



HAL
open science

La pulpotomie cervicale sur dent permanente mature, une alternative aux traitements endodontiques ? : proposition d'un protocole de recherche clinique

Charles-Maximilien Thi

► To cite this version:

Charles-Maximilien Thi. La pulpotomie cervicale sur dent permanente mature, une alternative aux traitements endodontiques ? : proposition d'un protocole de recherche clinique. Sciences du Vivant [q-bio]. 2017. dumas-01556576

HAL Id: dumas-01556576

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01556576>

Submitted on 6 Sep 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0
International License



AVERTISSEMENT

Cette thèse d'exercice est le fruit d'un travail approuvé par le jury de soutenance et réalisé dans le but d'obtenir le diplôme d'État de docteur en chirurgie dentaire. Ce document est mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt toute poursuite pénale.



UNIVERSITÉ
PARIS
DESCARTES

MEMBRE DE

U-S-PC
Université Sorbonne
Paris Cité

UNIVERSITÉ PARIS DESCARTES

FACULTÉ DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année 2017

N° 035

THÈSE

POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement le : 29 mai 2017

Par

Charles-Maximilien THI

La pulpotomie cervicale sur dent permanente mature, une alternative aux traitements endodontiques ? : proposition d'un protocole de recherche clinique

Dirigée par M. le Docteur Éric Bonte

JURY

M. le Professeur Jean-Jacques Lasfargues

Président

M. le Docteur Éric Bonte

Assesseur

M. le Docteur Daniel Nebot

Assesseur

Mme le Docteur Tchilalo BoukpeSSI

Assesseur

Tableau des enseignants de la Faculté

| DÉPARTEMENTS | DISCIPLINES | PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS | MAÎTRES DE CONFÉRENCES |
|--------------|---|---|---|
| 1 | ODONTOLOGIE PÉDIATRIQUE | Mme VITAL Mme DAVIT-BEAL | M. COURSON Mme DURSUN Mme VANDERZWALM Mme JEGAT |
| | ORTHOPÉDIE DENTO-FACIALE | | Mme BENAHMED M. DUNGLAS Mme KAMOUN-GOLDRAT Mme LE NORCY |
| | SANTÉ COMMUNAUTAIRE ET POPULATIONS SINGULIÈRES | Mme FOLLIGUET M. PIERRISNARD | M. NEBOT |
| 2 | PARODONTOLOGIE | Mme COLOMBIER | M. BIOSSE DUPLAN Mme DRIDI Mme GOSSET M. GUEZ |
| | MÉDECINE ET CHIRURGIE BUCCALES | M. MAMAN | Mme EJEIL M. GAULTIER M. HADIDA M. NGUYEN Mme RADOI |
| 3 | ODONTOLOGIE CONSERVATRICE ENDODONTIE | Mme CHEMLA M. LASFARGUES | Mme BESNAULT M. BONTE Mme BOUKPESSI M. DECUP Mme GAUCHER |
| | PROTHÈSE | M. POSTAIRE | M. CHEYLAN M. DAAS M. DOT M. EID Mme FOUILLOUX-PATEY Mme GORIN M. RENAULT M. RIGNON-BRET M. TIRLET M. TRAMBA Mme WULFMANN |
| 4 | PRÉVENTION-ÉPIDÉMIOLOGIE ÉCONOMIE DE LA SANTÉ ET ODONTOLOGIE LÉGALE | | Mme GERMA M. PIRNAY M. TAVERNIER |
| | SCIENCES BIOLOGIQUES | Mme CHAUSSAIN M. GOGLY Mme POLIARD M. ROCHEFORT Mme SEGUIER | M. ARRETO Mme BARDET Mme CHARDIN M. LE MAY M. FERRE (MCU associé) Mme CHERIFI (MCU associée) |
| | SCIENCES ANATOMIQUES PHYSIOLOGIQUES ET OCCLUSODONTIQUE | | M. ATTAL Mme BENBELAID Mme BENOIT M. BOUTER M. CHARRIER M. CHERRUAU M. FLEITER Mme FRON M. SALMON Mme TILOTTA |

Remerciements

À M. le Professeur Jean-Jacques Lasfargues

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur en Sciences Odontologiques

Doctorat d'État en Odontologie

Professeur des Universités, Faculté de Chirurgie Dentaire Paris Descartes

Praticien Hospitalier, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris

Chef de Service de l'Hôpital Bretonneau

Chevalier de l'Ordre des Palmes Académiques

Je vous remercie tout d'abord d'avoir accepté d'être mon Président de Jury. Je vous suis extrêmement reconnaissant de tout ce que vous avez pu m'apporter dans mes études, m'avoir donné le goût de l'Odontologie Conservatrice et Endodontique, ce depuis mes premières années de Clinique, alors que vous étiez occupé avec le DU d'endodontie. Merci pour votre enseignement théorique à la faculté et Clinique à l'hôpital.

À M. le Docteur Éric Bonte

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur de l'Université Paris Descartes

Docteur en Sciences Odontologiques

Maitre de Conférence des Universités, Faculté de Chirurgie Dentaire Paris Descartes

Praticien Hospitalier, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris

Merci de m'avoir fait l'honneur de diriger ma these. Je vous suis extrêmement reconnaissant pour ce que vous m'avez apporté pendant mes etudes en Clinique et ce que vous m'apporter encore actuellement dans ma pratique. Avec le Pr. Lasfargues, vous m'avez donné le gout de l'endodontie en Clinique pendant mes années d'étude et surtout vous m'avez quasiment tout appris de ce que sais actuellement de l'Odontologie Conservatrice et Endodontique !

À M. le Docteur Daniel Nebot

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur de l'Université Paris Descartes

Docteur en Sciences Odontologiques

Maitre de Conférence des Universités, Faculté de Chirurgie Dentaire Paris Descartes

Praticien Hospitalier, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris

Vice-Doyen de la faculté de Chirurgie Dentaire Paris Descartes

Officier de l'Ordre National du Mérite

Merci d'avoir accepté de faire partie de mon Jury de thèse, dans lequel votre présence est toute naturelle. Je voulais vous remercier d'avoir cru en moi pendant mes années d'études, de m'avoir apporté toutes ces opportunités pour améliorer ma pratique en Odontologie Conservatrice et Endodontique, et surtout pour toute cette bonne énergie que vous m'avez transmise, tous ces bons souvenirs que je garderai en Clinique.

À Mme le Docteur Tchilalo Boukpepsi

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur de l'Université Paris Descartes

Maitre de Conférence des Universités, Faculté de Chirurgie Dentaire Paris Descartes

Praticien Hospitalier, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris

Tout d'abord, merci d'avoir accepté de faire partie de mon Jury de thèse. Votre présence dans mon jury était également toute naturelle, au delà des obligations d'inclure un praticien externe à mon hôpital de formation ! En effet, je garde de très bons souvenirs à vos cotés dans la prise en charge endodontique de patients souffrant de maladie rare. Je vous remercie de m'avoir apporté la possibilité d'accroître ma connaissance théorique et pratique en Endodontie durant ma dernière année d'étude !

À mes parents, tout simplement ! Qui ont fait de moi ce que je suis aujourd'hui.

À mon oncle, ma tante et mon cousin qui sont ma plus proche famille après mes parents et qui ont toujours été à mes cotés.

À mes grands-parents, surtout ma grand-mère qui nous a quitté il y a peu de temps... qui aurait aimé être présente aujourd'hui !

À tous les professeurs qui m'ont tant apporté dans ma formation

À mes « frères », vous vous reconnaissez, qui ont toujours été là pour moi.

À mes confrères et futurs confrères de la Faculté. Et tout particulièrement trois d'entre eux qui ont passé leurs études avec moi, ainsi que mes binômes de clinique et mentor

Et à tous mes amis !

Table des matières

| | |
|---|-----------|
| INTRODUCTION | 2 |
| 1 : ENDODONTE ET MATERIAUX BIOACTIFS – PREREQUIS ET PROPRIETES | 3 |
| 1.1 L'ENDODONTE : PREREQUIS | 3 |
| 1.1.1. <i>Rappels histologiques de l'endodonte</i> | 3 |
| 1.1.2. <i>Biologie de l'endodonte</i> | 5 |
| 1.1.3. <i>Histopathologie de l'endodonte</i> | 7 |
| 1.2 MATERIAUX BIOACTIFS : LES SILICATES TRICALCIQUES | 12 |
| 1.2.1. <i>Biomatériaux et biocompatibilité pulpaire</i> | 12 |
| 1.2.2. <i>Propriétés des matériaux de coiffage</i> | 16 |
| 1.2.3. <i>Matériaux d'intérêts</i> | 19 |
| 2 : LA PULPOTOMIE CERVICALE CHEZ L'ADULTE – RAISONNEMENT SCIENTIFIQUE DU SUCCES CLINIQUE | 22 |
| 2.1 DU CONCEPT SCIENTIFIQUE A LA REALISATION CLINIQUE | 22 |
| 2.1.1. <i>Contexte biologique du traitement de référence : la biopulpectomie</i> | 22 |
| 2.1.2. <i>Contexte biologique du traitement conservateur : la pulpotomie cervicale</i> | 24 |
| 2.1.3. <i>Apport des matériaux bioactifs à la thérapeutique et réponses biologiques</i> | 26 |
| 2.2 THERAPEUTIQUE EPROUVEE CHEZ L'ENFANT SUR DENT PERMANENTE IMMATURE ET ETENDUE A L'ADULTE SUR LA DENT PERMANENTE MATURE..... | 29 |
| 2.2.1. <i>Bases scientifiques de la thérapeutique étendue chez l'adulte sur dent permanente mature</i> | 29 |
| 2.2.2. <i>Protocoles et point clés de la thérapeutique chez l'adulte sur dent permanente mature</i> | 33 |
| 2.2.3. <i>Résultats et conclusions empiriques de la thérapeutique chez l'adulte sur dent permanente mature</i> | 40 |
| CONCLUSION | 44 |
| ANNEXES | 46 |
| BIBLIOGRAPHIE | 59 |
| TABLE DES FIGURES | 63 |
| TABLE DES TABLEAUX | 64 |

Introduction

Actuellement, les thérapeutiques des pathologies de l'endodonte, autrement dit, les maladies de la pulpe et des manifestations péri radiculaires associées, sont nettement définies en fonction du diagnostic posé, à l'aide de signes et symptômes, éprouvés par le patient ou détectés, parfois provoqués, par le praticien.

Le diagnostic repose sur l'état pathologique pulpaire: il faut alors distinguer la pulpe vivante de la pulpe nécrosée¹.

Ces différents états pulpaires décrits par Hess en 1967, peuvent être corrélés, respectivement, aux catégories II, III et IV de la classification de Baume².

À ces diagnostics sont associés, respectivement, des thérapeutiques largement reconnues en médecine bucco-dentaires, que sont : le coiffage/la biopulpotomie, la biopulpectomie et le traitement canalaire.

Mais certaines classifications de l'état pulpaire sont parfois difficilement applicable en clinique, car reposant sur des critères histopathologiques, alors qu'un diagnostic précis de l'état inflammatoire pulpaire se voit être fondamental pour y associer le traitement le plus adéquat.

Par ailleurs, l'apparition de nouveaux matériaux sur le marché, tels que les silicates tricalciques, tend à repousser des limites, déjà floues, des traitements conventionnels en endodontie.

En effet, leurs propriétés de biocompatibilité et inducteur pulpaire leur confère une place centrale dans les thérapeutiques des pathologies de l'endodonte, particulièrement en terme de conservation de la vitalité pulpaire. Ceci, permettant, in fine, de repousser, voir éviter le traitement endodontique conventionnel, pour évoluer vers une médecine bucco-dentaire moderne, a minima et conservatrice, en nous prévenant de la multiplication des risques lorsque nous avançons dans le gradient thérapeutique.

Il semble donc intéressant d'étudier cliniquement les effets de ces matériaux, au contact de l'endodonte afin de proposer un protocole de biopulpotomie réitérable, et cohérent avec les données actuelles de la science.

¹ Hess, « A new classification in pulpopathies ».

² Baume, « Essai d'une classification clinique des pulpopathies ».

1 : Endodonte et matériaux bioactifs – prérequis et propriétés

1.1 L'endodonte : prérequis

L'endodonte, partie interne de l'odonte, correspond à l'espace central de l'organe dentaire contenant la pulpe dentaire³

1.1.1. Rappels histologiques de l'endodonte

1.1.1.1. Tissus d'intérêts

La dent est un organe qui rassemble plusieurs types de tissus, minéralisés (émail, dentine, cément) et non minéralisé (pulpe), tant intéressants par leur différences que par la symbiose qui se crée en eux. Différents par leurs compositions, structures, et propriétés biomécaniques, ils sont indispensables pour une parfaite cohérence dans leurs fonctions.

Dans le cadre de la biopulpotomie cervicale, nous nous intéresserons particulièrement à deux tissus d'intérêts certains :

D'une part, cette pulpe, composée de nombreux éléments cellulaires, vasculaires et nerveux, s'étend des cornes pulpaires, parties les plus proéminentes et coronaires de la pulpe camérale pour se continuer en pulpe canalaire jusqu'à l'apex au niveau l'espace péri-apical de Black.

D'autre part, la dentine, contenant en son sein, dans des tubuli, des prolongements d'éléments cellulaires constitutifs de la pulpe : les odontoblastes

Ils sont situés à la jonction dentine – pulpe et s'étendent, plus moins, de la barrière odontoblastique jusqu'à la jonction amérodentinaire ou dentinocémentaire. Ces deux tissus étant les acteurs biologiques clés dans l'étude de la thérapeutique.

³ Lasfargues et Machtou, *Dictionnaire francophone des termes d'odontologie conservatrice : endodontie & odontologie restauratrice*.

1.1.1.2. Composition de la dentine

La dentine est un tissu conjonctif minéralisé avasculaire, innervé et contient les prolongements cellulaires des odontoblastes dans ses tubuli.

Il est situé sous l'émail, couche externe dans la portion coronaire de la dent et sous le cément, couche externe de la portion radiculaire de la dent. Ce tissu présente un lien très étroit avec son tissu sous-jacent, la pulpe, qu'il entoure et protège.

En poids, ce tissu est composé de⁴ :

- 70% de cristaux d'hydroxyapatite
- 20% de matière organique
 - o 90% de collagène, surtout de type I
 - o 10% d'autres protéines
- 10% d'eau

1.1.1.3. Composition de la pulpe

La pulpe est un tissu conjonctif lâche non minéralisé, vasculaire et innervé, entouré par la dentine aussi bien dans sa portion coronaire que radiculaire. Elle est composée de 25% de matière organique et de 75% d'eau : c'est le tissu garant de la « vitalité » de la dent.

On distingue alors quatre zones au sein de cette dernière^{5, 6}:

La couche odontoblastique, la plus externe, composée d'odontoblastes en palissade envoyant leurs prolongements dans le tissu sus-jacent : la dentine.

- La zone acellulaire de Weil, faible zone dépourvue de cellules
- La couche sous odontoblastique de Höehl, cellulaire et située sous la couche précédente, outre quelques fibroblastes et des cellules dendritiques, elle est intéressante car contient les cellules indifférenciées de Höehl pouvant se différencier en odontoblaste en situation d'agression.
- La zone centrale, contenant :
 - o De nombreux éléments cellulaires : fibroblastes, macrophages, cellules indifférenciées...

⁴ Goldberg, « Histologie du complexe dentinopulpaire ».

⁵ Piette et Goldberg, *La dent normale et pathologique*.

⁶ Lasfargues et Colon, *Odontologie conservatrice et restauratrice. Tome 1, une approche médicale globale*.

- Une matrice extracellulaire représentée par une substance fondamentale représentative des tissus conjonctif (glycosaminoglycanes et glycoprotéines) et par le collagène, essentiellement de type I et de type III

1.1.2. Biologie de l'endodonte

1.1.2.1. Complexe dentino-pulpaire

La pulpe n'est pas un tissu isolé au sein de l'organe dentaire : elle agit en symbiose avec la dentine, au sein de laquelle, nous retrouvons des tubuli contenant les prolongements cellulaires d'odontoblaste situés dans la couche odontoblastique en bordure de la pulpe⁷.

La dentine est en constante évolution par apposition de dentine intra-tubulaire, en périphérie du prolongement odontoblastique.

Cette apposition étant continue jusqu'à fin de vie de l'organe dentaire, tend à oblitérer les tubuli dentinaires, partiellement à l'origine de la diminution de sensibilité sur une dent agressée.

Ceci justifie l'utilisation du terme « complexe dentino-pulpaire », où la pulpe d'une dent permanente mature joue un rôle décisif face aux stimuli, grâce à son pouvoir sécréteur. Et ce, aussi bien au sein de la dentine, dans les tubuli où le prolongement odontoblastique persiste, qu'à la jonction pulpe - dentine, où se situe la barrière odontoblastique constituées des corps cellulaires.

1.1.2.2. Symbiose dentinopulpaire

De ce complexe dentinopulpaire, une symbiose biologique de ces deux tissus se met en place.

En effet, on relève une synergie d'action notamment lors de la sécrétion et de l'apposition dentinaire. Au delà de l'apposition primaire lors de la dentinogenèse, lorsque la dentine est agressée, le stimulus perçu plus ou moins en périphérie, est transmis vers la jonction pulpodentinaire, et plus ou moins en profondeur dans la pulpe camérale, en fonction de l'importance de l'agression. Ceci permet alors une formation de dentine ayant pour but de protéger la pulpe dentaire sous-jacente⁸.

On distingue différents types de sécrétion dentinaire sur dent permanente mature :

- La dentine dite « secondaire », physiologique et continue tout au long de la vie de la dent. Elle est responsable de la diminution physiologique du volume pulpaire global (caméral et canalaire) dans le temps

⁷ Goldberg, « Histologie du complexe dentinopulpaire ».

⁸ Lasfargues et Colon, *Odontologie conservatrice et restauratrice. Tome 1, une approche médicale globale*.

- La dentine dite « tertiaire » et « réactionnelle » à un stimuli nocif, une agression n'ayant pas endommagée la barrière odontoblastique, donc physiopathologique.
- La dentine dite « tertiaire » et « réparatrice », lorsque la barrière odontoblastique est endommagée et nécessitant le recrutement sur le site de l'agression de nouvelles cellules progénitrices. Elles proviennent soit de la couche cellulaire sous odontoblastique de Höehl⁹, soit des cellules mésenchymateuses indifférenciées de la pulpe camérale (Dental Pulp Stem Cells¹⁰)

1.1.2.3. Vascolarisation et recrutement de cellules progénitrices

Le tissu pulpaire est le seul tissu vascularisé de la dent : il apporte le qualificatif « vivant » à l'organe dentaire en apportant les nutriments nécessaires aux cellules et représente également une source de cellules progénitrices pulpaires.

Sa vascularisation provient des troncs vasculaires alvéolaires, et chemine en artériole pour pénétrer dans l'organe dentaire via le foramen apical pour former un réseau complexe de capillaires jusqu'à la chambre pulpaire. Ces capillaires se regroupent apicalement en veinule pour assurer le retour veineux mais des anastomoses artérioveineuses camérales existent et permettent une « suppléance » lors d'une agression pulpaire.¹¹

Ce réseau artérioveineux est sous le contrôle de fibres nerveuses vasomotrices permettant de contrôler la dilatation ou la constriction de ces dernières¹²

Finalement, en dehors de l'apport de nutriments, le réseau vasculaire permettrait également le recrutement de cellules souches progénitrices.

