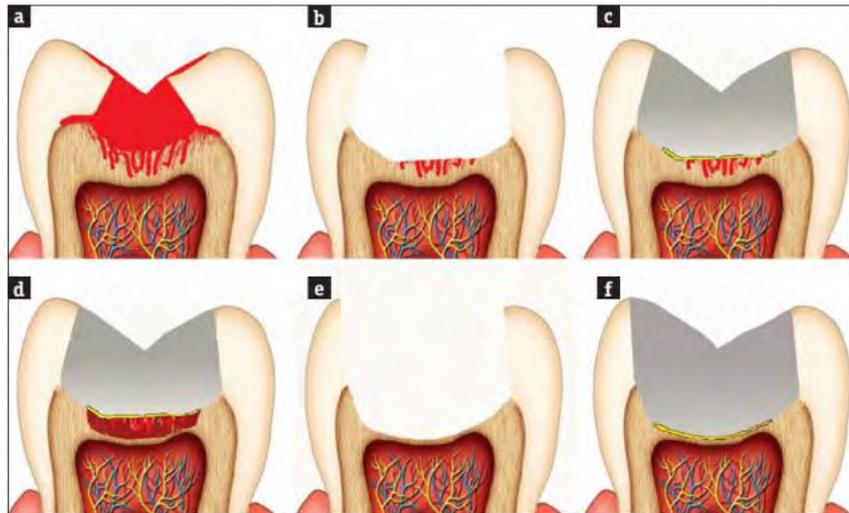


Figure 26 : Etapes d'une Stepwise Excavation en deux séances avec a = situation initiale de carie profonde, b = excavation totale en regard de la périphérie et excavation partielle en regard du tissu pulpaire, c = mise en place d'un matériau temporaire, d = période de temporisation, e = réouverture de la cavité après la période de temporisation et réalisation de l'excavation finale et f = mise en place d'une restauration définitive après la seconde excavation - source : Alsadat et al. (51)

V.4.1.1.2 Matériaux de coiffage utilisés lors de la période de temporisation

Le matériau le plus communément utilisé comme matériau de coiffage en interséance dans la technique Stepwise Excavation est l'hydroxyde de calcium Ca(OH)_2 . Il a également été décrit l'utilisation du ciment polycarboxylate avec des antimicrobiens combiné à une préparation de fluorure de tanin (52), du ciment oxyde de zinc – eugénol, du Ciment de Verre Ionomère (CVI), du CVIMAR, de l'Emdogain, ... (51).

V.4.1.1.3 Evolution du biofilm lors du processus de Stepwise Excavation

Afin de caractériser l'importance de la nature qualitative des biofilms entre un environnement lésionnel fermé et un environnement ouvert, des prélèvements ont été réalisés et il a été noté qu'une lésion ouverte présente un environnement à la composition d'espèces beaucoup plus complexe qu'une lésion fermée.

Après le premier stade de cette technique et à la réouverture au moment de la deuxième séance, l'environnement lésionnel peut être comparé à un biofilm d'une lésion arrêtée. En effet, il y a un changement au niveau de l'aspect clinique de la dentine cariée mais également au niveau de la composition et du nombre de microorganismes retenus dans la dentine cariée (tableau 9) (18).

Les bactéries ont tendance à mourir ou à devenir inactives dans les parties profondes de la dentine après la mise en place d'une restauration bien étanche ; la réduction de la présence des nutriments de l'alimentation et de la salive vont entraîner la sélection de bactéries moins cariogènes qui survivent seulement grâce aux protéines du sérum obtenues de la pulpe par les tubulis dentinaires (51).

Tableau 9 : Tableau récapitulatif des études sur la nature des bactéries lors des étapes de la Stepwise Excavation

Auteurs	Résultats
Bjørndal et al. (1997) Etude in-vivo (chez l'Homme) des populations bactériennes aux différents stades de la SW (avec temporisation comprise entre 6 et 12 mois)	<ul style="list-style-type: none"> - Suite à la première éviction : une moyenne de 10^4 bactéries cultivables - A la réouverture : $1,5 \times 10^2$ bactéries cultivables - Après l'éviction finale : 10^1 bactéries cultivables (53)
Maltz et al. (2002) Etude in-vivo (chez l'Homme) du nombre de bactéries aérobies et anaérobies aux différents stades de la SW (avec temporisation de 6 – 7 mois)	Les taux de bactéries aérobies et anaérobies ont fortement diminué au cours des étapes de la procédure (54)
Bjørndal et al. (2000) Quantification de la flore microbienne au cours de la procédure Stepwise Excavation in-vivo (chez l'Homme)	<ul style="list-style-type: none"> - Lors de la première éviction : prédominance de bactéries gram positif (70%) - A la suite de l'éviction finale : aucune bactérie gram négatif n'est détectée (55)

V.4.1.1.4 Avantages

L'excavation par étapes présente un haut taux de réussite dans la réduction du risque d'exposition pulpaire et dans le maintien de la vitalité pulpaire.

Magnusson et Sundell ont comparé le risque d'effraction pulpaire entre la technique traditionnelle et la technique Stepwise Excavation, ainsi seulement 15% des pulpes ont été exposées avec l'éviction partielle contre 53% dans l'éviction totale (20).

V.4.1.1.5 Limites

Les principaux désavantages de cette technique sont :

- Risque additionnel d'exposition pulpaire au moment du deuxième curetage, avec un risque évalué à 15% (18)

- Echec de la restauration temporaire
- Nécessité de deux séances pour compléter le traitement, entraînant des coûts additionnels et de l'inconfort pour le patient
- Bonne compliance du patient nécessaire : risque que le patient ne revienne pas pour la 2^{ème} séance

De plus, la dentine retirée, lors de la première séance, n'est pas toujours décrite de la même façon ; nous retrouvons des termes variés : « biomasse dentinaire », « la masse du tissu carieux », « la surface cariée », « la dentine infectée », « le tissu nécrotique et fragmenté », « la biomasse cariogénique ». Ainsi, il n'est pas évident de quantifier la dentine retirée et de visualiser combien de dentine cariée est laissée dans la cavité (52).

V.4.1.2 La Partial Caries Removal ou Excavation partielle de la carie

V.4.1.2.1 Principe

La technique Partial Caries Removal (PCR) est un procédé d'éviction carieuse conservatrice réalisé en une seule étape. Cette technique est nommée également « éviction sélective de dentine ramollie » (18).

La thérapeutique se fait en une seule séance (fig. 27) durant laquelle est réalisée une éviction de presque toute la dentine infectée, juste une couche fine de dentine affectée déminéralisée est laissée en regard du tissu pulpaire ; de la dentine saine doit être présente au niveau de l'émail et en périphérie de la cavité. A la fin de l'unique séance, un matériau de coiffage et une restauration définitive sont mis en place.

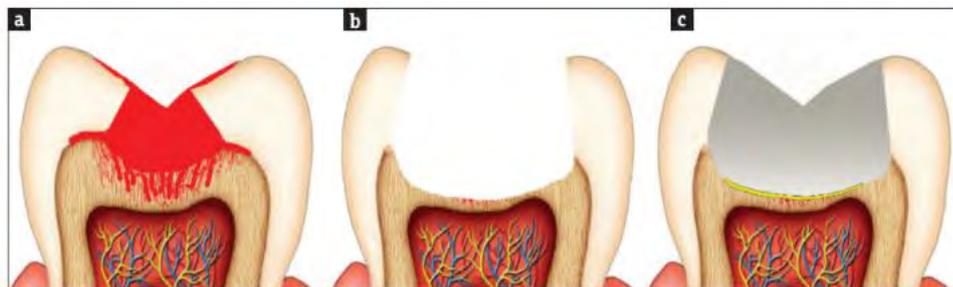


Figure 27 : Etapes d'une excavation partielle de la carie avec placement de la restauration finale lors de l'unique séance avec a = situation initiale de carie profonde, b = excavation totale en regard de la périphérie et excavation partielle en regard du tissu pulpaire et c = mise en place d'une restauration définitive – source : Alsadat et al. (51)

V.4.1.2.2 Avantages

Cette technique a un coût économique faible et un taux de risque de complications moins important que les techniques traditionnelles.

La technique PCR semble être un traitement plus conservateur que la technique Stepwise Excavation (56).

V.4.1.2.3 Limites

Les principaux désavantages de cette technique PCR comprennent le risque de progression de la carie résiduelle et le risque de la réduction de la résistance à la fracture de la dent.

V.5 LE COIFFAGE PULPAIRE INDIRECT

Le coiffage pulpaire indirect correspond à l'application d'un matériau de coiffage à proximité pulpaire, suite à l'éviction carieuse complète d'une carie profonde et en l'absence d'effraction pulpaire. Il est ensuite apposé, dans la même séance, le matériau de restauration définitive.

V.5.1 Avantages

Ce traitement réalise en une seule séance le retrait total du tissu dentaire carié. Vu que l'entièreté de la carie est retirée, il n'y a aucun risque d'évolution de la carie et moins de risque de mauvaise adhésion de la restauration aux tissus dentaires. Également, vu l'absence d'effraction pulpaire, aucune contamination externe de la pulpe ne survient.

V.5.2 Limites

Il est admis que le risque d'effraction pulpaire lors d'une éviction complète est élevé. C'est un traitement simple, décrit comme agressif en comparaison aux techniques d'éviction carieuse sélectives.

