

Année : 2015

N° : 045

LA PULPOTOMIE DES DENTS PERMANENTES MATURES

THÈSE POUR LE DIPLOME D'ÉTAT DE
DOCTEUR EN CHIRURGIE-DENTAIRE

*présentée
et soutenue publiquement par*

CHARLOIS Bérénger
né le 19 décembre 1988

Le 19 juin 2015 devant le jury ci-dessous :

Président : Madame le Professeur Fabienne PEREZ
Assesseur : Monsieur le Docteur Alexis GAUDIN

Directeurs de thèse : Madame le Docteur Valérie ARMENGOL
Monsieur le Docteur Morgan ROLOT

UNIVERSITÉ DE NANTES	
Président	Pr LABOUX Olivier
FACULTÉ DE CHIRURGIE DENTAIRE	
Doyen	Pr AMOURIQ Yves
Assesseurs	Dr RENAUDIN Stéphane Pr SOUEIDAN Assem Pr WEISS Pierre
Professeurs des Universités Praticiens hospitaliers des C.S.E.R.D.	
Monsieur AMOURIQ Yves Monsieur GIUMELLI Bernard Monsieur LESCLOUS Philippe	Madame LICHT Brigitte Madame PEREZ Fabienne Monsieur SOUEIDAN Assem Monsieur WEISS Pierre
Professeurs des Universités	
Monsieur BOULER Jean-Michel	
Professeurs Emérites	
Monsieur BOHNE Wolf	Monsieur JEAN Alain
Praticiens Hospitaliers	
Madame DUPAS Cécile Madame LEROUXEL Emmanuelle	Madame BLERY Pauline Madame Isabelle HYON Madame Hélène GOEMAERE GALIERE
Maîtres de Conférences Praticiens hospitaliers des C.S.E.R.D.	Assistants Hospitaliers Universitaires des C.S.E.R.D.
Monsieur AMADOR DEL VALLE Gilles Madame ARMENGOL Valérie Monsieur BADRAN Zahi Monsieur BODIC François Madame DAJEAN-TRUTAUD Sylvie Madame ENKEL Bénédicte Monsieur GAUDIN Alexis Monsieur HOORNAERT Alain Madame HOUCHMAND-CUNY Madline Madame JORDANA Fabienne Monsieur KIMAKHE Saïd Monsieur LE BARS Pierre Monsieur LE GUEHENNEC Laurent Madame LOPEZ-CAZAUX Serena Monsieur MARION Dominique Monsieur NIVET Marc-Henri Monsieur RENAUDIN Stéphane Madame ROY Elisabeth Monsieur STRUILLLOU Xavier Monsieur VERNER Christian	Madame BOEDEC Anne Monsieur CLÉE Thibaud Monsieur DAUZAT Antoine Monsieur DEUMIER Laurent Madame CLOITRE Alexandra Madame GOUGEON Béatrice Monsieur KOUADIO Kouakou (Assistant associé) Monsieur LANOISELEE Edouard Monsieur LE BOURHIS Antoine Madame LE GOFFE Claire Madame MAÇON Claire Madame MELIN Fanny Madame MERAMETDJIAN Laure Monsieur PILON Nicolas Monsieur PRUD'HOMME Tony Monsieur RESTOUX Gauthier Madame RICHARD Catherine Monsieur ROLOT Morgan
Enseignants Associés	A.T.E.R.
Madame BRETECHE Anne (MC Associé) Madame RAKIC Mia (MC Associé) Madame VINATIER Claire (PR Associé)	Monsieur COUASNAY Greig

***Par délibération, en date du 6 décembre 1972,
le Conseil de la Faculté de Chirurgie Dentaire a arrêté
que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées
doivent être considérées comme propres à leurs auteurs
et qu'il n'entend leur donner aucune approbation, ni improbation.***

Professeur Fabienne PÉREZ

Docteur en chirurgie dentaire.

Professeur des universités.

Praticien hospitalier des centres de soins d'enseignement et de recherche dentaires.

Docteur de l'université de Toulouse 3.

Habilitation à diriger des recherches.

Chef du Département d'Odontologie Conservatrice – Endodontie.

Chef du Service d'Odontologie Conservatrice et Pédiatrique.

- NANTES -

Pour m'avoir fait l'honneur de présider cette thèse et pour votre grande expérience.

Pour votre accueil dans votre département et la confiance que vous m'avez accordée.

Veillez trouver ici l'expression de mon profond respect et de toute ma considération.

Docteur Valérie Armengol

Docteur en chirurgie dentaire.

Maitre de conférences des universités.

Praticien hospitalier des centres de soins d'enseignement et de recherche dentaires.

Docteur de l'université de Nantes.

Département d'Odontologie Conservatrice – Endodontie.

- NANTES -

Pour avoir accepté de diriger cette thèse.

Pour m'avoir enseigné l'endodontie et donné goût à cette discipline lors des travaux pratiques de troisième année.

Pour me permettre de continuer à apprendre auprès de vous en clinique.

Pour votre savoir-faire, votre disponibilité et votre patience, indispensables à la réalisation de ce travail.

Veuillez croire en ma sincère gratitude et ma profonde reconnaissance.

Docteur Morgan Rolot

Docteur en chirurgie dentaire.

Assistant hospitalo-universitaire des centres de soins d'enseignement et de recherche dentaires.

Département d'Odontologie Conservatrice – Endodontie.

- NANTES -

Pour m'avoir orienté vers ce sujet et accepté de codiriger ce travail.

Pour votre aide, votre soutien et vos encouragements dans la conception de cette thèse.

Merci pour votre sympathie et votre bonne humeur toutes ces années, tant à la faculté qu'en dehors.

Avec toute mon amitié.

Docteur Alexis GAUDIN

Docteur en chirurgie dentaire.

Ancien interne des hôpitaux de Toulouse 3.

Maitre de conférences des universités.

Praticien hospitalier des centres de soins d'enseignement et de recherche dentaires.

Département d'Odontologie Conservatrice – Endodontie.

- NANTES -

Pour avoir accepté d'être membre de ce jury.

Pour m'avoir fait l'honneur de contribuer à ce travail par vos conseils avisés et votre disponibilité.

Veillez trouver ici le témoignage de ma profonde reconnaissance et de tout mon respect.

TABLES DES MATIERES

Introduction	10
1. RAPPELS	11
<i>1.1. La pulpe</i>	<i>11</i>
1.1.1. Intérêts de la vitalité pulpaire.....	11
1.1.2. Histologie de la pulpe	11
1.1.2.1. La pulpe marginale	12
1.1.2.1.1. Les odontoblastes	13
1.1.2.1.2. Les fibroblastes et fibrocytes.....	13
1.1.2.1.3. Les cellules de Höhl	14
1.1.2.1.4. Les cellules de défense.....	14
1.1.2.2. La pulpe centrale	15
1.1.2.2.1. La substance fondamentale	15
1.1.2.2.2. Les fibres.....	15
1.1.2.2.3. Les vaisseaux	15
1.1.2.2.4. Les nerfs	16
1.1.3. Pathologies pulpaires	16
1.1.3.1. Formation de dentine	18
1.1.3.1.1. Dentine primaire.....	18
1.1.3.1.2. Dentine secondaire	18
1.1.3.1.3. Dentine réactionnelle	19
1.1.3.1.4. Dentine de réparation ou pont dentinaire	19
1.1.3.2. Potentiel régénérateur de la pulpe	20
<i>1.2. La pulpotomie</i>	<i>21</i>
1.2.1. Les types de pulpotomie	21
1.2.1.1. La pulpotomie partielle	21
1.2.1.2. La pulpotomie totale	22
1.2.2. Mise en œuvre clinique	22
1.2.3. Critères de succès.....	25
2. INDICATIONS THÉRAPEUTIQUES ET RÉSULTATS DES PULPOTOMIES.....	26
<i>2.1. Indication comparative : les alternatives thérapeutiques</i>	<i>26</i>
2.1.1. Le coiffage pulpaire direct	26
2.1.2. La pulpectomie	27
<i>2.2. Indications et contre-indications des pulpotomies</i>	<i>29</i>
2.2.1. Indications des pulpotomies	29
2.2.2. Contre-indications des pulpotomies	30
2.2.3. Bilan biologique pulpaire	31
<i>2.3. Indication du type de pulpotomie</i>	<i>33</i>
<i>2.4. Les biomatériaux de coiffage pulpaire</i>	<i>33</i>
2.4.1. L'hydroxyde de calcium.....	34
2.4.1.1. Propriétés	34
2.4.1.2. Inconvénients	34
2.4.1.3. Formes cliniques	35
2.4.2. Le Mineral Trioxide Aggregate (MTA)	35
2.4.2.1. Composition	36

2.4.2.2. Propriétés physico-chimiques	36
2.4.2.3. Propriétés mécaniques.....	37
2.4.2.4. Propriétés biologiques.....	37
2.4.2.5. Inconvénients	37
2.4.2.6. Formes cliniques	38
2.4.3. La Biodentine™	38
2.4.3.1. Présentation et composition	38
2.4.3.2. Propriétés physico-chimiques	39
2.4.3.3. Propriétés mécaniques.....	39
2.4.3.4. Propriétés biologiques.....	39
2.4.4. Le CEM ou NEC.....	40
2.4.4.1. Composition	40
2.4.4.2. Propriétés	40
2.4.5. Autres.....	41
2.4.5.1. Le BioAggregate.....	41
2.4.5.2. La Propolis	41
2.4.5.3. Le TheraCal.....	42
2.4.5.4. La BSP	42
2.4.5.5. La BMP.....	42
2.4.5.6. L'Emdogain	42
3. ANALYSE CRITIQUE DE LA LITTÉRATURE	44
3.1. <i>Matériels et méthode</i>	44
3.1.1. Stratégie de recherche	44
3.1.2. Critères de sélection.....	44
3.2. <i>Résultats</i>	45
3.3. <i>Analyse critique</i>	46
3.3.1. Analyse des revues de synthèse	50
3.3.2. Analyse des articles originaux.....	51
3.3.3. Analyse des études in vitro	53
3.3.4. Résumé de l'analyse de la littérature	55
3.4. <i>Discussion</i>	57
3.4.1. Résultats des pulpotomies	57
3.4.1.1. Les pulpotomies partielles.....	57
3.4.1.2. Les pulpotomies totales.....	58
3.4.2. Comparatif entre les alternatives thérapeutiques.....	59
3.4.2.1. Comparaison avec le coiffage direct	59
3.4.2.2. Comparaison avec la pulpectomie	60
3.4.3. Comparatif entre les matériaux utilisés	62
3.4.3.1. L'hydroxyde de calcium.....	64
3.4.3.2. Le MTA.....	65
3.4.3.3. Le CEM	66
3.4.3.4. Autres biomatériaux	67
Conclusion	69
Références bibliographiques	71
Références iconographiques	79
Table des tableaux	80

Introduction

De nos jours, la thérapeutique la plus couramment mise en œuvre afin de traiter les dents permanentes matures ayant une exposition pulpaire est le traitement endocanalair, ceci afin de prévenir tout risque de complication douloureuse ou infectieuse. Pour justifier ce choix, de nombreux praticiens mettent en avant le prétendu manque de fiabilité des thérapeutiques de conservation pulpaire et la forte probabilité de succès des pulpectomies si elles sont réalisées dans les meilleures conditions.

Cependant, la conservation de la vitalité pulpaire est aujourd'hui reconnue comme étant l'enjeu principal de nos thérapeutiques d'odontologie conservatrice. Le complexe pulpo-dentinaire est un organe unique capable de s'adapter et de répondre à une multitude de stimuli. En effet, la pulpe qui synthétise la dentine lors de l'édification de la dent puis tout au long de la vie, est également responsable de ses fonctions neuro-sensorielles, de sa vascularisation mais aussi de son auto-protection par sa capacité à fabriquer une dentine cicatricielle pour se protéger des agressions externes. Or, la réalisation d'une pulpectomie, même si elle est justifiée en cas d'exposition pulpaire suite à un traumatisme, une atteinte carieuse profonde, ou une effraction iatrogénique lors du curetage par le chirurgien dentiste, prive la dent de cet inestimable mécanisme de défense et accroît sa fragilité.

Aujourd'hui, l'amélioration de la compréhension des phénomènes carieux et bactériens couplée à l'évolution constante de notre arsenal thérapeutique, et en particulier des biomatériaux de coiffage pulpaire, augmente le champ des indications de la conservation de la vitalité d'une dent soumise à une exposition pulpaire. En ce sens, la pulpotomie est une thérapeutique reconnue de conservation de la vitalité pulpaire. Jusqu'à présent, elle était « réservée » aux dents temporaires ou permanentes immatures. Mais depuis plusieurs années, des praticiens l'envisagent en tant que traitement définitif sur des dents permanentes matures, en alternative aux dévulsions : c'est le sujet de ce travail de thèse.

Pour le traiter, nous rappellerons dans une première partie, les rôles et la composition du complexe dentino-pulpaire, puis nous parlerons des différentes techniques de pulpotomie et de leurs réalisations. Dans un second temps, nous aborderons les indications, les alternatives thérapeutiques et les biomatériaux de coiffage pulpaire des pulpotomies. Nous conclurons cette partie en décrivant les résultats de cette thérapeutique recensés dans une analyse de la littérature scientifique décrite dans la troisième et dernière partie.

1. RAPPELS

1.1. La pulpe

1.1.1. Intérêts de la vitalité pulpaire

La pulpe est un tissu conjonctif spécialisé de l'organe dentaire, actif tout au long de la vie et responsable de son innervation, de sa vascularisation, de sa nutrition et éventuellement de sa réparation lors des agressions. Elle est située au centre de la dent dans une cavité aux parois inextensibles. On distingue deux parties : la pulpe camérale enfermée dans la chambre pulpaire au niveau coronaire et la pulpe canalaire dans les racines. Elle est au contact direct de la dentine avec laquelle elle entretient d'étroites relations. Embryologiquement, histologiquement et fonctionnellement, ces deux éléments sont indissociables et de fait, on parle plus souvent de complexe dentino-pulpaire dont les rôles sont multiples ^{8,30,42}:

- elle est responsable des fonctions neuro-sensorielles de la dent grâce à son innervation, telles que la proprioception mais également les ressentis thermiques ou douloureux,
- grâce à sa vascularisation, elle remplit sa fonction nutritive en garantissant l'apport des nutriments essentiels à la survie des odontoblastes, elle a donc un rôle dans la formation et l'apposition de la dentine (dentinogenèse) tout au long de la vie,
- elle possède aussi une fonction réparatrice, véritable mécanisme de défense face aux agressions.

1.1.2. Histologie de la pulpe

Chez l'adulte, la pulpe est constituée de plusieurs éléments cellulaires, nerveux, vasculaires, fibreux et par de la substance fondamentale. L'observation au microscope nous permet d'identifier deux zones distinctes : une pulpe marginale et une pulpe centrale qui diffèrent par leur composition.

1.1.2.1. La pulpe marginale

Aussi appelée pulpe périphérique, elle comprend les éléments situés directement au contact de la dentine que sont, de l'extérieur vers l'intérieur ^{30,42} :

- la ligne des « terminal web » (alignement des jonctions intercellulaires entre les corps des odontoblastes, véritable frontière entre la dentine et la pulpe),
- les corps cellulaires des odontoblastes possédant chacun un prolongement cytoplasmique dans les tubuli dentinaires et formant le mur odontoblastique en palissade grâce à de nombreux systèmes de jonction,
- une zone inconstante, la zone pauvre (ou claire) de Weill, immédiatement sous-jacentes aux odontoblastes, elle est pauvre en cellules mais riche en fibres (il y a par exemple beaucoup de fibres nerveuses amyéliniques constituant un plexus sous odontoblastique dense),
- et enfin, la zone riche de Schour (zone sous odontoblastique riche en cellules telles que les fibroblastes, fibrocytes, cellules de Höhl, lymphocytes,...) qui marque le début de la pulpe centrale.

Pour certains auteurs, la zone pauvre de Weill (inconstante) et la zone riche de Schour sont confondues en une couche appelée couche de Höhl ⁴².

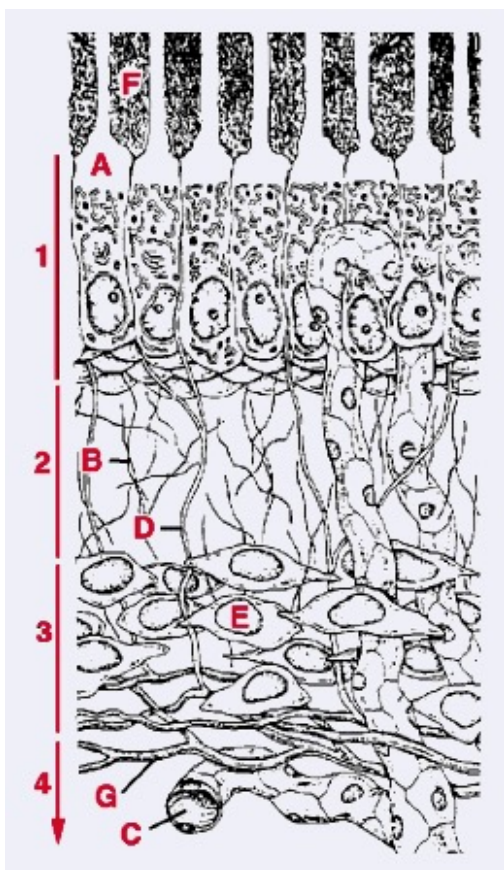


Figure 1 : Représentation schématique de la pulpe dentaire

- A : ligne des « terminal web »,
- B : plexus capillaire sous endoblastique
- C : anse capillaire
- D : plexus nerveux sous endoblastique
- E : fibroblastes
- F : prédentine
- G : complexe de Rashkov
- 1 : corps des odontoblastes
- 2 : zone pauvre de Weill
- 3 : zone riche de Shour
- 4 : pulpe centrale

1.1.2.1.1. Les odontoblastes

Les odontoblastes sont des cellules post-mitotiques hautement différenciées (elles sont donc incapables de mitose) organisées à la périphérie de la pulpe en palissade unicellulaire. Ils sont responsables de la sécrétion de la pré-dentine et de sa minéralisation. Les odontoblastes sont reliés entre eux par des jonctions cellulaires étanches (type gap-junction), organisant ainsi cette palissade cellulaire comme une véritable barrière de protection pulpaire; ces gap-jonctions sont également responsables d'une communication inter cellulaire, probablement impliquée dans le processus de cicatrisation pulpaire ⁴². Ce sont également des cellules immuno-compétentes, capables d'orchestrer une réponse immunitaire (inflammatoire) suite à une agression bactérienne ³¹. Enfin, elles participent, grâce à leurs prolongements cytoplasmiques à l'intérieur des tubuli dentinaires, à la transmission sensorielle.

1.1.2.1.2. Les fibroblastes et fibrocytes

Comme tout tissu conjonctif, la majorité du tissu pulpaire est composée de fibroblastes et de fibrocytes. Les premiers sont des cellules jeunes tandis que les seconds sont des cellules à l'activité métabolique réduite. Il s'agit de cellules sécrétrices (de fibres et de substance fondamentale), responsables de la formation, du renouvellement et de l'entretien de la pulpe et en particulier de la matrice extra-cellulaire ⁴². Cette dernière joue un rôle important au sein de la pulpe : sa viscosité varie avec le temps (fibrose au cours du vieillissement) ainsi qu'avec les processus physio-pathologiques tandis que sa viscoélasticité permet à la pulpe de s'adapter à d'éventuelles variations de pression (modérées) inhérentes aux processus inflammatoires. C'est notamment grâce à cette adaptabilité tissulaire que de nombreuses inflammations pulpaires sont cliniquement silencieuses jusqu'à ce que l'augmentation de la pression intra-pulpaire soit telle qu'elle ne peut plus être compensée, ce qui entraîne une violente douleur ressentie par le patient. Les fibroblastes et les fibrocytes ne sont pas isolés mais reliés entre eux par des jonctions intercellulaires et communicantes, formant ainsi un réseau continu. Ils se déplacent donc en groupe, et possèdent des capacités de migration et de différenciation nécessaires à l'accomplissement de leurs fonctions.