Des cellules souches pourraient donc migrer de la moelle osseuse vers la pulpe afin de suppléer ou compléter les cellules souches déjà présentes in situ, notamment dans les processus de réparation pulpaire¹³.

⁹ Piette et Goldberg, *La dent normale et pathologique*.

¹⁰ Gronthos et al., « Postnatal human dental pulp stem cells (DPSCs) in vitro and in vivo ».

¹¹ Piette et Goldberg, *La dent normale et pathologique*.

¹² Lasfargues et Colon, *Odontologie conservatrice et restauratrice. Tome 1, une approche médicale globale*.

¹³ Lasfargues et Colon.

1.1.3. Histopathologie de l'endodonte

1.1.3.1. Informations nociceptives en situation pathologique

Lors d'une situation pathologique, le patient perçoit des informations nociceptives qui permettent de déclencher une alerte clinique. C'est l'anamnèse de cette douleur qui permettra au praticien de corréler la situation clinique pulpaire à un état histopathologique de l'endodonte, même si la corrélation parfaite entre clinique et histologie est limitée.

La nociception est assurée par l'innervation sensitive de la dent qui est dense au sein l'endodonte, cheminant du foramen apical jusqu'à la chambre pulpaire où les fibres nerveuses forment le plexus de Raschkow, spécifiques de la douleur.

On distingue alors deux types de fibres nerveuses responsables de la nociception¹⁴ :

- Les fibres A β (10%) et principalement A δ (90%), myélinisées, présentant donc une vitesse de conduction élevée, impliquée dans la perception de douleur aigue et vive, principalement situées en bordure à la jonction pulpo-dentinaire et dans les cornes pulpaires.
- Les fibres C, non myélinisée avec une vitesse de conduction plus faible, impliquée dans la perception de douleur permanente et sourde, principalement situées en profondeur de la pulpe et dans la couche acellulaire de Weil.

Les fibres nerveuses sont extrêmement sensibles à la modification de leur environnement : en situation pathologique, la pression exercée par l'inflammation sur ces dernières, dans une cavité inextensible qu'est l'endodonte, explique les douleurs importantes ressenties par le patient.

De par la perception nociceptive, des tests de sensibilité thermiques et électriques sont de bons indicateurs pour évaluer l'état pulpaire en procédant par la réponse nerveuse, mais il reste actuellement difficile d'évaluer la vitalité pulpaire à proprement dit, concernant la part vasculaire de l'endodonte notamment.

Cela complique l'établissement de critères décisionnels clairement définis dans nos thérapeutiques de pulpotomie cervicale.

1.1.3.2. Stades histopathologiques d'intérêts

L'un des objectifs de la pulpotomie cervicale sur la dent permanente en alternative au traitement endodontique est de préserver la vitalité pulpaire : le stade histopathologique de nécrose pulpaire est donc exclu des indications de cette thérapeutique.

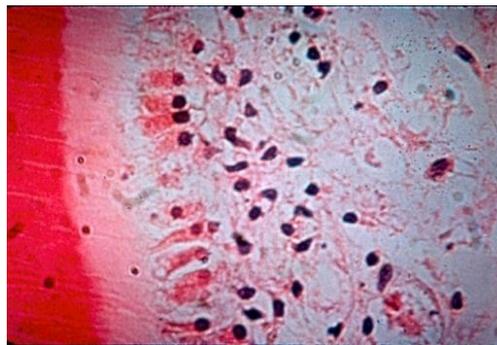
¹⁴ Abd-Elmeguid et Yu, « Dental pulp neurophysiology. Part 1. Clinical and diagnostic implications ».

En situation pathologique, la pulpe peut être irritée par différents facteurs : bactérien lié essentiellement à la progression d'une lésion carieuse et les traumatismes mécaniques, thermiques et chimiques, qui peuvent être ou non iatrogènes.

Face à ces agressions, nous pouvons distinguer deux stades histopathologiques d'intérêt : l'hyperhémie pulpaire et la pulpite aiguë

➔ **Hyperhémie pulpaire¹⁵** :

Figure 1 : Coupe histologique à la jonction pulpo-dentinaire au stade d'Hyperhémie pulpaire



Source : Kaqueler J.C., Le May O. Anatomie pathologique bucco-dentaire, 1998

L'hyperhémie pulpaire correspond au stade initial de l'inflammation lorsque la pulpe est irritée : la partie de l'endodonte impliquée est limitée, localisée et peu étendue.

Face aux stimuli, les odontoblastes libèrent des médiateurs chimiques à l'origine de l'apparition d'un œdème et d'un exsudat plasmatique, et agissant d'autre part sur la vasomotricité par dilatation entraînant un ralentissement du flux sanguin.

Cela entraîne également une migration de différentes populations cellulaires :

- Margination des cellules de défense, notamment des polymorphonucléaires neutrophiles, depuis les vaisseaux sanguins, et migration vers les odontoblastes lésés
- Migration des cellules pulpaires progénitrices vers la couche acellulaire de Weil.

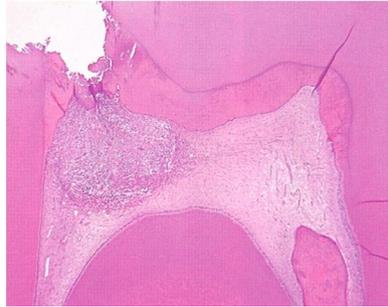
Après la suppression du facteur irritant, à distance relative de l'hyperhémie pulpaire, la situation tend vers la guérison.

Si l'agression persiste, associée à une invasion bactérienne de l'endodonte, une pulpite aiguë peut survenir.

¹⁵ Kaqueler et Le May, *Anatomie pathologique bucco-dentaire*.

→ **Pulpite aigue¹⁶** :

Figure 2 : Coupe histologique d'une effraction pulpaire au stade de Pulpite Aigue



Source : Lindhe J., Lang N.P., Karring T. clinical periodontology and implant dentistry, 2008

La pulpite aigue correspond à un stade plus avancé, lorsque le facteur irritant est en contact avec une partie plus ou moins étendue de la pulpe.

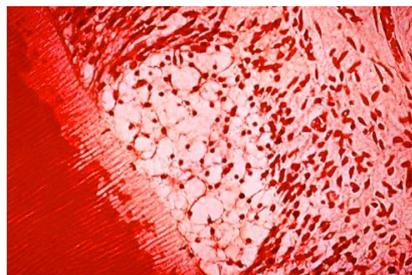
Les phénomènes observés dans l'hyperhémie pulpaire sont exacerbés (infiltrat inflammatoire leucocytaire, vasodilatation), à l'origine d'un œdème plus important qui tend à détruire totalement la barrière odontoblastique.

L'arrivée massive de cellules leucocytaires entraîne également la destruction de la matrice extracellulaire, notamment du collagène, par libération d'enzymes protéolytiques.

Ces destructions tissulaires aboutissent souvent à la formation de micro-abcès dans la zone lésée, plus ou moins limités par des cellules de défenses mais pouvant s'étendre à l'ensemble du tissu pulpaire si l'agression persiste.

Les produits de dégradations du tissu lésé sont digérés par phagocytose par les macrophages.

Figure 3 : Coupe histologique pulpaire et présence de micro-abcès



Source : Kaqueler J.C., Le May O. Anatomie pathologique bucco-dentaire, 1998

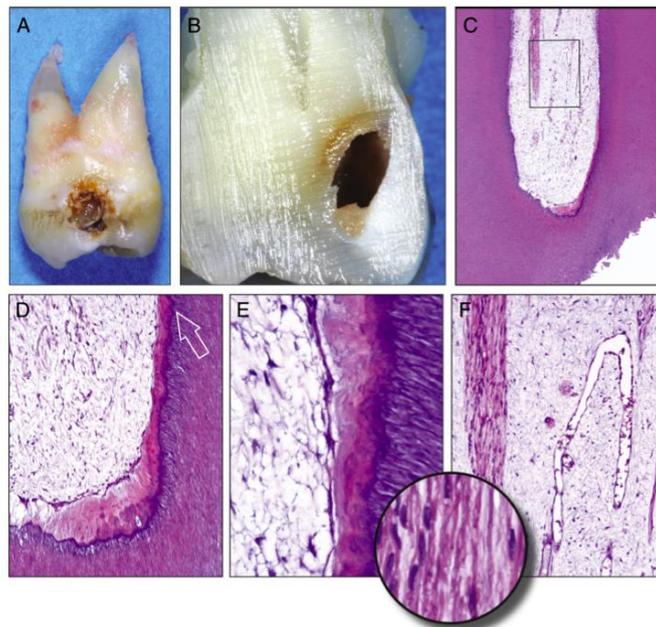
¹⁶ Kaqueler et Le May.

1.1.3.3. Pulpite aigue et Réversibilité

En présence d'un facteur irritant à distance relative de l'endodonte, l'hyperhémie est quasi-constante. Le clinicien doit supprimer ce facteur afin de rétablir la santé endodontique même s'il n'est pas à l'abri d'une irritation iatrogène secondaire (Murray et al 2003). Mais en présence d'une pulpite aigue, le critère permettant au clinicien de guider sa pratique reste la réversibilité de l'inflammation.

➔ **Pulpite aigue réversible**¹⁷ :

Figure 4 : Coupe dentaire et coupe histologiques au stade de pulpite aigue réversible



Source : Ricucci et al., Correlation between clinical and histologic pulp diagnoses, 2014

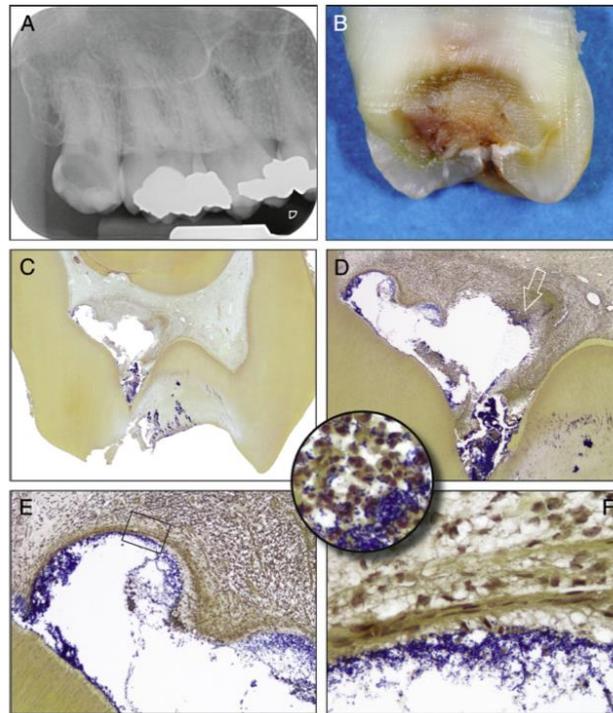
Ce stade histologique peut être caractérisé par un tissu moins cellularisé et présentant une matrice extracellulaire plus importante en collagène. La couche odontoblastique peut être réduite avec des îlots de calcifications diffus. Une inflammation chronique modérée peut être observée avec une concentration modérée de lymphocytes et plasmocytes dans les zones les plus profondes sans modification de l'architecture de la pulpe saine.

Il ne doit y avoir ni zones de coagulation ou de nécrose de liquéfaction, ni bactéries.

¹⁷ Ricucci, Loghin, et Siqueira, « Correlation between clinical and histologic pulp diagnoses ».

➔ **Pulpite aigue irréversible¹⁸** :

Figure 5 : Radiographie rétro-alvéolaire, coupe dentaire et coupe histologiques au stade de pulpite aigue irréversible



Source : Ricucci et al., Correlation between clinical and histologic pulp diagnoses, 2014

Le stade de pulpite aigue irréversible révèle une nécrose partielle ou totale de la pulpe : il existe au moins une zone, même petite, ayant subi une nécrose de liquéfaction ou ayant coagulé, entourée de polymorphonucléaires neutrophiles vivants ou morts.

En périphérie, l'infiltrat inflammatoire constitué de lymphocytes, plasmocytes et macrophages forme un halo dense autour de zones de micro-abcès centrales.

On retrouve également des agrégats bactériens au contact de la pulpe nécrotique et sur les parois de dentine adjacentes.

Une effraction pulpaire par la lésion carieuse peut être présente ou absente.

Finalement, les stades histologiques sont difficiles à appréhender cliniquement pour le praticien.

¹⁸ Ricucci, Loghin, et Siqueira.

Concernant la pulpite aiguë, les critères décisionnels sur la réversibilité reposent actuellement sur le pronostic du traitement (retour ou non à une situation de silence clinique après suppression du facteur irritant¹⁹) et sur la réponse nociceptive (présence ou non de douleur spontanée, accentuée par des stimuli thermiques, rémanence après application de stimuli²⁰).

Mais malgré des critères cliniques non parfaitement superposables aux critères histologiques, ces derniers présentent une bonne corrélation dans l'ensemble et peuvent être associés dans la pratique clinique quotidienne dans la majorité des cas ; même si les moyens d'un diagnostic pulpaire fiable sont perfectibles²¹.

1.2 Matériaux bioactifs : les silicates tricalciques

L'identification des stades d'inflammation pulpaire et la corrélation clinico-histologique a permis, in fine, de mieux comprendre les mécanismes pour proposer une thérapeutique adaptée en fonction de l'évolution naturelle de la pathologie endodontique.

Initialement, face à une atteinte pulpaire précoce ou iatrogène, l'application d'un biomatériau au contact direct d'une plaie pulpaire, dans le but de favoriser sa cicatrisation et son oblitération par un pont dentinaire néoformé a été proposé par Hess, en 1937 : c'est le coiffage pulpaire direct, notamment à l'aide d'un matériau tel que l'hydroxyde de calcium (Ca(OH)₂).

Cette opération, cliniquement éprouvée depuis, permettait donc la conservation pulpaire, en accord avec la catégorie II de la classification de Baume. Classification permettant la corrélation entre l'état pulpaire et la thérapeutique²²

En revanche, lorsque l'atteinte pulpaire est plus importante, irréversible, la biopulpectomie suivie d'une obturation radiculaire reste, encore aujourd'hui en majeure partie, le traitement de référence.

L'apparition de nouveaux matériaux bioactifs ouvre de nouveaux horizons dans les thérapeutiques pulpaires et semblerait pouvoir apporter un élément de réponse concernant la prise de décision clinique devant une corrélation délicate, parfois floue, entre l'état d'inflammation pulpaire et les thérapeutiques associées déjà proposées.

1.2.1. Biommatériaux et biocompatibilité pulpaire

¹⁹ Torabinejad et al., *Endodontie : principes et pratique*.

²⁰ Woda et al., « Réflexions sur les critères diagnostiques des maladies pulpaires et parodontales d'origine pulpaire ».

²¹ Ricucci, Loghin, et Siqueira, « Correlation between clinical and histologic pulp diagnoses ».

²² Baume, « Essai d'une classification clinique des pulpopathies ».

Les biomatériaux utilisés au contact direct du tissu pulpaire, dans l'ordre chronologiques sont : l'hydroxyde de calcium (Hess en 1937), le Mineral Trioxide Aggregate (Torabinejad, développé en 1993 pour les obturations apicales puis en 1996 au contact pulpaire) et la Biodentine® (développé par les chercheurs de Septodont et présenté en 2010).

A titre informatif, la compagnie canadienne Innovative BioCeramix a commercialisé en 2007 également un nouveau matériau biocompatible avec l'endodonte : les matériaux biocéramiques.

1.2.1.1. Hydroxyde de Calcium, Ca(OH)₂

- **Composition** : L'hydroxyde de Calcium, Ca(OH)₂, également appelé chaux hydratée car obtenu par hydratation de la chaux, CaO, se présente sous la forme d'une poudre liquide blanche. L'hydroxyde de calcium existe sous différentes formes galéniques et présente en solution aqueuse une dissociation en ions Ca²⁺ et OH⁻ et présente un pH = 12,5 à 12,8

- **Formes galéniques** : l'hydroxyde de calcium est commercialisé sous différentes formes

- Dans un contenant (ex : gélule) pour préparation magistrale, sous forme de poudre blanche à mélanger avec un liquide (eau distillée, sérum physiologique, solution anesthésique) afin d'obtenir une pâte prêt à l'emploi.
- En seringue injectable sous forme aqueux (ex : Hycal®, Acteon)
- Sous forme durcissante :
 - À prise chémo avec une base et un catalyseur (ex : Dycal®, Dentsply – Calcimol®, Voco)
 - À prise photo (ex : Calcimol® LC, Voco)

- **Indications** : les différentes formes galéniques se prêtent plus ou moins aisément à certaines indications²³

- Coiffages pulpaires directs et indirects
- Pulpotomies
- Médication intracanalair en cas de suintement ou de saignements
- Obturation de perforations
- Traitements des résorptions externes et internes
- Traitement de fractures radiculaires
- Thérapeutiques d'apexogenèse et apexification

²³ Aayushi et al., « Calcium hydroxide in endodontics ».

1.2.1.2. Mineral Trioxide Aggregate (MTA)

• **Composition** : Le MTA est un dérivé du ciment de Portland utilisé dans l'industrie du béton.

Le ciment de Portland contient du Gypse et du Clinker contenant lui-même quatre phases principales (le silicate tricalcique, le silicate dicalcique, l'aluminate tricalcique et l'aluminoferrite tétracalcique).

On distingue le GMTA (Gris) et le WMTA (Blanc) présentant des différences surtout dans leurs concentrations en oxyde d'aluminium (Al_2O_3), oxyde de Magnésium (MgO), oxyde ferreux (FeO). Son pH après la prise est de 12,5.²⁴

Tableau 1 : Composition du GMTA et du WMTA

| Composition chimique | GMTA (% en poids) | WMTA (% en poids) |
|--|-------------------|-------------------|
| Oxyde de Calcium (CaO) | 40,45 | 44,23 |
| Dioxyde de Silicium (SiO ₂) | 17,00 | 21,20 |
| Trioxyde de Bismuth (Bi ₂ O ₃) | 15,90 | 16,13 |
| Oxyde d'Aluminium (Al ₂ O ₃) | 4,26 | 1,92 |
| Oxyde de Magnésium (MgO) | 3,10 | 1,35 |
| Trioxyde de Soufre (SO ₃) | 0,51 | 0,53 |
| Chlore (Cl) | 0,43 | 0,43 |
| Oxyde Ferreux (FeO) | 4,39 | 0,40 |
| Pentaoxyde de Phosphore (P ₂ O ₅) | 0,18 | 0,21 |
| Dioxyde de Titane (TiO ₂) | 0,06 | 0,11 |
| Acide Carbonique (H ₂ O + CO ₂) | 13,72 | 14,49 |

Source : Macwan C., Deshpande A., Mineral trioxide aggregate (MTA) in dentistry : A review of literature. 2014

• **Forme galénique** : Le MTA existe sous deux formes

- Sous forme de poudre conditionnée dans des sachets (ProRoot MTA, Dentsply – MTA Angelus, Dental DCP), initialement grise mais qui pour un souci d'esthétique, existe en blanche à présent.
- Sous forme de capsule (MM-MTA, Micromega) à vibrer

La poudre doit être mélangée à de l'eau distillée pour obtenir une pâte prête à l'emploi : les proportions poudre/liquide sont de 3/1.

²⁴ Macwan et Deshpande, « Mineral trioxide aggregate (MTA) in dentistry : a review of literature ».