V.6 ETUDES SUR LES TECHNIQUES D'ÉVICTION CARIEUSE CONSERVATRICES ET LE COIFFAGE PULPAIRE INDIRECT

V.6.1 Les techniques d'éviction conservatrices

Pour le traitement des caries profondes, les techniques Partial Caries Removal et Stepwise Excavation sont à privilégier, en effet, celles-ci présentent des taux d'échec plus faibles que la technique d'éviction carieuse complète (20,57,58).

La technique PCR présente un taux de réussite de 99% à 18 mois, de 91 à 96% à 3 ans et de 80% à 5 ans (49,57). La technique SW, quant à elle, présente un taux de succès de 74,1% à 1 an, de 69 à 86% à 3 ans et de 56% à 5 ans (20,49,57).

Le succès de la thérapie correspond à l'absence de douleur, à l'intégrité des joints de la restauration et à l'absence d'altération de la région péri-apicale avec présence d'une apexogénèse poursuivie avec fermeture des apex pour les dents immatures.

Les techniques d'éviction carieuse conservatrices permettent, de façon statistiquement significative, de réduire le nombre d'effraction pulpaire par rapport à l'éviction complète non sélective. La littérature disponible, bien que limitée, soutient que l'exposition pulpaire survient deux fois moins lors de la réalisation des techniques d'éviction carieuse conservatrices (20,58,59).

De nombreuses études favorisent la Partial Caries Removal par rapport à la technique Stepwise Excavation malgré des résultats proches entre les deux techniques quand le traitement de la Stepwise Excavation est complet mais le risque de ne pas revoir le patient pour la deuxième séance fait chuter le pourcentage de ce procédé (57). Elles concluent également que la technique PCR réduit significativement le risque de nécrose pulpaire par rapport à la technique Stepwise Excavation (57). Ces résultats suggèrent qu'il n'y a pas besoin de rouvrir une cavité et de faire une seconde excavation pour la conservation de la vitalité pulpaire (51,57).

Néanmoins, quand nous comparons la technique PCR à des dents qui ont suivi le protocole complet de la Stepwise Excavation, les deux traitements ont des taux de succès similaires. En effet, les dents qui n'ont pas terminé le protocole de l'excavation par étapes

ont un taux de survie de 5%, qui est significativement plus bas que celui du protocole terminé de cette même technique, celui-ci étant alors de 75% (57).

Des résultats contradictoires sont disponibles à ce jour concernant l'impact de l'âge du patient sur le taux de succès de ces techniques conservatrices (59). Il est nécessaire que des études réalisées sur le long terme avec des groupes de patients plus âgées soient publiées, les études actuelles se concentrent principalement sur les enfants, les adolescents et les jeunes adultes (58).

V.6.2 Le coiffage pulpaire indirect

Des études prospectives et rétrospectives diverses signalent un taux de succès de la technique du coiffage pulpaire indirect compris entre 73% à 95% avec des suivis allant de 2 semaines à 11 ans et sans différence significative quel que soit l'agent de coiffage pulpaire mis en place (60,61).

Plusieurs études ont montré que l'étanchéité est le paramètre le plus important pour la réussite de ces trois techniques et non le biomatériau utilisé (54). De la même façon, l'étanchéité est le critère majeur pour l'arrêt de la carie dans les techniques d'éviction carieuse conservatrices (17).

V.7 LE COIFFAGE PULPAIRE DIRECT

Le coiffage pulpaire direct est défini comme la mise en place d'un pansement sur du tissu pulpaire vital exposé, exposition qui peut survenir à la suite notamment d'une éviction carieuse complète (62).

Nous pouvons espérer, quelques mois après la réalisation de la procédure, la présence d'un tissu pulpaire régulier sans signe d'inflammation et avec une couche d'épaisseur constante de dentine réparatrice, ceux-ci étant des indicateurs de succès (fig. 28) (62).

V.7.1 Avantages

C'est un traitement non invasif, relativement simple et peu coûteux (62).

V.7.2 Limites

La pulpe est un environnement sensible et lors des expositions pulpaire, une zone de nécrose dans la pulpe peut déjà être présente et en y ajoutant des fragments de dentine contaminée, cette zone de nécrose évolue avec un risque d'infection et d'apparition de douleurs. Les loupes à grossissement ainsi qu'un éclairage amélioré sont alors d'une grande aide (18).



Figure 28 : Radiographies suite à un coiffage pulpaire direct à J0 (fig. 13) et à 14 mois (fig. 14) avec présence de dentine réparatrice et une dent asymptotique répondant au test au froid – source : Alex et al. (17)

V.8 LES PULPOTOMIES

A la suite d'une effraction pulpaire, si l'hémostase n'est pas obtenue en cinq minutes, une éviction de la pulpe est nécessaire, soit par une pulpotomie partielle ou soit par une pulpotomie complète (26).

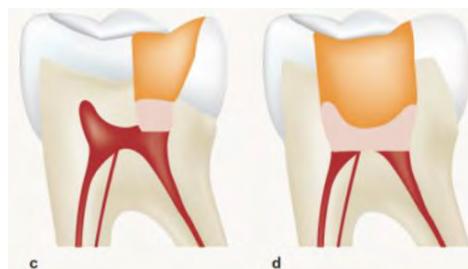


Figure 29 : Schéma de la pulpotomie partielle (c) et de la pulpotomie camérale (d) – source : <https://www.information-dentaire.fr/formations/coiffage-pulpaire-direct-pulpotomie-pulpectomie-ou-en-sommes-nous-en-2020/>

V.8.1 La pulpotomie partielle

La pulpotomie partielle correspond à une amputation de 2 à 3 mm de tissu pulpaire avec une fraise diamantée à haute vitesse sous spray d'eau au niveau du site de l'exposition

pulpaire (fig. 29). L'action d'amputer le tissu avant le coiffage pulpaire pourrait permettre d'offrir une meilleure chance de guérison à la pulpe par rapport à un coiffage pulpaire direct (63). Il est ensuite placé un matériau de coiffage au contact de la pulpe.

V.8.1.1 Indications

Cette thérapie permet de retirer la couche superficielle pulpaire infectée lors d'exposition pulpaire.

Les techniques de coiffage pulpaire protègent la pulpe mais ne peuvent pas toujours endiguer un processus d'inflammation pulpaire. La pulpotomie partielle est alors recommandée (26).

La pulpotomie partielle permet de conserver la pulpe coronaire riche en cellules, ce qui permet de continuer la dépose de dentine cervicale et de réduire le risque d'oblitération canalaire.

V.8.2 La pulpotomie camérale

La pulpotomie camérale est une procédure agressive d'amputation pulpaire, consistant à retirer le tissu coronaire jusqu'aux ouvertures canalaire radiculaires, afin de préserver la vitalité et la fonctionnalité de la pulpe restante (fig. 29). Il faut retirer la portion pulpaire qui a subi des changements irréversibles et dégénératifs pour laisser seulement du tissu radiculaire vital et sain (64). Un matériau de coiffage pulpaire est placé dans la chambre pulpaire puis est recouvert d'un matériau de restauration (fig. 30).

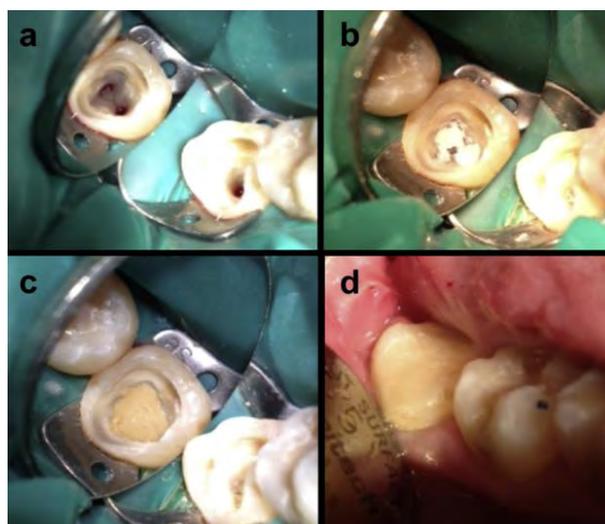


Figure 30 : Etapes d'une pulpotomie camérale avec a = photographie à la suite de la réalisation de la pulpotomie, b = mise en place du matériau de coiffage Ca(OH)₂ aux entrées canalaire, c = mise en place de la restauration définitive & d = photographie post-opératoire – source : Kunert et al. (65)

V.8.2.1 Indications

Dans les premiers temps, cette procédure a été essentiellement indiquée pour des expositions de pulpe saine ou en pulpite irréversible pour des dents déciduales ou pour des dents définitives immatures. Mais dans la dernière décennie, de nombreuses études ont été réalisées sur des dents définitives matures grâce à toutes les données acquises sur le fonctionnement de la pulpe.

Deux phénomènes d'activité de minéralisation peuvent être attendus suite à une pulpotomie ; en premier lieu, un pont dentinaire va se former sous la section de la pulpe (fig. 31). Le second phénomène sera une oblitération de la lumière canalaire, ce qui pourrait être le signe d'une inflammation pulpaire chronique (64).

Les réactions pulpaires post-opératoires dépendent du potentiel réparateur de la pulpe radiculaire résiduelle et surtout des conditions hygiéniques de réalisation de la procédure. Les complications suite à une pulpotomie sont majoritairement d'ordre bactérien ou inflammatoire (64).