1.1.2.1.3. Les cellules de Höhl ^{42,71}

Les cellules de Höhl sont de petites cellules rondes présentes dans la couche de Höhl qui ont des capacités de différenciation odontoblastique et peuvent donc les remplacer en cas d'agression pour synthétiser de la dentine réactionnelle. Cette couche de Höhl a longtemps été considérée comme un réservoir potentiel de cellules en cas de disparition partielle de la couche d'odontoblastes. Cependant, les cellules de Höhl seront aussi touchées lors d'une effraction pulpaire importante et ne suffiront pas au processus de cicatrisation de la pulpe.

1.1.2.1.4. Les cellules de défense

Des cellules de défense sont également présentes dans la pulpe et participent à sa protection, on en retrouve de plusieurs types:

- les **cellules dendritiques**
- les **histiocytes** : cellules de veille se transformant en macrophages lors de réactions inflammatoires,
- les **macrophages** : peu nombreux dans la pulpe, ils apparaissent lors des réactions inflammatoires en migrant depuis les vaisseaux sanguins, et, permettent de répondre rapidement à toute agression bactérienne,
- les **lymphocytes** : présents dans la pulpe saine, surtout au niveau de la zone riche de Schour,
- les **polynucléaires neutrophiles** : plutôt rares et majoritairement concentrés dans la pulpe coronaire,
- les **mastocytes** : ils interviennent surtout lors de réactions inflammatoires,
- les **plasmocytes** : rares dans une pulpe saine.

Enfin, nous retrouvons des cellules indifférenciées parmi lesquelles des cellules souches mésenchymateuses ou cellules progénitrices ⁷¹ qui sont multipotentes, présentes initialement dans la pulpe (ou qui peuvent y migrer à partir d'autres tissus comme la moelle osseuse), et, capables de migration et de différenciation en fibroblastes ou en néo-odontoblastes par exemple. La population de ces cellules diminue dans les pulpes âgées. Nous notons aussi la présence des péricytes ⁷¹, cellules aplaties observées dans le dédoublement de la lame basale des capillaires qui présentent les mêmes caractéristiques que les cellules souches et sont aptes à se différencier en ostéoblastes.

1.1.2.2. La pulpe centrale ⁴²

Cette partie de la pulpe est la plus étendue et contient des vaisseaux de gros diamètres ainsi qu'une innervation développée. Elle constitue une zone de tissu conjonctif lâche, riche en cellules (plus ou moins les mêmes : fibroblastes, fibrocytes, lymphocytes...), en fibres ainsi qu'en substance fondamentale.

1.1.2.2.1. La substance fondamentale

Il s'agit de la substance entourant les cellules du tissu conjonctif et dans laquelle baignent les fibres ainsi que les éléments vasculo-nerveux de la pulpe. Elle lubrifie et protège le tissu conjonctif ainsi que ses constituants tout en facilitant la diffusion de nombreux éléments à travers celui-ci. Elle est constituée :

- d'eau, à 90%,
- de glyco-amino-glycanes, responsables de l'absence de minéralisation de ce tissu conjonctif et de la résistance à la compression,
- de glycoprotéines de structure.

1.1.2.2.2. Les fibres

La pulpe centrale contient essentiellement deux types de fibres : les fibres de collagène et les fibres élastiques. On retrouve surtout du collagène de type I et III, responsables du support et de la structure du tissu conjonctif.

1.1.2.2.3. Les vaisseaux

La vascularisation s'effectue grâce à une ou deux petites artérioles issues de l'artère dentaire. Elles pénètrent la dent par le foramen apical et cheminent au centre de la pulpe, jusqu'à la chambre pulpaire, en formant le plexus capillaire sous odontoblastique dans la zone pauvre de Weill ainsi que des anses capillaires dans la palissade des odontoblastes. Cette

vascularisation est de type terminal et nécessite donc un retour veineux assuré quant à lui par des veinules qui rejoignent le foramen apical.

Il existe d'autre part un réseau lymphatique pulpaire qui est également assuré par de petits capillaires drainant le tissu de la périphérie vers le centre de la dent puis dans les ganglions sous-maxillaires et sous-mentaux et enfin cervicaux.

1.1.2.2.4. Les nerfs

L'innervation du complexe pulpo-dentinaire provient des branches sensibles maxillaires et mandibulaires du trijumeau ainsi que des branches sympathiques du ganglion cervical supérieur. Comme pour la vascularisation, les gaines nerveuses pénètrent la dent, également par le foramen apical, dès la formation de la gaine de Hertwig, mais ne sont fonctionnelles qu'au moment où la dent entre en contact avec son antagoniste. Elles cheminent au centre de la pulpe et se ramifient jusqu'au niveau de la zone pauvre de Weill, où les fibres nerveuses constituent un réseau dense sous-odontoblastique : le plexus de Rashkov. A ce niveau, des fibres myéliniques et amyéliniques entrent en contact direct avec les corps cellulaires des odontoblastes mais progressent aussi dans la pré-dentine et les tubuli dentinaires.

1.1.3. Pathologies pulpaires

Les tissus durs (émail et dentine) composant la dent et recouvrant la pulpe protègent celle-ci des agressions extérieures. Mais, ces « barrières » physiologiques ne sont pas extensibles et expliquent les fortes douleurs ressenties par les patients en cas d'inflammation pulpaire ³⁰. Celle-ci est soit d'origine traumatique, soit d'origine infectieuse, suite à une lésion carieuse ²¹.

Lors du processus carieux, la déminéralisation précède la colonisation bactérienne. On observe en premier lieu la déminéralisation de l'émail, causée par la diffusion d'acides bactériens. Si aucun geste thérapeutique n'est effectué, la déminéralisation se poursuit,

jusqu'à franchir la jonction amélo-dentinaire. Lors de la progression du processus carieux dans la dentine, la pulpe réagit à l'agression en produisant une inflammation, on parle alors de pulpite ^{20,21,30,35}.

L'intensité de cette réponse pulpaire à l'agression carieuse varie selon plusieurs facteurs, tels que l'âge de l'individu, l'état initial de la pulpe (si elle a déjà subi une agression précédemment), la vitesse de la progression, la perméabilité dentinaire face aux toxines carieuses...

Ce processus inflammatoire en réaction à l'agression entraîne au sein de la pulpe plusieurs manifestations observables histologiquement, telles que:

- une réduction du nombre et de la taille des odontoblastes,
- un dépôt de fibres de collagènes au sein de la pulpe,
- l'apparition d'un infiltrat inflammatoire (composé de lymphocytes, de plasmocytes et de macrophages),
- la prolifération de petits vaisseaux sanguins et de fibroblastes.

L'inflammation pulpaire augmente selon la proximité de l'agression et son intensité. Lorsque les bactéries atteignent la dentine, la pulpe est alors à un stade d'inflammation aiguë, ou pulpite réversible ^{8,20}. Sans prise en charge thérapeutique à temps, les bactéries envahissent la pulpe, jusqu'au stade où celle-ci se retrouve débordée par l'agression. La pulpe est alors en pulpite irréversible et on atteint le point de non-retour, menant à la nécrose pulpaire ^{8,20,21}.

Le moyen pour la pulpe de se protéger de ces attaques consiste en l'apposition de dentine tertiaire formant une véritable barrière en regard de la zone d'agression. Selon l'importance de la stimulation pulpaire, on observera différentes réactions de défense.

1.1.3.1. Formation de dentine

1.1.3.1.1. Dentine primaire

C'est la dentine « originelle », apposée lors de la formation initiale de la dent à une vitesse moyenne de $4\mu\text{m}/\text{jour}$ ⁷⁸.

1.1.3.1.2. Dentine secondaire

Résultante d'une activité dentinogénique physiologique très lente tout au long de la vie, son apposition se fait au dépend de la pulpe et explique la différence de volume pulpaire entre une dent jeune et une dent âgée. La sécrétion de cette dentine ne semble pas se faire de façon uniforme, mais concerne plutôt le plafond et le plancher pulpaire. La composition chimique et la structure histologique des deux types de dentine sont absolument identiques. Seule la vitesse de sécrétion est différente : $0,4\mu\text{m}/\text{jour}$ pour la dentine secondaire ⁷⁸, soit 10 fois plus lente que la primaire. La zone réelle de passage de l'une à l'autre est non matérialisable, elle n'a aucune incidence ni physiologique, ni thérapeutique.

L'apposition de ces deux premiers types de dentine est physiologique et de ce fait, est observée chez tout le monde. Cependant, lors d'agressions extérieures, la pulpe est capable pour se défendre de synthétiser de la **dentine tertiaire** en regard de la zone d'agression. En fonction de la nature de l'agression (lente/rapide), de la réponse de l'hôte, de la flore bactérienne, la réponse pulpaire est différente. Si l'agression est faible ou modérée le problème sera résolu par la sécrétion de dentine réactionnelle par la pulpe jusqu'à ce qu'une procédure clinique stoppe l'agression. Si l'agression est plus importante et conduit à la mort des odontoblastes (carie profonde, effraction pulpaire par traumatisme), de nouvelles cellules sécrétrices doivent intervenir, et l'on parlera alors de dentine réparatrice.

1.1.3.1.3. Dentine réactionnelle

Elle est formée par les odontoblastes lésés et sécrétée en réponse à une agression modérée (sans destruction des odontoblastes) telle qu'une carie superficielle ou à progression lente, ou un phénomène d'abrasion, dans le but de protéger la pulpe sous-jacente ⁴³. Ce sont les odontoblastes de la première génération, différenciés lors de l'odontogenèse, qui synthétisent cette dentine rapidement, au détriment de la chambre pulpaire et en regard de l'agression. Elle se dépose plus rapidement que la dentine secondaire et le début de sa sécrétion est marqué par l'apparition d'une ligne calcio-traumatique. Elle ressemble par son aspect à la dentine secondaire (physiologique) avec laquelle elle est en continuité. Comme elle, c'est une dentine tubulaire, aussi appelée **orthodentine**, où les corps cellulaires odontoblastiques sont à l'extérieur du tissu minéralisé.

1.1.3.1.4. Dentine de réparation ou pont dentinaire

Lorsque l'agression est plus importante et que la palissade odontoblastique est trop lésée, trop rapidement, les odontoblastes ainsi que les cellules de Höhl entrent en apoptose ⁴³, et de nouvelles cellules progénitrices pulpaires (cellules souches pulpaires) indifférenciées issues de la zone riche de Schour viennent les remplacer. Ces nouvelles cellules se différencient, mais ne deviennent pas réellement des odontoblastes. On parle alors « d'odontoblastes-like » ^{21,43,71}.

Ce phénomène se produit essentiellement lors de caries profondes ou à progression rapide ou encore lors d'effraction pulpaire suite à un traumatisme, qui engendrent une inflammation importante de la pulpe. Il faut alors environ 20 jours pour que ces cellules se différencient et une dizaine de jours supplémentaires pour que la sécrétion commence. Il y a donc une interruption de la sécrétion dentinaire objectivée histologiquement par l'observation au microscope d'une ligne calcio-traumatique.

Dans un premier temps, les cellules remplaçant les odontoblastes migrent vers la zone de l'agression puis la recolonisent en adoptant comme les odontoblastes, une disposition palissadique. Ces cellules synthétisent alors une première couche de dentine atubulaire, qu'on appelle **fibrodentine** ou **ostéodentine**, car les corps cellulaires sont prisonniers à l'intérieur

du tissu minéralisé qui isole la pulpe du milieu extérieur. La présence de cette fibrodentine est le signe que les odontoblastes ont été détruits et remplacés par des « odontoblast-like »²¹. Cet isolement crée les conditions de polarisation de ces cellules, qui prennent alors dans un second temps un aspect odontoblastique et se mettent à apposer une seconde couche dentinaire, cette fois tubulaire, de type orthodentine. Ces deux ensembles forment le pont dentinaire et marquent l'aboutissement du processus de cicatrisation pulpaire⁸⁰.

1.1.3.2. Potentiel régénérateur de la pulpe

La pulpe possède donc une capacité de réparation par le biais de ces dentines, réactionnelle et de réparation, mais elle possède également un potentiel régénérateur^{80,85} via la présence de cellules progénitrices indifférenciées. Appelées Dental Pulp Stem Cells (DPSC)^{44,70}, leur mise en évidence au sein de la masse pulpaire a permis de démontrer l'intérêt de la pulpe en tant que niche de remplacement. Ces cellules souches présentent un intérêt évident et plusieurs études ont été réalisées pour déterminer leur degré de plasticité (capacité à se différencier en différents tissus dentaires). Elles possèderaient ainsi plusieurs voies de différenciation : odontoblastique bien entendu mais aussi ostéoblastique, chondroblastique, adipogénique et même neuronal^{70,71}.

Même si d'autres études sont à envisager, il est clair que leur présence au sein de la pulpe ouvre de nouvelles voies pour les investigations sur le processus de réparation pulpaire. En effet, après un coiffage direct, la formation de nouveaux « odontoblastes » est impérative et la présence à proximité de la lésion de ces cellules progénitrices indifférenciées est donc particulièrement intéressante dans la compréhension des phénomènes de cicatrisation pulpaire.

Ainsi, la découverte de ces cellules souches oriente les scientifiques vers une approche plus biologique prenant en compte l'importance de la vitalité pulpaire et cherchant de nouvelles technologies de conservation de celle-ci en utilisant le potentiel régénérateur de la pulpe, diminuant ainsi la quantité de dépulpsations réalisées.

1.2. La pulpotomie

Le glossaire de l'Association Américaine des Endodontistes propose une définition de la pulpotomie qui est : « l'ablation chirurgicale de la partie coronaire d'une pulpe vitale comme moyen de préservation de la vitalité du restant de la portion radiculaire » ^{16,41,79}. Plus précisément, c'est une intervention qui consiste à pratiquer, à un niveau choisi, la section de la pulpe, à éliminer la partie amputée et à placer après hémostase, au contact du moignon pulpaire radiculaire restant, une substance capable de permettre une obturation calcique dentinaire naturelle du canal ⁴⁶. Selon Barngkgei et coll. ¹⁸, en 2013, la pulpotomie traditionnelle comprend l'éviction de la totalité de la pulpe camérale et le coiffage de la pulpe radiculaire. Mais il existe une variante, la pulpotomie partielle, où la pulpe camérale est retirée partiellement. L'objectif de la pulpotomie qu'elle soit partielle ou totale, est d'induire la formation d'un pont dentinaire qui protégera la pulpe et permettra le maintien de la vitalité pulpaire et de ses fonctions ^{8,16,65}.

1.2.1. Les types de pulpotomie

1.2.1.1. La pulpotomie partielle

Aussi appelée pulpotomie de Cvek car étudiée en 1978 par celui-ci ³³, elle est décrite comme l'excavation aseptique et chirurgicale de la pulpe exposée et de la dentine qui l'entoure sur une profondeur de 1,5mm à 2mm ^{23,33,41,50,52,87}. Il s'agit de la profondeur moyenne après laquelle le tissu pulpaire enflammé est en théorie, totalement éliminé.

Récemment, Asgary et ses collaborateurs ⁷ introduisent le terme de pulpotomie miniature qui représente en fait le cas extrême de la pulpotomie partielle. Elle est décrite comme la procédure visant à retirer précautionneusement la dentine infectée ainsi que la couche superficielle de la pulpe exposée (plus particulièrement la palissade odontoblastique lésée) sur 1mm ⁵⁰. Cette technique permettrait d'obtenir une plaie chirurgicale propre et assurerait la proximité et donc l'interaction du biomatériau de coiffage avec les cellules

souches mésenchymateuses indifférenciées jouant un rôle évident dans la cicatrisation pulpaire ^{7,15}.

1.2.1.2. La pulpotomie totale

La pulpotomie totale consiste en l'éviction complète de la pulpe camérale et le coiffage de la pulpe radiculaire.

1.2.2. Mise en œuvre clinique ^{9,18,33,79}

Nous allons décrire ici le protocole de réalisation d'une pulpotomie totale qui ne diffère que très peu de la pulpotomie partielle. Tout d'abord, après s'être assuré de la vitalité pulpaire par les différents tests adéquats et examens complémentaires (test électrique ou thermique, palpation, percussion, et radiographie rétro-alvéolaire pour écarter toute pathologie apicale), la dent est anesthésiée puis isolée de la cavité buccale et de la salive au moyen d'un champ opératoire. La cavité est éventuellement élargie à l'aide d'une fraise boule diamantée montée sur turbine si celle-ci n'est pas totalement accessible (dans le cas de lésions carieuses proximales ou en présence de pans d'émail non soutenus). L'éviction carieuse (de la dentine infectée) est ensuite réalisée avec une fraise boule en carbure de tungstène montée sur contre-angle bague verte, accompagnée d'une irrigation abondante.

Lorsque les parois sont propres et que tout le tissu carieux a été retiré, l'effraction pulpaire est désormais bien visible et doit s'accompagner d'un saignement, signe de la vitalité et de l'inflammation de la pulpe. Dans le cas d'une pulpotomie totale, on élimine alors le plafond de la chambre pour procéder à la suppression de la totalité de cette pulpe camérale ¹⁸. Lors des pulpotomies partielles, le protocole diffère à cette étape : l'excavation du tissu pulpaire et de la dentine qui l'entoure est effectuée sur une profondeur de 1,5mm à 2mm ⁸⁷ seulement, avec une fraise diamantée montée sur un contre-angle bague rouge sous irrigation stérile.

A cette étape de la pulpotomie, l'examen direct de la pulpe et le temps de saignement permettent éventuellement de rectifier un diagnostic trop optimiste de vitalité pulpaire qui aurait pu être réalisé. En effet, une hémorragie supérieure à cinq minutes après l'éviction de toute ou partie de la pulpe camérale témoigne d'une inflammation pulpaire trop importante qui conduira à l'échec de la thérapeutique de conservation de la vitalité ^{50,54}. De même, l'absence de saignement ou l'observation de matériel purulent signale une nécrose de la dent qui doit, de la même façon, conduire à modifier l'approche thérapeutique par la réalisation d'un traitement endocanalair ³⁰.

Un rinçage à l'hypochlorite de sodium à 2,5% permet de terminer la désinfection de l'interface dentinaire intra-caméral au plus proche de la pulpe. L'hypochlorite est également un excellent agent hémostatique et permet l'inhibition de la formation de caillot ⁸¹ (néfaste à la réussite de la thérapeutique). On réalise par la suite une compression avec une boulette de coton imbibée d'eau stérile pour obtenir l'hémostase pulpaire soigneuse ³⁰ (dans un délai inférieur à cinq minutes).

La dernière étape du traitement consiste à la mise en place, au contact de la pulpe, d'un biomatériau devant impérativement posséder certaines propriétés :

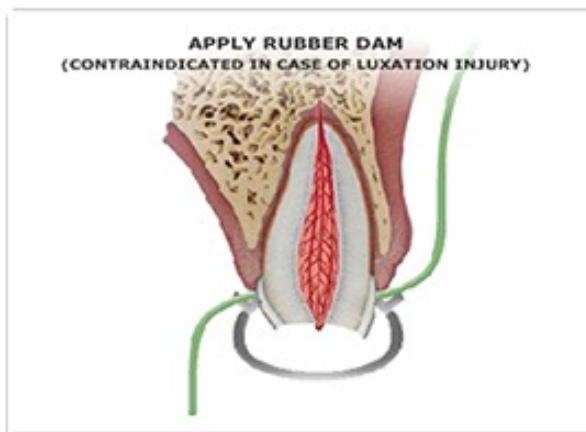
- il doit être bactéricide (ou au moins bactériostatique),
- il doit pouvoir induire la formation du pont dentinaire par la pulpe,
- il doit pouvoir être étanche face aux bactéries,
- il doit être capable de résister aux infiltrations sur le long terme, pour éviter toute nouvelle agression bactérienne, bien que ce matériau soit utilisé en fond de cavité, c'est-à-dire sous un autre matériau dont les capacités d'étanchéité sont elles, parfaitement reconnues ⁸⁹.