• **Indications** : Le MTA recoupe de nombreuses indications avec l'hydroxyde de calcium

- Coiffages pulpaire
- Pulpotomies
- Obturation de perforations (apicales, latérales et de la furcation)
- Traitement des résorptions internes ou externes
- Traitement des fractures radiculaires
- Thérapeutiques d'apexogenèse et d'apexification
- Obturation a retro

1.2.1.3. Biodentine®

• **Composition** : La Biodentine® est un « nouveau » silicate tricalcique apparu en 2010 et se présentant comme un ciment inorganique de restauration et substitut dentinaire.

La Biodentine® présente deux composants : leur mélange permet d'obtenir une gel qui en durcissant donne un pH basique variant entre 8 et 9²⁵

- Une poudre composée de
 - o Silicates tricalciques (composant principal)
 - o Silicates dicalciques (composant secondaire)
 - o Carbonate de calcium et Oxyde de calcium (charges/filler)
 - o Oxyde de Fer (Opacifiant)
 - o Dioxyde de Zirconium (Radio-opacifiant)
- Un liquide, une solution aqueuse composée de :
 - o Chlorure de Calcium (accélérateur)
 - o Polymère hydrosoluble (agent réducteur d'eau)

• **Forme galénique** : La Biodentine® est commercialisée sous forme de capsule rigide contenant une poudre blanche prédosée dans laquelle il faut verser cinq gouttes de liquide puis faire vibrer pendant trente secondes.

• **Indications** :

- Substitut dentinaire dans les cavités profonde, technique « Step Wise »
- Coiffages pulpaire directs et indirects
- Pulpotomies

²⁵ Rajasekharan et al., « Biodentine™ material characteristics and clinical applications : a review of the literature ».

- Obturation de perforations (latérales et de la furcation)
- Traitement des résorptions externes apicales et cervicales
- Thérapeutiques d'apexogenèse et d'apexification
- Obturation a rétro

1.2.2. Propriétés des matériaux de coiffage

1.2.2.1. Hydroxyde de Calcium²⁶, Ca(OH)₂

• **Action antimicrobienne et antifongique** : en solution, les ions Ca²⁺ de l'hydroxyde de calcium réagit avec le carbone (sous forme CO₂ ou CO₃²⁻) de la surface dentaire formant ainsi du CaCO₃ maintenant un pH incompatible avec la survie bactérienne et fongique.

De plus, les ions OH⁻, radicaux libres oxydants, libérés dans l'environnement causeraient des dommages sur la membrane les protéines et l'ADN bactérien.

Il présente également une activité anti-endotoxine bactérienne en les inactivant, notamment chez les bactéries de Gram négatif.

• **Action inductrice sur la minéralisation et anti-inflammatoire** : Son pH élevé induit une nécrose pulpaire superficielle sur 2mm (Etoile et Holland, 2009) utilisable comme matrice dans la formation d'une barrière minéralisée (Hess et coll 1990)

• **Activité dépendant du liquide utilisé dans le mélange** : une variabilité de son activité peut survenir en fonction du liquide utilisé pour le mélange, et donc également en fonction de la forme galénique utilisée.

• **Effet dessiccateur sur la dentine** : l'exposition prolongée à la dentine (6 à 1 an) de l'hydroxyde de calcium induit une diminution de résistance dentinaire à la flexion.

• **Accélérateur des résorptions inflammatoires** : la diffusion des ions hydroxydes au travers de la dentine dans les zones de résorption radiculaire où le pH est acide tend à accélérer la progression de la résorption inflammatoire des racines.

• **Étanchéité** : l'étanchéité varie en fonction de la forme galénique mais l'hydroxyde de calcium n'est pas considéré comme un matériau étanche.

• **Radio-opacité** : l'hydroxyde de calcium a la même radio-opacité que la dentine.

• **Biocompatibilité** : il existe des controverses concernant la biocompatibilité des produits de scellement à base d'hydroxyde de calcium mais la plupart des études ont conclu que leur biocompatibilité est acceptable.

²⁶ Aayushi et al., « Calcium hydroxide in endodontics ».

1.2.2.2. Mineral Trioxide Aggregate²⁷ (MTA)

- **Résistance à la compression** : leur résistance à la compression à 24 heures est de 40,0 MPa et à 21 jours de 67,3 MPa (à titre indicatif, la résistance à la compression de l'émail est de 384MPa et celle de la dentine de 297 MPa). Il semblerait que la résistance à la compression du GMTA soit supérieure à celle du WMTA (*Torabinejad et al, 1995*)
- **Radio-opacité** : elle est comparable à celle de l'oxyde de Zinc Eugénol (*Shah PMN, 1996*) mais l'opacité radioélectrique moyenne du MTA est de 7,17mm d'épaisseur équivalente d'aluminium, ce qui est suffisant pour faciliter la visualisation radiographique (*Torabinejad et al, 1995*)
- **Solubilité** : le MTA est insoluble, mais si les proportions lors du mélange ne sont pas respectées, la solubilité peut être augmentée.
- **Adaptation marginale et étanchéité** : le MTA semblerait présenter une excellente étanchéité car il se dilate pendant sa prise. En milieu humide, l'étanchéité du MTA est augmentée avec l'expansion de prise : il est suggéré de placer un coton humide à son contact avant de réaliser la restauration d'usage. Une épaisseur d'environ 4mm de MTA suffirait pour assurer une bonne étanchéité (*Valois et al. 2004*)
- **Action antibactérienne et antifongique** : le MTA n'a montré aucune action antimicrobienne sur les anaérobies strictes (*Torabinejad et al, 1995*)
- **Biocompatibilité** : le MTA est non mutagène et moins cytotoxique de que le Super EBA et l'IRM (*Kettering et Torabinejad, 1995*). Le MTA serait non seulement biocompatible mais également bioinducteur.
- **Bioactivité** : le MTA au contact du tissu pulpaire induit la formation d'un pont dentinaire, plus rapidement qu'avec l'hydroxyde de calcium. Ce pont dentinaire serait de meilleure qualité que celui formé par l'hydroxyde de calcium (*Faraco et al. 2001*).
Le MTA stimulerait la formation de dentine tertiaire réparatrice et favoriserait la guérison tissulaire (*Dominguez et al, 2003*).

1.2.2.3. Biodentine^{®28}

- **Résistance à la compression** : elle s'élève à 10,6 ±2MPa à 35 minutes, 57,1±12MPa à 24 heures et 72,6±8MPa à 28 jours (*Grech et al, 2013*). Ces valeurs supérieures au MTA sont attribuées au faible rapport eau/ciment grâce aux polymères hydrosolubles du liquide.

²⁷ Macwan et Deshpande, « Mineral trioxide aggregate (MTA) in dentistry : a review of literature ».

²⁸ Rajasekharan et al., « BiodentineTM material characteristics and clinical applications : a review of the literature ».

Par ailleurs, la résistance à la flexion (34 MPa), le module d'élasticité (22 GPa) et la dureté Vickers (60 HV) sont plus élevés que celle du MTA et semblable à la dentine. Elle serait également plus dense et moins poreuse que le MTA (Camilleri et al. 2013).

- **Radio-opacité** : après immersion dans une solution saline équilibrée de Hanks (HBSS), la radio-opacité de la Biodentine® est de 4,1/mmAl après 1 jour et de 3,3/mmAl après 28 jours. Ceci est inférieur à celui du Bioaggregate et de l'IRM (Grech et al, 2013). La radio-opacité dans ces conditions opératoires semble inférieure à celle indiquée pour le MTA dans la partie précédente.

- **Résistance à l'acidité** : la Biodentine® ayant un pH alcalin, sa résistance de liaison est altérée à des faibles valeurs de pH (valeurs significativement plus basses à pH=4,4 comparativement à pH=7,4) (Poplaj et al, 2012)

- **Étanchéité** : les microinfiltrations évaluées dans les restauration sandwich ouvert montrent des résultats similaires dans le joint Biodentine®/dent que CVIMAR/dent (Koubi et al, 2012).

En revanche, une autre étude montrerait une perte d'étanchéité de la Biodentine® à l'interface avec la dentine, avec mordantage ou non de la surface dentinaire, ce qui n'est pas le cas avec le Fuji IX et le Vitrebond. (Camilleri, 2013)

- **Collage sur la Biodentine®** : les systèmes auto-mordançants (SAM) ont montré une meilleure résistance à la rupture par cisaillement par rapport aux systèmes mordantage/rinçage (MR). (Odabas et al, 2013)

- **Conditionnement de la Biodentine®** : le stockage à sec entrainerait des fissures dans le matériau et des lacunes au niveau de l'interface dent/matériau (Camilleri et al. 2013)

- **Biocompatibilité** : la Biodentine®, à toute concentration, est non cytotoxique et non génotoxique au contact de fibroblastes lors de coiffages. (Laurent et al, 2008)

- **Bioactivité** : la Biodentine®, comme le MTA est riche en Calcium favorisant la formation de tissus durs. La cristallographie aux rayons X (XRD) a révélé la présence de cristaux d'hydroxyde de calcium au sein de la Biodentine® à 1 jour, contrairement au MTA.

Cependant, le MTA et la Biodentine® présentent des inclusion de cristaux d'hydroxyapatite à 28 jours (Camilleri et Al, 2013).

Par ailleurs, la synthèse de dentine tertiaire réparatrice au contact de la Biodentine® semblerait être induite par l'expression de la sialoprotéine dentinaire (DSP) et de l'ostéopontine chez le rat (Tran et al, 2012)

Finalement, la porosité (en pourcentage) du pont dentinaire formé au contact de la Biodentine® après 14 et 30 jours semblerait comparable à celle formée par le MTA. Ces ponts dentinaires formés au contact de silicates tricalciques sembleraient de meilleure qualité que celui formé au contact de l'hydroxyde de Calcium (Tran et al, 2012)

1.2.3. Matériaux d'intérêts

Dans le cadre de notre thérapeutique, la pulpotomie cervicale, de nombreux éléments concernant les propriétés physico-chimico-biologiques doivent évidemment être pris en compte.

Mais en complément de ces propriétés, la facilité de mise en œuvre du matériau doit également être évaluée, notamment au travers de la faisabilité clinique (temps de travail, temps de prise) et économique (coût du matériau, prise en charge par la sécurité sociale).

1.2.3.1. Mise en œuvre du biomatériau

La mise en œuvre concerne :

- **Sa faisabilité clinique** : évaluer la cohérence entre le temps nécessaire pour réaliser l'acte au fauteuil, et le temps de travail et de prise du matériau.
- **Sa faisabilité économique** : évaluer le coût du matériau et le coût de l'acte pour le patient ainsi que la prise en charge par la sécurité sociale, en France.

Pour l'acte de « coiffage pulpaire », la CCAM, en France prévoit une codification : « Hbfd010 : Parage de la plaie de la pulpe d'une dent avec coiffage ». En revanche, cet acte est non remboursable. Autrement dit, le tarif est fixé par le praticien, qui doit évaluer sa pratique et la mise en œuvre globale de son matériau, afin de tarifier avec tact et mesure. Le patient n'est pas remboursé par la sécurité sociale de ce tarif.

➔ Hydroxyde de calcium :

- Faisabilité clinique : pour l'hydroxyde de calcium, dans le cadre du coiffage pulpaire, il est intéressant d'étudier le temps de travail et de prise uniquement pour les formes galéniques durcissantes (à prise chémo et photo).

- Temps de travail :
 - A prise chémo (ex : Dycal®) : 2 minutes et 30 secondes (selon Dentsply)
 - A prise photo (ex : Calcimol LC®) : jusqu'à la photopolymérisation du matériau

- Temps de prise :
 - A prise chémo (ex : Dycal®) : 3 minutes et 30 secondes (selon Dentsply)
 - A prise photo (ex : Calcimol LC®) : jusqu'à la fin de photopolymérisation du matériau

- Faisabilité économique coût : le cout pour une application est variable car il dépend de la quantité utilisée par le praticien

- A prise chémo (ex : Dycal®) : 31,90€ le coffret contenant 13g de base et 11g de catalyseur (prix GACD en Février 2017)

- A prise photo (ex : Calcimol LC®) : 66€ pour 2 seringues de 2,5g (prix GACD en Février 2017)

➔ Mineral Trioxide Aggregate :

- Faisabilité clinique : elle dépend de la marque et de la forme galénique utilisée
 - Temps de travail :
 - ProRoot MTA® : 5 minutes (selon Dentsply)
 - MM-MTA : approximativement 2 minutes à 23°C (selon MicroMega)
 - Temps de prise :
 - ProRoot MTA® : il est de 2 heures²⁹, même si la prise continue pendant plusieurs jours avec le temps et la maturation du matériau
 - MM-MTA : il est de 20 minutes, et la prise complète serait de 2 heures (selon MicroMega)
- Faisabilité économique : coût :
 - ProRoot MTA® : 213€ les 4 sachets de 0,5g avec son liquide (prix GACD en Février 2017), soit 53,25€ par utilisation
 - MM-MTA : 64,40€ les 2 capsules de 0,3g (prix GACD en Février 2017), soit 32,2€ par utilisation

➔ Biodentine® :

- Faisabilité clinique :
 - Temps de travail : 6 minutes (selon Septodont)
 - Temps de prise : 12 minutes selon Septodont. La prise serait complète à 45min³⁰
- Faisabilité économique : Coût : 213€ pour 15 capsule de poudre et 15 dosette de liquide (Prix GACD Février 2017), soit 14,2€ par utilisation

1.2.3.2. Comparaison générale

Certaines caractéristiques étudiées précédemment sont à relever et à comparer dans notre situation afin d'identifier les matériaux d'intérêts dans la thérapeutique de pulpotomie cervicale.

²⁹ Hashem et Hassanien, « ProRoot MTA, MTA-Angelus and IRM used to repair large furcation perforations : sealability study ».

³⁰ Rajasekharan et al., « Biodentine™ material characteristics and clinical applications : a review of the literature ».

Tableau 2 : Caractéristiques de l'hydroxyde de Calcium, du MTA et de la Biodentine®

| Caractéristiques | Hydroxyde de Calcium (Ca(OH) ₂) | MTA | Biodentine® |
|---------------------------------|--|--|--|
| Action sur les micro-organismes | Action antimicrobienne et antifongique | Pas d'activité notable | Pas d'activité notable |
| Biocompatibilité | Controversée mais acceptable | Biocompatible | Biocompatible |
| Bioactivité | Inducteur dans la formation de pont dentinaire | Pont dentinaire formé de meilleure qualité (versus Ca(OH) ₂) | Pont dentinaire formé de meilleure qualité (versus Ca(OH) ₂) et formation plus rapide (versus MTA) |
| Étanchéité | Non étanche (dépendant de la forme galénique) | Bonne étanchéité | Étanche (variable en fonction des études) |
| Résistance à la Compression | N/D | 40 MPa (à 24h) 67,3 MPa (à 21j) | 57,1MPa (à 24h) 72,6MPa (à 28j) |
| Radio-opacité | Identique à la dentine | Radio-opacité suffisante pour se distinguer de la dentine | Moins Radio-opaque que le MTA (similaire à la dentine en pratique) |
| Faisabilité clinique | Mise en œuvre relativement facile | Chronophage et dépend de l'humidité du milieu | Moins chronophage |
| Faisabilité économique | Faible coût | Coût élevé | Coût acceptable |
| Effets néfastes | Effet dessiccateur sur la dentine | Pas de notification à ce jour | Pas de notification à ce jour |

Source : Auteur

1.2.3.3. Matériaux retenus

Après comparaison des éléments ci-dessus, il semblerait que :

- L'hydroxyde de calcium, de par sa non-étanchéité, la moins bonne qualité du pont dentinaire formé et surtout ses effets néfastes au long cours sur la dentine, ne serait pas un matériau d'intérêt pour notre thérapeutique.
- En revanche, les caractéristiques du MTA et de la Biodentine® en font des matériaux d'intérêts dans l'utilisation de la pulpotomie cervicale.

2 : La pulpotomie cervicale chez l'adulte – Raisonnement scientifique du succès clinique

2.1 Du concept scientifique à la réalisation clinique

Face à une agression, l'endodonte, contenant la pulpe dentaire, est plus ou moins atteint en fonction du type de l'agresseur (infectieux via le processus carieux, atteinte pulpaire iatrogène ou exposition pulpaire traumatique).

Il faut donc étudier les thérapeutiques pulpaire à mettre en œuvre lorsque la pulpe est agressée, comprendre leurs contextes biologiques et la réponse biologique postopératoire.

2.1.1. Contexte biologique du traitement de référence : la biopulpectomie

2.1.1.1. Contexte pulpaire et indication de la biopulpectomie

En accord avec les stades histopathologiques d'intérêts (1.1.3.2.), la pulpe libère dès le stade d'hyperhémie pulpaire des médiateurs de l'inflammation et recrute des cellules de défense sur le site : cela se produit notamment lors d'une agression bactérienne para-pulpaire ou lors de l'excavation du tissu carié, parfois pouvant aboutir à une **effraction pulpaire iatrogène**.

Au stade suivant de **pulpite aigue réversible**, bien que le tissu pulpaire ne présente ni zone de coagulation ou de nécrose de liquéfaction, la pulpe présente une inflammation nettement supérieure. L'agresseur parvient finalement à entrer en contact avec une partie plus ou moins importante de la pulpe à l'origine de micro-abcès au stade de **pulpite aigue irréversible**.

Ces stades présentent un intérêt certain dans l'étude de notre thérapeutique de pulpotomie cervicale en comparaison avec le traitement de référence qui reste la biopulpectomie.

2.1.1.2. Principe biologique et thérapeutique de la biopulpectomie

La présence de tissus inflammatoires, dégradés, plus ou moins infectés entretiennent l'inflammation et doivent être éliminés lors de la traitement pulpaire afin d'assurer le succès de la thérapeutique et un retour à un état de santé bucco-dentaire. Du moins, le facteur irritant doit être éliminé³¹.

³¹ Ricucci, Loghin, et Siqueira, « Correlation between clinical and histologic pulp diagnoses ».

Notamment, par définition, la pulpite aigue irréversible correspond à la présence d'un processus dégénératif sévère ne guérissant pas spontanément en l'absence de traitement³²

Ainsi, la biopulpectomie ou élimination chirurgicale complète du tissu pulpaire vivant³, suivi d'une obturation tridimensionnelle du système endocanalair, est le traitement de référence car il assure l'élimination du tissu infecté dans son ensemble.

Des thérapeutiques plus conservatrices que la biopulpectomie (coiffage pulpaire, pulpotomie partielle, pulpotomie cervicale) ont été proposées en accord avec les différents stades d'inflammation. Mais l'application de ces dernières reste complexe et réside notamment dans la difficulté de l'évaluation clinique de l'état pulpaire et du taux de succès controversé.

2.1.1.3. Sémiologie pulpaire

Afin d'évaluer l'état inflammatoire de la pulpe vivante, le praticien doit se référer d'une part à l'anamnèse et d'autre part à la batterie de tests disponibles³³.

Tableaux 3 : Sémiologie pulpaire au travers de l'anamnèse et des tests

| Anamnèse | Pulpite aigue réversible | Pulpite aigue irréversible |
|---|--------------------------|-----------------------------------|
| Douleur spontanée | Absente ou légère | Importante |
| Douleur aux stimuli thermiques | Sensibilité modérée | Importante |
| Douleur continue et répétée | Absente | Si application continu de stimuli |
| Douleur nocturne réveillant le patient | Absente | Présente |
| Douleur irradiante | Absente | Présente |

| Tests | Pulpite aigue réversible | Pulpite aigue irréversible |
|------------------------------------|--|--|
| Thermiques (froid et chaud) | Positive et peut légèrement exacerber la douleur et peut être légèrement rémanente | Positive et exacerbation importante au contact |
| Electrique | Valeurs positives | Valeurs positives |
| Percussion | Négative | Si parodontite apicale débutante |
| Palpation | Négative | Négative |

Source : Auteur

³² Qudeimat, Alyahya, et Hasan, « Mineral trioxide aggregate pulpotomy for permanent molars with clinical signs indicative of irreversible pulpitis : a preliminary study ».