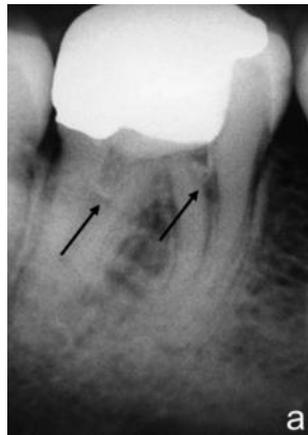


Figure 31 : Formation de ponts dentinaires suite à une pulpotomie camérale – source : Kunert et al.

(65)

V.8.2.2 Avantages

Une pulpotomie, sur dents permanentes notamment, est une procédure moins compliquée techniquement, moins chronophage, accessible, définitive et moins coûteuse qu'un traitement endodontique.

V.8.2.3 Limites

Concernant la préservation de la vitalité pulpaire, il est difficile de tester la sensibilité post-opératoire des dents qui ont subi une pulpotomie camérale, en effet, le tissu vital ne se retrouve qu'au niveau radiculaire ; il y a donc un risque augmenté de faux négatif. Le succès de la pulpotomie doit être davantage corrélé à une absence de signes d'inflammation péri-apicale ou d'infection plutôt qu'à la réponse au test de sensibilité du tissu pulpaire radiculaire.

Également, l'oblitération canalaire après une pulpotomie complète des dents définitives matures est crainte lorsqu'elle est présente en même temps qu'une parodontite apicale car le traitement endodontique devient difficilement réalisable (10). Malheureusement, si le traitement endodontique est indiqué mais non réalisable, l'extraction de la dent devient nécessaire.

V.9 ETUDES SUR LE COIFFAGE PULPAIRE DIRECT ET LES PULPOTOMIES

V.9.1 Le coiffage pulpaire direct

Tableau 10 : Taux de succès du coiffage pulpaire direct – source : Cushley et al. (66)

Taux de succès rapportés du coiffage pulpaire direct en fonction du matériau de coiffage utilisé et du temps dans la revue systématique de Cushley et al. (66)		
A 6 -12 mois :	A 2/3 ans :	A 5 ans :
- Hydroxyde de calcium : de 65 à 74%	- Hydroxyde de calcium : 59%	- Hydroxyde de calcium : 56%
- MTA : de 86 à 91%	- MTA : 84%	- MTA : 81%
- Biodentine : de 86 à 96%	- Biodentine : 86%	

Les taux de succès du coiffage pulpaire direct diffèrent selon les études mais le choix du matériau de coiffage influe sur la réussite du traitement à moyen et long terme (tableau 10). Davantage d'échecs sont rapportés lorsque la dent est symptomatique en préopératoire avec un taux de succès de 60% versus 80% lorsque la dent est asymptomatique (59). Une étude décrit que la probabilité de survenue de la nécrose de la dent est significativement plus importante dans les 5 premières années après le coiffage pulpaire direct (62).

Une étude, réalisée afin de comparer la Biodentine et le MTA dans le coiffage pulpaire direct de dents permanentes matures, a permis de présenter des taux de succès de 91,7% pour le MTA et de 83,3% pour la Biodentine à 6 mois d'observation. Les deux matériaux ont donc des taux de succès comparables et ont également des performances supérieures par rapport au $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dans les coiffages pulpaire directs (26).

Il existe beaucoup de questionnement sur l'influence de l'âge du patient sur le succès du coiffage pulpaire direct. Certains auteurs, dont Cho et al., indiquent que l'âge semblerait influencer sur le succès de la procédure (66,67). Néanmoins d'autres études, essentiellement constituées de patients âgés de moins de 25 ans, concluent que l'âge n'a pas d'influence sur le devenir de la pulpe lors de cette procédure. Il est primordial de mettre en exergue que l'âge de la pulpe et sa capacité de cicatrisation restent importants dans le choix de la technique (26).

Le coiffage pulpaire direct est ainsi une technique efficace pour traiter les dents avec des caries profondes et des pulpes exposées de manière pathologique si le diagnostic pulpaire de pulpite réversible est posé (66). En effet, Shankle et Brauer rapportent que 50% des dents présentant de la douleur avant un coiffage pulpaire direct ne répondent pas au test de sensibilité à 1 an (12).

Il est nécessaire de réaliser des études cliniques randomisées avec de grands échantillons pour pouvoir notamment conclure avec certitude sur les différences d'efficacité entre les différents matériaux de coiffage, en dehors de l'hydroxyde de calcium (67,68). Une étude d'Al-Saudi et al. (fig. 32) met en évidence que les matériaux récents, tels que le TotalFill (biocéramique pré-mixée) et le NeoMTA, sont des matériaux de coiffage prometteurs pour les coiffages pulpaire directs (34).

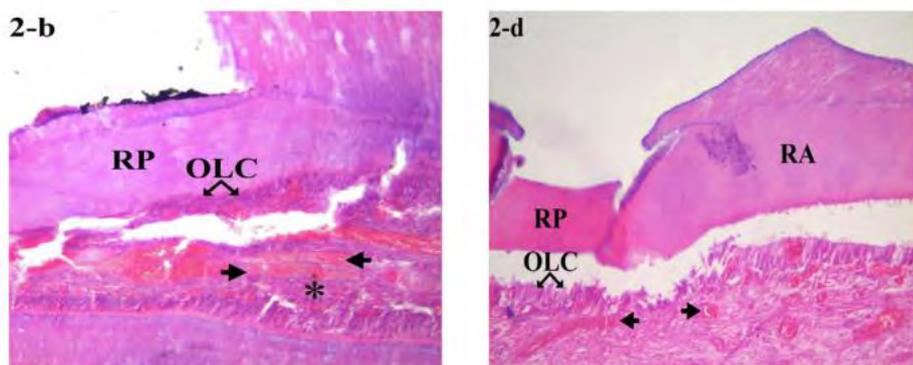


Figure 32 : Photomicrographie de la réponse tissulaire 3 mois après la réalisation du coiffage pulpaire direct avec RP = dentine réparatrice, RA = dentine réactionnelle, OLC = cellules type-odontoblastes,

flèches = vaisseaux sanguins dilatés et congestionnés et * = fibrose. A gauche : image du pont dentinaire formé suite à l'application de TotalFill avec une dentine réparatrice tubulaire épaisse. A droite : image suite à l'application du NeoMTA Plus avec une dentine réparatrice dont la structure est fine et atubulaire (x100, coloration à l'hématoxyline et à l'éosine) – source Al-Saudi et al. (34)

V.9.2 La pulpotomie partielle

Le taux de succès clinique et radiologique de la pulpotomie partielle sur des dents permanentes présentant une carie profonde est compris entre 40,8 et 80,6% (69,70). La pulpotomie partielle est un traitement approprié et recommandé pour les dents permanentes asymptomatiques qui ont subi une effraction pulpaire à la suite d'une éviction carieuse (71).

Deux études randomisées contrôlées suggèrent que la pulpotomie partielle est applicable autant aux dents immatures que matures (71).

Le tissu pulpaire proche de la carie est susceptible d'avoir subi des modifications localisées à cause des bactéries présentes, à l'inverse du tissu pulpaire plus profond qui est considéré comme sain. Le degré d'infection et d'inflammation de la pulpe est une variable qui affecte considérablement le devenir du traitement. Le seul facteur prédictif connu de la pulpotomie partielle est la santé pulpaire préopératoire. En effet, le diagnostic d'une pulpite irréversible préopératoire est associé à un taux d'échec plus important de la pulpotomie partielle (71).

Lors des coiffages pulpaires directs suite à une exposition pulpaire, il y aura inévitablement l'introduction de petits agrégats de dentine cariée dans la pulpe, ce qui peut causer une inflammation importante, voire irréversible. C'est pour cette raison qu'il est aisé de comprendre que l'action de retirer quelques millimètres de pulpe, soit réaliser une pulpotomie partielle, peut aider au processus de guérison.

V.9.3 La pulpotomie camérale

Le taux de succès de la pulpotomie camérale sur des dents permanentes est de (72):

- 37 à 100% avec l'hydroxyde de calcium
- 44 à 100% avec le MTA
- 80 à 100% avec la Biodentine

Le taux de succès de la pulpotomie camérale décroît avec le temps, une étude rapporte un taux de succès de 89% à 1 an contre 63% à 10 ans (72).

Les études cliniques et histologiques convergent pour affirmer que l'utilisation des ciments à base de silicate tricalcique est préférable lors des pulpotomies camérales. En effet, les résultats obtenus avec le MTA et la Biodentine permettent d'énoncer que ces deux matériaux sont des matériaux de choix en présence d'une pulpe saine, d'une pulpe en pulpite réversible ou en pulpite irréversible (72).

Une étude a déclaré que l'âge du patient ne doit pas être considéré comme un facteur de risque de la pulpotomie camérale lors d'une analyse sur 10 ans avec des patients âgés de 8 à 80 ans. De la même façon, des études ont inclus des patients jusqu'à 50 ans et rapportent des taux de succès importants, suggérant que la pulpotomie camérale est applicable aux patients jeunes comme plus âgés (73).

La rhétorique que la pulpotomie camérale est contre-indiquée pour des dents avec une pulpe diagnostiquée en pulpite irréversible a été challengée par des études récentes qui rapportent du succès au long terme dans ces conditions.