Figure 2 : Illustration du protocole clinique de réalisation d'une pulpotomie

1 : Anesthésie



2 : Mise en place du champ opératoire



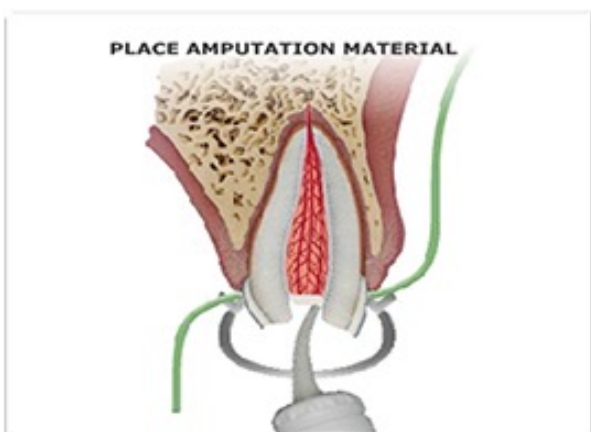
3 : excavation du tissu pulpaire sous irrigation stérile



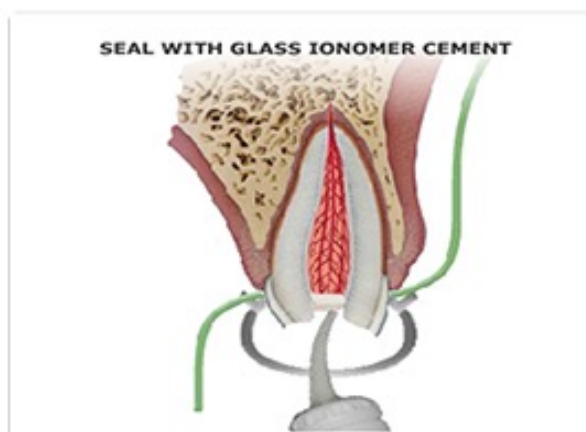
4 : désinfection à l'hypochlorite de sodium



5 : mise en place du biomatériau de coiffage pulpaire



6 : obturation au CVI



1.2.3. Critères de succès ^{28,33}

L'objectif de la pulpotomie est de maintenir la vitalité pulpaire radiculaire des dents, afin qu'elles puissent continuer à assurer leurs fonctions, tout en éliminant tout signe pathologique clinique ¹⁸ et radiographique ^{9,12}. Les caractéristiques de la guérison pulpaire incluent la réorganisation des tissus mous endommagés, la différenciation des cellules « odontoblast-like » depuis la zone riche de Shour et la formation d'un pont dentinaire ⁶⁴. Le dentiste objective cet état de cicatrisation pulpaire en effectuant un suivi régulier clinique et radiographique de la dent concernée ^{20,81} :

- absence de signes cliniques : absence de douleur spontanée et provoquée, de mobilité pathologique, réponse normale aux test de vitalité pulpaire,
- absence de signes radiologiques : pas de résorption interne ou externe, de calcifications anormales du canal, de radio clarté apicale ou furcataire post opératoire.

L'évaluation de la sensibilité pulpaire ²⁰ est le plus souvent réalisable sur les dents ayant subies des pulpotomies partielles, mais plus difficile sur celles où ont été réalisées des pulpotomies totales (en raison de l'absence de tissu pulpaire caméral). D'où l'importance également d'un bon suivi radiographique afin de déceler au plus tôt une nécrose du tissu pulpaire résiduel entraînant une LIPOE (lésion inflammatoire périradiculaire d'origine endodontique) ¹².

Les causes d'échec les plus fréquentes des pulpotomies sont la contamination bactérienne entraînant la nécrose de la dent ou un diagnostic erroné de la vitalité pulpaire ^{12,91}.

2. INDICATIONS THÉRAPEUTIQUES ET RÉSULTATS DES PULPOTOMIES

2.1. Indication comparative : les alternatives thérapeutiques

2.1.1. Le coiffage pulpaire direct

Lorsque le praticien est face à une effraction pulpaire, il peut dans certains cas, tenter de conserver la vitalité de la dent concernée en réalisant un coiffage direct. Le plus souvent, ce traitement est opéré sur des dents permanentes immatures afin de permettre l'édification radiculaire (c'est à dire l'apexogénèse) mais il est de plus en plus envisagé sur des dents permanentes matures. Pour permettre ce type de thérapeutique, l'effraction pulpaire doit être minime (inférieure à 1,5 mm ³⁰), liée à un traumatisme ou une atteinte iatrogène lors de l'éviction d'une carie profonde ^{39,50}. Dans tous les cas, sa réalisation est réservée aux dents à pulpe saine ou en pulpite réversible limitée à la partie camérale ⁴⁶. De ce fait, on exclut pour cette thérapeutique toute dent présentant une lésion péri-apicale. De plus, l'exposition pulpaire doit-être récente et on réservera le plus souvent les coiffages pulpaire directs à des expositions inférieures à 2 heures même si certaines études font état de succès jusqu'à 24h ⁵⁰.

Le coiffage pulpaire consiste en la mise en place d'un matériau biocompatible au contact direct du tissu pulpaire mis à nu, lequel est lui-même recouvert par un matériau d'obturation coronaire définitif ^{30,88}. Ce biomatériau doit avoir un rôle double. Premièrement, il doit protéger et isoler physiquement la pulpe de la cavité buccale par sa bonne étanchéité afin d'empêcher toute contamination bactérienne du tissu pulpaire. Ensuite, il doit aussi permettre la régénération du complexe dentino-pulpaire, la cicatrisation de la pulpe exposée et sa guérison par une action anti-inflammatoire, voire même par l'induction de son activité dentinogénique (création d'un pont dentinaire) ^{39,60,75}.

Le principal inconvénient du coiffage direct reste l'inflammation pulpaire, que l'on ne peut ni contrôler, ni prédire ^{35,85}. Si la pulpe est trop enflammée, au-delà de ses capacités de régénération, les biomatériaux utilisés n'entraînent pas la formation du pont dentinaire ⁷⁵ et la thérapeutique est inefficace. En conséquence de quoi, le retraitement de la dent avec une technique plus invasive (pulpo ou pulpectomie) devra être envisagé. Dans ce cas, le patient souffrira peut-être d'une pulpite ou présentera une nécrose silencieuse du tissu pulpaire qui ne sera décelée qu'à un stade avancé, par un abcès par exemple.

2.1.2. La pulpectomie

Le traitement endodontique, aussi appelé pulpectomie ou plus vulgairement dévitalisation, est fréquemment effectué de nos jours, en tant que thérapeutique fiable et reconnue. C'est un traitement qui peut-être réalisé dans les circonstances cliniques suivantes : une carie profonde atteignant la pulpe et entraînant une pulpite irréversible, une nécrose pulpaire due à des agressions répétées sur une dent, un traumatisme dentaire exposant le tissu pulpaire de façon trop importante ou non traité à temps pour permettre la sauvegarde de la pulpe ^{10,16}. Certaines indications étant communes aux pulpotomies, le traitement endodontique pourrait être évité dans plusieurs de ces cas, par la mise en œuvre d'une thérapeutique de maintien de la vitalité pulpaire ^{9,12,14,16,35}.

Cependant, la pulpectomie est un traitement reconnu, avec un taux de réussite important (93% à 96% de succès lorsqu'elle est pratiquée par des endodontistes spécialisés, ce qui est loin d'être toujours le cas) ^{10,56}. En conséquence, elle reste à l'heure actuelle plus utilisée que la pulpotomie par les praticiens dans les cas cliniques où les deux peuvent-être indiquées, ne serait-ce que par (mauvaise) habitude. Durant la formation initiale, l'enseignement tant théorique que pratique du traitement endodontique est particulièrement mis en avant, tandis que la pulpotomie n'est abordée que rapidement, surtout lors des cours de pédodontie et rarement comme étant une solution pour des dents définitives. Elle est surtout enseignée comme thérapeutique d'urgence pour soulager la douleur sur des dents en pulpite irréversible ⁴⁵. Dans ces cas-là, la pulpotomie réalisée est un préalable à la réalisation d'une pulpectomie au rendez-vous suivant. Seulement, certaines études récentes tendent à

montrer que même des dents en situation de pulpite irréversible peuvent être traitées par des thérapeutiques de pulpotomies ^{10,16}.

Il est important de souligner que la réalisation d'une pulpotomie nécessite une rigueur importante. Outre le bon respect des indications citées précédemment, l'application rigoureuse du protocole clinique est primordiale dans le succès de la thérapeutique. Ainsi, il est impératif d'isoler la dent de la cavité buccale (or la pose du champ opératoire pour un traitement endodontique n'est réalisée que par 4% des chirurgiens dentistes en France ⁴⁹), de réaliser une bonne désinfection, une bonne hémostase, de respecter le mode d'emploi des biomatériaux utilisés, etc. Cette rigueur rebute malheureusement certains praticiens qui se retrouvent face à une indication de pulpotomie. Or, la réalisation d'une pulpectomie répondant aux données actuelles de la science est au moins aussi contraignante.

De plus, la pulpotomie réalisée sur les dents définitives souffre de sa « mauvaise réputation » car elle a souvent été associée à une possible oblitération canalaire. En effet, si elle n'est pas réalisée avec discernement, par exemple sur une dent dont le capital régénératoire de la pulpe est épuisé, la formation de minéralisations intra canalaire amenant à l'oblitération des canaux est parfois observée ⁵³. Il est en effet prouvé qu'une pulpe âgée ou ayant déjà un passé carieux, est plus fibreuse et contient moins de cellules. En conséquence, elle supporte moins bien la diminution d'apport sanguin induite par la pulpotomie. De ce fait, si par la suite la dent nécessite une pulpectomie que cette oblitération rend irréalisable, il ne reste d'autre solution que l'avulsion, ce qui signe l'échec de la thérapeutique et la déception du patient.

Cependant, il y a aujourd'hui assez de preuves démontrant que la fréquence des nécroses pulpaire et des résorptions apicales dues aux oblitérations canalaire est très faible ⁵³. De plus, si la pulpectomie montre des résultats fiables en tant que traitement, le pronostic en terme de taux de survie des dents traitées n'est pas comparable à celui d'une dent restée vitale. En effet, outre la qualité d'obturation, il faut également prendre en compte la fragilité accrue d'une dent dépulpée. Enfin, la pulpectomie est financièrement beaucoup plus pénalisante pour le patient, plus longue à mettre en œuvre pour le praticien et nécessite une grande maîtrise technique, autant d'éléments qui font de la pulpotomie une alternative thérapeutique tout à fait recommandable quand les indications sont posées ^{5,6,12}.

Ainsi, le champ d'indication des pulpotomies est large et le chirurgien dentiste confronté à une atteinte pulpaire n'a pas forcément qu'une solution thérapeutique à sa disposition. Le tableau ci-après permet de résumer les choix possibles en fonction de la situation clinique rencontrée.

	Coiffage pulpaire direct	Pulpotomie	Pulpectomie
Lésion carieuse atteignant la pulpe		+	++
Atteinte iatrogène sans pénétration instrumentale	++	+	
Pénétration instrumentale		++	+
Trauma			
Exposition < 1mm	++	+	
1 < expo < 2mm		++	+
Exposition > 2mm			++

Tableau 1 : Indications de la pulpotomie et de ses alternatives thérapeutiques

2.2. Indications et contre-indications des pulpotomies

2.2.1. Indications des pulpotomies

Ce n'est pas directement le sujet de cette thèse mais classiquement, la pulpotomie totale est le traitement de choix pour les molaires temporaires ayant une atteinte carieuse importante, sans signe de pulpite irréversible ³⁰. Ce traitement permet à la dent de rester vitale le temps qu'elle reste sur l'arcade. De la même façon, la pulpotomie est aussi fréquemment mise en œuvre sur des molaires immatures en cas d'atteinte pulpaire, afin de permettre l'apexogénèse de ces dents ³⁵. A l'heure actuelle, le protocole thérapeutique indique de réaliser la pulpectomie lorsque radiologiquement la fermeture apicale de la dent concernée est constatée, ceci afin d'éviter toute nécrose ou oblitération canalaire. Cependant, des études

suggèrent que tant que le scellement reste étanche suite à cette pulpotomie, la pulpectomie n'est pas forcément nécessaire ⁸⁷.

En ce qui concerne l'intitulé de cette thèse, Barnkggei et coll. en 2013 ¹⁸, étendent les indications de la pulpotomie en tant que traitement définitif aux dents permanentes matures symptomatiques avec exposition pulpaire d'origine carieuse, iatrogène ou traumatique ³⁵. Dans les faits, la pulpotomie est similaire au coiffage pulpaire direct ; la technique ne diffère que par la quantité de tissu pulpaire retiré. Dans le cas d'une pulpotomie totale par exemple, le coiffage est réalisé sur la partie supérieure de la pulpe radiculaire. Elle est indiquée dans les cas où le coiffage pulpaire direct devient impossible : quand l'effraction pulpaire est trop étendue, dans certains cas lorsqu'une lésion carieuse atteint la pulpe ou s'il se produit une pénétration accidentelle d'un instrument dans la chambre pulpaire, induisant une dilacération tissulaire et une inoculation bactérienne ⁴⁶. Dans ces cas, la surface de cicatrisation des filets pulpaires sectionnés sera plus faible après une pulpotomie qu'un coiffage direct et donc plus facilement réalisable. D'autre part, en comparaison avec une pulpectomie, la réalisation d'une pulpotomie (partielle ou totale) est plus simple techniquement, moins coûteuse en temps ainsi qu'en matériel et plus conservatrice de tissus ^{9,12}. Ceci est bien entendu valable dans le strict respect des indications de cette thérapeutique.

2.2.2. Contre-indications des pulpotomies

Il faut bien garder à l'esprit que le but premier de la pulpotomie est de conserver la vitalité pulpaire. Elle devra donc par définition être réalisée sur une dent vitale. Ainsi, l'observation de signes de nécrose en pré-opératoire tels qu'une teinte grisâtre de la dent (par rapport aux dents voisines), une absence de réponse aux tests de vitalité, une atteinte péri-apicale (objectivable radiologiquement), un abcès en rapport avec la dent... doit conduire à un changement de thérapeutique. Cependant, dans des études récentes, des pulpotomies complètes ont été réalisées sur des dents en pulpite irréversible, dont certaines présentaient une image péri-apicale, avec un taux de succès intéressant (de 74 à 100% suivant les études)^{9,12,16,26}. Malgré ces résultats encourageants, d'autres études doivent encore être menées pour étendre sans risque les indications des pulpotomies à ces situations cliniques.

De la même façon, la mise en place de toute thérapeutique doit s'inscrire dans un plan de traitement global. Ainsi, on doit avoir déjà pensé, lorsqu'on réalise la pulpotomie d'une dent, quelle est la restauration définitive ultérieure qu'on lui destine afin d'adapter notre choix thérapeutique. Par exemple, si la dent nécessite pour sa restauration un ancrage radiculaire, il est inutile de tenter de préserver la vitalité pulpaire.

D'autre part, à partir du moment où la pulpe est exposée, la mise en place du champ opératoire est impérative et si celle-ci n'est pas réalisable, toute tentative de conservation de la vitalité pulpaire est contre-indiquée car le risque de contamination bactérienne est alors trop important.

D'un point de vue médical, la seule contre-indication absolue de tentative de préservation de la vitalité d'une dent lorsque sa chambre pulpaire est ouverte concerne les patients à risque d'endocardite infectieuse ³. Il existe d'autres contre-indications relatives d'ordre général telles que : le port d'une prothèse articulaire, un déficit de l'immunité, les troubles de la coagulation, etc.

2.2.3. Bilan biologique pulpaire

Après une éventuelle exclusion des patients présentant une contre-indication à la pulpotomie, il est primordial de lister un certain nombre de facteurs plus ou moins délicats à évaluer et nécessitant une bonne compréhension des mécanismes de défense pulpaire. Ceci afin d'établir le bilan biologique pulpaire d'une dent avant une éventuelle pulpotomie :

- **l'âge du patient** : une dent jeune est mieux vascularisée et possède un potentiel de réparation supérieur,
- **le volume pulpaire**, plus faible chez un patient âgé en raison de l'apposition physiologique de la dentine secondaire au dépend de la pulpe tout au long de la vie,
- **la qualité intrinsèque de l'organe pulpaire** : celle-ci peut être diminuée par des phénomènes de fibrose partielle ou de calcifications intrapulpaires, pouvant être entraînés par des agressions chroniques telles que l'attrition, l'abrasion ou les microfêlures amélaire.
- **le passé inflammatoire** de la dent : on peut observer notamment un vieillissement pulpaire prématuré de la dent suite à une dentinogenèse réactionnelle passée.

En effet, une dent ayant un passé inflammatoire a en quelque sorte vieilli prématurément et présente les mêmes caractéristiques qu'une dent âgée ³⁰ :

- une diminution du volume pulpaire,
- une diminution du nombre et de l'activité des odontoblastes, entraînant donc une diminution du potentiel réparateur,
- une diminution du nombre et de l'activité des fibroblastes, entraînant une diminution du métabolisme pulpaire,
- une diminution de la vascularisation et donc une diminution du potentiel de défense et de la vitalité,
- une augmentation des fibres et des phénomènes de calcifications : une agression antérieure peut conduire à la formation d'un tissu fibreux de cicatrisation de la pulpe.

Assez logiquement, il apparaît que l'on privilégie la réalisation des pulpotomies chez des patients plus jeunes dont la pulpe a conservé toutes ses capacités de défense et de réparation ³⁵. Que ce soit dans les cas de caries profondes proches de la pulpe, ou sur les dents présentant une effraction pulpaire d'origine carieuse, traumatique ou iatrogène. Néanmoins, si l'atteinte pulpaire est minime et récente, il est aussi possible de réaliser chez ces patients une thérapeutique de coiffage direct.

A l'inverse, chez les patients trop âgés ou dont la dent a un passé inflammatoire connu, le potentiel de réparation pulpaire est diminué et même dans les situations cliniques recensées précédemment, la conservation de la vitalité pulpaire par la réalisation d'une pulpotomie est plus difficilement envisageable et le taux d'échec plus prononcé. On privilégiera donc dans ces situations cliniques la réalisation d'une pulpectomie.

Enfin, dans les cas d'une inflammation trop importante ou d'une nécrose (dont les diagnostics ne sont parfois possibles qu'en per-opératoire), il sera également nécessaire d'envisager une thérapeutique alternative telle que la pulpectomie ou dans les cas les moins favorables, l'extraction de la dent.

En résumé, la bonne indication d'une pulpotomie dépend de l'ampleur de la lésion et de son étendue au complexe dentino-pulpaire, de l'intensité de l'infection bactérienne et de la mise en place de la réponse inflammatoire et immunitaire de la dent pour y faire face. C'est en

confrontant ces différents paramètres au bilan biologique pulpaire établi qu'on pourra alors véritablement poser l'indication de cette thérapeutique.

2.3. Indication du type de pulpotomie

Plusieurs études arrivent à la même conclusion : la pulpotomie, qu'elle soit partielle ou totale est une bonne alternative à la pulpectomie, dans le cas de pulpite réversible bien évidemment, mais également dans le cas de pulpite irréversible. Il est ainsi suggéré de réserver la pulpotomie partielle aux effractions pulpaires superficielles et la pulpotomie totale pour les caries plus importantes, arrivant directement dans la pulpe ⁷⁹.

2.4. Les biomatériaux de coiffage pulpaire

Il s'agit ici des biomatériaux qu'on utilise directement au contact de la pulpe dans le but de préserver la vitalité pulpaire compromise par les diverses agressions. Ils doivent nécessairement posséder plusieurs propriétés, à la fois pour assurer son efficacité dans son rôle premier : la conservation de la vitalité pulpaire, mais aussi pour lui assurer une longévité dans le temps compte tenu des conditions mécaniques et chimiques particulières rencontrées dans la cavité buccale. Ainsi, on peut énumérer les propriétés physico-chimiques, mécaniques et biologiques d'un biomatériau de coiffage idéal :

- la **biocompatibilité** : une absence de toxicité et de caractère allergène,
- la **bio-activité** : la stimulation par le matériau de la formation du pont dentinaire par la pulpe.
- l'**étanchéité marginale** : bonne adhésion à la dentine,
- la **résistance mécanique** : importante pour la longévité,
- l'effet **bactéricide** ou **bactériostatique**,
- la **mise en place** simple et rapide,
- la **stabilité dimensionnelle** pendant la prise,
- la **compatibilité** avec les systèmes adhésifs et composites d'obturation,
- la **radio-opacité**,

2.4.1. L'hydroxyde de calcium

L'hydroxyde de calcium $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ est un biomatériau très largement utilisé en odontologie. Il est très apprécié de par son faible coût et ses nombreuses qualités.