³³ Ricucci, Loghin, et Siqueira, « Correlation between clinical and histologic pulp diagnoses ».

Le praticien est ainsi guidé par la conduite à tenir en fonction du diagnostic pulpaire posé. Même si la corrélation clinique et histologique est imparfaite, elle semble se révéler cohérente à 96,6% en pulpite aiguë réversible et à 84,4% en pulpite aiguë irréversible³⁴

2.1.2. Contexte biologique du traitement conservateur : la pulpotomie cervicale

2.1.2.1. Contexte médical de la thérapeutique

La pulpotomie cervicale est définie comme une thérapeutique de la pulpe vivante consistant en l'élimination chirurgicale la pulpe camérale tout en conservant la pulpe radiculaire en la recouvrant d'un matériau adapté protégeant la pulpe de lésions supplémentaires et favorisant sa guérison³⁵.

Cette thérapeutique vise à éliminer le tissu agressé, plus ou moins infecté, en accord avec les préceptes histopathologiques suggérant la suppression du facteur irritant ainsi que l'élimination du tissu atteint afin d'assurer le succès de la thérapeutique et le retour à l'homéostasie bucco-dentaire.

2.1.2.2. Réflexion biologique autour de la thérapeutique

Considérée initialement comme traitement d'urgence de la pulpite aiguë irréversible en temporisation avant la biopulpectomie, puis considérée comme thérapeutique transitoire permettant l'apexogenèse de dents permanentes immatures en utilisant un matériau de coiffage, cette thérapeutique est à présent étudiée comme traitement d'usage, alternative viable à la biopulpectomie.

En effet, en situation de pulpite aiguë, même irréversible, il est raisonnable de suggérer que la pulpe radiculaire soit saine, exempte d'inflammation, de contamination bactérienne et douée d'un potentiel de guérison : il serait raisonnable de la conserver afin de préserver la vitalité pulpaire si un matériau de coiffage le favorisant est utilisé³⁶.

Finalement, cette thérapeutique, certes moins invasive que la biopulpectomie et l'obturation du système endocanalair, élimine plus de tissu pulpaire que d'autres thérapeutiques (coiffages, pulpotomie partielle). Néanmoins, en l'absence d'outils diagnostiques plus performants et précis dans la détermination et guidage du praticien sur la zone inflammatoire plus ou moins infectée à éliminer, la pulpotomie cervicale permet de contrôler de manière efficace et sûre l'élimination du facteur

³⁴ Ricucci, Loghin, et Siqueira.

³⁵ Eghbal et al., « MTA pulpotomy of human permanent molars with irreversible pulpitis ».

³⁶ Taha, Ahmad, et Ghanim, « Assessment of mineral trioxide aggregate pulpotomy in mature permanent teeth with carious exposures ».

irritant ainsi que du tissu infecté et de respecter les préceptes thérapeutiques en accord avec l'histopathologie.

2.1.2.3. Intérêts et avantage de la thérapeutique

La biopulpectomie est considérée comme le traitement de choix des dents permanentes présentant une atteinte pulpaire d'origine carieuse et présentent un taux de succès élevé³⁷ de 95%³⁸

Mais la thérapeutique associée à un plateau technique lourd et complexe, des difficultés opératoires propres à l'anatomie endocanalaire (courbures, isthmes, canal et racines surnuméraires...) nécessitant parfois des explorations radiographiques poussées (CBCT) à l'origine de complications endodontiques (instruments fracturés, canaux oubliés, fausses routes, butées...)³⁹ nécessitant parfois un recours à des retraitements endodontiques difficiles...

Cela explique que le traitement endodontique soit chronophage⁴⁰ et que 78% des traitements endocanalaire en centre de santé seraient évalués comme inadéquats⁴¹.

La pulpotomie se présente donc comme une thérapeutique plus conservatrice et n'est pas plus invasive que de raison. Elle est moins chronophage et permet de prévenir les risques liés à la biopulpectomie et l'obturation incomplète du système endocanalaire.

La pulpe assure l'intégrité dentaire car elle assure sa vitalité donc sa défense, notamment dans le phénomène d'apposition de dentine réparatrice⁴².

Cela allant donc de pair avec les principes de « Minimal Invasive Dentistry » et de restauration a minima permettant ainsi d'augmenter la durée de vie de la dent atteinte sur l'arcade.

³⁷ Linsuwanont et al., « Treatment outcomes of mineral trioxide aggregate pulpotomy in vital permanent teeth with carious pulp exposure : the retrospective study ».

³⁸ Asgary et Eghbal, « Treatment outcomes of pulpotomy in permanent molars with irreversible pulpitis using biomaterials : a multi-center randomized controlled trial ».

³⁹ Thi et Bonte, « Intérêt du CBCT dans le traitement endodontique des racines surnuméraires ».

⁴⁰ Asgary et Eghbal, « Treatment outcomes of pulpotomy in permanent molars with irreversible pulpitis using biomaterials : a multi-center randomized controlled trial ».

⁴¹ Linsuwanont et al., « Treatment outcomes of mineral trioxide aggregate pulpotomy in vital permanent teeth with carious pulp exposure : the retrospective study ».

⁴² Alqaderi, Al-Mutawa, et Qudeimat, « MTA pulpotomy as an alternative to root canal treatment in children's permanent teeth in a dental public health setting ».

2.1.3. Apport des matériaux bioactifs à la thérapeutique et réponses biologiques

2.1.3.1. Apport des matériaux bioactifs

La thérapeutique de pulpotomie cervicale comme alternative viable à la biopulpectomie a été rendue possible avec l'apparition de matériaux biocompatibles avec le tissu pulpaire permettant ainsi la mise au contact direct du matériau au tissu pulpaire.

Les premières données disponibles du coiffage dans le cadre d'une pulpotomie ont été publiées par Cvek en 1978⁴³ avec comme matériau, l'hydroxyde de calcium.

Depuis, des matériaux d'intérêts comme le MTA ou la Biodentine® (1.2.3.3.) ont présenté des propriétés bien plus intéressantes, notamment dans le cadre de notre thérapeutique (cf. tableau de la partie 1.2.3.2)

2.1.2.2. Intérêts du coiffage

Le coiffage de la pulpe par un matériau bioactif présentent alors un apport certain pour le maintien de la vitalité pulpaire et a pour objectif de :

- Protéger et sceller la pulpe sous-jacente de toute recontamination bactérienne⁴⁴,
- Diminuer l'inflammation pulpaire sous-jacente⁴⁵
- Permettre la guérison de la pulpe sous-jacente^{46, 47}
- Permettre la formation d'un pont dentinaire de tissu minéralisé^{48, 49}
- Permettre la restauration de la perte de substance coronaire (CVI, composite, amalgame, coiffes, couronnes...)

⁴³ Borkar et Ataide, « Biodentine pulpotomy several days after pulp exposure: four case reports ».

⁴⁴ Eghbal et al., « MTA pulpotomy of human permanent molars with irreversible pulpitis ».

⁴⁵ Chueh et Chiang, « Histology of irreversible pulpitis premolars treated with mineral trioxide aggregate pulpotomy ».

⁴⁶ Taha, Ahmad, et Ghanim, « Assessment of mineral trioxide aggregate pulpotomy in mature permanent teeth with carious exposures ».

⁴⁷ Subay, Ilhan, et Ulukapi, « Mineral trioxide aggregate as a pulpotomy agent in immature teeth : long-term case report ».

⁴⁸ Linsuwanont et al., « Treatment outcomes of mineral trioxide aggregate pulpotomy in vital permanent teeth with carious pulp exposure : the retrospective study ».

⁴⁹ Asgary et Eghbal, « Treatment outcomes of pulpotomy in permanent molars with irreversible pulpitis using biomaterials : a multi-center randomized controlled trial ».

2.1.3.3. Réponses biologiques

L'étude histologique de dents traitées par pulpotomie cervicale à l'aide d'un biomatériau de coiffage bioactif au contact du tissu pulpaire a permis d'étudier leur réponse biologique.

Nos matériaux préconisés ont été évalués : chez l'Homme pour le MTA et chez le chien pour la Biodentine®.

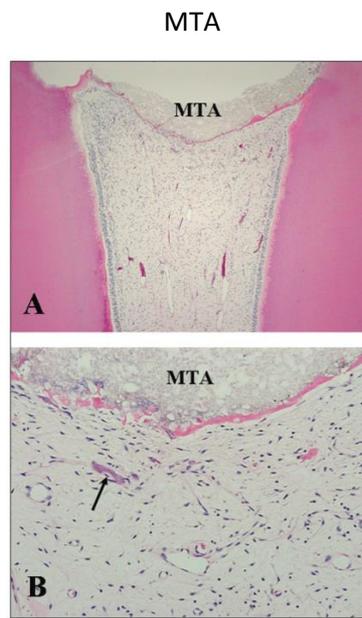
En effet, aucune étude histologique de dent traitée par pulpotomie cervicale à la Biodentine n'a pu être relevée dans la littérature. En revanche, l'étude histologique chez l'Homme a pu être réalisée dans le cadre de dents traitées au MTA car les dents traitées ont été extraites pour des raisons orthodontiques.

→ Etude histologique de la réaction biologique lors du coiffage au MTA chez l'Homme⁵⁰

Une patiente, âgée de 19 ans, présente une sensibilité au froid depuis 6 mois sur 45. Cliniquement et radiographiquement, la dent présente une lésion carieuse juxtapulpaire. Lors du test de sensibilité au froid, la patiente présente une douleur rémanente pendant deux à trois minutes.

A l'issue de l'examen, le diagnostic de pulpite aigue irréversible est posé : le plan de traitement orthodontique n'étant pas établi, la thérapeutique de pulpotomie cervicale au MTA a été proposée. La dent a été finalement extraite dans un second temps, à 10 mois postopératoires, pour raison orthodontique.

Figure 6 : Coupe histologique, colorée à l'hémalun-éosine, de 45 traitée par pulpotomie cervicale au



⁵⁰ Chueh et Chiang, « Histology of irreversible pulpitis premolars treated with mineral trioxide aggregate pulpotomy ».

Source : Chueh L-H. et Chiang C-P., Histology of irreversible pulpitis premolars treated with mineral trioxide aggregate pulpotomy, 2010

La figure A permet d'objectiver la formation d'un pont de dentine réparatrice sous le MTA et l'absence d'inflammation dans le tissu pulpaire sous-jacent. Un petit segment de la couche odontoblastique superficielle sous le pont dentinaire est détruit mais les couches odontoblastiques plus profondes sont intactes.

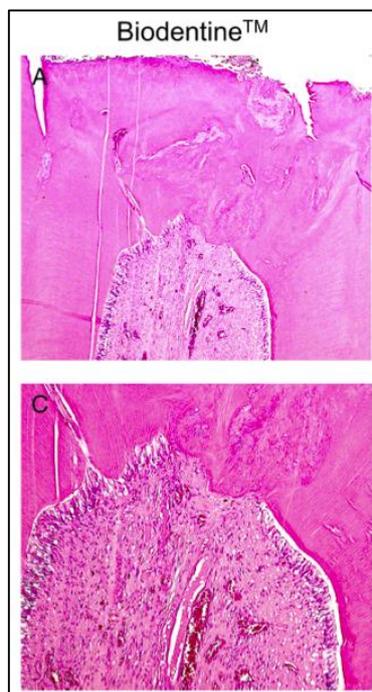
La figure B permet d'objectiver l'absence d'inflammation pulpaire et un petit foyer de calcification dystrophique dans le tissu pulpaire sous jacent.

➔ **Etude histologique de la réaction biologique lors du coiffage à la Biodentine® chez le chien**⁵¹

L'analyse histologique de la réaction pulpaire au cours d'une pulpotomie à la Biodentine® a été réalisée dans le cadre d'une étude de l'expression des marqueurs de la minéralisation dans la réponse pulpaire face à la Biodentine® et au MTA.

La population est canine, âgée de 12 mois, chez lesquels 87 spécimens de 2^{ème} et 3^{ème} prémolaires maxillaires et de 2^{ème}, 3^{ème} et 4^{ème} prémolaires mandibulaires ont été traitées par pulpotomie cervicale puis coiffée au les deux types de matériaux, puis comparés lors de l'extraction, 120 jours après la pulpotomie

Figure 7 : Coupe histologique de prémolaire d'origine canine traitée par pulpotomie cervicale à la Biodentine®



⁵¹ Daltoé et al., « Expression of mineralization markers during pulp response to biodentine and mineral trioxide aggregate ».

Source : Daltoé M.O. et al., Expression of mineralization markers during pulp response to Biodentine and mineral trioxide aggregate, 2016

Les coupes histologiques révèlent que la Biodentine® a induit la formation d'un tissu minéralisé dans le tiers cervical de la pulpe radiculaire.

De plus, d'autres analyses histologiques de cette étude révèlent la présence des biomarqueurs de la minéralisation tels que l'ostéopontine ou la phosphatase alcaline.

Ces études nous suggèrent qu'au contact d'un matériau bioactif tel que le MTA ou la Biodentine®, le tissu pulpaire est exempt d'inflammation, est capable de cicatriser et de former un pont dentinaire face au matériau de coiffage.

Chez le chien, il semblerait également que la Biodentine® stimule l'expression de mêmes biomarqueurs de la minéralisation que le MTA, mais que celle-ci serait plus intense avec la Biodentine® et couvrirait une zone pulpaire plus large, suggérant ainsi que la Biodentine® soit plus avantageuse dans le cadre de la pulpotomie cervicale.

2.2 Thérapeutique éprouvée chez l'enfant sur dent permanente immature et étendue à l'adulte sur la dent permanente mature

La pulpotomie cervicale est une thérapeutique proposée puis éprouvée dans la prise en charge des dents permanentes immatures ayant subi un dommage (traumatisme, lésion carieuse...) au sein de son tissu vivant, fondamental dans la persistance de la dent sur arcade alors que son édification radiculaire inachevée.⁵²

Cette thérapeutique, après un raisonnement scientifique de conservation tissulaire par bioinduction des matériaux bioactifs, s'est vue étendue et appliquée chez l'adulte sur dent permanente.

Il est donc intéressant d'étudier la mise en œuvre de la thérapeutique au travers de protocoles et résultats issus de diverses études, multiples, présentant des différences notables, mais in fine, justifiés et applicables afin de tenter d'établir des recommandations et les prémices d'un consensus sur la pulpotomie cervicale.

2.2.1. Bases scientifiques de la thérapeutique étendue chez l'adulte sur dent permanente mature

2.2.1.1. Thérapeutique éprouvée sur dent permanente immature

⁵² Witherspoon, « Vital pulp therapy with new materials : new directions and treatment perspectives-permanent teeth ».

La dent permanente immature (DPI) est une dent présente sur arcade mais n'ayant pas achevé son édification radiculaire. Cette édification radiculaire peut être perturbée lorsqu'elle subit un dommage (traumatisme, carie...) en relation plus ou moins directe avec son tissu vivant.

C'est ainsi que des thérapeutiques de conservation de la vitalité pulpaire ont été employées, afin de conserver le tissu pulpaire, garant de la poursuite de la maturation radiculaire sur dent permanente immature (apexogenèse).

En effet, les thérapeutiques endodontiques conventionnelles lorsque la pulpe est endommagée (pulpectomie et obturation tridimensionnelle de l'endodonte) sont difficiles à mettre en œuvre⁵³ devant les spécificités anatomiques de ces dents (parois canalaires larges et en tromblon, apex ouverts...) à l'origine d'échecs et de pronostics de conservation sur arcade largement discutés⁵⁴.

La pulpotomie cervicale sur dent vivante associée à un coiffage par un matériau bioactif inducteur a donc été reconnue, de manière universelle, comme une thérapeutique éprouvée lors d'une atteinte ou exposition pulpaire sur dent permanente immature afin de conserver « vivante » la pulpe radiculaire afin qu'elle exerce ses fonctions dans la poursuite de l'édification radiculaire (thérapeutiques permettant l'apexogenèse)⁵⁵.

2.2.1.2. Protocole et résultats

Au travers de nombreuses études ayant rendu intelligible le succès de la thérapeutique, il est intéressant d'étudier différents protocoles, ayant servi de base et reproduits lors de la mise en œuvre de la pulpotomie cervicale chez l'adulte, sur dent permanente mature.

Avant tout, deux paramètres sont à relever avant d'étudier le protocole dans son ensemble :

- La dent : le type d'agresseur (trauma^{56, 57}, lésion carieuse⁵⁸ ou iatrogène) et l'état pulpaire (pulpite réversible ou irréversible)

⁵³ Gudkina et al., « Review of the success of pulp exposure treatment of cariously and traumatically exposed pulps in immature permanent incisors and molars ».

⁵⁴ Harlamb, « Management of incompletely developed teeth requiring root canal treatment ».

⁵⁵ Keswani et al., « Comparative evaluation of platelet-rich fibrin and mineral trioxide aggregate as pulpotomy agents in permanent teeth with incomplete root development : a randomized controlled trial ».

⁵⁶ Ghodduzi et al., « Clinical and radiographic evaluation of vital pulp therapy in open apex teeth with MTA and ZOE ».

⁵⁷ El-Meligy et Avery, « Comparison of mineral trioxide aggregate and calcium hydroxide as pulpotomy agents in young permanent teeth (apexogenesis) ».

⁵⁸ Harandi, Forghani, et Ghodduzi, « Vital pulp therapy with three different pulpotomy agents in immature molars : a case report ».

- Le matériau : le type de matériau (MTA) – d’autres matériaux n’intéressant pas le but final de notre études sont également utilisés (PRF, CEM, Oxyde de Zinc Eugénol (ZOE) ou hydroxyde de calcium)

Ces paramètres ont notamment été prédéfinis dans les critères d’inclusion des études.

Le protocole de ces études présente également des différences, synthétisées et résumées dans le tableau suivant (nous nous intéresserons uniquement aux grandes lignes du protocole et du résultat global de la pulpotomie réalisée au MTA) :

Tableau 4 : Protocoles et résultats des articles du Corpus n°1

| | Article α | Article β | Article γ | Article δ | Article ε |
|-------------------------------------|--|---|--|--|--|
| Type de dents | Incisives et Molaire | Molaires | Incisives et Molaires | Molaires | Incisives, Prémolaires et Molaires |
| Anesthésie | Oui | Lidocaïne 2% (1/100 000) | Lidocaïne 2% (1/800 000*) | Lidocaïne 2% (1/80 000) | Oui |
| Pose de Digue | Oui | Oui | Seulement après le curetage | Oui | Oui |
| Curetage Carieux | N/D | Curetage jusqu’à la dernière couche avant effraction | Curetage jusqu’au « toit » à la fraise diamantée | N/D | Fraisage sous irrigation |
| Pulpotomie | Fraise boule diamantée sur turbine sous irrigation de solution saline | Effraction avec Fraise n°330 (Dentsply®) sous irrigation d’eau + Excavateur | Fraise boule Carbure de Tungstène | Fraise boule diamantée sous irrigation d’eau | Excavateur et fraise boule stérile |
| Contrôle de l’Hémostase | Irrigation solution saline (2mL) + Coton imbibé de NaOCl (5%) en pression (1min) | Coton imbibé de solution saline en pression (2-3 min, sans dépasser 5min) | Irrigation solution saline ou NaOCl (2,5%) | Coton et NaOCl (5,25%) | Coton imbibé de solution saline |
| Matériau de Coiffage | GMTA (3mm) + coton humide | WMTA (3-4mm) + coton humide | MTA-Angelus® + coton humide | ProRoot MTA® + coton | MTA + coton |
| Matériau de Restauration Provisoire | Ciment oxyde de Zinc Eugénol (KALZINOL®) | CAVIT | CVI photo-polymérisable | CAVIT | IRM |
| Délai avant Restauration d’Usage | 3 jours | 1 jour | 2 semaines | 3 jours | 1 semaine |
| Matériau de Restauration d’Usage | Composite (Supreme de 3M ESPE) | Ciment d’oxyde de Zinc Eugénol + Amalgame + Coiffe | Composite ou Amalgame | Coiffe | Composite sur dents antérieures et amalgame sur les postérieures |
| Résultats | Succès de 3/5 des cas | Apex fermé dans 80,07% des cas | Cliniquement sain dans 91,7% des cas | Succès du cas au MTA | Succès clinique et radiographique de 100% |

* selon l’article β

Source : Auteur

→ Le corpus n°1 regroupe les 5 articles : α (Subay et al., 2013), β (Harlamb, 2016) , γ (Keswani et al., 2014), δ (Ghoddusi et al., 2012) et ϵ (Harandi et al., 2013)

Ainsi, quelque soit le protocole mis en place, il semblerait que la majorité des cas présentés ont rapporté un taux de succès intéressant pouvant indiquer la pulpotomie cervicale sur dent permanente immature dans les thérapeutiques favorisant l'apexogenèse.