Les pulpotomies partielle et camérale possèdent des taux de succès notables dans le traitement des molaires permanentes matures avec une carie profonde et une exposition pulpaire à la suite d'une éviction carieuse. Des études avec de plus grandes périodes de suivi sont nécessaires pour valider les précédentes recherches et pour continuer de développer nos connaissances (70).

Dans une étude récente de Leong & Yap, il a été conclu que les pulpotomies partielle et camérale ont des taux de succès plus importants et plus prédictifs que le coiffage pulpaire direct mais certaines études énoncent des résultats contradictoires (69). Également, des études complémentaires doivent être menées en analysant les taux de succès des matériaux dérivés du MTA, dont les matériaux à base de silicate de calcium ; produits ayant des qualités indéniables pour améliorer les résultats des thérapies de préservation de la pulpe vitale.

Le contrôle de la décontamination pré-, per- et post-opératoire sont des paramètres absolument primordiaux pour les procédure de coiffage pulpaire direct et de pulpotomies (72).

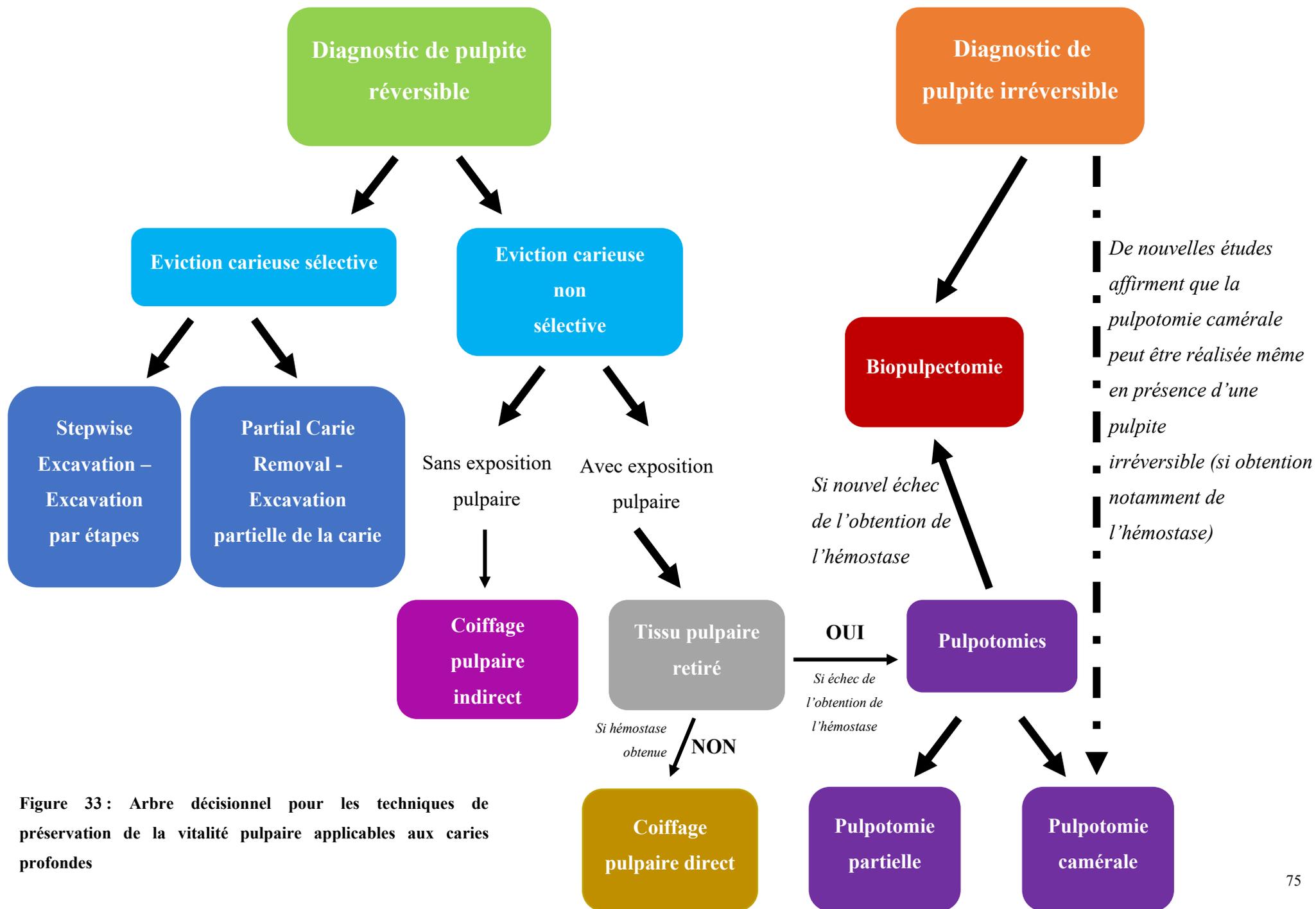


Figure 33 : Arbre décisionnel pour les techniques de préservation de la vitalité pulpaire applicables aux caries profondes

V.10 BILAN

La meilleure méthode est à choisir par le praticien en fonction de nombreux paramètres comme le diagnostic pulpaire, le patient, le temps disponible ou encore le coût. La capacité de cicatrisation de la pulpe influe indéniablement sur les résultats de ces différentes thérapies de préservation du tissu pulpaire : les dents jeunes sont associées à des taux de succès plus importants par rapport aux dents plus âgées ; chaque situation nécessite une analyse individuelle.

L'hydroxyde de calcium est le matériau qu'un grand nombre de chirurgiens-dentistes ont découvert lors de leur formation initiale ; leurs habitudes sont difficiles à modifier, même si d'autres matériaux se révèlent plus efficaces.

Ainsi, le MTA et la Biodentine sont des matériaux fiables, capables d'induire la formation d'un pont dentinaire en conservant une pulpe vitale dans les procédures de préservation de la vitalité pulpaire.

La Biodentine démontre une supériorité grâce à sa manipulation davantage aisée, son coût moindre, l'absence de décoloration du tissu dentaire ainsi que sa prise plus rapide par rapport au MTA avec des résultats cliniques comparables (26). La Biodentine est dernièrement devenue un matériau plébiscité pour les coiffages pulpaires directs et indirects ainsi que pour les pulpotomies.

Plus récemment, l'émergence des biocéramiques pré-mixées offre de nouvelles perspectives, ce sont de réelles candidates pour challenger les matériaux globalement plus connus et utilisés par les chirurgiens-dentistes. Les essais cliniques randomisés manquent concernant l'efficacité de ces biomatériaux dans les différentes thérapeutiques de préservation pulpaire.

Des études récentes ont déjà montré que le facteur le plus important des thérapies de préservation de la vitalité pulpaire est l'étanchéité de la restauration coronaire et du matériau de coiffage pulpaire. Il est effectivement suggéré que les échecs de ces thérapeutiques pourraient être dus à une infiltration bactérienne dans la pulpe vitale (70).

Un suivi régulier demeure systématiquement nécessaire, quelque que soit la thérapie pratiquée, car une pulpe peut se nécroser sans aucun symptôme. Les patients qui font peu de contrôle ont un taux plus important d'échec.

CONCLUSION

C'est en comprenant le fonctionnement pulpaire et la réponse pulpo-dentinaire, par le dépôt notamment de dentine tertiaire, que les techniques de préservation de la pulpe vitale deviennent abordables et intelligibles.

Rappelons que tout l'enjeu de la réussite de ces thérapeutiques repose, en premier lieu, sur un diagnostic pulpaire correct, nécessitant un sens aigu de la clinique ainsi qu'une bonne appréhension de concepts qui évoluent rapidement et qui promettent encore de belles découvertes. Dans un second temps, tous les éléments doivent être mis en place pour réaliser les soins dans les meilleures conditions et la décision thérapeutique ne peut intervenir qu'en prenant en compte les spécificités de chaque cas ; en considérant le patient dans sa globalité.

Concernant les biomatériaux disponibles, les études ont prouvé que certains produits sont plus propices à certaines thérapeutiques ; toutefois, les caractéristiques et les propriétés de chaque matériau demeurent les critères essentiels qui doivent être systématiquement confrontés à la situation clinique.

Nous pouvons néanmoins espérer des progrès sur les biomatériaux, car aucun actuellement disponible ne se révèle être le matériau de coiffage idéal. Les avancées dans le domaine de la bio-ingénierie tissulaire nous permettent de croire en la possibilité de régénérer le vivant.

De nombreux challenges s'érigent encore face à nous, allant du diagnostic pulpaire qui est encore délicat à la réalisation de l'éviction même qui doit se faire dans des conditions optimales, au choix du biomatériau utilisé en passant par la thérapeutique à appliquer. Tout cela doit rester un réel exercice, à répéter au commencement de chaque nouvelle situation clinique, tout réflexe étant à bannir.

Pour le futur, nous attendons davantage d'études et de recherche sur tous les sujets développés dans cette thèse et notamment des essais cliniques randomisés qui, avec leur haut niveau de preuve, permettront de mener à une acceptation collective des thérapeutiques de préservation pulpaire.