2.4.1.1. Propriétés

L'hydroxyde de calcium est blanc et inodore. Ses propriétés découlent de sa dissociation ionique selon la formule $\text{Ca}(\text{OH})_2 \Rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{OH}^-$, libérant des ions Ca^{2+} et OH^- ⁵⁷. Les ions Ca^{2+} ont une activité ostéo-inductrice : ils favorisent la production et la minéralisation des tissus durs (et particulièrement, dans le cas des pulpotomies, l'élaboration de ponts dentinaires au niveau des zones pulpaires exposées à l'agression) ⁷⁸ et ont également une action hémostatique et anti-inflammatoire (le calcium est un facteur de coagulation). Les ions OH^- alcalinisent le milieu (pH basique supérieur à 12) et ont ainsi une forte action antibactérienne et antiseptique qui permettent dans le cas d'une pulpotomie, la désinfection de la pulpe superficielle ⁵⁷.

2.4.1.2. Inconvénients

Malgré ses propriétés intéressantes, l'hydroxyde de calcium n'est pas dépourvu de défauts. Il est connu pour se dégrader dans le temps, pour induire un pont dentinaire peu qualitatif et pour ses très faibles capacités de scellement ^{13,24,30}. De plus, sa non-adhésion à la dentine, son manque d'étanchéité, ses faibles propriétés mécaniques ainsi que sa solubilité face à un mordantage acide imposent donc de le recouvrir d'un matériau de restauration intermédiaire comme le ciment de verre ionomère (CVI) avant la mise en place du matériau d'obturation définitif ²⁴. Cela est d'autant plus recommandé que le matériau, de par son manque d'adhésion et sa faible résistance à la compression, peut être déplacé de la surface pulpaire ou fragmenté par le phénomène de contraction lors de la polymérisation du composite ou lors de la condensation des matériaux d'obturation directement au contact de l'hydroxyde de calcium ⁸¹.

De plus, avec son pH très élevé, l'hydroxyde de calcium pur provoque une zone superficielle de nécrose pulpaire sur approximativement 1,5mm, en conséquence de quoi le pont dentinaire se forme à une profondeur accrue ¹³. Si la pulpe n'est pas efficacement protégée durant le processus de guérison par un matériau étanche, cette zone de nécrose peut amener à l'échec de la formation de ce pont ²⁴. Pour cette raison, dans la plupart des études, ce n'est pas de l'hydroxyde de calcium pur qui est utilisé, mais de la poudre d'hydroxyde de calcium dont une meilleure efficacité a été démontrée ².

2.4.1.3. Formes cliniques

On distingue les préparations magistrales (mélange poudre/liquide) et les préparations commerciales. Dans la deuxième catégorie, les pâtes contenant de la poudre d'hydroxyde de calcium, comme le Dycal® de Dentsply ou le Life® de Kerr, sont moins caustiques que l'hydroxyde de calcium pur et ne provoquent pas de nécrose superficielle tout en initiant le même processus de guérison que la poudre d'hydroxyde de calcium ⁸¹. Ces préparations sont durcissantes, composées d'une base et d'un catalyseur ou pâte photopolymérisable, ce qui rend leur emploi plus pratique.

Jusqu'à la fin du 20ème siècle, l'hydroxyde de calcium a été considéré comme le « gold standard » ⁸⁰ pour cette thérapeutique et est toujours utilisé dans tous les tests de comparaison. Mais aujourd'hui, la présence sur le marché d'autres matériaux considérés comme plus efficaces tend à diminuer son emploi. Cependant, il reste encore à ce jour une des médications les plus utilisées en odontologie tant ses indications sont nombreuses (coiffages pulpaire directs, apexification, traitement des résorptions, de certaines perforations...).

2.4.2. Le Mineral Trioxide Aggregate (MTA)

En réponse aux inconvénients de l'hydroxyde de calcium, les scientifiques ont cherché de nouveaux matériaux qui pourraient être utilisés pour les coiffages pulpaire (y compris lors des pulpotomies). Dans cette optique, le MTA (Mineral Trioxide Aggregate) a été développé dans les années 90 par le Dr Torabinejad ⁸³ et il est devenu, après l'hydroxyde de calcium, le biomatériau de coiffage pulpaire le plus étudié à ce jour.

2.4.2.1. Composition

Le MTA est composé ^{27,72} :

- de 75% de ciment de Portland contenant lui-même :
 - du silicate dicalcique,
 - du silicate tricalcique,
 - de l'aluminoferrite tétracalcique,
 - de l'aluminate tricalcique.
- de 20% d'oxyde de bismuth pour la réaction de prise et la radio opacité ⁶⁶,
- de 5% de gypse (sulfate de calcium déshydraté).

Dans un premier temps, le MTA était gris (Gray-MTA ou GMTA) mais pour pallier les problèmes esthétiques, les fabricants ont commercialisé par la suite une version blanche (White-MTA ou WMTA) ^{62,72} du matériau ne contenant ni particule ferrique ni silicate dicalcique ⁵⁸. Le MTA se présente sous forme d'une poudre de fines particules hydrophiles que l'on mélange à de l'eau stérile dans un rapport poudre/liquide de 3/1 ⁷².

2.4.2.2. Propriétés physico-chimiques

Lors du mélange poudre/liquide, nous obtenons un gel colloïdal de consistance sableuse, dont le temps de travail est de plus ou moins 5 minutes, et qui évolue vers une structure solide en 3 à 4h ^{48,72}. L'hydratation de la poudre entraîne la formation d'hydroxyde de calcium et de silicate de calcium hydraté. Le taux de ce dernier diminue progressivement par la formation d'un précipité calcique à l'origine du relargage d'hydroxyde de calcium responsable de la forte alcalinité du matériau ⁶². Cette solidification n'est pas gênée ou retardée par la présence de fluides ou de sang, au contraire, l'humidité des tissus environnants favorise cette réaction ⁷².

Le MTA possède un pH de 10,2 qui augmente jusqu'à 12,5 durant les premières heures de prise ^{54,62,72}, en raison du relargage d'hydroxyde de calcium, ce qui lui confère donc d'excellentes propriétés antibactériennes. Il possède également une radio-opacité très importante apportée par l'oxyde de Bismuth (presque 9 fois supérieure à celle de la dentine et équivalente à 7,17mm d'aluminium ^{62,72}) et est totalement insoluble après la prise ²⁷.

2.4.2.3. Propriétés mécaniques

Le MTA possède d'excellentes propriétés de résistance à la compression (de 40MPa après 24h jusqu'à 67MPa après 21 jours) ⁷⁴, mais insuffisantes pour être utilisé comme matériau de reconstitution coronaire définitif en odontologie conservatrice. Son étanchéité est supérieure à celle de l'amalgame ou de l'IRM ^{62,74}. En effet, le MTA fait preuve d'une légère expansion de prise qui explique en partie cette bonne adaptation ^{60,62}.

2.4.2.4. Propriétés biologiques

La forte alcalinité du MTA est à l'origine de ses propriétés biologiques ^{72,74}. Elle lui confère un effet antimicrobien mais également un effet antifongique qui dépend de sa concentration ⁶². Sa biocompatibilité a été démontrée par de nombreuses études *in vitro* ^{61,84} et est supérieure à celle de l'amalgame. Il ne présente jusqu'à présent pas de mutagénicité ni de neurotoxicité et plusieurs études montrent que le MTA est le matériau dentaire le moins cytotoxique ^{30,66} (sa cytotoxicité est comparable à celle du titane) ⁸⁴.

Tout comme l'hydroxyde de calcium, le MTA présente des propriétés de stimulation de la production de dentine tertiaire : il promeut la formation du pont dentinaire par les « odontoblast-like » originaires de la différenciation des cellules progénitrices proliférant et s'accumulant au niveau du site de coiffage pulpaire ^{30,60,61,72,84}.

2.4.2.5. Inconvénients

Toutes les propriétés du MTA recensées auparavant en font un matériau de choix pour la protection pulpaire mais il n'est pas non plus exempt de défauts. Malgré l'existence du WMTA depuis 2002, des auteurs ont constaté des phénomènes de dyschromie sur les dents concernées ⁸², celles-ci étant plus fréquentes avec le GMTA. Des études rapportent que ce phénomène serait dû à la persistance de fer (pas dans le WMTA) et de manganèse dans la composition du matériau ^{62,72,84}.

L'inconvénient majeur du MTA est son temps de prise ⁷⁴. Même si plusieurs études ont révélé un temps de prise plus court pour le WMTA par rapport au GMTA ⁶³, il ne permet pas

l'obturation coronaire définitive dans la même séance. Cependant, il existe une forme commercialisée par Micro-Méga : le MM-MTA™ qui par l'ajout de carbonate de calcium dans sa composition, corrigerait en grande partie ce défaut et réduirait le temps de prise à 20 minutes selon le fabricant ⁵⁵.

Le coût du MTA (environ 100€/g) auquel il faut ajouter les instruments nécessaires à sa mise en place est également un frein à son utilisation. De plus, certains cliniciens et investigateurs décrivent une utilisation difficile du matériau même si d'autres, à l'inverse, le trouvent simple ⁶³.

2.4.2.6. Formes cliniques

Le MTA se commercialise sous différentes formes. On recense trois grands fabricants : Angelus (MTA-Angelus®), Dentsply-Maillefer (ProRoot®) et Micro-Méga® (MM-MTA™). Le MTA-Angelus® et le ProRoot® sont disponibles sous forme de sachets, à mélanger à une unité d'eau. Ils existent en GMTA et en WMTA. Le MM-MTA™ quand à lui se présente sous la forme de capsule contenant poudre et liquide, se mélangeant à l'aide d'un vibreur-mélangeur, facilitant ainsi son utilisation.

2.4.3. La Biodentine™

2.4.3.1. Présentation et composition

La Biodentine™ est un ciment bioactif développé récemment par Septodont et possédant des propriétés mécaniques quasi identiques à la dentine. Il est composé d'une poudre et d'un liquide, qui peuvent être mélangés à l'aide d'un vibreur. La poudre est, comme le MTA, constituée de silicate tricalcique et de carbonate de calcium, ainsi que d'oxyde de zirconium pour la radio-opacité. Le liquide quant à lui est composé d'eau, d'un fluidifiant et de chlorure de calcium ^{59,67}.

2.4.3.2. Propriétés physico-chimiques

Lorsque le mélange poudre/liquide de la Biodentine™ est réalisé, on obtient une réaction d'hydratation donnant un gel de silicate de calcium hydraté d'une part et de l'hydroxyde de calcium d'autre part. Ce dernier donne logiquement un pH alcalin à la Biodentine™ (même si aucune valeur précise n'est retrouvée dans la littérature) qui lui confère des propriétés antimicrobiennes ⁷⁶. D'après le fabricant, le temps de travail (entre le mélange et la prise initiale) est de 6 minutes pour un temps de prise de 12 minutes. Sa radio-opacité est très légèrement supérieure à celle de la dentine, ce qui suffit à la distinguer radiographiquement ⁷⁶.

2.4.3.3. Propriétés mécaniques

La Biodentine™ présente des propriétés similaires à la dentine naturelle. On retrouve une grande stabilité dimensionnelle et sa résistance à la compression a la particularité d'augmenter avec le temps : son module d'élasticité est de 120 MPa une heure après la prise, 200 MPa après 24 heures et dépasse 300 MPa au bout de 28 jours pour atteindre un niveau de résistance à la compression proche de celui de la dentine naturelle. De plus, la Biodentine™ présente une bonne qualité de scellement, similaire à celle d'un ciment verre ionomère, permettant une étanchéité marginale optimale ⁷⁶ et ne nécessitant donc pas de traitement des surfaces dentaires préalable pour son adhésion aux tissus. Par contre, ce matériau doit être manipulé à l'abri de toute source d'humidité.

2.4.3.4. Propriétés biologiques

La Biodentine™ possède une très bonne biocompatibilité ⁶⁶ (pas de cytotoxicité) ainsi qu'une bio-activité sur le complexe dentino-pulpaire qui lui permet d'induire la formation d'un pont dentinaire de qualité ⁶⁵. C'est donc un biomatériau de choix pour les thérapeutiques de conservation de la vitalité pulpaire même si d'autres études sont à réaliser tant le recul clinique est faible.

2.4.4. Le CEM ou NEC

Le CEM (Calcium Enriched Mixture Cement) aussi appelé NEC (Novel Endodontic Cement) a été mis sur le marché récemment (2006)^{13,86}. Il est issu d'un projet visant à obtenir un matériau possédant les qualités du MTA (biocompatibilité, étanchéité...) mais sans ses inconvénients (difficulté de manipulation, temps de prise, dyschromie, coût...).

2.4.4.1. Composition

On obtient le NEC par un classique mélange poudre/liquide. Ce dernier est une solution saline tandis que la poudre contient ^{9,41,82,86,92} :

- de l'oxyde de calcium,
- du trioxyde de soufre,
- du pentoxyde de phosphore,
- de la silice.

Lorsque cette poudre est mélangée avec de l'eau, elle donne alors une pâte à base de phosphate et de calcium bioactif, sensiblement plus fluide que le gel colloïdal obtenu avec le MTA et totalement hydrophile, permettant une manipulation et une mise en place même en milieu humide.

2.4.4.2. Propriétés ^{8,13,17,86,92}

Ce matériau a un pH de 11, comme l'hydroxyde de calcium, lui conférant des propriétés antimicrobiennes comparables et donc acceptables, sans la cytotoxicité relative de ce dernier. De plus, les études montrent comme pour le MTA, une très bonne biocompatibilité, une induction de la formation du pont dentinaire et de la formation d'hydroxyapatite ainsi qu'une capacité de scellement très satisfaisante couplée à une bonne étanchéité. Tout ceci en s'affranchissant des inconvénients inhérents à l'utilisation du MTA. En effet, les études sur le NEC montrent un temps de prise diminué (50 minutes), de meilleures caractéristiques de manipulation, un besoin d'épaisseur moindre et un prix moins élevé que le MTA.

2.4.5. Autres

Aujourd'hui, de nouveaux biomatériaux sont mis au point et/ou étudiés pour augmenter l'efficacité des coiffages pulpaire. Les chercheurs testent également des molécules bioactives afin d'évaluer leur capacité à induire la formation de ponts dentinaires. Toutes ces recherches sont absolument nécessaires car elles représentent le futur de l'odontologie conservatrice. En effet, le maintien de la vitalité pulpaire quand l'indication peut être posée, doit aujourd'hui être un impératif et cela passe par l'utilisation d'un matériau de coiffage « idéal ».

2.4.5.1. *Le BioAggregate* ³⁰

Le BioAggregate® développé par Innovative Bioceramix est constitué de nanoparticules de céramique et présente des qualités et indications similaires au MTA. Il possède tout comme lui une bonne biocompatibilité, une cytotoxicité quasi-nulle ainsi que des effets antibactériens et antifongiques.

2.4.5.2. *La Propolis* ^{25,65,69,77}

La propolis est un produit naturel, fabriqué à partir de diverses sources végétales par les abeilles. C'est une résine qu'elles utilisent comme mortier et anti-infectieux afin d'assainir la ruche. Ce matériau, dont on recense des utilisations par les humains depuis l'antiquité, présente des propriétés anti-microbiennes, anti-inflammatoires, et soutient le système immunitaire en augmentant l'activité phagocytaire et en stimulant la production d'anticorps. Il est principalement composé de flavonoïdes (connus pour leurs propriétés antioxydantes, antibactériennes, antifongiques, antivirales et anti-inflammatoires) et de phénoliques. En outre, il contient des éléments tels que le fer et le zinc qui sont essentiels pour la synthèse de collagène. Les études sur l'utilisation de la propolis pour des coiffages pulpaire sont trop peu nombreuses à l'heure actuelle mais les résultats semblent encourageants.

2.4.5.3. *Le TheraCal* ^{40,66,69}

Le TheraCal Light Cured est une résine modifiée de silicate de calcium photopolymérisable qui protège le complexe dentino-pulpaire sous les matériaux d'obturation dans les thérapeutiques de coiffage pulpaire. Il est constitué de particules de silicate tricalcique dans un monomère hydrophile et permet une libération de calcium qui stimule la formation du pont dentinaire. Il est très radio-opaque, totalement insoluble, stable dans le temps et présente une bonne adhérence à la dentine, mais semble présenter une moins bonne biocompatibilité que la MTA ou la Biodentine™.

2.4.5.4. *La BSP* ⁶⁹

La BSP (Bone SialoProtein) est une molécule bioactive dont l'efficacité dans la formation d'un pont dentinaire bien minéralisé et homogène a été étudiée.

2.4.5.5. *La BMP* ⁶⁹

La BMP (Bone Morphogenetic Protein) est un facteur de croissance intervenant dans la modulation des réparations tissulaires. Des chercheurs ont montré qu'elle jouait un rôle dans la différenciation des cellules progénitrices en « odontoblast-like » lors des phénomènes de cicatrisation pulpaire.

2.4.5.6. *L'Emdogain* ⁶⁹

L'Emdogain ou EMD (Enamel Matrix Derivative) est un dérivé de la matrice amélaire du porc. Elle se présente sous la forme d'un gel contenant de l'amélogénine et de l'améline, molécules intervenant dans le processus naturel de formation de la dentine. De plus, elle contient des BMP jouant un rôle non négligeable dans la cicatrisation pulpaire. Enfin, des études ont prouvé qu'elle avait un rôle dans la diminution de l'inflammation. C'est un biomatériau idéal mais devant être utilisé en complément d'un autre.

Pour clore ce chapitre, certaines études ont posé l'hypothèse suivante : la nature du matériau de coiffage n'aurait pas de réelle importance, car le succès de la thérapeutique

dépend essentiellement du bon scellement de la cavité afin d'éviter toute infiltration bactérienne. À partir de cette hypothèse, certaines études ont testé l'utilisation de systèmes résineux adhésifs directement comme matériaux de coiffage ⁶⁹. Ceux-ci permettent un excellent scellement de la cavité ce qui met le tissu pulpaire à l'abri de toute contamination bactérienne. Cependant, le mordantage, puis le protocole de collage et enfin les monomères acides de ces systèmes résineux provoquent une inflammation chronique et un saignement de la pulpe, ce qui compromet la dentinogénèse tertiaire ⁶⁹.

3. ANALYSE CRITIQUE DE LA LITTÉRATURE

3.1. Matériels et méthode

3.1.1. Stratégie de recherche

Dans un premier temps, une recherche électronique a été effectuée dans les bases de données PUBMED, ScienceDirect, Cochrane et Google Scholar en utilisant les mots clés suivants : pulpotomy, pulp capping, vital pulp therapy, dentinal bridge, pulpitis, permanent teeth, mature teeth, pulp capping material, calcium hydroxide, mineral trioxide aggregate, MTA, biodentine, calcium enriched mixture. Des associations de mots clés ont été utilisées afin de restreindre le nombre d'articles obtenus sur les bases de données.

Dans un deuxième temps, une recherche manuelle a été effectuée à partir de la liste des références des articles présélectionnés pour identifier des articles qui auraient échappé à la recherche électronique. Le logiciel de gestion des références bibliographiques ZOTERO a été utilisé afin de rassembler et d'organiser toutes les références des différentes recherches.

3.1.2. Critères de sélection

Seules les publications rédigées en anglais ou en français ont été retenues. Les articles identifiés par la recherche électronique étaient inclus s'ils décrivaient :

- les thérapeutiques de pulpotomies partielles ou totales,
- les thérapeutiques de coiffages pulpaire (sans précision),
- les matériaux adaptés à ces thérapeutiques.