2.2.1.3. Justification d'une thérapeutique d'usage

Deux arguments justifieraient l'emploi de la pulpotomie cervicale comme thérapeutique d'usage d'une part et d'autre part comme thérapeutique sur dent permanente mature :

- En effet le taux de succès élevé de cette thérapeutique explique la reconnaissance dans le domaine scientifique de la pulpotomie cervicale comme thérapeutique de conservation de la vitalité pulpaire afin de permettre l'apexogenèse des dents permanentes immatures.

Mais une problématique controversée se pose une fois l'apexogenèse achevée : qu'en est-il du traitement d'usage de la dent une fois mature ? Faut-il conserver en l'état la pulpotomie cervicale comme traitement d'usage ou faut-il réintervenir par une thérapeutique endodontique conventionnelle (biopulpectomie) ?

Bien que la biopulpectomie soit, encore dernièrement, recommandée⁵⁹, il semblerait que devant la complexité de la réintervention (formation de pont dentinaire) lorsque celle-ci a été réalisée à l'aide d'un matériau bioinducteur, et devant l'absence de symptomatologie, la réintervention semble raisonnablement inconvenable : cela est un argument fort pour la pulpotomie comme traitement d'usage sur la dent permanente.

- De plus, l'intérêt de cette thérapeutique a été mis en avant car les cellules présentes dans la pulpe d'une dent permanente immature disposent d'un meilleur potentiel de cicatrisation. L'individu jeune présente un pool de cellules souches plus élevé que chez l'individu âgé : c'est le notamment le cas au sein du tissu pulpaire d'une dent permanente immature. En revanche, ces cellules souches sont également présentes au sein du tissu pulpaire d'une dent permanente mature. Il est, donc, d'un intérêt scientifique majeure d'étudier l'activité de ces cellules et la réponse biologique dentaire lors d'une thérapeutique similaire sur dent permanente mature.

⁵⁹ Harlamb, « Management of incompletely developed teeth requiring root canal treatment ».

Ainsi, ces deux dimensions expliquent le souhait d'étendre la pulpotomie cervicale, déjà éprouvée chez l'enfant sur dent permanente immature, à l'adulte sur dents permanentes matures, et de la proposer comme thérapeutique d'usage.

2.2.2. Protocoles et point clés de la thérapeutique chez l'adulte sur dent permanente mature

En effet, cette question a déjà émergé au sein de la communauté scientifique odonto-stomatologique. Et ce, notamment depuis l'emploi des « nouveaux » matériaux bioactifs comme matériaux utilisés directement au contact de la pulpe dentaire (Biodentine®, MTA...).

Quelques articles étudiant la réponse biologique de dents permanentes matures traitées par pulpotomie cervicale comme thérapeutique d'usage permettent, d'ores et déjà, d'estimer la faisabilité de cette dernière et surtout et d'éprouver son taux de succès.

Mais il n'existe pas de consensus clairement établi ou de méta-analyse, permettant de décider d'un protocole unique et reproductible à l'origine de résultats prédictibles : cela est fondamental si l'on souhaite proposer la pulpotomie cervicale comme alternative au traitement endodontique.

Il est donc nécessaire d'étudier les différents modèles et protocoles déjà existants, pour en faire une synthèse et proposer, in fine, un protocole de recherche clinique fiable et innovant.

2.2.2.1. Modèles d'étude proposés

Afin d'étudier la cohérence et la validité des protocoles, il est nécessaire hiérarchiser les différents articles référencés sur le sujet de la pulpotomie cervicale sur dent permanente mature, et d'en décrire le type d'étude et leur niveau de preuve.

Tableau 5 : Modèles d'études des articles du Corpus n°2

| N° | Type d'étude | Niveau de preuve |
|-------------------------|--|------------------|
| Article A | Intervention : Etude comparative sans témoins concomitants | III-3 |
| Article B | Intervention : Etude comparative sans témoins concomitants | III-3 |
| Article C | Intervention : Etude comparative sans témoins concomitants | III-3 |
| Article D | Intervention : Etude comparative sans témoins concomitants | III-3 |
| Article E | Intervention : Essai contrôlé randomisé | II |
| Article F | Intervention : Etude comparative sans témoins concomitants | III-3 |
| Article G | Intervention : Série de cas | IV |
| Article H | Intervention : Cas clinique | IV |
| Article I ⁶⁰ | Intervention : Etude comparative sans témoins concomitants | III-3 |

⁶⁰ Kumar et al., « Comparative evaluation of platelet-rich fibrin, mineral trioxide aggregate, and calcium hydroxide as pulpotomy agents in permanent molars with irreversible pulpitis : a randomized controlled trial ».

| | | |
|-------------------------|--|-------|
| Article J ⁶¹ | Intervention : Essai contrôlé randomisé | II |
| Article K ⁶² | Intervention : Etude comparative sans témoins concomitants | III-3 |

Source : Auteur

→ Le corpus n°2 correspond aux 11 articles : A (Qudeimat et al., 2017), B (Eghbal et al., 2009), C (Taha et al., 2017) , D (Linsuwanont et al., 2017), E (Asgary et Eghbal, 2013), F (Alqaderi et al., 2014), G (Borkar et Ataide, 2015), H (Chueh et Chiang, 2010), I (Kumar et al, 2016), J (Barngkgei et al. 2013) et K (Simon et al., 2013)

Tous les articles relèvent du domaine d'étude « intervention » :

- Deux articles sont des « case report », donc de faible niveau de preuve.
- La plupart sont des études comparatives sans témoins concomitants. Ils présentent tous le même modèle : un certain nombre de patients reçoivent le traitement testé (la pulpotomie cervicale au MTA) et les résultats issus d'observations cliniques et/ou radiographiques, testés statistiquement, sont exposés. Leur niveau de preuve est intermédiaire.
- Deux autres articles sont à fort niveau de preuve : ce sont les essais contrôlés randomisés.

2.2.2.2. Objectif, sélection et protocole : synthèse

Afin de donner une cohésion entre les différents articles retenus, il est nécessaire d'analyser de manière comparative leurs objectifs, la sélection de la population, au travers des critères d'inclusion et de non-inclusion, et leur protocole opératoire.

Nous étudierons uniquement les dents traitées par pulpotomie au MTA ou à la Biodentine®.

Par ailleurs, il est nécessaire de noter que dans les articles A, D, F et I, il est mentionné ou probable que des dents permanentes immatures soient incluses dans l'étude, mais elles ne sont pas majoritaires.

⁶¹ Barngkgei, Halboub, et Alboni, « Pulpotomy of symptomatic permanent teeth with carious exposure using mineral trioxide aggregate ».

⁶² Simon et al., « Should pulp chamber pulpotomy be seen as a permanent treatment ? : some preliminary thoughts ».

→ **Objectifs** : les objectifs sont synthétisés au travers du tableau suivant :

Tableau 6 : Objectifs des articles du Corpus n°2

| | Objectifs |
|------------------|--|
| Article A | Enquêter prospectivement sur le taux de succès clinique et radiographique de la pulpotomie au MTA sur molaires permanentes présentant des signes et symptômes subjectifs de pulpite irréversible. |
| Article B | Enquêter sur le succès histologique de la pulpotomie au MTA comme traitement de la pulpite irréversible sur dents humaine comme traitement alternatif |
| Article C | Evaluer les résultats de la pulpotomie cervicale au MTA sur dents cariées |
| Article D | Illustrer les résultats du traitement à la pulpotomie au MTA sur dents permanentes cariées. |
| Article E | Conduire un essai clinique randomisé en comparant la douleur postopératoire au travers de résultats cliniques et radiographiques sur molaires permanentes humaines présentant une pulpite irréversible et traitées par pulpotomie au CEM ou au MTA |
| Article F | Evaluer le succès la pulpotomie au MTA sur dents permanentes matures |
| Article G | Evaluer le résultat de la pulpotomie à la Biodentine® sur incisive centrale mature ayant subi un trauma* |
| Article H | Etudier l'histologie d'une prémolaire cariée en pulpite irréversible traitée par pulpotomie au MTA |
| Article I | Enquêter sur le bénéfice de la pulpotomie comme traitement endodontique sur dent vivante traitée par pulpotomie au MTA |
| Article J | Comparer la performance de l'hydroxyde de calcium, du MTA et du PRF comme matériau dans la pulpotomie sur molaire permanente en pulpite irréversible |
| Article K | Evaluer les résultats cliniques et radiographiques de la pulpotomie au MTA sur dents permanentes matures cariées symptomatiques |

* Seul l'article 7 évaluer l'effet d'une pulpotomie cervicale à la Biodentine®

Source : Auteur

→ **Sélection de la population** :

- Bien que chaque objectif du Corpus n°2 soient comparables dans l'ensemble, leurs populations cibles présentent des caractéristiques assez distinctes, aussi bien sur les valeurs qualitatives que quantitative

Tableau 7 : Caractéristiques quantitatives de la population des articles du corpus n°2

| Articles : | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K |
|--|-------------------|----------------|----------------|---------------|---------------|----------------|----------------|-----------|---------------|----------------|----------------|
| Taille (dent), en nombre | 23 | 12 | 52 | 55 | 208 | 29 | 4 | 1 | 17 | 19 | 11 |
| Tranche d'âge (patient), en année | 7,6 - 13,6 | 16 - 28 | 11 - 51 | 7 - 68 | 9 - 65 | 10 - 15 | 18 - 26 | 19 | 7 - 54 | 14 - 32 | 17 - 54 |

I : Incisive centrale – PM : Prémolaire – M : Molaire – M1 : 1^{ère} Molaire

Source : Auteur

Tableau 8 : Caractéristiques qualitatives de la population des articles du corpus n°2

| Articles : | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K |
|---------------------------------------|---|---|---|-----|---|-------|---|----|------|---|--------|
| Type de dent étudiée | M | M | M | N/D | M | M1/PM | I | PM | M/PM | M | M/PM/I |
| Lésion carieuse, pulpite réversible | | | X | X | | X | | | X | | X |
| Lésion carieuse, pulpite irréversible | X | X | X | X | X | | | X | | X | |
| Traumatisme | | | | | | | X | | | | |
| Raisons Prothétiques | | | | | | | | | X | | |
| Restaurations volumineuse | | | | | | | | | | | X |

Source : Auteur

Il en découle donc des critères d'inclusion et de non-inclusion extrêmement variables en fonction de la population cible de l'étude. Mais on relève dans l'ensemble que :

- Des tests cliniques sont réalisés, en complément de l'anamnèse, dans les différentes études et sont globalement tous en accord avec la sémiologie (2.1.1.3.) afin de déterminer l'état pulpaire et de vérifier la cohérence avec la population cible.

- Les **critères d'inclusion**, bien que différents en fonction de la population cible, présentent les caractéristiques communes suivantes :

- Dent permanente mature en accord avec le type retenu (incisive, prémolaire ou molaire)
- Âge du patient en accord avec la tranche retenue
- Agresseur en accord avec le modèle de l'étude (trauma, lésion carieuse...)
- Etat pulpaire en accord avec le modèle de l'étude (pulpite réversible et/ou irréversible)
- Dent éligible au traitement par pulpotomie cervicale
- Patients informés ayant signé le consentement éclairé

- Les **critères de non-inclusion**, en revanche, présentent beaucoup plus de similitudes. Ceci s'explique par la cohérence des objectifs (tableau 6) de l'ensemble des articles du Corpus n°2. Et ce, qu'ils soient locaux ou généraux :

- Absence d'état pathologique systémique compromettant l'étude
- Absence d'état local compromettant la persistance de la dent sur arcade (ex : parodontite, dent non restaurable, restauration nécessitant un ancrage radiculaire)
- Mobilité pathologique
- Suppuration
- Pathologie sinusite
- Gonflement des tissus associés
- Pulpe nécrotique

- Hémostase impossible à obtenir
- Signes radiographiques de résorption interne ou externe

• On notera quelques **critères de non-inclusion inconstants** en fonction des études :

- Inclusion (ex : article D) ou non-inclusion de dents présentant une radioclarété péri-apicale radiographique
- Non-inclusion des femmes enceintes ou allaitantes (ex : articles E, I)
- Non-inclusion de dents présentant des calcifications pulpaire (ex : articles E, I, J)

→ **Protocoles** : contrairement aux variabilités rencontrées sur critères d'inclusion et de non-inclusion, nous remarquons que le protocole de la pulpotomie cervicale mis en place présente des similitudes sur ses grandes lignes. Ces protocoles sont synthétisés au travers des tableaux suivants :

Tableau 9 : Protocoles de la pulpotomie cervicale des articles du corpus n°2

| | Article A | Article B | Article C | Article D | Article E |
|-------------------------------------|---|--|--|---|---|
| Anesthésie | Oui | Lidocaïne 2% (1/80 000) | Oui | Mépipivacaïne 2% (1/100 000) | Lidocaïne 2% (1/80 000) |
| Pose de Digue | Oui | Oui | Oui | Oui | Oui |
| Curetage Carieux | Fraise boule sur Contre-angle sous irrigation d'eau | N/D | Désinfection NaOCl 5% préalable avant le curetage | Excavateur ou fraie boule carbure de Tungstène sur contre-angle | Le patient a eu un bain de bouche préalable (CHX 0,2% avant la pose de digue) |
| Pulpotomie | Fraise stérile boule et/ou flamme sur turbine sous irrigation d'eau | Fraise boule sur contre-angle sous irrigation de solution saline | Fraise boule stérile sur turbine sous irrigation d'eau | Grosse fraise diamantée sur turbine | Fraise boule stérile sur turbine sous irrigation |
| Contrôle de l'Hémostase | Irrigation NaOCl (5%), temps enregistré variant entre 5 et 25min | Irrigation de solution saline + coton en pression | Compresse NaOCl (2,5%) pendant 2 min, répété jusqu'à hémostase, temps enregistré | Irrigation NaOCl (2,5%) au maximum pendant 10 min | Irrigation de solution saline + coton mouillé stérile en pression |
| Matériau de Coiffage | ProRoot MTA® (2mm) + coton humide | ProRoot MTA® (2mm) + coton humide | GMTA (2-3mm) + coton humide | ProRoot MTA® (2mm) + coton | MTA (2mm) + coton |
| Matériau de Restauration Provisoire | CVI (Ketac®) | Ciment oxyde de Zinc EugénoI (KALZINOL®) | IRM® | N/D | CAVIT |
| Délai avant Restauration d'Usage | 3 à 10 jours | 1 jour | 1 semaine | 1 mois | 1 semaine |
| Matériau de Restauration d'Usage | CVI (Ketac®) + Coiffe | Amalgame | CVI + composite ou amalgame | N/D | Amalgame |

| Article F | Article G | Article H | Article I | Article J | Article K |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|

| | | | | | | |
|-------------------------|--|--|--------------------------|---|--|--|
| Anesthésie | Oui | Lidocaïne (1/200 000) | Lidocaïne (1/100 000) | Articaïne (1/100 000) ou Articaïne (1/200 000) sur NAI | Lidocaïne 2% (1/80 000) | Lidocaïne 2% (1/80 000) |
| Pose de Digue | Oui | Oui | Oui | Oui | Oui | Si possible |
| Curetage Carieux | Fraise boule carbure de Tungstène sur contre-angle | Désinfection CHX + nettoyage de la pulpe à la solution saline isotonique | Fraise diamantée stérile | Curetage et Restauration pré-endodontique CVI avant pose de digue | Fraise boule diamantée stérile sur turbine | Moteur à air basse vitesse puis vitesse élevée sous irrigation |

| | Article F | Article G | Article H | Article I | Article J | Article K |
|--|---|---|--|---|--|---|
| Pulpotomie | Fraise diamantée sur turbine sous irrigation d'eau | Sur 2mm avec fraise diamantée sous irrigation d'eau | Autre fraise stérile carbure de Tungstène sur 2-3mm | Instruments manuels | Fraise boule diamantée stérile sous irrigation forte | Moteur à air à vitesse élevée sous irrigation |
| Contrôle de l'Hémostase | Coton imbibé de solution saline en compression pendant quelques minutes | Irrigation de solution saline + coton stérile en pression pendant 5 min | Irrigation de 10mL de NaOCl (2,5%) + coton sec en pression | Coton imbibé d'eau stérile en pression pendant 1-2 min + rinçage NaOCl (0,5%) + mordantage (45s) à l'acide ortho-phosphorique (37%) puis rinçage à l'eau (30s) et séchage | Irrigation de solution saline stérile | Coton en pression pendant 5 min |
| Matériau de Coiffage | ProRoot MTA® (2-4mm) + coton humide | Biodentine®, prise pendant 20min | MTA® (2mm) + coton | ProRoot MTA® (1-2mm) | ProRoot MTA (2mm) + coton | ProRoot MTA (2-3mm) + coton |
| Matériau de Restauration Provisoire | IRM® | Pas de restauration provisoire | Cavition® (GC) | Adhésif antibactérien, photo-polymérisation (40s) + Composite | Ciment oxyde de Zinc Eugénol (KALZINOL®) | LITARK® |
| Délai avant Restauration d'Usage | 1 jours | Pas de délai | 1 jour | Dans les 30 jours | 1 jour | 2 jours |
| Matériau de Restauration d'Usage | CVI photo-polymérisable | Composite | Composite | Chez le praticien du patient, restauration libre sans | CVIMAR + composite | Ciment Polycarboxylate de Zinc + amalgame |

| | | | | | | |
|--|---------------------------|--|--|---|--|--|
| | + composite +/- Coiffe | | | toucher à la restauration interne | | (deux dents ont été couronnées pour cause de fragilité) |
|--|---------------------------|--|--|---|--|--|

Source : Auteur

Après synthèse et l'étude des protocoles, nous remarquons qu'ils présentent de nombreuses différences : sur le matériel opératoire employé, les matériaux de restauration et de coiffage et le délai/temps opératoire.

En revanche, il est intéressant de remarquer que chaque protocole propose des étapes quasi superposables les unes aux autres : cela témoigne alors de l'existence d'un contexte scientifique justifié et justifiable pouvant être à l'origine de l'établissement d'un protocole unique, applicable et innovant.