Vu le Président du jury



Vu le directeur de Thèse



LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Anatomie structurelle de la dent	17
Figure 2 : Image histologique de l'interface pulpe / dentine.....	18
Figure 3 : Schéma de cellules odontoblastiques avec leurs extensions cytoplasmiques dans les tubulis dentinaires	19
Figure 4 : Immunomarquage de l'innervation du complexe pulpe / dentine	22
Figure 5 : Prolongements odontoblastiques émergeant des tubulis dentinaires au niveau d'un site de fracture de la dentine	23
Figure 6 : Interface pulpe / dentine.....	24
Figure 7 : Coupe d'une dent	24
Figure 8 : Coupe histologique de la jonction dentine / pulpe.....	26
Figure 9 : Classification ICDAS des caries dentaires (Système International de Détection et d'Évaluation des lésions Carieuses).....	27
Figure 10 : Radiographie d'une carie profonde	30
Figure 11 : Image histologique d'une pulpe présentant une zone de nécrose de la corne mésiale.....	35
Figure 12 : Image histologique d'une pulpe saine.....	37
Figure 13 : Image histologique d'une pulpe en pulpite réversible	37
Figure 14 : Image histologique d'une pulpe en pulpite irréversible.....	37
Figure 15 : Image histologique d'une pulpe en pulpite chronique	37
Figure 16 : Image histologique d'une pulpe en pulpite chronique	37
Figure 17 : Physiopathologie des états de la pulpe dentaire.....	38
Figure 18 : Coupe histologique d'un pont dentinaire suite à l'application de MTA.....	42
Figure 19 : Coupe histologique d'un pont dentinaire suite à l'application de Biodentine ..	47
Figure 20 : Image histologique d'un pont dentinaire formé suite à l'application de MTA.	50
Figure 21 : Image histologique d'un pont dentinaire formé suite à l'application de Biodentine.....	50

Figure 22 : Image histologique d'un pont dentinaire formé suite à l'application de TheraCal	50
Figure 23 : Colorations suite à l'application de SDF sur des zones déminéralisées et/ou cariées	55
Figure 24 : Images au microscope électronique à balayage (SEM) de tubulis sans et avec application de SDF	57
Figure 25 : Illustration de l'expérience de Bjørndal.....	60
Figure 26 : Etapes d'une Stepwise Excavation	62
Figure 27 : Etapes d'une excavation partielle de la carie	64
Figure 28 : Radiographies suite à un coiffage pulpaire direct.....	68
Figure 29 : Schéma de la pulpotomie partielle (c) et de la pulpotomie camérale (d).....	68
Figure 30 : Etapes d'une pulpotomie camérale.....	69
Figure 31 : Formation de ponts dentinaires suite à une pulpotomie camérale	70
Figure 32 : Photomicrographie de la réponse tissulaire 3 mois après la réalisation du coiffage pulpaire direct.....	72
Figure 33 : Arbre décisionnel pour les techniques de préservation de la vitalité pulpaire applicables aux caries profondes	75

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Tableau regroupant facteurs protecteurs & de prévention et facteurs de risques de la carie.....	28
Tableau 2 : Tableau comparatif des caractéristiques histologiques de la pulpe dentaire en fonction de la santé pulpaire.....	37
Tableau 3 : Temps de prise initial et temps de prise final des matériaux White ProRoot MTA, NeoMTA Plus et MTA Repair HP	45
Tableau 4 : Tableau présentant les caractéristiques de la Biodentine	46
Tableau 5 : Tableau récapitulatif des caractéristiques du TheraCal	48
Tableau 6 : Tableau récapitulatif des propriétés des différents biomatériaux.....	50
Tableau 7 : Les différentes biocéramiques pré-mixées disponibles en fonction du fabricant et de leur consistance.....	53
Tableau 8 : Tableau récapitulatif des résultats de la revue systématique de Zaeneldin et al. sur le SDF et le complexe pulpo-dentinaire	56
Tableau 9 : Tableau récapitulatif des études sur la nature des bactéries lors des étapes de la Stepwise Excavation.....	63
Tableau 10 : Taux de succès du coiffage pulpaire direct	71

BIBLIOGRAPHIE

1. Pitts NB, Zero DT, Marsh PD, Ekstrand K, Weintraub JA, Ramos-Gomez F, et al. Dental caries. *Nat Rev Dis Primers*. 21 déc 2017;3(1):17030.
2. Maurin JC, Couble ML, Thivichon-Prince B, Magloire H. L'odontoblaste: Un acteur incontournable de la perception de la douleur dentinaire. *Med Sci (Paris)*. mars 2013;29(3):293-9.
3. Kawashima N, Okiji T. Odontoblasts: Specialized hard-tissue-forming cells in the dentin-pulp complex: Odontoblasts and the dentin-pulp complex. *Congenital Anomalies*. juill 2016;56(4):144-53.
4. Bleicher F. Odontoblast physiology. *Experimental Cell Research*. juill 2014;325(2):65-71.
5. Demarco FF, Conde MCM, Cavalcanti BN, Casagrande L, Sakai VT, Nör JE. Dental pulp tissue engineering. *Braz Dent J*. 2011;22(1):3-13.
6. Yu C, Abbott P. An overview of the dental pulp: its functions and responses to injury. *Australian Dental Journal*. mars 2007;52:S4-6.
7. Tjäderhane L. Dentin Basic Structure, Composition, and Function. In: Versiani MA, Basrani B, Sousa-Neto MD, éditeurs. *The Root Canal Anatomy in Permanent Dentition* [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2019 [cité 15 juill 2022]. p. 17-27. Disponible sur: http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-73444-6_2
8. Jens C. Turp and Kurt W. Alt. *Anatomy and Morphology of Human Teeth*. In: *Dental Anthropology*. 1998. p. 71-94.
9. Alghaithy RA, Qualtrough AJE. Pulp sensibility and vitality tests for diagnosing pulpal health in permanent teeth: a critical review. *Int Endod J*. févr 2017;50(2):135-42.
10. Lin LM, Ricucci D, Saoud TM, Sigurdsson A, Kahler B. Vital pulp therapy of mature permanent teeth with irreversible pulpitis from the perspective of pulp biology. *Aust Endod J*. avr 2020;46(1):154-66.
11. Carvalho TS, Lussi A. Age-related morphological, histological and functional changes in teeth. *J Oral Rehabil*. avr 2017;44(4):291-8.
12. World Health Organization. *Global oral health status report: towards universal health coverage for oral health by 2030* [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2022 [cité 24 nov 2022]. Disponible sur: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/364538>
13. Yadav K, Prakash S. Dental Caries: A Review. 1 janv 2016;06:01-7.
14. Mathur VP, Dhillon JK. Dental Caries: A Disease Which Needs Attention. *Indian J Pediatr*. mars 2018;85(3):202-6.

15. Ozdemir D. Dental Caries : The Most Common Disease Worldwide and Preventive Strategies. *International Journal of Biology*. 22 juill 2013;5.
16. Bowen WH. Dental caries - not just holes in teeth! A perspective. *Mol oral Microbiol*. juin 2016;31(3):228-33.
17. Alex G. Direct and Indirect Pulp Capping: A Brief History, Material Innovations, and Clinical Case Report. *Compend Contin Educ Dent*. mars 2018;39(3):182-9.
18. Bjørndal L. Stepwise Excavation. In: Schwendicke F, Frencken J, Innes N, éditeurs. *Monographs in Oral Science* [Internet]. S. Karger AG; 2018 [cité 15 août 2022]. p. 68-81. Disponible sur: <https://www.karger.com/Article/FullText/487834>
19. Ortega-Verdugo P, Warren JJ, Kolker JL, Carter KD, Guzmán-Armstrong S, Gomez MR. Retrospective analysis of factors associated with the success of stepwise excavation procedure in deep carious lesions. *The Journal of the American Dental Association*. juin 2018;149(6):442-50.
20. Bjørndal L, Reit C, Bruun G, Markvart M, Kjaeldgaard M, Näsman P, et al. Treatment of deep caries lesions in adults: randomized clinical trials comparing stepwise vs. direct complete excavation, and direct pulp capping vs. partial pulpotomy. *Eur J Oral Sci*. juin 2010;118(3):290-7.
21. Zheng J, Wu Z, Niu K, Xie Y, Hu X, Fu J, et al. Microbiome of Deep Dentinal Caries from Reversible Pulpitis to Irreversible Pulpitis. *Journal of Endodontics*. mars 2019;45(3):302-309.e1.
22. Syed G, Mulay S. Pulpitis: A review. 1 sept 2015;14:92-7.
23. Gopikrishna V, Pradeep G, Venkateshbabu N. Assessment of pulp vitality: a review. *International Journal of Paediatric Dentistry*. janv 2009;19(1):3-15.
24. Raoof M, Vazavandi E, Parizi MT, Hatami N, Mohammadalizadeh S, Amanpour S, et al. Clinical, radiological, and histological correlation in diagnosis of pulpitis. *Dent Res J (Isfahan)*. 2022;19:25.
25. Giuroiu CL, Căruntu ID, Lozneau L, Melian A, Vataman M, Andrian S. Dental Pulp: Correspondences and Contradictions between Clinical and Histological Diagnosis. *BioMed Research International*. 2015;2015:1-7.
26. Kunert M, Lukomska-Szymanska M. Bio-Inductive Materials in Direct and Indirect Pulp Capping—A Review Article. *Materials*. 7 mars 2020;13(5):1204.
27. da Rosa WLO, Cocco AR, Silva TM da, Mesquita LC, Galarça AD, Silva AF da, et al. Current trends and future perspectives of dental pulp capping materials: A systematic review. *J Biomed Mater Res*. avr 2018;106(3):1358-68.
28. Simon S. Bioceramic Materials for Vital Pulp Therapy. In: Drukteinis S, Camilleri J, éditeurs. *Bioceramic Materials in Clinical Endodontics* [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2021 [cité 22 nov 2022]. p. 19-27. Disponible sur: https://link.springer.com/10.1007/978-3-030-58170-1_3