Les articles n'étaient pas inclus s'il s'agissait :

- de thérapeutiques sur dents temporaires,
- de thérapeutiques sur des dents permanentes immatures,
- de thérapeutiques de coiffage pulpaire direct ou indirect uniquement,
- de rapport de cas où un seul cas était traité,
- d'articles antérieurs à 2005.

3.2. Résultats

Pour plus de compréhension, les résultats de la recherche électronique basée sur les mots clés sont présentés dans un tableau.

<i>Numéros de recherche</i>	<i>Mots clés</i>	<i>Nombre d'articles</i>
1	<i>Pulpotomy</i>	1465
2	<i>Pulp Capping</i>	2180
3	Vital pulp therapy	760
4	Dentinal bridge	63
5	Pulpitis	2759
6	Permanent teeth	15106
7	Mature teeth	1193
8	Pulp capping material	359
9	Calcium hydroxide	6090
10	Mineral trioxide aggregate	1621
11	MTA	5640
12	Biodentine	193
13	Calcium Enriched Mixture	160
14	1 and 6	257
15	14 and 7	12
16	9 or 10 or 11 or 12	7515
17	1 and 16	479
18	14 and 16	117
19	15 and 16	6

Tableau 2 : Historique de la recherche électronique.

Après une observation rapide des résultats et une élimination des références citées plusieurs fois, nous avons identifié 95 références. L'organigramme décisionnel pour la sélection des articles thérapeutiques inclus dans cette analyse est présenté ci-après.

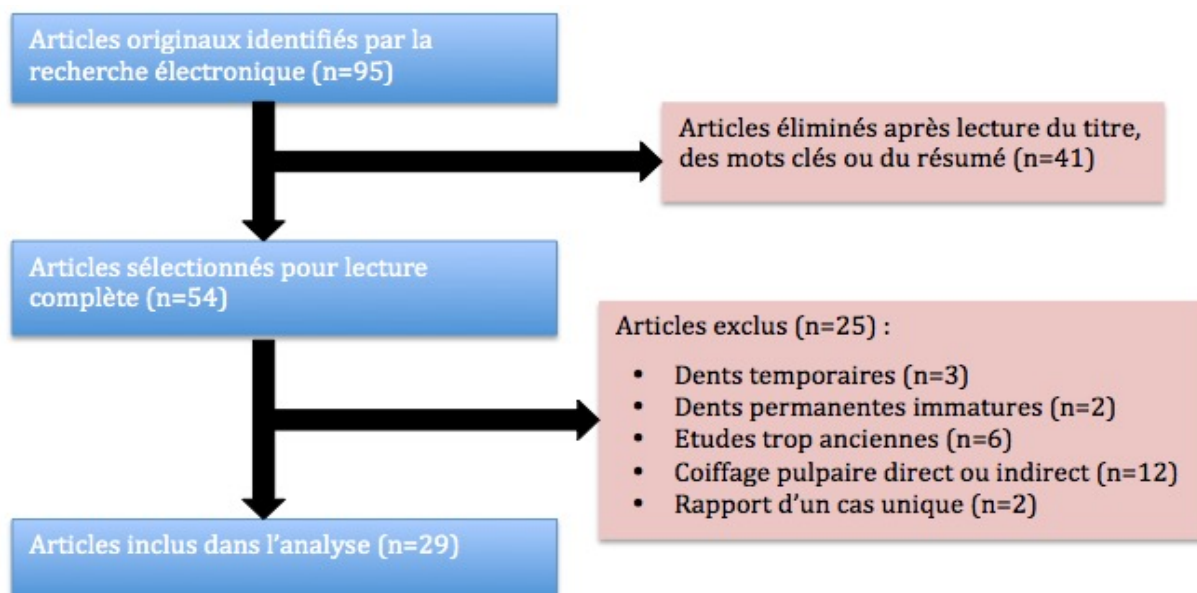


Figure 3 : Organigramme de l'analyse de la littérature.

3.3. Analyse critique

L'Agence Nationale d'Accréditation et d'Evaluation en Santé (ANAES) publie en 2000 un guide d'analyse de la littérature et gradation des recommandation ⁴. Celui-ci permet d'évaluer le niveau de preuve de chaque article inclus dans l'analyse.

Grade des recommandations	Niveau de preuve scientifique fourni par la littérature
A Preuve scientifique établie	Niveau 1 - essais comparatifs randomisés de forte puissance ; - méta-analyse d'essais comparatifs randomisés ; - analyse de décision fondée sur des études bien menées.
B Présomption scientifique	Niveau 2 - essais comparatifs randomisés de faible puissance ; - études comparatives non randomisées bien menées ; - études de cohortes.
C Faible niveau de preuve scientifique	Niveau 3 - études cas-témoins.
	Niveau 4 - études comparatives comportant des biais importants ; - études rétrospectives ; - séries de cas ; - études épidémiologiques descriptives (transversale, longitudinale).

Tableau 3 : Grades de recommandations de l'ANAES ⁴.

Au total, la recherche menée a retenu 29 articles dont :

- 2 revues de synthèse d'études préalablement menées,
- 8 articles thérapeutiques d'études comparatives réalisées *in vivo* avec des sujets humains,
- 10 rapports de cas,
- 9 études *in vitro* réalisées à l'aide d'échantillons soit d'origine humaine, soit animale.

Pour cette analyse de la littérature, plusieurs tableaux récapitulatifs ont été réalisés. Le premier présente succinctement les différentes références bibliographiques retenues, ainsi que leurs principales caractéristiques. Les suivants listent pour chaque type de publication, et après une lecture rigoureuse, les caractéristiques nous permettant d'en évaluer le niveau de preuve. Les numéros dans les colonnes correspondent aux numéros des articles dans l'index bibliographique.

Réf.	Auteur et année	Objet d'étude	Type d'étude	Effectif source	Analyse statistique
1	Accorinte et coll. 2008	Analyse histologique des effets du MTA vs. Ca(OH) ₂ sur la pulpe	Article thérapeutique Etude comparative randomisée	15 dents humaines	Kruskal-Wallis (P<0,05)
5	Aguilar et coll. 2011	Thérapeutiques de conservation de la vitalité pulpaire	Revue de synthèse	-	Test Z (P<0,05)
6	Alqaderi et coll. 2103	Pulpotomies au MTA	Article thérapeutique Rapport de cas	29 dents humaines	-
8	Asgary et coll. 2013	Thérapeutiques de conservation de la vitalité pulpaire utilisant le Ca(OH) ₂	Revue de synthèse	-	-
9	Asgary et coll. 2010	Succès des pulpotomies vs. pulpectomies	Article thérapeutique Etude comparative randomisée	407 sujets	ANOVA et test du Chi ² (P<0,05)
10	Asgary et coll. 2010	Incidence sur la douleur post-op des pulpotomies vs. pulpectomies	Article thérapeutique Etude comparative randomisée	407 sujets	ANOVA et test de Kaplan-Meier (P<0,05)
11	Asgary et coll. 2013	Succès des pulpotomies CEM vs. Pulpotomies MTA	Article thérapeutique Etude comparative randomisée	413 sujets	Test du Chi ² , Kappa de Cohen et test de Student (P<0,05)
12	Asgary et coll. 2014	Succès des pulpotomies vs. Pulpectomies à 5 ans	Article thérapeutique Etude comparative randomisée	407 sujets	Test du Chi ² (P<0,05) et test d'homogénéité marginale
13	Asgary et coll. 2008	Analyse histologique des effets du CEM vs. MTA vs. Dycal sur la pulpe	Article thérapeutique Etude menée sur des animaux	24 dents animales	Test de Kruskal-Wallis et Mann-Whitney (P<0,05)
14	Asgary et coll. 2009	Pulpotomies au CEM	Article thérapeutique Rapport de cas	12 dents humaines	-
16	Asgary et coll. 2014	Succès des différentes thérapeutiques de conservation de la vitalité pulpaire	Article thérapeutique Rapport de cas	94 dents humaines	Test du Chi ² et ANOVA
18	Barngkei et coll. 2013	Pulpotomies au MTA	Article thérapeutique Rapport de cas	11 dents humaines	-
19	Barrieshi et coll. 2006	Pulpotomies partielles au MTA	Article thérapeutique Rapport de cas	31 dents humaines	-
22	Bjorndal et coll. 2010	Coiffages pulpaire direct vs. Pulpotomie partielles	Article thérapeutique Etude comparative randomisée	58 dents humaines	Test de Mann-Whitney et test du Chi ² (P<0,05)
23	Borkar et coll. 2015	Pulpotomies à la Biodentine™	Article thérapeutique Rapport de cas	4 dents humaines	-

24	Briso et coll. 2006	Analyse histologique des effets du MTA vs. Ca(OH) ₂ sur la pulpe	Article thérapeutique Etude comparative randomisée sur des animaux	37 dents animales	Test de Mann-Whitney (P<0,01)
28	Chailertva nitkul et coll. 2014	Succès des pulpotomies partielles : Ca(OH) ₂ vs. MTA	Article thérapeutique Etude comparative randomisée	84 dents humaines	- ? -
32	Cousson et coll. 2013	Succès des pulpotomies vs. Pulpectomies sous anesthésie générale	Article thérapeutique Etude de cohortes	225 dents humaines	Test du Chi ² (P<0,01) et test de Fisher
34	DeRosa et coll. 2006	Pulpotomies vs. extractions	Article thérapeutique Etude rétrospective	26 dents humaines	- ? -
36	Eghbal et coll. 2009	Analyse histologique des effets d'une pulpotomie /MTA sur la pulpe	Article thérapeutique Rapport de cas	14 dents humaines	-
37	Eskandari zadeh et coll. 2011	Analyse histologique des effets du Ca(OH) ₂ vs. GMTA vs. WMTA	Article thérapeutique Etude comparative randomisée	90 dents humaines	Test du Chi ² , de Kruskal-Wallis et Mann-Whitney (P<0,05)
38	Fares et coll. 2014	Succès des pulpotomies	Article thérapeutique Rapport de cas	30 dents humaines	Test de Friedman (P<0,05)
59	Nowicka et coll. 2013	Analyse histologique des effets du MTA vs. Biodentine™	Article thérapeutique Etude comparative randomisée	28 dents humaines	Test de Mann-Whitney (P<0,05)
68	Qudeimat et coll. 2007	Succès des pulpotomies partielles : Ca(OH) ₂ vs. MTA	Article thérapeutique Etude comparative randomisée	64 dents humaines	Kappa de Cohen, test de Student, Chi ² et ANOVA (P<0,05)
73	De Rossi et coll. 2014	Analyse histologique des effets de la Biodentine™ vs. MTA sur la pulpe	Article thérapeutique Etude menée sur des animaux	60 dents animales	Test de Fisher et Mann-Whitney (P<0,05)
79	Simon et coll. 2013	Pulpotomies MTA	Article thérapeutique Rapport de cas	17 dents humaines	Test de Kaplan-Meier
82	Tabarsi et coll. 2010	Analyse histologique des effets du Ca(OH) ₂ vs. MTA vs. CEM	Article thérapeutique Etude menée sur des animaux	36 dents animales	Test de Kruskal-Wallis et Mann-Whitney et ANOVA (P<0,05)
90	Witherspoon et coll. 2006	Pulpotomies MTA	Article thérapeutique Rapport de cas	23 dents humaines	Test de Kaplan-Meier
92	Zarrabi et coll. 2010	Analyse histologique des effets du MTA vs. CEM	Article thérapeutique Etude comparative	32 dents humaines	Test de Mann-Whitney (P<0,05)

Tableau 4 : Références bibliographiques composant l'analyse de la littérature, et leurs principales caractéristiques.

3.3.1. Analyse des revues de synthèse

	Totalement	Partiellement	Pas du tout
1. LES OBJECTIFS : ils sont clairement exposés	5	8	
2. METHODOLOGIE DE L'ETUDE			
2.1. <u>Procédures de collection</u>			
• L'auteur décrit ses sources de données	5 – 8		
• Les critères de sélection de l'étude sont pertinents	5	8	
• Les critères d'inclusion et d'exclusion sont décrits	5		8
• Les études non publiées sont prises en compte			5 - 8
2.2. <u>Méthode d'analyse</u>			
• Les modalités de la lecture critique sont précisées	5		8
• L'auteur présente la méthode utilisée pour réaliser la synthèse des résultats	5		8
3. LES RESULTATS			
• L'auteur décrit les résultats	5		8
• L'auteur commente la validité des études choisies	5	8	
• Ses conclusions s'appuient sur des données fiables dont les sources sont citées	5	8	
4. APPLICABILITE CLINIQUE			
• La revue de synthèse permet de répondre en pratique à la question posée	5	8	

Tableau 5 : Critères d'analyse des revues de synthèse, d'après le Guide d'analyse de la littérature et gradation des recommandations de l'ANAES ⁴.

L'analyse de ces deux revues montrent qu'elles ne sont pas du tout similaires en terme de réalisation et donc de fiabilité des résultats exposés. Si Aguilar et ses collaborateurs ⁵ semblent mener leur revue de la littérature en respectant les critères essentiels à une bonne crédibilité de leur publication et donc un bon niveau de preuve (même s'ils ne semblent pas aborder les études non publiées), Asgary ⁸ en revanche n'est pas du tout explicite sur la méthodologie qu'il a employée pour élaborer son article. Ainsi, les critères d'inclusion ou d'exclusion mais aussi l'ensemble de la méthode d'analyse ne sont absolument pas décrits. Il ne semble faire qu'un résumé de quelques articles (dont plusieurs dont il est lui-même l'auteur) sans fournir d'informations précises sur les critères employés pour réaliser son analyse. En conséquence, le niveau de preuve de son article ne peut pas être bon.

À partir de ces critères, il est possible de classer ces deux publications selon les différents grades :

- **Grade A** : 5
- **Grade C** : 8

3.3.2. Analyse des articles originaux

	OUI	NON	?
1. LES OBJECTIFS : ils sont clairement exposés	6,9- 12,14,16,18,19,22,23,28, 32,34,38,68,79,90		
2. METHODOLOGIE DE L'ETUDE			
• L'étude est comparative	9-12,16,22,28,32,34,68	6,14,18,19,23,38, 79,90	
• L'étude est prospective	6,9- 12,14,16,18,19,22,28,38, 68,79,90	23,32,34	
• L'étude est randomisée	9-12,22,28,68	6,14,18,19,23,34, 38,79,90	16,32
• Le calcul du nombre de patient a été fait à priori	9-12,22	6,14,18,19,23,34, 38,79,90	16,28,32,68
• La population de l'étude correspond à la population habituellement traitée	6,18,19,28,79	9- 12,14,16,23,32,3 4,38,90	22,68
• Toutes les variables cliniquement présentes sont prises en compte	6,11,12,14,18,19,28,32,3 8,68,79,90	10,22,34	9,16,23
• L'analyse statistique est adaptée	10- 12,16,22,32,38,68,79,90		6,14,18,19,23,28, 34
• L'analyse est faite en intention de traiter	6,9- 12,14,16,18,19,22,23,32, 38,68,79,90	28,34	
3. LES RESULTATS : ils sont cohérents avec l'objectif de l'étude	6,9- 12,14,16,18,23,28,32,34, 38,68,79,90	22	19
4. APPLICABILITE CLINIQUE			
• La signification clinique est donnée	6,9- 12,14,16,18,19,22,23,28, 32,34,38,68,79,90		
• Les modalités de traitement sont applicables en routine	6,9- 12,14,16,18,19,22,23,28, 34,38,68,79,90	32	

Tableau 6 : Critères d'analyse des articles thérapeutiques, d'après le Guide d'analyse de la littérature et gradation des recommandations de l'ANAES ⁴.

L'analyse des articles thérapeutiques fait ressortir un manque de rigueur de la part de certains auteurs surtout en ce qui concerne la méthodologie. La plupart des études menées ne le sont que sur de petits effectifs et seulement 5 d'entre elles ont un nombre de patients calculés statistiquement avant le début de l'étude. De plus, une majorité de ces études est réalisée sur des dents en pulpite irréversible ce qui ne correspond pas aux critères d'indications classiques des pulpotomies.

Certaines études comparatives randomisées de forte puissance de cette analyse pourrait recevoir un grade A de niveau de preuve mais elles présentent soit un biais d'attrition important, soit des temps de suivi trop courts et obtiennent donc un grade B. De la même façon, des études comparatives randomisées de faible puissance mais bien menées acquièrent un grade B. Enfin les autres études comparatives randomisées présentant des biais importants de même que les rapports de cas ou les études rétrospectives obtiennent logiquement un grade C de niveau de preuve.

- **Grade B** : 10-12,22,28,32,68
- **Grade C** : 6,9,14,16,18,19,23,34,38,79,90

3.3.3. Analyse des études *in vitro*

Pour comprendre et étudier les réactions de la pulpe soumise directement à un biomatériau, les auteurs réalisent les coiffages pulpaire *in vivo* mais en étudient les réponses engendrées *in vitro*. En effet, une fois les thérapeutiques terminées et en suivant un temps préalablement déterminé par le protocole de l'étude, les dents concernées sont avulsées et l'observation histologique selon plusieurs critères est réalisée.

Cependant, étant par définition menées *ex vivo*, la transposition *in vivo* des conclusions issues de ces études ne peut être qu'hypothétique. De ce fait, la force de recommandation de telles investigations ne peut qu'appartenir au Grade C. Mais il s'avère tout de même indispensable d'évaluer la qualité de ces travaux, afin de mieux en appréhender les résultats. Le guide de l'ANAES ⁴ ne fournissant pas de méthode d'analyse des études *in vitro*, des critères semblables aux précédentes parties sont utilisés, dans le but de classer ces références selon

leur qualité de réalisation : Bonne / Moyenne /Insuffisante. Les résultats de l'analyse de la littérature ont relevé 9 études *in vitro* dont les critères sont exposés dans le tableau suivant.

	OUI	NON ou NC	PAS NECESSAIRE
1. LES OBJECTIFS : ils sont clairement exposés	1,13,24,36,37,59,73,82,92		
2. METHODOLOGIE DE L'ETUDE			
• Le protocole est clairement et complètement décrit	1,13,24,36,37,59,73,82,92		
• L'étude est comparative	1,13,24,37,59,73,82,92	36	
• L'étude est randomisée	13,37,92	1,24,59,73,82	36
• Les échantillons sont d'origine humaine	1,36,37,59,92	13,24,73,82	
• Le nombre d'échantillons est important (>30)	37,73	1,13,24,36,59,82,92	
• Les résultats sont issus d'une analyse statistique	1,13,24,37,59,73,82,92	36	
3. LES RESULTATS : ils sont cohérents avec l'objectif	1,13,24,36,37,59,73,82,92		
4. EXPLOITABILITE DES RESULTATS POUR LE CLINICIEN	1,36,37,59,92	13,24,73,82	

Tableau 7 : Critères d'analyse des études *in vitro* inspirés de la méthode de l'ANAES⁴
NC=Donnée non-communiquée.

Cette analyse permet de constater, comme pour les études précédentes, des disparités dans leurs mises en œuvre. Une seule publication respectant toute la rigueur requise pour une étude scientifique est reconnue comme étant de bonne qualité. Pour les autres, des lacunes dans la méthodologie, notamment dans le nombre d'échantillons et dans la randomisation de

ceux-ci, ne permettent pas d'obtenir des travaux d'une qualité entièrement satisfaisante. Enfin, Les 4 études réalisées sur des animaux, même si elles permettent d'obtenir des informations importantes sur les propriétés des matériaux étudiés, ne peuvent qu'être catégorisées comme insuffisantes d'un point de vue de la qualité scientifique.