2.2.2.3. Justification scientifique d'un protocole unique

A la synthèse des 11 protocoles cliniques, il est possible d'établir et de justifier les grandes lignes d'un protocole unique à confronter au protocole proposé dans la thérapeutique de la pulpotomie cervicale sur dent permanente mature (III). Les étapes de ce protocole seraient:

- **1/ Reconstitution pré-endodontique** si nécessaire
- **2/ Anesthésie** locale ou locorégionale : la solution anesthésique choisie importe peu.
- **3/ Isolement** de la dent à traiter à l'aide d'une digue, pour des raisons d'aseptie, de confort opératoire et d'isolement à sec de la dent dans les procédures de restaurations collées.
- **4/ Curetage** complet sous irrigation non-septique abondante de la lésion carieuse à l'aide d'une fraise diamantée stérile montée sur turbine (émail et restaurations présentes) puis à l'aide d'une fraise carbure de Tungstène montée sur contre-angle : la forme de la fraise importe peu.
- **5/ Pulpotomie cervicale** sous irrigation non-septique abondante, réalisée à l'aide d'une nouvelle fraise boule diamantée stérile montée sur contre-angle ou d'un instrument manuel.
- **6/ Hémostase** à l'aide d'un coton ou d'une compresse stérile en compression pendant quelques minutes, puis rinçage à l'aide d'une solution antiseptique (ex : hypochlorite de sodium, NaOCl à de faibles concentrations, CHX 2%) : l'hémostase semblerait être une partie déterminante dans le succès de la thérapeutique car elle permet d'évaluer le caractère réversible de l'inflammation de la pulpe radulaire. Un consensus serait nécessaire pour déterminer la durée de compression exacte. Mais il semblerait qu'elle ne doit pas excéder quelques minutes.
- **7/ Application du matériau de coiffage** au contact de la pulpe et restaurations :
 - **MTA** : Le temps de prise du MTA utilisé dans les études précédentes est long. Cela explique le passage par une étape de restauration provisoire en laissant un coton humide (favorisant la prise du MTA),

pour attendre sa prise plus ou moins complète (expliquant les délais variables en fonction des études avant la restauration d'usage).

Le matériau provisoire importe peu, il doit être facile à déposer et assurer une étanchéité relative au niveau du MTA. Le matériau de restauration d'usage importe peu également. En revanche, ce matériau doit être étanche afin de favoriser la cicatrisation pulpaire, prévenir toute recontamination bactérienne secondaire et rétablir la fonction.

- **Biodentine®** : ce matériau présente un temps de prise plus court et peut être utilisé comme base à une restauration d'usage immédiate. Cela permet de supprimer la phase intermédiaire de restauration provisoire.

Le matériau de restauration d'usage importe peu également. En revanche, il convient à ce matériau d'être étanche pour permettre la cicatrisation pulpaire, de prévenir toute recontamination bactérienne secondaire et de rétablir la fonction.

2.2.3. Résultats et conclusions empiriques de la thérapeutique chez l'adulte sur dent permanente mature

Le protocole synthétique établi, il est nécessaire d'étudier les moyens d'évaluation des résultats (critères d'évaluation du succès), le moment où ces critères sont utilisés (suivi du patient), ainsi que l'interprétation des résultats (taux de succès de la thérapeutique).

2.2.3.1. Critères d'évaluation du succès et suivi

➔ **Les critères d'évaluation** : ils sont cliniques, radiographiques et parfois histologiques^{18, 25}

• **Critères cliniques** :

- Absence ou persistance de douleur (spontanée ou provoquée à la percussion et/ou à la palpation) ou d'inconfort
- Mobilité pathologique
- Gonflement
- Sinusite
- Qualité de la restauration
- « Vitalité » de la dent

• **Critères radiographiques** :

- Formation de pont dentinaire
- Présence ou absence d'oblitération canalaire (la présence peut être considéré comme un succès³⁷)
- Présence ou absence d'image péri-apicale ou de la furcation

- Présence ou absence de résorption

• **Critères histologiques :**

- Formation de pont dentinaire
- Etat inflammatoire de la pulpe
- Absence ou présence de zone de nécrose
- Vascularisation

Cette liste est représentative des critères évalués dans les articles du Corpus n°2

➔ **Suivi :** à chaque visite de contrôle, à des dates différentes en fonction de l'article étudié, les critères énumérés sont évalués afin d'en déterminer le succès ou l'échec de la thérapeutique.

Tableau 10 : Calendriers de suivi articles du corpus n°2

| Calendrier du suivi | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K |
|---------------------------------|-----|---|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|
| Lors de la restauration d'usage | C | C | C/R | C | C | C | | C | | C | C |
| 24 heures | | | | | | | C/R | | | | |
| 1 semaine | | | | | | | C/R | | | C | |
| 1 mois | | | | | | | C/R | C/R | | | C/R |
| 2 mois | | H | | | | | | | | | |
| 3 mois | C | | C/R | | | | C/R | C/R | | | C/R |
| 6 mois | C/R | | C/R | | | | C/R | | | C/R | C/R |
| 10 mois | | | | | | | | C/R/H | | | |
| 12 mois | C/R | | C/R | | C/R | | C/R | | | C/R | |
| 18 mois | | | | | | | C/R | | | | |
| 36 mois | | | C/R | | | | | | | | |
| Fréquence variable | | | | C/R | | C/R | | | C/R | | C/R |

C : Contrôle clinique – R : Contrôle radiographique – H : Histologique

Source : Auteur

2.2.3.2. Taux de succès de la thérapeutique

Tableau 11 : Synthèse des taux de succès de la pulpotomie cervicale des articles du corpus n°2

| Taux de succès | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K |
|------------------|---|------|---|-------|---|---|---|------|---|--|------|
| 1 mois | | | | | | | | 100% | | | 100% |
| 2 mois | | 100% | | | | | | | | | |
| 3 mois | | | 100% ^C 89,5% ^R | | | | | 100% | | | 100% |
| 6 mois | | | 100% ^C 97,8% ^R | | | | | | | 83,3% ^C 80,0% ^R | 100% |
| 10 mois | | | | | | | | 100% | | | |
| ≤ 1 an | | | | 87,9% | | | | | | | |
| 1 an | | | 100% ^C 97,5% ^R | | | | | | | 83,3% ^C 53,3% ^R | |
| Entre 1 et 2 ans | | | | 100% | | | | | | | |
| Entre 2 et 3 ans | | | | 95,8% | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | |
|---|-------------|--|--------------------------|--------------|------------|------------|-------------|--|------------|--|-------------|
| 3 ans | | | 92,7%^C | | | | | | | | |
| Entre 3 et 4 ans | | | | 96% | | | | | | | |
| ≥ 4 ans | | | | 86,7% | | | | | | | |
| A la fin de la période du suivi du patient | 100% | | | | 95% | 90% | 100% | | 82% | | 100% |

^C : Succès Clinique – ^R : Succès Radiographique

Source : Auteur

A l'issue de l'évaluation des critères cliniques, radiographiques et/ou histologiques, il est possible d'en synthétiser des taux de succès de la pulpotomie cervicale au MTA ou à la Biodentine®. Ces taux de succès sont synthétisés dans le Tableau 11. Ce tableau montre dans l'ensemble, un taux de succès élevé dans les 11 articles pouvant justifier l'emploi de la pulpotomie cervicale comme traitement de la pulpite aigue réversible et irréversible, des trauma exposant le tissu pulpaire ou lors d'agressions iatrogènes.

Ceci est en accord avec les conclusions individuelles de chaque article mais il est nécessaire d'apporter quelques nuances.

2.2.3.3. Discussion

- Après évaluation des onze articles sur la thématique de la pulpotomie cervicale comme traitement d'état pulpaire pathologiques (pulpites, trauma...) sur dent permanente mature chez l'adulte, il semblerait que cette thérapeutique, associant un protocole adapté à un opérateur expérimenté, présente des taux de succès, dans la majeure partie des cas, approchant les 100%. En revanche, des échecs existent et ne sont pas clairement identifiés, ni clairement identifiables. Ils peuvent être imputés à : un mauvais diagnostic initial issu de l'absence d'outil fiable dans la détermination de l'état d'inflammation pulpaire, une difficulté d'évaluation peropératoire de la réversibilité de l'inflammation (temps d'hémostase très variables)... Mais tous les auteurs semblent souligner l'importance d'une restauration d'usage étanche car l'échec serait également imputable à la recontamination bactérienne secondaire, suite à l'infiltration des joints de la restauration ou à la perte de la restauration et du matériau de coiffage⁶³ Les auteurs signalent également que des études supplémentaires sur le sujet, sur une population de taille plus importante, seraient nécessaire pour confirmer la validité de cette thérapeutique sur dent permanente mature.

⁶³ Taha, Ahmad, et Ghanim, « Assessment of mineral trioxide aggregate pulpotomy in mature permanent teeth with carious exposures ».

• Ainsi, en vue de la problématique générale posée (la pulpotomie cervicale comme alternative au traitement endodontique) et après l'étude des matériaux bioactifs actuels (caractéristiques, effets histologique et biologique – *Partie I*) et de la bibliographie disponible (*Partie II*), il semblerait que :

- Peu d'études ont été menées sur l'utilisation de la Biodentine® dans la pulpotomie cervicale, alors qu'elle présente des avantages certains par rapport au MTA (biologiques, faisabilité clinique et économique – 1.2.3.2.)
- Aucune étude ne propose d'essai clinique randomisé et contrôlé (niveau de preuve, II) par rapport à la thérapeutique éprouvée et recommandée : le traitement endodontique.

Il est donc intéressant de se baser sur un protocole de recherche clinique alliant ces deux dimensions. Une étude clinique est actuellement menée sur ce sujet, et nous reproduisons en annexe la plus grande partie de son protocole (texte traduit en français).⁶⁴

⁶⁴ Simon et Zanini, « Pulpotomy vs pulpectomy outcome (PULPSAVE) ».

Conclusion

La pulpotomie cervicale est, en définitive, une thérapeutique de conservation de la vitalité pulpaire, s'inscrivant scientifiquement dans une médecine bucco-dentaire moderne qui se veut moins invasive et plus conservatrice.

Associée à l'apparition de nouveaux matériaux bioactifs, tels que les silicates tricalciques, cette thérapeutique évolue et se présente, d'ores et déjà, comme une thérapeutique d'usage, notamment chez l'enfant, sur dent permanente immature.

Ainsi, à l'issue de l'évaluation des propriétés de l'endodonte et des biomatériaux sur les plans biologique et histologique (I), il est indéniable que ces nouveaux matériaux (MTA, Biodentine®) présentent un effet bioinducteur sur l'endodonte et ses cellules progénitrices, à l'origine de la formation d'une barrière protectrice de tissu biologique minéralisé.

Par ailleurs, l'étude de la littérature scientifique (II), disponible à ce jour, portant sur le sujet de la pulpotomie cervicale sur dent permanente mature, a montré l'extension de cette thérapeutique à l'adulte comme traitement d'usage de l'endodonte.

Cette littérature a pu apporter un élément de réponse à l'Odontologie Conservatrice et Endodontique sur la mise en œuvre et la faisabilité de la thérapeutique chez l'adulte et ce, au travers d'un taux de succès élevé, moyennant les 90% avec l'utilisation du MTA comme matériau de coiffage pulpaire.

En revanche, aucune étude ne compare directement, au travers d'un essai clinique contrôlé et randomisé, la thérapeutique de pulpotomie cervicale au traitement de référence, qu'est la biopulpectomie et l'obturation tridimensionnel du système endocanalair

De plus, peu d'études ont porté leur attention sur l'utilisation de la Biodentine® dans la thérapeutique de pulpotomie cervicale chez l'adulte, alors qu'il semblerait que ce matériau présente d'une part, des avantages identiques à ceux du MTA, et d'autre part, une plus-value certaine sur sa mise en œuvre clinique et sa faisabilité économique.

C'est pourquoi, la proposition d'un protocole de recherche clinique (III), comparant ce traitement expérimental (pulpotomie cervicale) au traitement de référence (pulpectomie) et utilisant la Biodentine®, est pertinente en médecine bucco-dentaire.

En somme, après avoir posé le contexte scientifique de la thérapeutique, identifié les objectifs et les critères de jugement de l'étude, caractérisé la sélection des sujets, construit le protocole des thérapeutiques à évaluer et étudié les procédures et analyses statistiques des paramètres à quantifier. Seule la mise en œuvre du protocole de recherche clinique réalisé par Simon et Zanini ⁶⁵ et l'interprétation des résultats pourront apporter des éléments de réponse à la problématique posée : « La pulpotomie cervicale, une alternative au traitement endodontique ? ».

⁶⁵ Simon et Zanini.

Annexes

A l'issue de l'étude des biomatériaux actuels et de la bibliographie disponible, nous proposons ci-dessous d'exposer en français un protocole clinique multicentrique (PHRC) réalisé par le Pr Stéphane Simon (AP-HP, Pitié Salpêtrière) et en cours d'investigation :

Titre du protocole publié : Puloptomy vs pulpectomy outcome (PULPSAVE) ⁶⁶

En français : Essai clinique randomisé et contrôlé comparant la pulpotomie cervicale et la pulpectomie (traitement endocanalaire), comme thérapeutique endodontique d'usage sur dent permanente mature.

Traduction française ci-dessous.

Introduction

Contexte

Avant-propos

La maladie carieuse est actuellement définie comme une maladie chronique posant un réel problème de santé publique en affectant plus de 5 millions de personnes dans le monde. Elle est également d'une des causes principales, d'origine infectieuse, des pathologies pulpaires.

Lorsque ces pathologies inflammatoires et infectieuses se déclarent, le traitement de référence reste, aujourd'hui, le traitement endodontique consistant en la biopulpectomie et l'obturation tridimensionnelle du système endocanalaire à l'aide d'un matériau.

Or, les données épidémiologiques actuelles montrent un taux d'échec mondial du traitement de référence de 20 à 50 %, probablement lié à sa complexité et ses difficultés de mise en œuvre, malgré les innovations technologiques dans le domaine d'instrumentation endodontique.

De plus, trois études rétrospectives^{67,68,69} en France ont démontré un taux d'échec particulièrement élevé, proche de 80 % : 2/3 des patients en France présentent une infection parodontale d'origine

⁶⁶ Simon et Zanini.

⁶⁷ Lupi-Pegurier et al., « Periapical status, prevalence and quality of endodontic treatment in an adult french population ».

⁶⁸ Boucher et al., « Radiographic evaluation of the prevalence and technical quality of root canal treatment in a french subpopulation ».

⁶⁹ Tavares et al., « Prevalence of apical periodontitis in root canal-treated teeth from an urban french population : influence of the quality of root canal fillings and coronal restorations ».

endodontique, associant comme principal facteur la présence d'un traitement endodontique inadéquat.

C'est la raison pour laquelle, une alternative aux traitements endodontiques par les thérapeutiques de conservation de la vitalité pulpaire semblent d'intérêt à l'heure actuelle (ex : coiffage par mise en place d'un matériau bioactif et bioinducteur directement au contact direct du tissu pulpaire).

En effet, ces biomatériaux semblent apporter un élément novateur au travers de leurs dimensions conservatrices, de propriétés mécaniques proches de la dentine et de scellement bioactif et bioinducteur de la plaie pulpaire de ces biomatériaux.

Malheureusement, en raison de difficultés diagnostiques de l'état d'inflammation pulpaire⁷⁰ ces thérapeutiques d'élimination partielle du tissu pulpaire présentent un taux de succès controversé (1/3), s'expliquant notamment par le manque d'informations cliniques guidant le praticien dans l'élimination de telle ou telle partie du tissu pulpaire présentant une inflammation « irréversible ».

C'est pourquoi, il est intéressant, à l'heure actuelle, de proposer une thérapeutique cliniquement plus « sûre » au travers de l'élimination totale du tissu pulpaire caméral : la pulpotomie cervicale⁷¹.

Ainsi, cette thérapeutique reste en accord avec les principes de « Minimal Invasive Dentistry », conserve la vitalité pulpaire, est plus conservatrice que le traitement endocanalair, repousse l'échéance du dogme « traitement endodontique/couronne », donc, in fine, permet d'accroître la longévité de la dent sur arcade.

Raisonnement scientifique de la thérapeutique

Dans l'intérêt conservateur de la thérapeutique, la pulpotomie cervicale présente un avantage biologique certain.

Tout d'abord, le traitement endodontique reste une thérapeutique difficile à mettre en œuvre et invasive. En effet, le maintien de la vitalité pulpaire assure une obturation biologique physiologique du système endocanalair : la pulpe dentaire reste le meilleur matériau d'obturation de l'endodonte.

Au niveau de la partie camérale, l'étanchéité est assurée par la mise en place d'un matériau bioactif induisant la formation d'un pont dentinaire isolant le tissu pulpaire du milieu extérieur, prévenant ainsi une recontamination bactérienne secondaire : cette thérapeutique est déjà éprouvée sur dent permanente immature, chez l'enfant et déjà étendue chez l'adulte.

De plus, la pulpectomie associée à l'élimination complète du tissu pulpaire, un travail mécanique pouvant fragiliser les parois radiculaires dentaires (mise en forme canalair). Ce, en vue d'une obturation du système endocanalair par un matériau inerte.

⁷⁰ Simon et al., « Dentin-pulp complex regeneration : from lab to clinic ».

⁷¹ Simon et al., « Should pulp chamber pulpotomy be seen as a permanent treatment ? : some preliminary thoughts ».

Finalement, si une recontamination bactérienne, à l'origine d'une nécrose, survient secondairement, il reste toujours possible d'avancer dans l'échelle du gradient thérapeutique en réalisant un traitement endodontique conventionnel

Balance Bénéfices/Risques/Contraintes

Face à la mise en place d'un protocole de recherche clinique, il est nécessaire d'évaluer cette balance, tant sur le plan du patient que celui de la santé publique.

→ Pour le patient :

- Les **bénéfices** sont représentés par une mise en œuvre plus aisée et plus rapide que le traitement endodontique de référence et par le maintien de la vitalité de la pulpe comme défense biologique et physiologique face à une agression.
- Les **risques** sont représentés par l'échec du traitement les jours suivant l'intervention (cause infectieuse/inflammatoire) et la nécessité de réintervention en engageant la thérapeutique de référence (pulpectomie). En revanche, le biomatériau ne présente aucun risque intrinsèque au sein de la thérapeutique de pulpotomie dans la mesure où ce dernier est d'ores et déjà éprouvé comme matériau biocompatible dans les thérapeutiques de coiffage pulpaire de routine. La pulpotomie restant une thérapeutique reposant sur le coiffage, mais cette fois-ci sur la pulpe radiculaire.
- Finalement, les **contraintes** sont représentées par l'absolue nécessité pour le patient de se présenter aux visites de contrôle instaurées, incluant un examen clinique et radiographique (rétro-alvéolaire systématique).

→ Pour la santé publique :

- Les **bénéfices** escomptés consistent, d'une part, en l'éventuelle diminution des retraitements et d'autre part, en la mise en place d'un traitement initial plus simple, plus rapide et moins coûteux.
- Finalement, les **risques** sont représentés par toutes les conséquences associées à l'erreur de diagnostic et de la mauvaise évaluation de l'état inflammation pulpaire (nécessité d'engager un retraitement, coûts supplémentaires...)

Objectifs de l'étude

Le modèle choisi pour l'étude est prospectif, comparatif et randomisé. Ce type d'étude présente un niveau II de preuve.