29. Jiménez-Sánchez M del C, Segura-Egea JJ, Díaz-Cuenca A. Higher hydration performance and bioactive response of the new endodontic bioactive cement MTA HP repair compared with ProRoot MTA white and NeoMTA plus. *J Biomed Mater Res.* août 2019;107(6):2109-20.
30. Palczewska-Komsa M, Kaczor-Wiankowska K, Nowicka A. New Bioactive Calcium Silicate Cement Mineral Trioxide Aggregate Repair High Plasticity (MTA HP)—A Systematic Review. *Materials.* 14 août 2021;14(16):4573.
31. Nowicka A, Lipski M, Parafiniuk M, Sporniak-Tutak K, Lichota D, Kosierkiewicz A, et al. Response of Human Dental Pulp Capped with Biodentine and Mineral Trioxide Aggregate. *Journal of Endodontics.* juin 2013;39(6):743-7.
32. Siboni F, Taddei P, Prati C, Gandolfi MG. Properties of NeoMTA Plus and MTA Plus cements for endodontics. *Int Endod J.* déc 2017;50:e83-94.
33. Parioikh M, Torabinejad M, Dummer PMH. Mineral trioxide aggregate and other bioactive endodontic cements: an updated overview - part I: vital pulp therapy. *Int Endod J.* févr 2018;51(2):177-205.
34. Al-Saudi KW, Nabih SM, Farghaly AM, AboHager EAA. Pulpal repair after direct pulp capping with new bioceramic materials: A comparative histological study. *The Saudi Dental Journal.* oct 2019;31(4):469-75.
35. Guimarães BM, Prati C, Duarte MAH, Bramante CM, Gandolfi MG. Physicochemical properties of calcium silicate-based formulations MTA Repair HP and MTA Vitalcem. *J Appl Oral Sci [Internet].* 5 avr 2018 [cité 22 nov 2022];26(0). Disponible sur: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-77572018000100431&lng=en&tlng=en
36. Silva PAO, Lima SM de F, Martins DCM, Amorim IA, Lacorte C, Almeida JA, et al. Concentrated MTA Repair HP reduced biofilm and can cause reparative action at a distance. *Int Endodontic J.* oct 2021;54(10):1925-36.
37. Metlerska J, Fagogeni I, Metlerski M, Nowicka A. Vital Pulp Therapy in Aesthetic Zone-Identifying the Biomaterial That Reduces the Risk of Tooth Discolouration. *Materials.* 13 oct 2021;14(20):6026.
38. Debelian G, Trope M. The use of premixed bioceramic materials in endodontics. *Giornale Italiano di Endodonzia.* nov 2016;30(2):70-80.
39. Bakhtiar H, Nekoofar MH, Aminishakib P, Abedi F, Naghi Moosavi F, Esnaashari E, et al. Human Pulp Responses to Partial Pulpotomy Treatment with TheraCal as Compared with Biodentine and ProRoot MTA: A Clinical Trial. *Journal of Endodontics.* nov 2017;43(11):1786-91.
40. Motwani N, Ikhar A, Nikhade P, Chandak M, Rathi S, Dugar M, et al. Premixed bioceramics: A novel pulp capping agent. *J Conserv Dent.* 2021;24(2):124.
41. Mahgoub N, Alqadasi B, Aldharae K, Assiry A, Altawili Z, Hong T. Comparison between iRoot BP Plus (EndoSequence Root Repair Material) and Mineral

- Trioxide Aggregate as Pulp-capping Agents: A Systematic Review. *J Int Soc Prevent Communit Dent.* 2019;0(0):0.
42. Drukteinis S. Bioceramic Materials for Management of Endodontic Complications. In: Drukteinis S, Camilleri J, éditeurs. *Bioceramic Materials in Clinical Endodontics* [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2021 [cité 23 nov 2022]. p. 59-85. Disponible sur: https://link.springer.com/10.1007/978-3-030-58170-1_6
 43. Emara R, Elhennawy K, Schwendicke F. Effects of calcium silicate cements on dental pulp cells: A systematic review. *Journal of Dentistry.* oct 2018;77:18-36.
 44. Shrimahalakshmi, Nagalakshmi Chowdhary, Veena Shivanna. EndoSequence Root Repair Material (ERRM): a literature review. *ijsr.* août 2022;11(08):73-6.
 45. Mei ML, Lo ECM, Chu CH. Clinical Use of Silver Diamine Fluoride in Dental Treatment. *Compend Contin Educ Dent.* févr 2016;37(2):93-8; quiz100.
 46. Zaeneldin A, Yu OY, Chu CH. Effect of silver diamine fluoride on vital dental pulp: A systematic review. *J Dent.* avr 2022;119:104066.
 47. Mechanisms of silver diamine fluoride on arresting caries: a literature review - ScienceDirect [Internet]. [cité 28 août 2022]. Disponible sur: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0020653920319110>
 48. Glenda R, Squassi A, Mandalunis P, Kaplan A. Effect of silver diamine fluoride (SDF) on the dentin-pulp complex. Ex vivo histological analysis on human primary teeth and rat molars. *Acta odontológica latinoamericana: AOL.* 1 avr 2017;5:5-12.
 49. Hoefler V, Nagaoka H, Miller CS. Long-term survival and vitality outcomes of permanent teeth following deep caries treatment with step-wise and partial-caries-removal: A Systematic Review. *Journal of Dentistry.* nov 2016;54:25-32.
 50. Maltz M, Garcia R, Jardim JJ, de Paula LM, Yamaguti PM, Moura MS, et al. Randomized Trial of Partial vs . Stepwise Caries Removal: 3-year Follow-up. *J Dent Res.* nov 2012;91(11):1026-31.
 51. Alsadat FA, El-Housseiny AA, Alamoudi NM, Alnowaiser AM. Conservative treatment for deep carious lesions in primary and young permanent teeth. *Niger J Clin Pract.* déc 2018;21(12):1549-56.
 52. Hayashi M, Fujitani M, Yamaki C, Momoi Y. Ways of enhancing pulp preservation by stepwise excavation--a systematic review. *J Dent.* févr 2011;39(2):95-107.
 53. Bjørndal L, Larsen T, Thylstrup A. A Clinical and Microbiological Study of Deep Carious Lesions during Stepwise Excavation Using Long Treatment Intervals. *Caries Res.* 1997;31(6):411-7.
 54. Maltz M, de Oliveira EF, Fontanella V, Bianchi R. A clinical, microbiologic, and radiographic study of deep caries lesions after incomplete caries removal. *Quintessence Int.* févr 2002;33(2):151-9.

55. Bjørndal L, Larsen T. Changes in the Cultivable Flora in Deep Carious Lesions following a Stepwise Excavation Procedure. *Caries Res.* 2000;34(6):502-8.
56. Giacaman R, Muñoz-Sandoval C, Neuhaus K, Fontana M, Chafas R. Evidence-based strategies for the minimally invasive treatment of carious lesions: Review of the literature. *Adv Clin Exp Med.* 31 juill 2018;27(7):1009-16.
57. Maltz M, Koppe B, Jardim JJ, Alves LS, de Paula LM, Yamaguti PM, et al. Partial caries removal in deep caries lesions: a 5-year multicenter randomized controlled trial. *Clin Oral Invest.* avr 2018;22(3):1337-43.
58. Schwendicke F, Walsh T, Lamont T, Al-yaseen W, Bjørndal L, Clarkson JE, et al. Interventions for treating cavitated or dentine carious lesions. *Cochrane Oral Health Group, éditeur. Cochrane Database of Systematic Reviews [Internet].* 19 juill 2021 [cité 17 déc 2022];2021(7). Disponible sur: <http://doi.wiley.com/10.1002/14651858.CD013039.pub2>
59. Bergenholtz G, Axelsson S, Davidson T, Frisk F, Hakeberg M, Kvist T, et al. Treatment of pulps in teeth affected by deep caries – A systematic review of the literature. *Singapore Dental Journal.* déc 2013;34(1):1-12.
60. Gurcan AT, Seymen F. Clinical and radiographic evaluation of indirect pulp capping with three different materials: a 2-year follow-up study. *European Journal of Paediatric Dentistry.* 2019;(2):105-10.
61. Fagundes TC, Barata TJE, Prakki A, Bresciani E, Pereira JC. Indirect pulp treatment in a permanent molar: case report of 4-year follow-up. *J Appl Oral Sci.* févr 2009;17(1):70-4.
62. Dammaschke T, Leidinger J, Schäfer E. Long-term evaluation of direct pulp capping—treatment outcomes over an average period of 6.1 years. *Clin Oral Invest.* oct 2010;14(5):559-67.
63. Elmsmari F, Ruiz XF, Miró Q, Feijoo-Pato N, Durán-Sindreu F, Olivieri JG. Outcome of Partial Pulpotomy in Cariously Exposed Posterior Permanent Teeth: A Systematic Review and Meta-analysis. *Journal of Endodontics.* nov 2019;45(11):1296-1306.e3.
64. Zanini M, Hennequin M, Cousson PY. A Review of Criteria for the Evaluation of Pulpotomy Outcomes in Mature Permanent Teeth. *Journal of Endodontics.* août 2016;42(8):1167-74.
65. Kunert GG, Kunert IR, da Costa Filho LC, de Figueiredo JAP. Permanent teeth pulpotomy survival analysis: retrospective follow-up. *Journal of Dentistry.* sept 2015;43(9):1125-31.
66. Cushley S, Duncan HF, Lappin MJ, Chua P, Elamin AD, Clarke M, et al. Efficacy of direct pulp capping for management of cariously exposed pulps in permanent teeth: a systematic review and meta-analysis. *Int Endod J.* avr 2021;54(4):556-71.