La classification de ces travaux selon leur qualité est la suivante :

- Bonne : 37
- Moyenne : 1,59,92
- Insuffisante : 13,24,36,73,82

3.3.4. Résumé de l'analyse de la littérature

Les articles retenus par la recherche pour en faire l'analyse critique se répartissent selon le diagramme suivant (Figure 4):

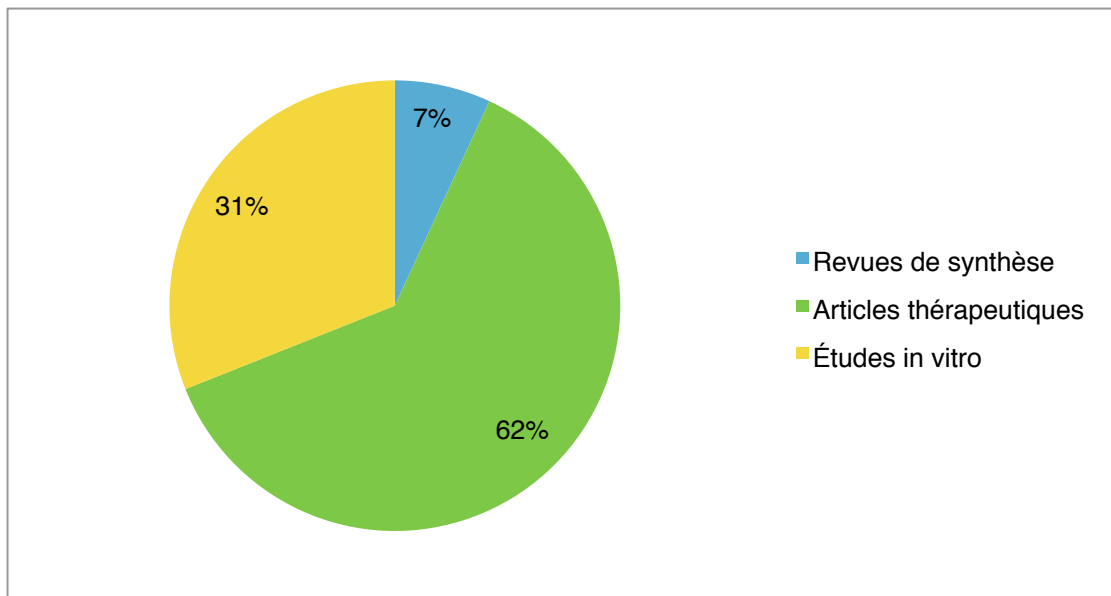


Figure 4 : Répartition des références bibliographiques retenues pour l'analyse de la littérature.

Suite à l'analyse des critères de réalisation de chaque étude et en respectant le guide d'analyse de la littérature et gradation des recommandations de l'ANAES ⁴, les niveaux de preuve référencés sont les suivants (Figure 5):

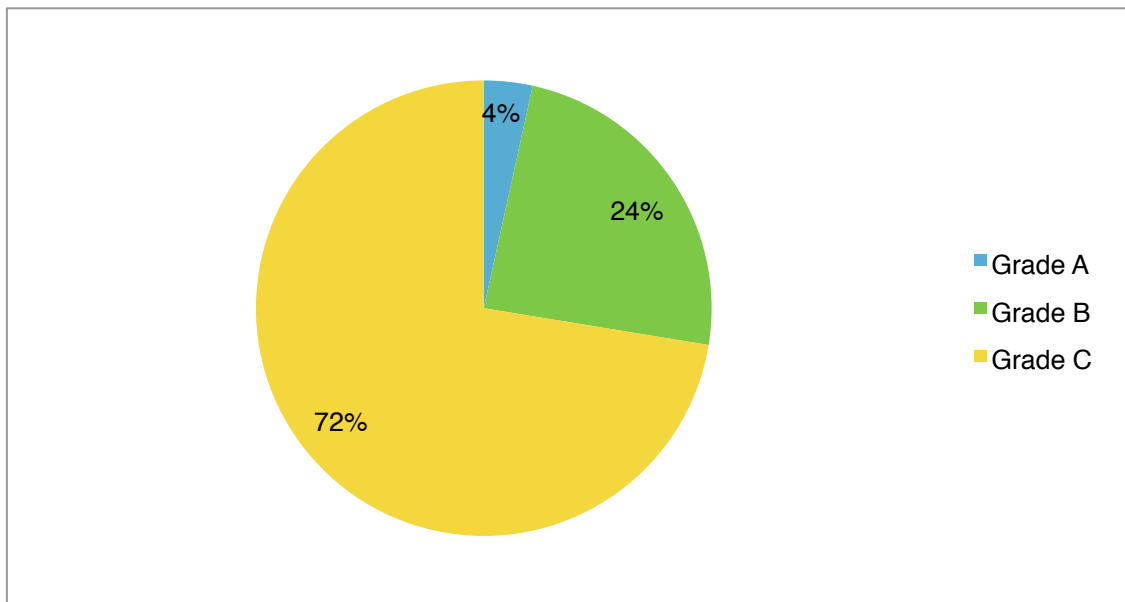


Figure 5 : Niveaux de preuve des références bibliographiques retenues pour l'analyse.

L'histogramme suivant (Figure 6) permet de visualiser la répartition des différents travaux, et d'apprécier la proportion de chaque type d'études au sein des trois niveaux de preuve.

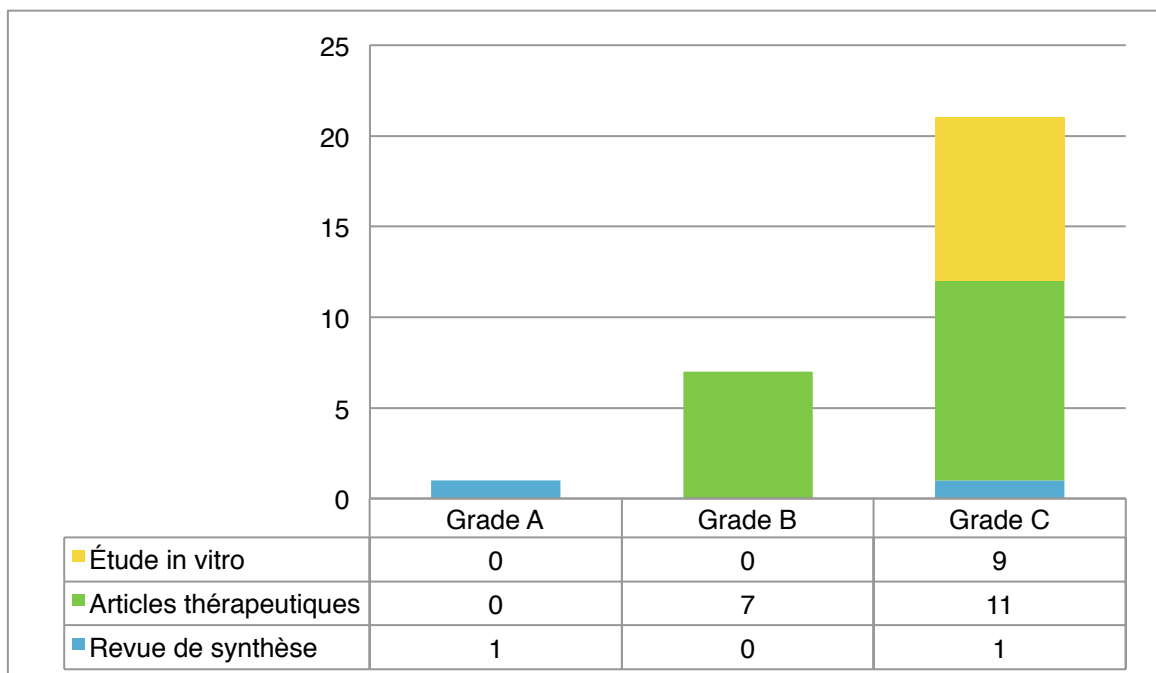


Figure 6 : Répartition des différents types d'articles ayant servi à la réalisation de ce travail, selon leur force de recommandation.

Les articles recensés dans cette analyse de la littérature ne possèdent globalement pas un bon niveau de preuve : seule une investigation peut se voir attribuer le grade A. Il s'agit d'une revue de synthèse réalisée en 2011 concernant les différentes thérapeutiques de conservation de la vitalité pulpaire sur des dents permanentes ayant une exposition pulpaire d'origine carieuse ⁵. Sinon 7 articles thérapeutiques sous formes d'études comparatives randomisées peuvent prétendre au grade B et toutes les autres publications n'ont obtenu qu'un grade C. Ceci est compréhensible car l'indication de la pulpotomie, en tant que traitement définitif, sur des dents permanentes matures, reste récente.

3.4. Discussion

Les publications qui composent cette analyse de la littérature n'ont pas toutes le même objectif. Certaines étudient les caractéristiques et la bioactivité des biomatériaux de coiffage pulpaire et les comparent entre eux, il s'agit principalement d'analyses histologiques *in vitro*. Les autres comparent directement les résultats des pulpotomies à leurs alternatives thérapeutiques et sont majoritairement des études comparatives ou des rapports de cas.

Certaines études antérieures à 2005 ont volontairement été exclues de l'analyse de la littérature qui s'intéresse aux publications les plus récentes. Cependant, des articles plus anciens ont été acceptés dans cette discussion quand ils apportent des éléments de réponse à la problématique de ce travail de thèse.

3.4.1. Résultats des pulpotomies

3.4.1.1. Les pulpotomies partielles

Cvek rapporte dès 1978 dans ses travaux qu'il obtient un taux de succès de 96% après réalisation de cette thérapeutique pour des fractures coronaires compliquées ³³. Plusieurs autres études réalisées depuis précisent aussi que c'est un traitement avec un taux de réussite important. Ainsi Mass et Zilberman en 1993 rapportent 93,9% de succès quand il est réalisé

sur de jeunes molaires permanentes ⁵², Qudeimat et coll. obtiennent des résultats comparables en 2007 ⁶⁸ ainsi que Chailertvanitkul et coll. en 2014 ²⁸ et ce quel que soit le biomatériau de coiffage utilisé. D'après notre analyse de la littérature, ces deux dernières publications ont obtenu un niveau B de preuve scientifique. Enfin en 2011, une revue de la littérature de grade A indique également des résultats supérieurs à 95% de réussite sur des suivis allant jusqu'à plus de trois ans pour la pulpotomie partielle ⁵.

Plusieurs travaux soutiennent que la pulpotomie partielle reste un traitement de choix par rapport au coiffage pulpaire direct ⁵ dont les taux de réussite restent assez faibles si on les compare à ceux des pulpotomies partielles (69,2% de réussite contre 90,6%). Ceci peut s'expliquer par le fait que la réalisation d'une légère excavation pulpaire (préalablement au coiffage) élimine la couche superficielle de la pulpe la plus enflammée et contaminée par l'agression et permet donc à la pulpe restante d'avoir une réaction de défense plus rapide et plus efficace ⁷.

Enfin, la pulpotomie partielle est considérée comme préférable à la pulpotomie totale quand les deux thérapeutiques sont envisageables, surtout sur des jeunes dents permanentes matures. En effet, cette dernière détruisant la totalité du tissu pulpaire coronaire, empêche toute synthèse de dentine tertiaire au niveau coronaire et toute nouvelle tentative de conservation de la vitalité pulpaire en cas d'échec ⁹¹. De plus, il arrive que la pulpotomie totale conduise à l'oblitération des canaux radiculaires ^{19,53}.

3.4.1.2. Les pulpotomies totales

De nos jours, la pulpotomie totale est le plus souvent réalisée sur des dents temporaires ou des dents permanentes immatures. Sa mise en œuvre en tant que traitement définitif pour des dents permanentes matures est finalement assez récente et ses indications restent encore discutées. La plupart des auteurs réservent cette thérapeutique aux dents jeunes ^{1,19,36,68,89} mais de plus en plus d'études sont réalisées avec des patients plus âgés ^{9,14,79}.

Les suivis cliniques et radiologiques réalisés dans ces études sur des délais de plus en plus longs augurent des résultats très prometteurs et largement comparables, voire même

supérieurs, aux autres alternatives thérapeutiques. Ainsi Simon et coll. en 2013 obtiennent au bout des 24 mois de suivi un taux de réussite de 82% ⁷⁹ même si dans cette étude, l'échantillon est trop faible pour avoir un niveau de preuve suffisant (grade C). De la même façon, Asgary et coll. en 2014 après une étude (de grade B) réalisée sur cinq ans et comportant un échantillon conséquent recueillent 78,1% de succès ¹². Cependant ces résultats sont à relativiser : un délai d'étude aussi long entraîne logiquement un nombre important de perdus de vue (33% dans l'étude) qui ne sont pas pris en compte dans les résultats finaux. La même année, Fares et coll. dans un rapport de cas (de grade C), rapportent 93,3% de réussite après 2 ans pour des pulpotomies réalisées sur des dents permanentes matures en pulpite irréversible ³⁸. Enfin une revue de la littérature de grade A indique également que la pulpotomie totale montre un haut taux de réussite, jusqu'à plus de 90% selon les études recensées, sur des suivis allant jusqu'à plus de trois ans ⁵.

Classiquement, la pulpotomie est pratiquée sur des dents en pulpite réversible. Mais depuis quelques années, de plus en plus d'études s'intéressent à cette thérapeutique pour des dents en pulpite irréversible avec des taux de succès comparables (supérieur à 90%) ^{14,26,29,36}. Mais elles ne comprennent pas des échantillons suffisamment importants et des délais de suivi suffisamment longs pour apporter un niveau de preuve suffisant. Récemment, Asgary et coll. dans une étude de grade B portant sur cinq ans avec un nombre de patients conséquent rapportent 78,1% de réussite pour des pulpotomies totales réalisées sur des dents en pulpite irréversible ¹².

3.4.2. Comparatif entre les alternatives thérapeutiques

3.4.2.1. Comparaison avec le coiffage direct

Bjørndal et coll. dans une étude de 2010 ayant obtenu un grade B, comparent les résultats entre la pulpotomie partielle et le coiffage direct et ne trouve pas de différence significative entre eux en ce qui concerne le taux de succès dans la conservation de la vitalité pulpaire après plus d'un an ²². En revanche, la revue de la littérature de grade A réalisée par Aguilar et coll. en 2011 a relevé des taux de réussite statistiquement supérieurs des

pulpotomies partielles et totales par rapport aux coiffages directs pour les dents permanentes matures : 69,2% contre 90,6% pour les pulpotomies partielles et 85,9% pour les totales ⁵.

3.4.2.2. Comparaison avec la pulpectomie

Une étude rétrospective de grade C menée par DeRosa et coll. en 2010 a considéré la pulpotomie comme alternative à l'extraction, dans les cas où les patients n'avaient pas les moyens financiers nécessaires à la réalisation d'une pulpectomie ³⁴. Au bout de 88 mois, sur les 26 dents traitées, 17 dents sont toujours fonctionnelles et en bouche, soit un taux de réussite de 65%. Ce taux assez faible est à relativiser. En effet, ces dents étaient destinées à être avulsées or par cette thérapeutique « simple », plus de la moitié des dents ont pu rester vitales sur l'arcade. Dans les pays où le traitement radiculaire est un véritable investissement financier, cela permet de retarder la réalisation d'une pulpectomie en laissant le temps au patient de trouver un financement.

Cousson et coll. ³² comparent en 2013 la réussite de pulpotomies et de pulpectomies réalisées sous anesthésie générale. L'étude comprend 225 dents humaines mais n'est pas randomisée (32 pulpotomies contre 193 pulpectomies) et les temps de suivi diffèrent : de 1 à 6 mois jusqu'à 2 ans. Globalement la pulpectomie obtient de meilleurs résultats (97% de succès et une seule dent incertaine) que la pulpectomie (87% de succès, 9% d'incertaines et 4% d'échecs avérés). En 2014, Yazdani et coll. comparent également les deux thérapeutiques mais proposent une nouvelle méthode d'évaluation en considérant trois « phases » : le patient, la sécurité et l'organisation ⁹¹.

Dans la première phase, basée sur **le patient**, le succès clinique de la thérapeutique est évalué (réduction/élimination de la symptomatologie). Une étude antérieure de grade B évaluant la douleur post-opératoire ¹⁰ a montré que celle-ci diminue plus vite après une pulpotomie qu'une pulpectomie (après 24h, 51,98% des patients du groupe des pulpectomies ressentaient une douleur contre seulement 26,82% du groupe des pulpotomies). De plus, les patients du groupe ayant subi les pulpectomies ont ressenti significativement plus de douleur durant la semaine post-opératoire et une réponse douloureuse plus importante aux tests de percussions que les patients du groupe des pulpotomies (après 24h, 74,6% de patients non douloureux aux tests de percussions dans le groupe des pulpotomies contre

29,06% seulement dans celui des pulpectomies). Enfin, 59% des patients du groupe des pulpectomies a dû avoir recours à la prise d'analgésique lors des premières 24h contre 36% pour l'autre groupe.

La deuxième phase, basée sur **la sécurité** des techniques, évalue leurs risques. Un groupe d'experts a établi 6 critères à prendre en compte :

- Les accidents per-opératoires : la pulpotomie considérée comme plus simple mènerait donc logiquement à moins de difficultés ou complications que peut engendrer la pulpectomie (fracture d'instrument, fausse-route, perforation...).
- La douleur post-opératoire : comme dit précédemment, plusieurs études ont relevé moins de douleurs post-opératoires pour la pulpotomie et moins d'antalgiques consommés suite à sa réalisation ^{9,10,91}.
- Les radiographies : moins de radiographies sont nécessaires à la réalisation d'une pulpotomie par rapport à celle d'une pulpectomie ce qui signifie moins d'irradiations et moins de coûts.
- La longévité de la dent : la pulpectomie en retirant une partie considérable de la structure dentaire accroît logiquement le risque de fractures. De plus, une dent non vitale s'assèche et devient plus fragile. La pulpotomie quant à elle, élimine moins de tissus et conserve la vitalité pulpaire.
- La biocompatibilité : aucun souci de biocompatibilité pour les matériaux récents utilisés actuellement pour les coiffages pulpaire, les pulpotomies ou l'obturation canalair.
- La possibilité de retraitement en cas d'échecs : un échec de la pulpotomie (si mauvaise indication ou absence de pont dentinaire formé) conduit forcément à un changement de thérapeutique (il n'est pas possible de réaliser une nouvelle pulpotomie, sauf éventuellement si on passe de la pulpotomie partielle à la totale mais je n'ai pas recensé d'études à ce sujet). Une pulpectomie peut être retentée si on considère qu'elle a échoué.

Cette phase montre que pour 4 des 6 critères pris en compte, la pulpotomie permet d'obtenir de meilleurs résultats que la pulpectomie. Enfin la dernière phase liste les **mesures organisationnelles** définies par le même comité d'experts :

- L'accessibilité/faisabilité : la pulpotomie peut-être normalement réalisée par un omnipraticien dans n'importe quel cabinet dentaire et ne requiert que le matériel « basique » (sans compter les biomatériaux). A l'inverse, l'American Dental Association a décrit la pulpectomie comme nécessitant un haut niveau de compétence ⁹¹. De plus, celle-ci dans certains cas peut nécessiter du matériel supplémentaire coûteux (microscope opératoire, moteur, localisateur d'apex...). De ce fait, une étude a montré que le taux d'échecs des pulpectomies réalisées par les omnipraticiens allait de 30 à 65% ⁹¹.
- Le coût : il dépend évidemment des pays mais semble clairement plus faible pour les pulpotomies même si en France, il n'existe pas encore de tarif applicable à la réalisation d'une pulpotomie comme traitement définitif sur une dent permanente mature. De plus, la pulpectomie implique des coûts indirects supplémentaires pour le praticien (formation supplémentaire, matériel nécessaire) et celle-ci est le plus souvent suivie par un travail prothétique financièrement important pour le patient.
- L'impact : les indications des pulpotomies sont nombreuses et de plus en plus d'études incluent même les dents en pulpite irréversible ^{10,12,91} donc on peut facilement imaginer que le nombre de patients concernés est très important et que l'impact d'une telle thérapeutique est considérable.

Une fois encore, la pulpotomie semble présenter de nombreux avantages par rapport à la pulpectomie. Elle est plus économique, aussi bien en temps opératoire qu'en matériel utilisé, elle est plus simple techniquement et plus conservatrice en tissus ^{10,13}. De plus, elle maintient la vitalité pulpaire et permet donc à la dent de conserver sa solidité et son potentiel réparateur. Enfin, elle engendre moins d'effets secondaires, en particulier en ce qui concerne la douleur et l'inflammation et entraîne par conséquent une utilisation réduite d'antalgiques et d'anti-inflammatoire en post-opératoire ^{9,10}.