La population étudiée inclut des patients adultes présentant une indication de thérapeutique pulpaire sur dent permanente mature non nécrosée et pluri-radiculaire.

Cette étude comportera deux parties : une étude clinique et une étude biologique des biomarqueurs.

Objectif principal

L'objectif principal de l'étude est de comparer le taux de succès du traitement endocanalair (pulpectomie, comme traitement de référence) face au traitement conservateur (pulpotomie cervicale) dans le traitement des pathologies inflammatoires pulpaire sur dent permanente mature, tout en relevant le temps qui s'écoule jusqu'à la nécessité de réintervention (délai jusqu'à l'échec des traitements).

Ainsi, cet objectif est innovant car il nous permet d'évaluer l'efficacité des deux thérapeutiques, en comparaison directe : aucune publication antérieure ne propose l'évaluation de la pulpotomie cervicale comme alternative au traitement endodontique, alors qu'elle fut testée et évaluée, en comparant différents matériaux entre eux.

Objectifs secondaires

Les objectifs secondaires sont au nombre de trois :

- 1/** Evaluer l'impact du traitement sur la douleur postopératoire
- 2/** Décrire les facteurs pronostiques cliniques des deux traitements
- 3/** Evaluer l'intérêt des biomarqueurs et leurs niveaux d'expression comme outil pronostique pour la prise de décision clinique (pulpectomie versus pulpotomie)

Les deux premiers objectifs sont en accord avec l'objectif principal. En revanche, le troisième permet de présenter une dimension encore plus innovante en tentant d'étudier les biomarqueurs et comprendre leur intérêt dans la prise de décision clinique.

Objectif d'études complémentaires

Finalement, l'objectif d'éventuelles études complémentaires révèle de la dimension médico-économique. Il sera nécessaire d'évaluer le cout, l'impact médico-économique de ces deux traitements.

Cet objectif d'étude complémentaire est en accord avec la considération proposée dans la partie 1.2.3. et permettra d'étudier au travers de son critère de jugement la faisabilité clinique que économique de la thérapeutique.

Critères de jugement de l'étude

La définition des critères de jugement d'une étude est fondamentale afin de juger du succès ou de l'échec de la thérapeutique.

Le critère de jugement principal doit être unique pour les tests statistiques, mais peuvent y être associés des critères de jugement secondaires

Par ailleurs, il est nécessaire de noter que le double aveugle est inapplicable dans notre étude, dans la mesure où les protocoles, matériels et matériaux utilisés sont sensiblement différents dans chacune des deux thérapeutiques.

Critère de jugement principal

Le critère de jugement principal défini correspond au délai ou temps écoulé jusqu'à l'échec du traitement.

Ce critère est évalué au travers de la nécessité d'indication d'une réintervention (avec ou sans contre-indication)

La réintervention signifiant ainsi l'échec du traitement (contrôle ou testé).

Le délai servirait d'élément de comparaison entre les thérapeutiques et d'évaluer le taux de succès à différentes périodes du suivi.

Critères de jugement secondaires

Les critères de jugement secondaires sont au nombre de trois :

1/ Présence ou absence de douleur aiguë postopératoire et la prise d'antalgique

2/ Présence ou absence de signes cliniques ou radiographiques tels que : la douleur, lésions osseuses, perte d'attache parodontale...

3/ Caractérisation des biomarqueurs de l'inflammation au sein d'échantillon pulpaire, déjà connus (TNF- α , IL-8, IL-1...) ainsi que les nouveaux (adrenomedulline – ADM ou AM, MMP-9, IL-6...)

Critères de jugement d'études complémentaires

Finalement, pour ces critères de jugement, le temps opératoire, la consommation de matériels et de consommables à usage unique seront relevés et enregistrés pour une modélisation hors-étude.

Ceci permettra d'évaluer le coût et l'impact médico-économique, autrement dit, la faisabilité clinique et économique des thérapeutiques.

Matériels et méthodes

Tout d'abord, il est nécessaire de noter l'importance de certains points :

- En raison de la nature de la pathologie, certains critères du traitement ne peuvent être connus avant le début du protocole. Il est donc délicat d'arrêter le protocole pour réaliser l'inclusion et la randomisation. Ainsi, ils seront réalisés en amont, avant la mise en place du protocole : les patients de chaque groupe (contrôle ou testé) n'entrant pas dans les critères d'inclusions peuvent être exclus extemporanément (ces patients seront exclus des analyses explicatives mais seront comptabilisés dans l'analyse pragmatique).
- La mise en place d'une restauration est éprouvée dans le domaine scientifique comme un facteur pronostic déterminant pour le traitement endodontique. Ainsi, la faisabilité d'une restauration immédiate entrera dans les critères d'inclusion.
- Finalement, dans les rares cas où le même patient présente plus d'une dent éligible pour l'étude, l'investigateur choisira par défaut la dent la plus proche du prototype suivant : « molaire mandibulaire vivante, présentant une pulpe asymptomatique et des canaux larges ».

Sélection des sujets

Critères d'inclusion

Les critères d'inclusion sont au nombre de 5 et sont en accord avec les critères vus précédemment

- 1/** Patient adulte (≥ 18 ans)
- 2/** Patient ayant signé un consentement éclairé écrit
- 3/** Patient ayant une dent permanente mature, pluri-radulaire, présentant :
 - Une indication de pulpectomie sur pulpe asymptomatique
 - Une effraction pulpaire lors d'excavation de carie profonde
 - Une pulpite aigue réversible ou irréversible
- 4/** Une dent permettant la mise en place d'une restauration d'usage dans un délai raisonnable (1 mois) après le traitement
- 5/** Patient ayant une couverture sociale (affiliation à la Sécurité Sociale ou à un système similaire, sauf patients AME – Aide Médicale d'Etat)

Critères de non-inclusion

Les critères de non inclusions sont subdivisés en deux catégories : critères généraux et locaux. Ils sont en accord avec les critères de non-inclusion vus précédemment.

→ Critères généraux : ils concernent les patients :

- 1/** « Privé de liberté » ou sous mesure de protection légale
- 2/** Enceinte, allaitant ou ne prenant de mesures contraceptives durant l'étude
- 3/** Chez lesquels le suivi est impossible ou douteux
- 4/** Présentant des contre-indications générales au procédures endodontiques
- 5/** Présentant un pronostic systémique compromis
- 6/** Immunodéficients
- 7/** Sous anticoagulants et/ou antiagrégants plaquettaires
- 8/** Participant à une autre étude clinique (critère devant être discuté avec les investigateurs de l'autre étude clinique)

→ Critères locaux : ils concernent l'organe dentaire :

- 1/** Pronostic local compromis (ex : trauma, maladies parodontales)
- 2/** Plan de traitement global incluant l'avulsion de la dent
- 3/** Plan de traitement global incluant un ancrage radulaire sur la dent
- 4/** Présentant une résorption radulaire interne ou externe
- 5/** Présentant des signes préopératoires de nécrose
- 6/** Présentant des calcifications pulpaires dans la chambre, clairement distinguables sur la radio préopératoire

On notera que l'état d'inflammation pulpaire (réversibilité) n'est pas un critère pris en compte. Cela apporte un intérêt dans l'évaluation de l'indication de la thérapeutique expérimentale.

Critères d'exclusion extemporanés

- 1/ Mise en évidence peropératoire d'une nécrose pulpaire partielle ou totale (au moins d'un des canaux sur dent pluriradiculée)
- 2/ Contrôle impossible de l'hémostase sur au moins l'un des canaux

Ainsi les patients exclus extemporanément seront enregistrés (la pulpotomie présentant des difficultés de diagnostic plus subtiles que le traitement endodontique) et le taux d'exclusion sera rapporté

Protocole des thérapeutiques évaluées

Pour rappel, cette étude a pour objectif de démontrer la non infériorité du traitement conservateur (pulpotomie) au traitement endodontique (pulpectomie)

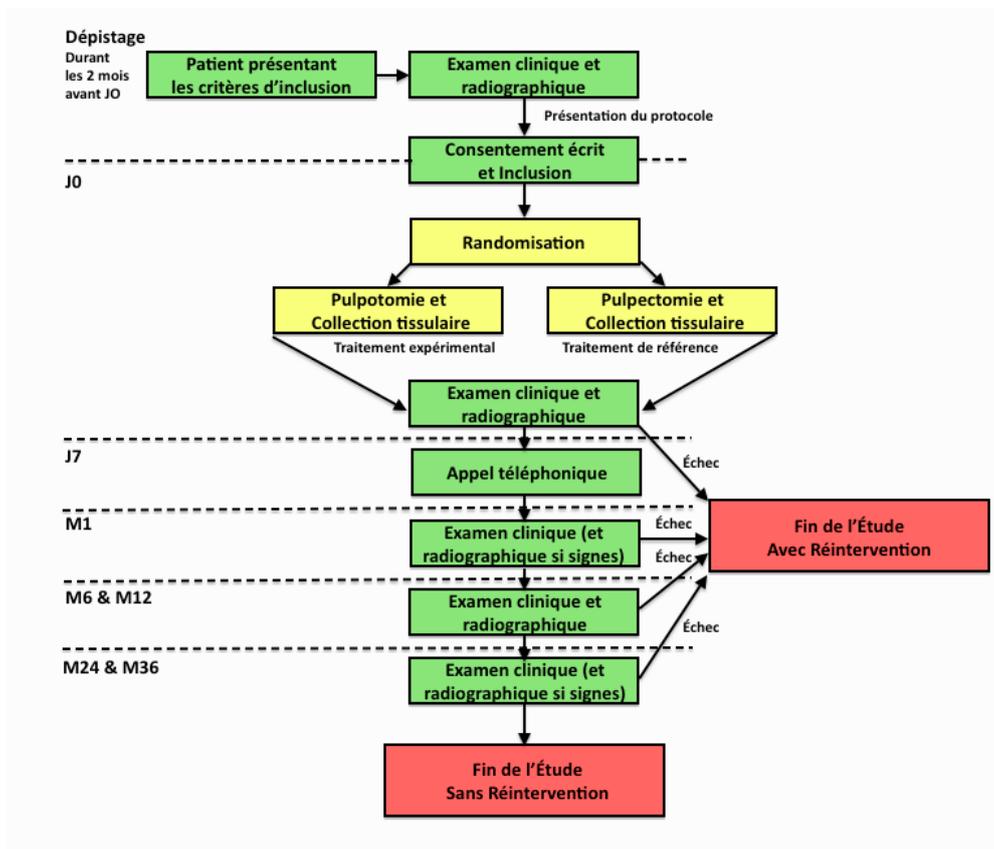
Design de l'étude (cf. Figure)

Si toutefois, le patient présente des symptômes ou requiert une réintervention, en dehors des contrôles établis, il est invité à fixer un rendez-vous d'urgence.

Durant ce rendez-vous non programmé, un examen clinique et radiographique est également réalisé.

Si une réintervention est nécessaire, cela n'interrompt pas la participation à l'étude : le patient est noté en « fin d'étude avec réintervention ».

Figure : Diagramme synthétisant le design de l'étude



Source : Auteur, d'après Simon et Zanini, « Pulpotomy vs pulpectomy outcome (PULPSAVE) », 2016

Appel téléphonique : à 1 semaine après le traitement, le patient est contacté par téléphone afin d'évaluer la douleur postopératoire.

Diagnostic initial

Tout d'abord, deux critères sont à vérifier avant l'évaluation de l'état pulpaire : l'accès à une restauration d'usage (composite, inlay, onlay, couronne...) durant un délai raisonnable (1 mois) après le traitement doit être possible et l'anamnèse ne doit pas suggérer la présence de résorption interne ou externe.

L'examen clinique repose sur :

- La vitalité pulpaire qui doit être évaluée au travers de test thermiques (comparativement à une dent saine)
- Le test de percussion et le sondage parodontal qui doivent exclure une parodontite chronique compromettant la survie de la dent sur arcade. En revanche, la desmodontite associée à une pulpite aiguë n'est pas une clause d'exclusion.

L'examen radiographique : doit comprendre au moins une radiographie numérique permettant d'évaluer la dent dans son ensemble et l'interprétation de celle-ci doit exclure :

- Tout défaut parodontal compromettant la survie de la dent sur arcade
- Les résorptions radiculaires internes et externes
- Toute image péri-apicale suggérant une nécrose partielle

Finalement, le traitement doit être en accord avec le plan de traitement global du patient énoncé précédemment, et les critères d'évaluation diagnostiques sont en accord avec les critères retenus comme précédemment.

Protocoles thérapeutiques

➔ Traitement de référence : la pulpectomie (traitement endocanalair)

Le traitement de référence sera réalisé en accord avec les guidelines publiées par l'European Society of Endodontology. Ainsi, le traitement endodontique doit être réalisé en une seule séance.

La restauration pré-endodontique sera réalisée au préalable et l'isolement, à l'aide d'une digue, doit être réalisé avant la préparation de la cavité d'accès.

La mise en forme sera réalisée à l'aide d'instruments de rotation continue ou de réciprocity, en maintenant une désinfection à l'hypochlorite de sodium (1,5 à 6 %). Une solution d'EDTA, de déminéralisation ou d'activation peut être utilisée (l'utilisation du laser n'est pas autorisée).

L'obturation sera réalisée à l'aide de Gutta Percha, par condensation latérale à froid, compaction à chaud ou système à tuteur. (La technique mono-cone autorisée uniquement en association avec les ciments de scellement biocéramiques. Aucun autre matériau ne doit être utilisé.)

La dent sera restaurée temporairement à l'aide CVI sous digue, l'occlusion sera réglée et des radiographies pré et postopératoire seront nécessaires (les radio peropératoires ne sont pas nécessaire pour l'étude).

Le résultat final doit être en accord avec les guidelines européennes publiées. Dans le cas contraire, la dent doit être retraitée lors du même rendez-vous ou ultérieurement, au plus tôt.

Finalement, la prescription postopératoire d'antalgiques est autorisée mais non requise (ex : Ibuprofène 200 mg, jusqu'à 6 fois par jours en cas de douleur, ou Acetaminophène, jusqu'à 3 g par jour).

➔ **Traitement expérimental : pulpotomie**

Le traitement expérimental doit être réalisé en accord avec les recommandations publiés par Simon et coll. en 2013

Tout d'abord, tout matériau de restauration coronaire doit être éliminé et la dent restaurée au préalable au CVI ou au composite afin d'obtenir une cavité à quatre parois.

L'isolement, à l'aide d'une digue, doit être réalisé avant la préparation de la cavité d'accès.

Une fois réalisée, la pulpe camérale doit être entièrement éliminée et la cavité doit être désinfectée à l'aide de Gluconate de Chlorhexidine (2 %) ou d'hypochlorite de sodium (0,5 à 1 %) ou toute autre solution de désinfection éprouvée (ex : Photo Activated Desinfection).

L'hémorragie sera contrôlée par compression du tissu pulpaire à l'aide d'un coton humide pendant 2 minutes maximum : au delà du délai imparti, l'état inflammatoire pulpaire est considéré comme douteux et le traitement endocanalair doit être réalisé.

Finalement, la cavité est restaurée à l'aide d'un matériau à base de Silicate Tricalcique et d'une résine composite : dans tous les cas, le traitement doit être réalisé en une seule séance (pour toute raison d'infaisabilité, le traitement endocanalair doit être réalisé).

La même prescription antalgique que dans le traitement de référence est autorisée, mais non requise.

En confrontant ce protocole avec le protocole unique proposé précédemment., ils semblent tous deux cohérents dans leur ensemble, notamment lorsque nous nous basons sur l'utilisation de la Biodentine®.

➔ **Technique de collection du tissu pulpaire :**

Lors de chaque traitement, le tissu pulpaire sera collecté selon le protocole suivant :

- La forme de la cavité d'accès sera en accord avec Landmarks et sera de la profondeur nécessaire pour voir la pulpe par transparence ou jusqu'à l'effraction d'une corne pulpaire.
- La cavité sera désinfectée à l'aide d'hypochlorite de sodium (0,5 à 1 %) pendant une minute
- Le reste du toit pulpaire sera éliminée à l'aide d'une petite fraise ou d'un insert ultrasonore
- Une fois la pulpe réellement visible, le tissu sera éliminé à l'aide d'un excavateur

- L'échantillon sera immédiatement immergé dans un tampon de lyse et conservé au réfrigérateur à 4°C pendant maximum 24 heures avant d'être congelé et conservé à -20 °C.

Procédures, évaluation et analyse statistique

Visites programmées et suivi du patient

→ Dépistage (durant les 2 mois avant J0)

Tout d'abord, le jour du dépistage peut être confondu avec le jour du traitement (patient présentant une pulpite aigue en urgence, ou acte non programmé tel que l'effraction pulpaire).

En revanche, l'inclusion peut se faire en amont, lorsqu'un patient entre dans les critères d'inclusion. L'opérateur informe le patient de l'objectif, des bénéfices et risques du traitement. Si le patient accepte, un consentement éclairé est signé. Si l'inclusion se fait en amont du jour du traitement, elle ne doit pas excéder deux mois.

→ Jour du traitement (J0)

Tout d'abord, le consentement éclairé écrit, signé et daté est recueilli par l'investigateur. Une copie est remise au patient et sa participation est notifiée dans son dossier patient.

L'opérateur peut être l'investigateur ou un coinvestigateur enregistré à l'Ordre National des Chirurgiens Dentistes et est communiqué au promoteur.

Le tissu pulpaire est collecté dans les deux groupes pour une analyse ultérieure et une radiographie rétro-alvéolaire postopératoire est obligatoire.

Le temps opératoire, la consommation du matériel et des consommables à usage unique sont notifiés. Et afin de garantir la continuité des soins, une lettre au praticien référent du patient, décrivant l'essai clinique et traitement, est remise au patient, si nécessaire.

→ Contrôle téléphonique (J7 ±3J)

Le patient est contacté par l'investigateur : le niveau de douleur, ainsi que la médication sont évalués. En cas de complication, un rendez-vous d'urgence peut être planifié.

→ Visite de contrôle (M1 ±10J)

Lors de la visite de contrôle, sont réalisés : l'anamnèse (réactions postopératoires, médication), l'examen clinique (évaluation de la restauration, fonction occlusale). Cette visite permet également de contrôler la restauration d'usage.

Si durant cette visite, l'investigateur suspecte un état pathologique pulpaire ou périapical, une radiographie rétro-alvéolaire doit être réalisée (cette radiographie sera la référence car l'examen tridimensionnel, CBCT, serait trop irradiant pour le patient). Autrement, aucune radiographie n'est réalisée lors de cette visite.

→ Visite de contrôle (M6 ±30J et M12 ±30J)

Lors de ces visites, la réponse clinique est évaluée au travers de : l'anamnèse (réactions postopératoires, médication), l'examen clinique (évaluation de la restauration, fonction occlusale). Cette visite permet également de contrôler la restauration d'usage.

Si l'investigateur suspecte une pathologie pulpaire ou périapicale, une radiographie est réalisée. Mais l'examen radiographique est obligatoire lors de ces visites

➔ Visite de contrôle (M24 ±60J et M12 ±60J)

Lors de ces visites, l'investigateur doit évaluer la présence ou l'absence de pathologie osseuse par l'anamnèse, l'examen clinique et les radiographies rétro-alvéolaires.

➔ Visite finale

La visite finale est planifiée pour une durée totale maximale de 3 ans après le traitement et doit évaluer la présence ou l'absence de pathologie osseuse par l'anamnèse, l'examen clinique et une radiographie rétro-alvéolaire obligatoire.

Il est à noter qu'en fonction de la date d'inclusion du patient, la visite finale peut survenir à M12, M24 ou M36.