67. Paula AB, Laranjo M, Marto CM, Paulo S, Abrantes AM, Casalta-Lopes J, et al. Direct Pulp Capping: What is the Most Effective Therapy?—Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Evidence Based Dental Practice*. déc 2018;18(4):298-314.
68. Zhu C, Ju B, Ni R. Clinical outcome of direct pulp capping with MTA or calcium hydroxide: a systematic review and meta-analysis. *Int J Clin Exp Med*. 2015;8(10):17055-60.
69. Jakovljevic A, Jaćimović J, Aminoshariae A, Fransson H. Effectiveness of vital pulp treatment in managing nontraumatic pulpitis associated with no or nonspontaneous pain: A systematic review. *Int Endodontic J*. 25 mai 2022;iej.13776.
70. Lin GSS, Hisham ARB, Ch Er CIY, Cheah KK, Ghani NRNA, Noorani TY. Success rates of coronal and partial pulpotomies in mature permanent molars: a systematic review and single-arm meta-analysis. *Quintessence Int*. 2021;0(0):0.
71. Albaiti SS, Albishri RF, Alhowig MT, Tayyar WI, Alqurashi NF, Alghamdi FT. Partial Pulpotomy as an Applicable Treatment Option for Cariously Exposed Posterior Permanent Teeth: A Systematic Review of Randomized Clinical Trials. *Cureus* [Internet]. 5 juill 2022 [cité 17 déc 2022]; Disponible sur: <https://www.cureus.com/articles/92990-partial-pulpotomy-as-an-applicable-treatment-option-for-cariously-exposed-posterior-permanent-teeth-a-systematic-review-of-randomized-clinical-trials>
72. Zanini M, Hennequin M, Cousson Py. Which procedures and materials could be applied for full pulpotomy in permanent mature teeth? A systematic review. *Acta Odontologica Scandinavica*. 3 oct 2019;77(7):541-51.
73. Alqaderi H, Lee CT, Borzangy S, Pagonis TC. Coronal pulpotomy for cariously exposed permanent posterior teeth with closed apices: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Dentistry*. janv 2016;44:1-7.
74. Singh S, Mittal S, Tewari S. Effect of Different Liners on Pulpal Outcome after Partial Caries Removal: A Preliminary 12 Months Randomised Controlled Trial. *Caries Res*. 2019;53(5):547-54.

ANNEXES

Annexe 1 : Protocole avec cas clinique de la technique Stepwise Excavation

Toutes les séances de cette excavation par étapes se font sous anesthésie locale et en isolant la dent avec une digue.

Première séance : Au premier rendez-vous, une éviction carieuse sélective du tissu dentinaire carié est réalisée au niveau de la pulpe et une éviction carieuse non sélective est faite jusqu'à l'obtention de dentine saine / dure en périphérie pour obtenir une bonne étanchéité de la restauration provisoire (18). Désinfecter la cavité avec de la chlorhexidine 2% pendant 2 à 3 minutes avant de mettre en place la restauration provisoire.



Figure 1: Photographie de la cavité suite à la réalisation de l'éviction carieuse conservatrice lors de la première séance de la SW - source : Bjørndal et al. (18)

Deuxième séance :

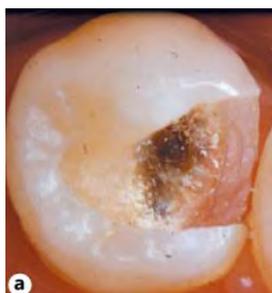


Figure 2 : Photographie de la cavité au moment de la dépose de la restauration provisoire après 6 mois de temporisation – source : Bjørndal et al. (18)

Après une période de temporisation, il est réalisé la dépose de la restauration provisoire suivie d'une éviction carieuse sélective de la dentine solidifiée, raffermie avant de réaliser la restauration définitive. Cette seconde excavation se fait avec des excavateurs à mains. La cavité est ainsi désinfectée avec de la chlorhexidine 2% pendant 2 à 3 minutes et optimisée pour mettre en place la restauration finale (18).



Figure 3 : Photographie de la cavité à la suite de l'excavation finale – source : Bjørndal et al. (18)

Nécessité de réaliser un suivi avec réalisation de test au froid et de radiographies de contrôle.

Annexe 2 : Protocole avec cas clinique de la technique Partial Carie Removal

Sous anesthésie et avec placement de la digue, le protocole de la Partial Carie Removal consiste à retirer toute la dentine cariée en périphérie jusqu'à obtenir de la dentine saine ferme et de retirer un maximum de dentine cariée en regard de la pulpe tout en évitant l'exposition pulpaire. Il est nécessaire de réaliser une éviction douce et sans pression de la couche superficielle de la dentine ramollie en manuel ou en rotatif (52) avant de désinfecter la cavité avec de la chlorhexidine 2% pendant 2 à 3 minutes. Enfin, un matériau de coiffage pulpaire et une restauration définitive sont mis en place lors de cette unique séance.

Nécessité de réaliser un suivi avec réalisation de test au froid et de radiographies de contrôle.



Figure 1 : Photographie préopératoire d'une carie occlusale sur une molaire mandibulaire – source : Singh et al. (74)



Figure 2 : Photographie à la suite de l'éviction carieuse respectant le protocole de la PCR avant la mise en place d'un matériau de coiffage et une restauration définitive dans cette même séance – source : Singh et al. (74)

Annexe 3 : Protocole avec cas clinique du coiffage pulpaire indirect

- Anesthésie et mise en place de la digue
- Réalisation de l'éviction carieuse complète en périphérie et au niveau du plafond pulpaire

Pas de survenue de l'effraction pulpaire mais présence d'une proximité importante avec le tissu pulpaire.

- Désinfection de la cavité avec de la chlorhexidine 2% pendant 2 à 3 minutes
- Placement du matériau de coiffage en regard du plafond pulpaire puis réalisation de la restauration définitive
- Réalisation d'une radiographie de contrôle et réglage de l'occlusion

Nécessité de réaliser un suivi à 1 mois, ainsi qu'à 6 – 12 mois avec réalisation de test au froid et de radiographies de contrôle (28).



Figure 1 : Photographie réalisée lors de l'éviction carieuse de la carie occlusale avec utilisation d'une solution de détection carieuse – source : Alex et al. (17)



Figure 2 : Photographie de la cavité suite à la réalisation de l'éviction carieuse non sélective, la proximité avec le tissu pulpaire étant importante - source : Alex et al. (17)



Figure 3 : Mise en place du matériau de coiffage – source : Alex et al. (17)



Figure 4 : Mise en place de la restauration définitive adhésive – source : Alex et al. (17)

Annexe 4 : Protocole avec cas clinique du coiffage pulpaire direct

- Anesthésie et mise en place de la digue
- Eviction carieuse périphérique complète
- Réalisation de l'éviction carieuse complète au niveau du plancher pulpaire avec survenue de l'effraction pulpaire
- Rechercher l'hémostase avec un coton, imbibé d'eau stérile, placé dans la cavité en compression douce pendant quelques minutes
- Retirer le coton et évaluer le saignement

Nous sommes, ici, dans le cas où le saignement s'arrête.

(Si le tissu pulpaire saigne toujours, une pulpotomie est indiquée).

- Désinfection de la cavité avec de la chlorhexidine 2% pendant 2 à 3 minutes

- Placement du matériau de coiffage en contact direct avec la pulpe mais sans compression, puis mise en place de la restauration définitive.
- Réalisation d'une radiographie de contrôle et réglage de l'occlusion

Nécessité de réaliser un suivi à 1 mois, ainsi qu'à 6 – 12 mois avec réalisation de test au froid et de radiographies de contrôle (28).