3.4.3. Comparatif entre les matériaux utilisés

Les résultats varient énormément d'une étude à une autre et même au sein d'études différentes pour le même matériau de coiffage ou la même technique. Plusieurs paramètres peuvent expliquer ces différences : l'origine de l'exposition pulpaire (carieuse, traumatique, iatrogène), le protocole de mise en place du matériau (présence du champ opératoire, respect des consignes du fabricant), l'expérience du praticien et enfin le facteur pulpaire. En effet, le

bilan biologique pulpaire propre à chaque dent reste difficile à déterminer mais joue pourtant un rôle capital dans la capacité du complexe dentino-pulpaire à induire une réparation voire une cicatrisation. Quel que soit le biomatériau utilisé, pour évaluer le succès ou l'échec de la thérapeutique, un suivi à long terme doit être réalisé, avec des tests de vitalité et des contrôles radiographiques, objectivant la présence d'un pont dentinaire et l'absence de LIPOE ^{14,36}.

La pulpotomie sur une dent permanente mature n'étant envisagée que récemment en tant que traitement définitif, il existe aujourd'hui peu d'études fiables dans la littérature qui comparent les taux de succès de cette thérapeutique entre les différents biomatériaux employés.

De nombreux articles scientifiques traitant des coiffages pulpaire ont été retenus pour la rédaction de ce travail de thèse. Seulement, un coiffage pulpaire peut-être une thérapeutique à part entière, il s'agit du coiffage pulpaire direct (qui n'est pas l'objet de cette thèse), mais il est également forcément réalisé lors d'une pulpotomie qui est une thérapeutique différente. Or plusieurs études comparent les réponses de la pulpe de dents saines (sur lesquelles une exposition pulpaire a volontairement été réalisée) à un ou plusieurs biomatériaux de coiffage, sans préciser la thérapeutique mise en œuvre (coiffage pulpaire direct ou pulpotomie) ^{1,13,24,36,37,59,73,82,92}. Il s'agit d'études réalisées soit sur des animaux, soit sur des dents humaines avulsées pour des raisons orthodontiques. Les réactions de la pulpe sont alors observées histologiquement, suite à l'extraction des dents (après des temps définis par le protocole de l'étude). Ainsi ces études, même si elles ne traitent pas directement des pulpotomies, nous éclairent sur les actions biologiques pulpaire des différents biomatériaux et sont donc indispensables à la rédaction de cette thèse.

De la même façon, certaines études ne précisant pas explicitement si les dents de l'échantillon sont matures ^{28,37,52} ou mélangeant dans le même échantillon des dents matures et immatures ^{19,33}, ont été conservées pour la rédaction de ce travail de thèse afin de ne pas se priver de littérature.

3.4.3.1. *L'hydroxyde de calcium*

Du fait de son ancienneté, la littérature scientifique recense de nombreuses publications qui évaluent l'hydroxyde de calcium, mais les résultats obtenus varient énormément. Ainsi, dans des études publiées entre 1978 et 2007 ^{26,33,52,68}, les pulpotomies réalisées avec de l'hydroxyde de calcium obtiennent régulièrement plus de 90% de succès. Si dans ces articles, les résultats recueillis ne diffèrent pas entre le Ca(OH)_2 et les autres biomatériaux avec lesquels il est comparé, d'autres études réalisées entre 2007 et 2011 ^{1,37,58,68} qui analysent histologiquement son action biologique sur le complexe dentino-pulpaire, montrent des différences significatives. En effet, l'hydroxyde de calcium induirait la formation plus lente d'un pont dentinaire moins épais et de qualité inférieure qu'avec le MTA ou le CEM par exemple. Cela peut s'expliquer par le fait que l'hydroxyde de calcium diminue l'activité métabolique des cellules d'un facteur 3 par rapport au MTA ⁸⁴. De plus, ces mêmes études montrent qu'il réduit moins l'inflammation pulpaire que les autres matériaux même si son action bactériostatique est comparable.

Plus récemment, Bjørndal et coll. dans une étude de 2010 obtiennent seulement 34,5% de succès pour des pulpotomies partielles à l'hydroxyde de calcium ²². Cependant il faut relativiser ce résultat car dans cette étude de grade B, toute douleur post-opératoire était considérée comme un échec de la thérapeutique. De la même façon, une autre étude réalisée par Tabarsi et coll. (en 2010 également mais avec un grade C de niveau de preuve cette fois) compare le succès des pulpotomies suivant les biomatériaux employés et n'obtient que 38,1% de réussite pour l'hydroxyde de calcium mais au bout de seulement 8 semaines de suivi ⁸².

Quoi qu'il en soit, l'hydroxyde de calcium reste un bon biomatériau de coiffage pulpaire car il est facile d'utilisation, possède des propriétés adéquates et est peu cher. Cependant, malgré sa capacité à induire la formation d'un pont dentinaire, sa faible adhésion dentinaire et sa dissolution progressive permettent le passage de bactéries dans le parenchyme pulpaire, et donc son inflammation voire sa nécrose.

3.4.3.2. Le MTA

En comparaison avec l'hydroxyde de calcium, le MTA a démontré de bonnes, voire de meilleures propriétés (excepté l'effet antibactérien moindre). Sur des évaluations histologiques, plusieurs études, menées de 2004 à 2011, révèlent la formation de ponts dentinaires plus épais, à une vitesse plus élevée et avec moins de réponse inflammatoire et de nécrose pulpaire ^{1,37,58,68,75}. L'apposition de dentine de réparation étant plus prédictible, le MTA devrait devenir le matériau de choix pour les coiffages pulpaires ⁵⁸. Il tend d'ailleurs largement à remplacer l'hydroxyde de calcium en tant que « gold standard » dans les études les plus récentes ^{13,59,82,92}.

On recense dans la littérature récente de très bons résultats pour des pulpotomies au MTA réalisées sur des dents permanentes matures. Un rapport de cas (de grade C) datant de 2006 où 31 dents jeunes (certaines immatures) en pulpite réversible d'origine carieuse ont été traitées par des pulpotomies partielles et coiffées au MTA, relève au moins 79% de réussite de la thérapeutique après 2 ans ¹⁹. Il n'y a pas d'échec avéré dans cette étude mais 21% des dents ne répondent plus correctement aux tests de vitalité sans pour autant présenter de symptomatologie clinique ou radiographique à l'issue de la période de suivi. Witherspoon et coll. en 2006 également, et avec le même niveau de preuve, ont réalisé des pulpotomies totales sur 23 dents en pulpite irréversible (avec une LIPOE) chez des patients de 7 à 16 ans avec 70% de succès et 7% d'échecs (mais 23% des dents non recensées dans les succès semblent en cours de guérison)⁹⁰. En 2007, Qudeimat et coll. obtiennent avec un grade B, plus de 90% de réussite (après plus de deux ans) pour des pulpotomies sans différence significative entre l'hydroxyde de calcium et le MTA sur 64 dents en pulpite réversible chez des patients âgés de 7 à 13 ans ⁶⁸. Simon et coll. en 2013 réalisent des pulpotomies complètes coiffées au MTA sur 17 dents en pulpite réversible chez des patients âgés de 7 à 54 ans avec 82% de réussite après 2 ans (pour un grade C)⁷⁹. Enfin Alqaderi et coll. obtiennent 90% de succès après 2 ans de suivi dans un rapport de cas de 2014 (de grade C) pour des pulpotomies totales au MTA réalisées en alternative à un traitement de pulpectomie chez des jeunes (de 10 à 15 ans) présentant des pulpites réversibles sur 29 dents permanentes matures ⁶.

3.4.3.3. Le CEM

Les premières études tendent à montrer que le Calcium Enriched Mixture (CEM) possède des propriétés similaires au MTA tout en s'affranchissant de ses principaux défauts ⁸⁶. Asgary et coll. en 2008 réalisent une observation de son action biologique sur la pulpe en la comparant avec l'hydroxyde de calcium et le MTA ¹³. L'étude (de grade C) porte sur 24 dents de chiens dont les coiffages pulpaire ont été réalisés *in vivo*, puis les dents avulsées après 8 semaines pour en faire l'analyse histologique *in vitro*. Les auteurs ne relèvent pas de différences significatives entre le MTA et le CEM en ce qui concerne la qualité et l'épaisseur du pont dentinaire ainsi que la réponse inflammatoire pulpaire : 100% des dents concernées sont restées vitales, aucune inflammation pulpaire n'est retrouvée dans les deux échantillons et 75% des dents concernées présentent un pont dentinaire complètement formé (avec une épaisseur supérieure à 0,25 mm pour plus de la moitié des dents). En revanche, dans le groupe des dents coiffées à l'hydroxyde de calcium, aucune ne présente de pont dentinaire complètement formé, 2 sont partiellement nécrosées et toutes présentent une inflammation modérée à sévère. Une autre étude histologique chez l'animal (36 dents) qui compare également ces trois biomatériaux a été réalisée en 2010 par Tabarsi et coll. pour des résultats et un niveau de preuve similaires ⁸². Après 8 semaines, les échantillons CEM et MTA ne présentent pas de différence significative. Dans le groupe des dents coiffées avec du CEM, 77,3% sont vitales contre seulement 38,1% pour le groupe Ca(OH)₂. De plus, l'inflammation pulpaire est moins importante avec le CEM (17,6% des dents contre 75% de celles de l'échantillon hydroxyde de calcium) et le pont dentinaire est deux fois plus épais (0,24mm contre 0,12mm). La même année, Zarrabi et coll. réalisent une étude équivalente mais avec 32 dents humaines dont les avulsions étaient prévues pour raison orthodontique ⁹². L'expérience a pour but de comparer l'activité biologique sur la pulpe du MTA et du CEM. Avec un grade C de niveau de preuve, aucune différence significative n'a été retrouvée entre ces deux biomatériaux de coiffage à 2 et 8 semaines en ce qui concerne l'épaisseur et la qualité du pont dentinaire ainsi que l'inflammation pulpaire.

En 2013, Asgary et coll. analysent les résultats de pulpotomies totales réalisées chez l'homme. Leur étude, ayant obtenu un grade B, compare deux biomatériaux de coiffage, le MTA et le CEM, répartis aléatoirement entre deux échantillons consécutifs (plus de 200 dents par groupe)¹¹. Aucune différence significative n'est relevée en ce qui concerne les

douleurs post-opératoires entre les deux matériaux (entre 10 et 12% de dents symptomatiques après une semaine). De la même façon, après un an de suivi, la réussite clinique et radiographique de la thérapeutique est évaluée avec des taux de succès supérieurs à 90%, encore une fois sans différence significative. Cependant ces résultats sont à relativiser car ils ne tiennent pas compte des perdus de vue (qui représentent 16% de l'échantillon de départ). Enfin plus récemment, une autre étude comparative randomisée des mêmes auteurs avec un échantillon important (supérieur à 400 dents humaines en pulpite irréversible) et un long délai d'observation (5 ans) obtient de très bons résultats, avec un niveau de preuve similaire, pour les pulpotomies totales couplées à un coiffage pulpaire au CEM (78,1% de réussite à 5 ans)¹². Cependant, si les échecs relevés aux précédents points de contrôle sont pris en compte, ce chiffre passe à 71,3% et il ne tient toujours pas compte des 33% de l'échantillon initial perdu de vue. De plus, contrairement aux précédentes, l'étude ne compare pas des biomatériaux entre eux mais deux thérapeutiques : la pulpotomie et la pulpectomie. Les résultats enregistrés ne permettent donc pas de surclasser le CEM par rapport à un autre biomatériau de coiffage.

3.4.3.4. Autres biomatériaux

Les principaux autres biomatériaux testés sont plus récents et les études comparatives *in vivo* sont logiquement moins nombreuses. Pour ces « nouveaux » matériaux, la littérature recense davantage d'études *in vitro* observant histologiquement les réponses du tissu pulpaire à tel ou tel matériau, permettant ainsi de savoir lesquels présentent les meilleures propriétés recherchées dans les coiffages pulpaire mais ne pouvant logiquement obtenir qu'un grade C de niveau de preuve scientifique.

Nowicka et coll. en 2013 ne retrouvent histologiquement pas de différence significative sur des pulpes humaines coiffées au MTA ou à la Biodentine™ avec une diminution de l'inflammation et un pont dentinaire d'épaisseur et de qualité similaires après 6 semaines ⁵⁹. Une autre étude de 2014 montre la biocompatibilité de ce matériau et sa capacité à induire la formation de dentine tertiaire ⁵¹. Borkar et coll. dans un rapport de cas de 2015 ne rapporte aucun échec après 18 mois de pulpotomies réalisées sur des expositions pulpaire traumatiques coiffées à la Biodentine™ (mais pour seulement 4 dents)²³.

Les effets de la propolis ont été histologiquement comparés à ceux de l'hydroxyde de calcium et du MTA en 2010 par Parolia et coll. sur 36 dents humaines dont l'extraction pour des raisons orthodontiques était programmée ⁶⁴. L'article porte explicitement sur des coiffages pulpaire directs, la recherche de littérature n'ayant pas recensé de publications étudiant l'efficacité de ce matériau lors de pulpotomies. Après la réalisation des coiffages pulpaire, la moitié des dents était avulsée à 15 jours et l'autre à 45 jours. Les résultats de l'analyse histologique à 15 jours montrent que son action sur la pulpe en ce qui concerne l'inflammation pulpaire et le pont dentinaire est meilleure que celle de l'hydroxyde de calcium mais inférieure à celle du MTA. À 45 jours en revanche, il n'y a plus de différence significative entre les dents du groupe propolis et celles du groupe MTA mais les dents de l'échantillon Ca(OH)_2 obtiennent toujours de moins bons résultats. Les auteurs concluent cependant en admettant que la réponse pulpaire est comparable pour les trois matériaux. Ils reconnaissent que cela peut-être dû à la présence d'un scellement de qualité par-dessus le matériau de coiffage, élément reconnu comme critique dans la réussite de cette thérapeutique.

En 2011, Al-Hezaimi et coll. se sont intéressés à l'utilisation de l'Emdogain couplée à d'autres biomatériaux de coiffage pulpaire classiques (MTA et hydroxyde de calcium) ⁴⁷. Il s'agit d'une étude sur 32 dents animales dont l'étude histologique a été réalisée 4 mois après les coiffages pulpaire. Les résultats obtenus sont significativement meilleurs pour les pulpes coiffées au MTA/Emdogain. Cependant, il est difficile de conclure quant à l'apport véritable de cette molécule étant donné que de nombreuses autres études comparant l'efficacité du MTA et de l'hydroxyde de calcium (sans apport d'Emdogain) rapportent des résultats identiques. Ainsi, même si ce biomatériau semble avoir une action bénéfique sur la cicatrisation pulpaire, d'autres études *in vivo*, avec un suivi régulier et sur un plus grand nombre de dents sont nécessaires pour déterminer dans quelles proportions.

Conclusion

Une évolution récente des principes thérapeutiques d'odontologie conservatrice a été possible grâce à la compréhension de nombreux processus physiopathologiques du complexe pulpo-dentinaire, et au développement de nouveaux matériaux plus performants. Il est désormais admis que conserver la vitalité pulpaire des dents est un aspect primordial de nos thérapeutiques, les nombreux rôles indispensables de la pulpe assurant à la dent un maintien à long terme sur l'arcade. Longtemps délaissée pour les dents permanentes matures de par son prétendu manque de fiabilité, la pulpotomie est aujourd'hui un traitement de choix des expositions pulpaires d'origine traumatique, carieuse ou iatrogène.

Comme tout acte médical, son succès ne peut pas être garanti mais est de plus en plus prévisible et dépend du bon respect des indications et du protocole de réalisation. Les tests à la disposition du clinicien, ne permettent pas aujourd'hui de prédire avec précision le degré d'inflammation pulpaire en amont du traitement et, par conséquent, la capacité intrinsèque de la pulpe à induire une réparation voire une cicatrisation. Par conséquent, la capacité du praticien à évaluer le bilan biologique pulpaire pendant la procédure est primordiale. Pour cela, une technique minutieuse accordant une attention particulière au contrôle de l'hémorragie pulpaire au cours du soin, à la mise en place du biomatériau de recouvrement pulpaire approprié et à un scellement coronaire étanche aux bactéries, est essentielle pour le succès de la thérapeutique.

Il existe actuellement deux types de pulpotomies qui ne diffèrent que par la quantité de tissu pulpaire éliminé. Certains auteurs introduisent récemment le terme de pulpotomie miniature, qui correspond en fait à la configuration minimaliste de la pulpotomie partielle. Situées entre le coiffage pulpaire direct et la pulpectomie en ce qui concerne la préservation des tissus dentaires, les pulpotomies se présentent comme une alternative thérapeutique fiable à ces deux techniques. Tout comme le coiffage direct, la pulpotomie partielle peut être indiquée pour des effractions pulpaires superficielles ou dans le cas de pulpite réversible. La pulpotomie totale quant à elle, sera préconisée aux atteintes pulpaires plus importantes d'origine carieuse ou traumatique et même plus récemment pour des dents en situation de pulpite irréversible, jusqu'alors traitées par des pulpectomies.

Toutes les études montrent que le succès de la thérapeutique est aussi conditionné par l'utilisation d'un agent de recouvrement pulpaire adéquat dont le but est de protéger la pulpe tout en initiant la cicatrisation pulpaire. L'amélioration des thérapeutiques de conservation de la vitalité pulpaire et en particulier des pulpotomies, passe donc aujourd'hui par la recherche de matériaux non seulement biocompatibles, mais aussi bioactifs, capables de stopper un phénomène inflammatoire et d'induire la régénération de tissus dentaires infectés.

Historiquement, l'hydroxyde de calcium est le « gold standard » pour les pulpotomies. Mais désormais, de nombreuses études montrent que le MTA obtient de meilleurs résultats et une cicatrisation pulpaire plus prédictible. Les données actuellement disponibles indiquent une plus grande capacité d'étanchéité à long terme et une meilleure bioactivité sur la pulpe pour ce biomatériau. Plus récemment encore, la littérature scientifique recense de nouveaux biomatériaux de substitution, pour les coiffages pulpaires. Certains d'entre eux, tels que la Biodentine™ ou le CEM sembleraient présenter des résultats similaires au MTA en terme de réussite clinique et radiographique de la thérapeutique. Cependant, il est nécessaire pour la communauté scientifique de réaliser d'autres études, avec des échantillons plus importants et sur des périodes de suivi suffisamment longues pour obtenir un niveau de preuve satisfaisant quant à l'apport véritable de tel ou tel agent de coiffage pulpaire. De la même façon, les études portant sur la réalisation de pulpotomies sur des dents permanentes matures sont encore trop peu nombreuses et force est de constater, qu'aujourd'hui, il n'existe aucune « règle de bonne pratique » précise, qui permet de définir clairement la limite entre dépulpage et conservation de la vitalité pulpaire.

Parallèlement, de nouvelles perspectives biologiques permettraient de conserver la vitalité pulpaire en exploitant le potentiel régénératif de la pulpe. La présence de cellules souches pulpaires est maintenant bien démontrée mais les techniques pour les utiliser sont encore balbutiantes et trop compliquées. Cependant, cet axe de recherche représente sans conteste l'avenir de l'odontologie conservatrice et doit être considéré avec le plus grand intérêt par la communauté scientifique.

Enfin, malgré la multitude des techniques et des biomatériaux à notre disposition, il est nécessaire de rappeler que le rôle premier du chirurgien-dentiste reste la prévention. Les réels progrès effectués dans le domaine de la prophylaxie de la maladie carieuse doivent permettre de réduire les traitements des dents, qu'ils s'agissent des pulpotomies ou de leurs alternatives thérapeutiques.

Références bibliographiques

1. **Accorinte M de LR, Holland R, Reis A, et al.** Evaluation of Mineral Trioxide Aggregate and Calcium Hydroxide Cement as Pulp-capping Agents in Human Teeth. J Endod. **2008**;34(1):1–6.
2. **Accorinte M de LR, Loguerio AD, Reis A, et al.** Response of Human Dental Pulp Capped with MTA and Calcium Hydroxide Powder. Oper Dent. **2008**;33(5):488–95.
3. **Agence Nationale de Sécurité du Médicament et des produits de santé.** Prescription des antibiotiques en pratique bucco-dentaire. **2011**. <http://ansm.sante.fr>
4. **Agence Nationale d'évaluation et d'Accréditation en Santé.** Guide d'analyse de la littérature et gradation des recommandations. **2000**. <http://has-sante.fr>
5. **Aguilar P, Linsuwanont P.** Vital Pulp Therapy in Vital Permanent Teeth with Cariously Exposed Pulp: A Systematic Review. J Endod. **2011**;37(5):581–7.
6. **Alqaderi HE, Al-Mutawa SA, Qudeimat MA.** MTA pulpotomy as an alternative to root canal treatment in children's permanent teeth in a dental public health setting. J Dent. **2014**;42(11):1390–5.
7. **Asgary S, Ahmadyar M.** Can miniature pulpotomy procedure improve treatment outcomes of direct pulp capping? Med Hypotheses. **2012**;78(2):283–5.
8. **Asgary S, Ahmadyar M.** Vital pulp therapy using calcium-enriched mixture: An evidence-based review. J Conserv Dent. **2013**;16(2):92–8.
9. **Asgary S, Eghbal M j.** A Clinical Trial of Pulpotomy vs. Root Canal Therapy of Mature Molars. J Dent Res. **2010**;89(10):1080–5.
10. **Asgary S, Eghbal MJ.** The effect of pulpotomy using a calcium-enriched mixture cement versus one-visit root canal therapy on postoperative pain relief in irreversible pulpitis: a randomized clinical trial. Odontology. **2010**;98(2):126–33.
11. **Asgary S, Eghbal MJ.** Treatment outcomes of pulpotomy in permanent molars with irreversible pulpitis using biomaterials: A multi-center randomized controlled trial. Acta Odontol Scand. **2013**;71(1):130–6.

12. **Asgary S, Eghbal MJ, Fazlyab M, et al.** Five-year results of vital pulp therapy in permanent molars with irreversible pulpitis: a non-inferiority multicenter randomized clinical trial. *Clin Oral Investig.* **2014**;19(2):335–41.
13. **Asgary S, Eghbal MJ, Parirokh M, et al.** A comparative study of histologic response to different pulp capping materials and a novel endodontic cement. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* **2008**;106(4):609–14.
14. **Asgary S, Ehsani S.** Permanent molar pulpotomy with a new endodontic cement: A case series. *J Conserv Dent.* **2009**;12(1):31–6.
15. **Asgary S, Fazlyab M.** Management of Complicated Crown Fracture with Miniature Pulpotomy: A Case Report. *Iran Endod J.* **2014**;9(3):233–4.
16. **Asgary S, Fazlyab M, Sabbagh S, et al.** Outcomes of Different Vital Pulp Therapy Techniques on Symptomatic Permanent Teeth: A Case Series. *Iran Endod J.* **2014**;9(4):295–300.
17. **Asgary S, Shahabi S, Jafarzadeh T, et al.** The Properties of a New Endodontic Material. *J Endod.* **2008**;34(8):990–3.
18. **Barngkgei IH, Halboub ES, Alboni RS.** Pulpotomy of symptomatic permanent teeth with carious exposure using mineral trioxide aggregate. *Iran Endod J.* **2013**;8(2):65–8.
19. **Barrieshi-Nusair KM, Qudeimat MA.** A prospective clinical study of mineral trioxide aggregate for partial pulpotomy in cariously exposed permanent teeth. *J Endod.* **2006**;32(8):731–5.
20. **Bender IB.** Reversible and irreversible painful pulpitis: diagnosis and treatment. *Aust Endod J.* **2000**;26(1):10–4.
21. **Bjørndal L.** The Caries Process and Its Effect on the Pulp: The Science Is Changing and So Is Our Understanding. *J Endod.* **2008**;34(7):2–5.
22. **Bjørndal L, Reit C, Bruun G, 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.* **2010**;118(3):290–7.
23. **Borkar SA, Ataide I.** Biodentine™ pulpotomy several days after pulp exposure: Four case reports. *J Conserv Dent.* **2015**;18(1):73–8.

24. **Briso ALF, Rahal V, Mestreneur SR, et al.** Biological response of pulps submitted to different capping materials. *Braz Oral Res.* **2006**;20(3):219–25.
25. **Burdock GA.** Review of the biological properties and toxicity of bee propolis (propolis). *Food Chem Toxicol.* **1998**;36(4):347–63.
26. **Çalışkan MK.** Pulpotomy of carious vital teeth with periapical involvement. *Int Endod J.* **1995**;28(3):172–6.
27. **Camilleri J, Pitt Ford TR.** Mineral trioxide aggregate: a review of the constituents and biological properties of the material. *Int Endod J.* **2006**;39(10):747–54.
28. **Chailertvanitkul P, Paphangkorakit J, Sooksantisakoonchai N, et al.** Randomized control trial comparing calcium hydroxide and mineral trioxide aggregate for partial pulpotomies in cariously exposed pulps of permanent molars. *Int Endod J.* **2014**;47(9):835–42.
29. **Chueh L-H, Chiang C-P.** Histology of Irreversible pulpitis premolars treated with mineral trioxide aggregate pulpotomy. *Oper Dent.* **2010**;35(3):370–4.
30. **Cohenca N, Paranjpe A, Berg J.** Vital Pulp Therapy. *Dent Clin North Am.* **2013**;57(1):59–73.
31. **Cooper PR, Takahashi Y, Graham LW, et al.** Inflammation–regeneration interplay in the dentine–pulp complex. *J Dent.* **2010**;38(9):687–97.
32. **Cousson P-Y, Nicolas E, Hennequin M.** A follow-up study of pulpotomies and root canal treatments performed under general anaesthesia. *Clin Oral Invest.* **2013**;18(4):1155–63.
33. **Cvek M.** A clinical report on partial pulpotomy and capping with calcium hydroxide in permanent incisors with complicated crown fracture. *J Endod.* **1978**;4(8):232–7.
34. **DeRosa TA.** A retrospective evaluation of pulpotomy as an alternative to extraction. *Gen Dent.* **2006**;54(1):37–40.
35. **Duncan HF, Nair PNR, Ford TRP.** Vital pulp treatment: clinical considerations. *Endod Pract Today.* **2009**;3(1):7–17.
36. **Eghbal MJ, Asgary S, Baglue RA, et al.** MTA pulpotomy of human permanent molars with irreversible pulpitis. *Aust Endod J.* **2009**;35(1):4–8.

37. **Eskandarizadeh A, Shahpasandzadeh M, Shahpasandzadeh M, et al.** A comparative study on dental pulp response to calcium hydroxide, white and grey mineral trioxide aggregate as pulp capping agents. *J Conserv Dent.* **2011**;14(4):351–5.
38. **Fares H, Kabel N.** A new concept in conservatism Adult tooth pulpotomy: The promising success A nine years' study An evidence based study. *Life Sci J.* **2014**;11(6):276–82.
39. **Fransson H.** On the repair of the dentine barrier. *Swed Dent J.* **2012**;(226):9–84.
40. **Gandolfi MG, Siboni F, Prati C.** Chemical-physical properties of TheraCal, a novel light-curable MTA-like material for pulp capping. *Int Endod J.* **2012**;45(6):571–9.
41. **Ghoddusi J, Forghani M, Parisay I.** New approaches in vital pulp therapy in permanent teeth. *Iran Endod J.* **2014**;9(1):15–22.
42. **Goldberg M.** Histologie du complexe dentino-pulpaire. *Encycl Med Chir (Paris). Médecine buccale:* 28-115-B-10; **2008**.
43. **Goldberg M, Six N, Decup F, et al.** Application of bioactive molecules in pulp-capping situations. *Adv Dent Res.* **2001**;15:91–5.
44. **Gronthos S, Mankani M, Brahimi J, et al.** Postnatal human dental pulp stem cells (DPSCs) in vitro and in vivo. *Proceed Nat Acad Sci USA.* **2000**;97(25):13625–30.
45. **Hasselgren G, Reit C.** Emergency pulpotomy: pain relieving effect with and without the use of sedative dressings. *J Endod.* **1989**;15(6):254–6.
46. **Hess JC, Médioni E, Vené G.** Thérapeutique endodontique. Ensemble pulpo-dentinaire. Pulpotomie. *Encycl Med Chir (Paris). Odontologie:* 23-035-D-10; **2008**.
47. **Al-Hezaimi K, Al-Tayar BA, Bajuaifer YS, et al.** A hybrid approach to direct pulp capping by using emdogain with a capping material. *J Endod.* **2011**;37(5):667–72.
48. **Hilton TJ, Ferracane JL, Mancl L.** Comparison of CaOH with MTA for direct pulp capping: a PBRN randomized clinical trial. *J Dent Res.* **2013**;92(7):16–22.
49. **Kamann WK.** La digue – évolution de ses indications et techniques. *Schweiz Monatsschr Zahnmed.* **1998**;108(8):771–7.

50. **Krastl G, Weiger R.** Vital pulp therapy after trauma. *Endod Pract Today.* **2014**;8(4):293–300.
51. **Malkondu Ö, Kazandağ MK, Kazazoğlu E.** A Review on Biodentine™, a Contemporary Dentine Replacement and Repair Material. *Biomed Res Int.* **2014.** <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4082844/>
52. **Mass E, Zilberman U.** Clinical and radiographic evaluation of partial pulpotomy in carious exposure of permanent molars. *Pediatr Dent.* **1993**;15(4):257–9.
53. **McCabe PS, Dummer PMH.** Pulp canal obliteration: an endodontic diagnosis and treatment challenge. *Int Endod J.* **2012**;45(2):177–97.
54. **Mente J, Geletneky B, Ohle M, et al.** Mineral Trioxide Aggregate or Calcium Hydroxide Direct Pulp Capping: An Analysis of the Clinical Treatment Outcome. *J Endod.* **2010**;36(5):806–13.
55. **Micro-Méga (Laboratoire).** MM-MTA™. <http://www.micro-mega.com>.
56. **Miyashita H, Worthington HV, Qualtrough A, et al.** Pulp management for caries in adults: maintaining pulp vitality. *Cochrane Database Syst Rev.* **2007**;2:CD004484.
57. **Mohammadi Z, Dummer PMH.** Properties and applications of calcium hydroxide in endodontics and dental traumatology. *Int Endod J.* **2011**;44(8):697–730.
58. **Nair PNR, Duncan HF, Pitt Ford TR, et al.** Histological, ultrastructural and quantitative investigations on the response of healthy human pulps to experimental capping with mineral trioxide aggregate: a randomized controlled trial. *Int Endod J.* **2008**;41(2):128–50.
59. **Nowicka A, Lipski M, Parafiniuk M, et al.** Response of Human Dental Pulp Capped with Biodentine™ and Mineral Trioxide Aggregate. *J Endod.* **2013**;39(6):743–7.
60. **Okiji T, Yoshida K.** Reparative Dentinogenesis Induced by Mineral Trioxide Aggregate: A Review from the Biological and Physicochemical Points of View. *Int J Dent.* **2009.** <http://www.hindawi.com/journals/ijd/2009/464280/abs/>
61. **Paranjpe A, Zhang H, Johnson JD.** Effects of Mineral Trioxide Aggregate on Human Dental Pulp Cells after Pulp-capping Procedures. *J Endod.* **2010**;36(6):1042–7.

62. **Parirokh M, Torabinejad M.** Mineral Trioxide Aggregate: A Comprehensive Literature Review—Part I: Chemical, Physical, and Antibacterial Properties. *J Endod.* **2010**;36(1):16–27.
63. **Parirokh M, Torabinejad M.** Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review--Part III: Clinical applications, drawbacks, and mechanism of action. *J Endod.* **2010**;36(3):400–13.
64. **Parolia A, Kundabala M, Rao NN, et al.** A comparative histological analysis of human pulp following direct pulp capping with Propolis, mineral trioxide aggregate and Dycal. *Aust Dent J.* **2010**;55(1):59–64.
65. **Patel U, Hughes J.** Preserving pulp vitality. *Dent Health.* **2013**;52(2):26–9.
66. **Poggio C, Arciola CR, Beltrami R, et al.** Cytocompatibility and antibacterial properties of capping materials. *Sci World J.* **2014**;2014.
67. **Popović Bajić M, Danilović V, Prokić B, et al.** Direct Pulp Capping Using Biodentine™. *Serb Dent J.* **2014**;61(2):65–74.
68. **Qudeimat MA, Barrieshi-Nusair KM, Owais AI.** Calcium hydroxide vs mineral trioxide aggregates for partial pulpotomy of permanent molars with deep caries. *Eur Arch Paediatr Dent.* **2007**;8(2):99–104.
69. **Qureshi A, E. S, Nandakumar, et al.** Recent Advances in Pulp Capping Materials: An Overview. *J Clin Diagn Res.* **2014**;8(1):316–21.
70. **Ranganathan K, Lakshminarayanan V.** Stem cells of the dental pulp. *Ind J Dent Res.* **2012**;23(4):558–60.
71. **Renard E, Lopez-Cazaux S, Guicheux J, et al.** Les cellules souches de la pulpe dentaire. *Comptes Rendus Biologies.* **2007**;330(9):635–43.
72. **Roberts HW, Toth JM, Berzins DW, et al.** Mineral trioxide aggregate material use in endodontic treatment: a review of the literature. *Dent Mater.* **2008**;24(2):149–64.
73. **De Rossi A, Silva LAB, Gatón-Hernández P, et al.** Comparison of pulpal responses to pulpotomy and pulp capping with Biodentine™ and mineral trioxide aggregate in dogs. *J Endod.* **2014**;40(9):1362–9.

74. **Schönenberger Göhring K, Lehnert B, Zehnder M.** Une revue des domaines d'indication du MTA 1re partie: propriétés chimiques physiques et biologiques du MTA. *Schweiz Monatsschr Zahnmed.* **2004**;114(2):149–53.
75. **Schönenberger Göhring K, Lehnert B, Zehnder M.** Une revue des domaines d'indication du MTA 2e partie: utilisations et applications cliniques. *Schweiz Monatsschr Zahnmed.* **2004**;114(3):231–4.
76. **Septodont research and development department.** Biodentine™: Scientific File. <http://www.septodont.fr>.
77. **Sforcin JM.** Propolis and the immune system: a review. *J Ethnopharmacol.* **2007**;113(1):1–14.
78. **Simon S, Cooper P, Berdal A, et al.** Biologie pulpaire : comprendre pour appliquer au quotidien. *Rev Odontostomatol.* **2008**;37(3):209–35.
79. **Simon S, Perard M, Zanini M, et al.** Should pulp chamber pulpotomy be seen as a permanent treatment? Some preliminary thoughts. *Int Endod J.* **2013**;46(1):79–87.
80. **Simon SRJ, Berdal A, Cooper PR, et al.** Dentin-pulp complex regeneration: from lab to clinic. *Adv Dent Res.* **2011**;23(3):340–5.
81. **Swift EJ, Trope M, Ritter AV.** Vital pulp therapy for the mature tooth – can it work? *Endod Top.* **2003**;5(1):49–56.
82. **Tabarsi B, Parirokh M, Eghbal MJ, et al.** A comparative study of dental pulp response to several pulpotomy agents. *Int Endod J.* **2010**;43(7):565–71.
83. **Torabinejad M, Hong CU, McDonald F, et al.** Physical and chemical properties of a new root-end filling material. *J Endod.* **1995**;21(7):349–53.
84. **Torabinejad M, Parirokh M.** Mineral Trioxide Aggregate: A Comprehensive Literature Review—Part II: Leakage and Biocompatibility Investigations. *J Endod.* **2010**;36(2):190–202.
85. **Trope M.** Regenerative potential of dental pulp. *Pediatr Dent.* **2008**;30(3):206–10.
86. **Utneja S, Nawal RR, Talwar S, et al.** Current perspectives of bio-ceramic technology in endodontics: calcium enriched mixture cement - review of its composition, properties and applications. *Restor Dent Endod.* **2015**;40(1):1–13.

87. **Ward J.** Vital pulp therapy in cariously exposed permanent teeth and its limitations. *Aust Endod J.* **2002**;28(1):29–37.
88. **Willershausen B, Willershausen I, Ross A, et al.** Retrospective study on direct pulp capping with calcium hydroxide. *Quintessence Int.* **2011**;42(2):165–71.
89. **Witherspoon DE.** Vital Pulp Therapy with New Materials: New Directions and Treatment Perspectives—Permanent Teeth. *J Endod.* **2008**;34(7):25–8.
90. **Witherspoon DE, Small JC, Harris GZ.** Mineral trioxide aggregate pulpotomies: a case series outcomes assessment. *J Am Dent Assoc.* **2006**;137(5):610–8.
91. **Yazdani S, Jadidfard M-P, Tahani B, et al.** Health Technology Assessment of CEM Pulpotomy in Permanent Molars with Irreversible Pulpitis. *Iran Endod J.* **2014**;9(1):23–9.
92. **Zarrabi MH, Javidi M, Jafarian AH, et al.** Histologic Assessment of Human Pulp Response to Capping with Mineral Trioxide Aggregate and a Novel Endodontic Cement. *J Endod.* **2010**;36(11):1778–81.

Références iconographiques

Figure 1 : Représentation schématique de la pulpe dentaire.

<http://www.uky.edu/~brmacp/oralhist/module4/lecture/oh4lect.htm>

Figure 2 : Illustration du protocole clinique de réalisation d'une pulpotomie.

<http://www.oasisdiscussions.ca/py/>

Figure 3 : Organigramme de l'analyse de la littérature.

Figure 4 : Répartition des références bibliographiques retenues pour l'analyse de la littérature.

Figure 5 : Niveaux de preuve des références bibliographiques retenues pour l'analyse.

Figure 6 : Répartition des différents types d'articles ayant servi à la réalisation de ce travail, selon leur force de recommandation.

Table des tableaux

Tableau 1 : Indications de la pulpotomie et de ses alternatives thérapeutiques.

Tableau 2 : Historique de la recherche électronique.

Tableau 3 : Grades de recommandations de l'ANAES, 2000.

Tableau 4 : Références bibliographiques composant l'analyse de la littérature, et leurs principales caractéristiques.

Tableau 5 : Critères d'analyse des revues de synthèse, d'après le Guide d'analyse de la littérature et gradation des recommandations de l'ANAES.

Tableau 6 : Critères d'analyse des articles thérapeutiques, d'après le Guide d'analyse de la littérature et gradation des recommandations de l'ANAES

Tableau 7 : Critères d'analyse des études in vitro inspirés de la méthode de l'ANAES

CHARLOIS (Bérenger). – La pulpotomie des dents permanentes matures – 82 f. ; 6 ill. ; 7 tabl. ; 92 ref. ; 30cm. (Thèse : Chir. Dent. ; Nantes ; 2015).

RESUMÉ :

La pulpotomie est considérée comme la thérapeutique de choix pour les atteintes pulpaire sur les dents temporaires ou permanentes immatures, mais elle a longtemps été délaissée au profit des pulpectomies pour les dents matures. Or, il est aujourd'hui admis que la conservation de la vitalité pulpaire est un des enjeux principaux de nos thérapeutiques.

En ce sens, la pulpotomie peut-elle être envisagée en tant que traitement définitif sur les dents matures ?

Grâce à une analyse critique de la littérature nous montrerons que l'évolution des techniques et des biomatériaux a permis d'obtenir des résultats très prometteurs pour les pulpotomies et largement comparables à leurs alternatives thérapeutiques.

RUBRIQUE DE CLASSEMENT : Odontologie - Endodontie

MOTS CLÉS MESH :

Pulpotomie – Pulpotomy

Pulpe dentaire – Dental Pulp

Denture permanente – Dentition, Permanent

Agents de coiffage pulpaire et de pulpectomie – Pulp Capping and Pulpectomy Agents

JURY :

Président : Professeur Pérez F.

Assesseur : Docteur Gaudin A.

Directeur : Docteur Armengol V.

Co-directeur : Docteur Rolot M.

ADRESSE DE L'AUTEUR :

2, Allée des Tanneurs – 44000 Nantes

ber.charlois@hotmail.fr