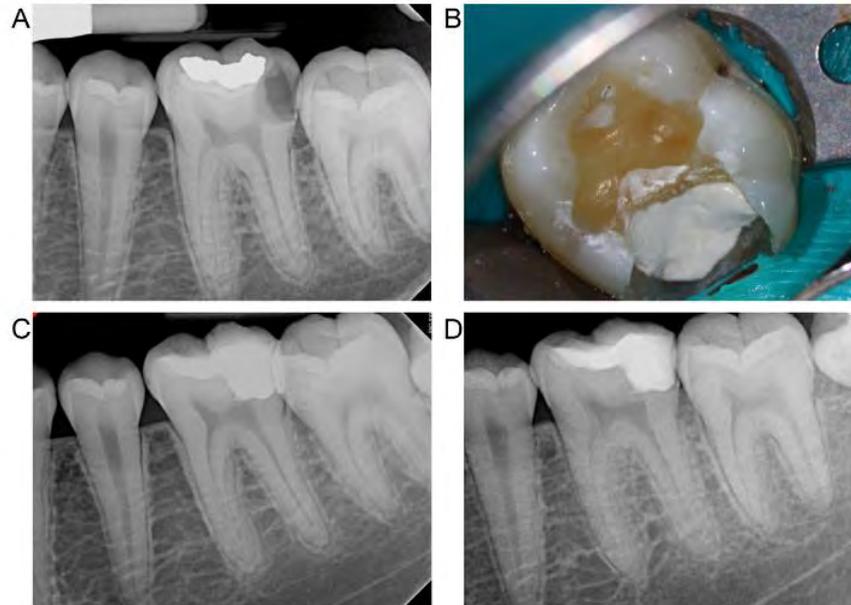


Figure 1 : A = radiographie préopératoire de la dent 36 chez un patient de 20 ans, B = photographie du coiffage pulpaire direct réalisé après diagnostic d'une pulpite réversible avec une biocéramique pré-mixée Fast-Set et une restauration définitive adhésive, C = radiographie post-opératoire immédiate et D = radiographie de suivi à 6 mois avec une dent asymptotique et un test au froid positif – source : Alharbi (38)

Annexe 5 : Protocole avec cas clinique de la pulpotomie partielle

- Anesthésie et mise en place de la digue
- Réaliser l'éviction carieuse complète en périphérie
- Réalisation de l'éviction carieuse complète au niveau du plancher pulpaire avec survenue de l'effraction pulpaire
- Rechercher l'hémostase avec un coton, imbibé d'eau stérile, placé dans la cavité en compression douce pendant quelques minutes
- Retirer le coton et évaluer le saignement

Nous sommes, ici, dans le cas où le saignement perdure à la suite de la tentative d'obtention de l'hémostase, l'indication de la pulpotomie partielle est donc posée.

- Retirer, avec une fraise stérile, 2 à 3 mm de tissu pulpaire au niveau du site de l'exposition pulpaire afin d'obtenir un tissu pulpaire sain
- Arrêter le saignement avec un coton, imbibé d'eau stérile, placé dans la cavité avec une compression douce pendant quelques minutes
- Retirer le coton et évaluer le saignement

(Si le tissu pulpaire saigne toujours, une pulpotomie camérale est indiquée).

- Désinfection de la cavité avec de la chlorhexidine 2% pendant 2 à 3 minutes
- Mise en place du matériau de coiffage au contact de la pulpe dentaire, puis réalisation de la restauration définitive
- Réalisation d'une radiographie de contrôle et réglage de l'occlusion

Nécessité de réaliser un suivi à 1 mois, ainsi qu'à 6 – 12 mois avec réalisation de test au froid et de radiographies de contrôle.

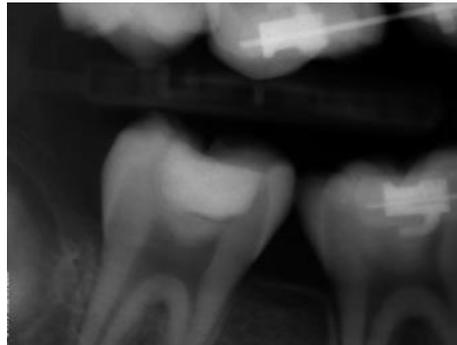


Figure 1 : Radiographie préopératoire chez une jeune patiente de 16 ans rapportant des douleurs aiguës intermittentes sur la dent 47 – source : Simon et al. (28)



Figure 2 : Exposition de deux cornes pulpaire suite à la réalisation de l'éviction carieuse. La corne linguale a nécessité de retirer du tissu nécrotique afin d'exposer le tissu pulpaire vital - source : Simon et al. (28)



Figure 3 : Désinfection de la cavité avec de la Chlorhexidine 2% et mise en place du matériau de coiffage (ici MTA) – source : Simon et al. (28)



Figure 4 : Radiographie post-opératoire suite à la mise en place d'une restauration adhésive coronaire, le MTA étant visible dans la chambre pulpaire en mésial – source : Simon et al. (28)



Figure 5 : Radiographie de contrôle à 12 mois avec présence d'un tissu minéralisé à proximité du MTA et un test au froid positif en l'absence d'image péri-apicale – source : Simon et al. (28)

Annexe 6 : Protocole avec cas clinique de la pulpotomie camérale

- Anesthésie et mise en place de la digue
- Réaliser l'éviction carieuse complète en périphérie
- Réalisation de l'éviction carieuse complète au niveau du plancher pulpaire avec survenue de l'effraction pulpaire
- Rechercher l'hémostase avec un coton, imbibé d'eau stérile, placé dans la cavité en compression douce pendant quelques minutes
- Retirer le coton et évaluer le saignement

Nous sommes, ici, dans le cas où le saignement perdure à la suite de la réalisation de la pulpotomie partielle, l'indication de la pulpotomie camérale est donc posée.

- Retirer tout le tissu pulpaire de la chambre avec une fraise à faible vitesse et de l'eau
- Sectionner la pulpe avec un excavateur stérile et tranchant à l'entrée des canaux pulpaire
- Contrôler le saignement avec une compression douce avec un coton humide pendant quelques minutes

(Si le saignement ne s'arrête pas malgré la réalisation de la pulpotomie camérale, la biopulpectomie est indiquée).

- Désinfection de la cavité avec de la chlorhexidine 2% pendant 2 à 3 minutes

- Mise en place du matériau de coiffage au contact des pulpes radiculaires, puis de la restauration définitive
- Réalisation d'une radiographie de contrôle et réglage de l'occlusion

Nécessité de réaliser un suivi à 1 mois, ainsi qu'à 6 – 12 mois avec réalisation de test au froid (risque de faux négatifs) et de radiographies de contrôle.



Figure 1 : A = radiographie préopératoire de la dent 36, B = radiographie post-opératoire suite à la réalisation de la pulpotomie camérale après le diagnostic d'une pulpite irréversible avec une biocéramique pré-mixée Putty et une restauration définitive coronaire, C = radiographie de suivi à 18 mois et D = radiographie de suivi à 24 mois avec une dent asymptomatique et une continuité dans le développement radiculaire – à noter également l'absence de calcifications pulpaire visibles dans le tissu pulpaire restant – source : Jouanny (38)

RÉSUMÉ EN ANGLAIS

Vital pulp therapy techniques are therapies relevant to deep carious lesions in order to preserve the defense functions of the dental organ, which are lost after a root canal therapy. These essential abilities that the tooth has to defend itself, resulting from a close communication of the dentino-pulpal complex, allow an efficient and protective response towards external attacks, especially the aggression caused by cavities.

Developed in the spirit of minimally invasive dentistry, these different vital pulp therapy techniques extend from selective caries removal to pulp capping through pulpotomies. They have been described for decades but continue to evolve and to be more widely shared.

In the same way, the biomaterials used to protect the pulp tissue, while stimulating the formation of an impervious dentin bridge, keep on making progress as well since discoveries are made on the exceptional and subtle functioning of the dentino-pulpal complex.

These pulp vital therapy techniques will continue to being spread around since they can give a second chance to the tooth which will benefit the patient.

**LES CARIES PROFONDES, DU DIAGNOSTIC À LA PRISE EN CHARGE PAR
LES THÉRAPEUTIQUES DE PRÉSERVATION DE LA VITALITÉ PULPAIRE**

Les techniques de préservation de la vitalité pulpaire sont des thérapeutiques applicables aux atteintes carieuses importantes afin de préserver les capacités de défense de l'organe dentaire, potentiel perdu suite à la réalisation du traitement endodontique.

Ces capacités primordiales que possèdent la dent pour se défendre, issues d'une communication étroite du complexe dentino-pulpaire, permettent une réponse efficace et protectrice face aux agressions extérieures, notamment face à l'agression portée par la maladie carieuse.

Développées dans l'esprit de la dentisterie minimalement invasive, ces différentes thérapeutiques de conservation pulpaire s'étendent de l'éviction carieuse sélective aux coiffages pulpaire en passant par les pulpotomies. Elles sont décrites depuis des décennies mais ne cessent d'évoluer et d'être plus largement partagées.

De la même façon, les biomatériaux utilisés afin de protéger le tissu pulpaire, tout en stimulant la formation d'un pont dentinaire étanche, évoluent sans délai pour remplir un cahier des charges toujours plus conséquent au fil des découvertes sur le fonctionnement exceptionnel et subtil du complexe dentino-pulpaire.

Nous n'avons pas terminé de voir ces thérapies de préservation pulpaire se diffuser, celles-ci étant une réelle chance pour l'organe dentaire et plus globalement pour le patient.

TITRE EN ANGLAIS : Deep caries, from diagnosis to treatment with vital pulp therapy techniques

DISCIPLINE ADMINISTRATIVE : Chirurgie dentaire

MOTS-CLES : Complexe pulpo-dentinaire, carie profonde, biomatériaux, stepwise excavation, partial caries removal, coiffage pulpaire indirect, coiffage pulpaire direct, pulpotomie partielle, pulpotomie camérale

Université Toulouse III – Paul Sabatier
Faculté de santé – Département d'Odontologie 3 chemin des Maraîchers 31062 Toulouse
Cedex 09

Directeur de thèse : Dr Marie GURGEL – GEORGELIN