Finalement, notre calendrier de suivi est cohérent lorsqu'il est comparé aux calendriers de suivi des articles du Corpus n° 2.

Procédure et évaluation de l'étude

L'évaluation est faite au travers de :

- **L'anamnèse médicale et chirurgicale** (questionnaire médicale, historique des maladies), notifiée et documentée.
- **L'examen clinique** à chaque visite, reprenant les critères énoncés lors du diagnostic initial.
- **L'examen radiographique**, au travers d'une radiographie rétro-alvéolaire, nécessaire lors de la sélection, de l'inclusion, après le traitement (J0), à 6 mois, 12 mois, 24 mois et à 36 mois. La radiographie à 1 mois est facultative. Ainsi, la radiographie initiale doit être de qualité suffisante afin d'objectiver l'état parodontal d'une part, et d'autre part, les radiographies de contrôle doivent être de qualité suffisante pour objectiver l'apparition de pathologie péri-apicale (PAI index > 2)
- **L'examen au laboratoire** permet d'évaluer la part diagnostique et pronostique (traitement à réaliser dans telle ou telle situation) des biomarqueurs. Par ailleurs, l'étude de ces biomarqueurs a pour but d'aider à la compréhension scientifique des pathologies pulpaires, d'améliorer les outils diagnostiques et d'anticiper le succès ou l'échec d'un traitement conservateur.

Analyses statistiques

L'analyse statistique intervient en amont de l'étude afin de déterminer le nombre de participants nécessaire à l'étude prospective mais également lors de l'évaluation des critères de jugement.

➔ **Taille de l'échantillon** : elle est calculée en fonction du modèle et de l'objectif de l'étude (étude de non-infériorité)

On relève ainsi que :

- **Le taux d'échec de référence** (mal évalué dans la littérature) est de **10 %** par année immédiatement après le traitement
- **La marge de non-infériorité** est de **2**, exprimé via le Hazard Ratio (admettant qu'un taux d'échec de 20 % par année amènerait à conclure l'infériorité de la pulpotomie)
- **Le ratio de randomisation** est de **1:1**,
- **Le risque α** est de **0,05** et la **puissance** de **0,8**,
- **5 %** des pulpotomies seront converties en pulpectomie en peropératoire et
- Le nombre de **perdus de vue** est estimé à **10 %** par an.

Ainsi, 158 patients serait le nombre idéal pour cette étude de non-infériorité. Mais le nombre de perdus de vue correspondrait à 22 % des patients inclus, augmentant le nombre de patient à 194.

Finalement, puisque nous cherchons à suivre la progression de l'étude, nous choisissons d'utiliser une analyse séquentielle : un Schéma de Pocock nécessite l'augmentation de la taille de 16 % : il faut donc recruter **226** patients, soit **9,41 patients par mois** en moyenne. Une étude multicentrique serait en accord avec ces impératifs et permettra d'apporter un échantillon plus représentatif.

➔ **Analyse du critère de jugement principal**

Si le modèle à risque proportionnel est acceptable dans notre cas, nous affinerons la comparaison brute en ajustant les valeurs pronostiques par le **modèle de régression de Cox – Bayésien**.

Sinon, un **modèle paramétrique prédictif** sera construit pour la comparaison de deux groupes.

Une **analyse intermédiaire** devrait être fournie lorsque 50 patients ont été inclus et contrôlés à M12, puis lorsque 150 patients seront inclus et contrôlés à M12 et finalement, lors de la dernière analyse à la fin de l'étude.

➔ **Analyses secondaires**

La valeur pronostique des variables cliniques et biologiques sera évaluée par incorporation dans un modèle de régression. Leur valeur prédictive sera évaluée.

L'intérêt des variables biologiques pour le choix du traitement sera évalué avec leur interaction avec la **variable « traitement »** dans un modèle de régression. Leur valeur prédictive sera également évaluée.

La **douleur postopératoire** mesurée sur échelle visuelle analogique est analysée par un modèle de régression logistique multinominal, utilisant le traitement comme facteur prédictif.

Une analyse auxiliaire des « **exclusions extemporanées** » comme échec immédiat évaluera la difficulté du diagnostic lors de l'inclusion dans le groupe « pulpotomie » : les patients exclus n'étant pas suivis, l'analyse peropératoire est impossible sur ces patients.

Finalement, une **analyse des coûts économiques** permettra d'évaluer les ressources nécessaires pour chaque traitement : une analyse coût/efficacité sera réalisée.

Il convient donc de terminer la proposition de protocole clinique par ces analyses car elles seront à l'origine des résultats, inexistants à ce jour, à exploiter afin de répondre à la problématique.

Ainsi, ce protocole, approuvé par un comité d'éthique devra être réalisé sur un échantillon de taille importante, regroupant idéalement plusieurs centres hospitalo-universitaires, à visée d'étude multicentrique.

Bibliographie

- Aayushi, Arundeeep, Dax, et Ravjot. « Calcium hydroxide in endodontics ». *Journal of applied dental and medical sciences* 2, n° 3 (2016): 78-88.
- Abd-Elmeguid, A., et D. C. Yu. « Dental pulp neurophysiology. Part 1. Clinical and diagnostic implications ». *Journal (Canadian Dental Association)* 75, n° 1 (2009): 55-59.
- Alqaderi, H. E., S. A. Al-Mutawa, et M. A. Qudeimat. « MTA pulpotomy as an alternative to root canal treatment in children's permanent teeth in a dental public health setting ». *Journal of dentistry* 42, n° 11 (2014): 1390-95. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2014.06.007>.
- Asgary, S., et M. J. Eghbal. « Treatment outcomes of pulpotomy in permanent molars with irreversible pulpitis using biomaterials: a multi-center randomized controlled trial ». *Acta odontologica scandinavica* 71, n° 1 (2013): 130-36. <https://doi.org/10.3109/00016357.2011.654251>.
- Barnkgkei, I. H., E. S. Halboub, et R. S. Alboni. « Pulpotomy of symptomatic permanent teeth with carious exposure using mineral trioxide aggregate ». *Iranian endodontic journal* 8, n° 2 (2013): 65-68.
- Baume, L. J. « Essai d'une classification clinique des pulpopathies ». *Médecine et hygiène* 20 (1962): 419.
- Borkar, S. A., et I. Ataide. « Biodentine pulpotomy several days after pulp exposure: four case reports ». *Journal of conservative dentistry* 18, n° 1 (2015): 73-78. <https://doi.org/10.4103/0972-0707.148901>.
- Boucher, Y., L. Matossian, F. Rilliard, et P. Machtou. « Radiographic evaluation of the prevalence and technical quality of root canal treatment in a french subpopulation ». *International endodontic journal* 35, n° 3 (2002): 229-38.
- Chueh, L.-H., et C.-P. Chiang. « Histology of irreversible pulpitis premolars treated with mineral trioxide aggregate pulpotomy ». *Operative dentistry* 35, n° 3 (2010): 370-74. <https://doi.org/10.2341/09-307-S>.
- Daltoé, M. O., F. W. G. Paula-Silva, Lúcia H. Faccioli, P. M. Gatón-Hernández, A. De Rossi, et L. A. Bezerra Silva. « Expression of mineralization markers during pulp response to biodentine and mineral trioxide aggregate ». *Journal of endodontics* 42, n° 4 (2016): 596-603. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2015.12.018>.
- Eghbal, M. J., S. Asgary, R. A. Baglue, M. Parirokh, et J. Ghoddusi. « MTA pulpotomy of human permanent molars with irreversible pulpitis ». *Australian endodontic journal* 35, n° 1 (2009): 4-8. <https://doi.org/10.1111/j.1747-4477.2009.00166.x>.

El-Meligy, O. A. S., et D. R. Avery. « Comparison of mineral trioxide aggregate and calcium hydroxide as pulpotomy agents in young permanent teeth (apexogenesis) ». *Pediatric dentistry* 28, n° 5 (2006): 399-404.

Ghoddusi, J., F. Shahrami, M. Alizadeh, K. Kianoush, et M. Forghani. « Clinical and radiographic evaluation of vital pulp therapy in open apex teeth with MTA and ZOE ». *The New York state dental journal* 78, n° 3 (2012): 34-38.

Goldberg, M. « Histologie du complexe dentinopulpaire ». In *EMC Médecine buccale*. 77543. Paris: Elsevier Masson, 2016. <https://www-em--premium-com.frodon.univ-paris5.fr/article/1098395/>.

Gronthos, S., M. Mankani, J. Brahimi, P. G. Robey, et S. Shi. « Postnatal human dental pulp stem cells (DPSCs) in vitro and in vivo ». *Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America* 97, n° 25 (2000): 13625-30. <https://doi.org/10.1073/pnas.240309797>.

Gudkina, J., A. Mindere, G. Locane, et A. Brinkmane. « Review of the success of pulp exposure treatment of cariously and traumatically exposed pulps in immature permanent incisors and molars ». *Stomatologija* 14, n° 3 (2012): 71-80.

Harandi, A., M. Forghani, et J. Ghoddusi. « Vital pulp therapy with three different pulpotomy agents in immature molars : a case report ». *Iranian endodontic journal* 8, n° 3 (2013): 145-48.

Harlamb, S. C. « Management of incompletely developed teeth requiring root canal treatment ». *Australian dental journal* 61, n° Suppl 1 (2016): 95-106. <https://doi.org/10.1111/adj.12401>.

Hashem, A. A. R., et E. E. Hassanien. « ProRoot MTA, MTA-Angelus and IRM used to repair large furcation perforations : sealability study ». *Journal of endodontics* 34, n° 1 (2008): 59-61. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2007.09.007>.

Hess, J. C. « A new classification in pulpopathies ». *Actualites odonto-stomatologiques* 78 (1967): 201-8.

Kaquelier, J.-C., et O. Le May. *Anatomie pathologique bucco-dentaire*. 2e édition. Paris: Masson, 1998.

Keswani, D., R. Pandey, A. Ansari, et S. Gupta. « Comparative evaluation of platelet-rich fibrin and mineral trioxide aggregate as pulpotomy agents in permanent teeth with incomplete root development : a randomized controlled trial ». *Journal of endodontics* 40, n° 5 (2014): 599-605. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2014.01.009>.

Kumar, V., R. Juneja, J. Duhan, P. Sangwan, et S. Tewari. « Comparative evaluation of platelet-rich fibrin, mineral trioxide aggregate, and calcium hydroxide as pulpotomy agents in permanent molars with irreversible pulpitis : a randomized controlled trial ». *Contemporary clinical dentistry* 7, n° 4 (2016): 512-18. <https://doi.org/10.4103/0976-237X.194107>.

Lasfargues, J.-J., et P. Colon. *Odontologie conservatrice et restauratrice. Tome 1, une approche médicale globale*. Paris : Éditions CdP, 2009.

Lasfargues, J.-J., et P. Machtou. *Dictionnaire francophone des termes d'odontologie conservatrice : endodontie & odontologie restauratrice*. 2e édition. Paris : Espace ID, 2010.

Linsuwanont, P., K. Wimonstutthikul, U. Pothimoke, et B. Santiwong. « Treatment outcomes of mineral trioxide aggregate pulpotomy in vital permanent teeth with carious pulp exposure : the retrospective study ». *Journal of endodontics* 43, n° 2 (2017): 225-30. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.10.027>.

Lupi-Pegurier, L., M.-F. Bertrand, M. Muller-Bolla, J. P. Rocca, et M. Bolla. « Periapical status, prevalence and quality of endodontic treatment in an adult french population ». *International endodontic journal* 35, n° 8 (2002): 690-97.

Macwan, C., et A. Deshpande. « Mineral trioxide aggregate (MTA) in dentistry : a review of literature ». *Journal of oral research and review* 6, n° 2 (2014): 71-74.

Piette, E., et M. Goldberg. *La dent normale et pathologique*. Bruxelles: De Boeck université, 2001.

Qudeimat, M. A., A. Alyahya, et A. A. Hasan. « Mineral trioxide aggregate pulpotomy for permanent molars with clinical signs indicative of irreversible pulpitis : a preliminary study ». *International endodontic journal* 50, n° 2 (2017): 126-34. <https://doi.org/10.1111/iej.12614>.

Rajasekharan, S., L. C. Martens, R. G. E. C. Cauwels, et R. M. H. Verbeeck. « Biodentine™ material characteristics and clinical applications : a review of the literature ». *European archives of paediatric dentistry* 15, n° 3 (2014): 147-58. <https://doi.org/10.1007/s40368-014-0114-3>.

Ricucci, D., S. Loghin, et J. F. Siqueira. « Correlation between clinical and histologic pulp diagnoses ». *Journal of endodontics* 40, n° 12 (2014): 1932-39. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2014.08.010>.

Simon, S., M. Perard, M. Zanini, A. J. Smith, E. Charpentier, S. X. Djole, et P. J. Lumley. « Should pulp chamber pulpotomy be seen as a permanent treatment ? : some preliminary thoughts ». *International endodontic journal* 46, n° 1 (2013): 79-87. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2012.02113.x>.

Simon, S. R. J., A. Berdal, P. R. Cooper, P. J. Lumley, P. L. Tomson, et A. J. Smith. « Dentin-pulp complex regeneration : from lab to clinic ». *Advances in dental research* 23, n° 3 (2011): 340-45. <https://doi.org/10.1177/0022034511405327>.

Simon, S., et M. Zanini. « Pulpotomy vs pulpectomy outcome (PULPSAVE) ». ClinicalTrials.gov, 2016. <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT02727088>.

Subay, R. K., B. Ilhan, et H. Ulukapi. « Mineral trioxide aggregate as a pulpotomy agent in immature teeth : long-term case report ». *European journal of dentistry* 7, n° 1 (2013): 133-38.

Taha, N. A., M. B. Ahmad, et A. Ghanim. « Assessment of mineral trioxide aggregate pulpotomy in mature permanent teeth with carious exposures ». *International endodontic journal* 50, n° 2 (2017): 117-25. <https://doi.org/10.1111/iej.12605>.

Tavares, P. B. L., E. Bonte, T. Boukpepsi, J. F. Siqueira, et J.-J. Lasfargues. « Prevalence of apical periodontitis in root canal-treated teeth from an urban french population : influence of the quality of

root canal fillings and coronal restorations ». *Journal of endodontics* 35, n° 6 (2009): 810-13.
<https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.03.048>.

Thi, C.-M., et E. Bonte. « Intérêt du CBCT dans le traitement endodontique des racines surnuméraires ». *Le chirurgien dentiste de France*, n° 1697-1698 (2016): 41-45.

Torabinejad, M., R. E. Walton, A. F. Fouad, et G. Lévy. *Endodontie : principes et pratique*. 5e éd. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson, 2016.

Witherspoon, D. E. « Vital pulp therapy with new materials: new directions and treatment perspectives-permanent teeth ». *Journal of endodontics* 34, n° Suppl 7 (2008): S25-28.
<https://doi.org/10.1016/j.joen.2008.02.030>.

Woda, A, S. Doméjean-Orliaguet, D. Faulks, F. Augusto, L. Bourdeau, et S. Deluzarche. « Réflexions sur les critères diagnostiques des maladies pulpaire et parodontales d'origine pulpaire ». *I.D. L'information dentaire* 81, n° 43 (1999): 3473-78.

Table des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1 : Coupe histologique à la jonction pulpo-dentinaire au stade d'Hyperhémie pulpaire..... | 8 |
| Figure 2 : Coupe histologique d'une effraction pulpaire au stade de Pulpite Aigue | 9 |
| Figure 3 : Coupe histologique pulpaire et présence de micro-abcès..... | 9 |
| Figure 4 : Coupe dentaire et coupe histologiques au stade de pulpite aigue réversible..... | 10 |
| Figure 5 : Radiographie rétro-alvéolaire, coupe dentaire et coupe histologiques au stade de pulpite aigue irréversible..... | 11 |
| Figure 6 : Coupe histologique, colorée à l'hémalun-éosine, de 45 traitée par pulpotomie cervicale au MTA | 27 |
| Figure 7 : Coupe histologique de prémolaire d'origine canine traitée par pulpotomie cervicale à la Biodentine® | 28 |

Table des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 1 : Composition du GMTA et du WMTA | 14 |
| Tableau 2 : Caractéristiques de l'hydroxyde de Calcium, du MTA et de la Biodentine® | 21 |
| Tableaux 3 : Sémiologie pulpaire au travers de l'anamnèse et des tests | 23 |
| Tableau 4 : Protocoles et résultats des articles du Corpus n°1 | 31 |
| Tableau 5 : Modèles d'études des articles du Corpus n°2 | 33 |
| Tableau 6 : Objectifs des articles du Corpus n°2 | 35 |
| Tableau 7 : Caractéristiques quantitatives de la population des articles du corpus n°2 | 35 |
| Tableau 8 : Caractéristiques qualitatives de la population des articles du corpus n°2..... | 35 |
| Tableau 9 : Protocoles de la pulpotomie cervicale des articles du corpus n°2 | 37 |
| Tableau 10 : Calendriers de suivi articles du corpus n°2..... | 41 |
| Tableau 11 : Synthèse des taux de succès de la pulpotomie cervicale des articles du corpus n°2 | 41 |

Vu, le Directeur de thèse

Vu, le Doyen de la Faculté de Chirurgie dentaire
de l'Université Paris Descartes

Docteur Éric BONTE

Professeur Louis MAMAN

Vu, le Président de l'Université Paris Descartes

Professeur Frédéric DARDEL

Pour le Président et par délégation,

Le Doyen Louis MAMAN

La pulpotomie cervicale sur dent permanente mature, une alternative aux traitements endodontiques ? : proposition d'un protocole de recherche clinique

Résumé :

La médecine bucco-dentaire, en constante évolution, se veut, actuellement, plus conservatrice et moins invasive : les thérapeutiques d'Odontologie Conservatrice et Endodontique sont les premières concernées dans la préservation tissulaire. En endodontie, l'apparition de nouveaux matériaux au cours des trois dernières décennies a favorisé la mise en place de ces thérapeutiques, au travers de leur haute biocompatibilité et de leur effet bioinducteur sur le tissu pulpaire. En effet, la biopulpectomie, traitement de référence des pathologies inflammatoires pulpaires, est un traitement complexe, chronophage et invasif. Des thérapeutiques plus conservatrices, telles que les coiffages, les pulpotomies (partielle, cervicale) associées à l'emploi de nouveaux matériaux bioactifs (MTA, Biodentine®) sont, d'ores et déjà, éprouvées chez l'enfant. Ces thérapeutiques, ensuite étendues chez l'adulte, ont montré leur efficacité, notamment pour le coiffage. En revanche, les pulpotomie restent des thérapeutiques peu éprouvées sur dent permanente mature, notamment comme traitement d'usage, alors qu'elle est moins invasive. En raison des difficultés rencontrées dans le diagnostic de l'état inflammatoire pulpaire et des limites rencontrées avec les outils diagnostiques actuels, la pulpotomie cervicale se présente comme un compromis plus sûr, dans l'élimination des tissus en phase d'inflammation irréversible. Il est donc nécessaire de s'intéresser aux interactions entre l'endodonte et ces biomatériaux dans un premier temps, évaluer les réponses biologiques, pour ensuite étudier l'emploi de ces biomatériaux dans la pulpotomie cervicale chez l'adulte. A l'issue de cette revue de littérature, un protocole d'étude clinique multicentrique innovant, réalisé par le Pr Stéphane Simon, sera exposé. Il a pour objet de comparer l'efficacité et de prouver la non-infériorité de la pulpotomie cervicale par rapport à la pulpectomie dans le traitement des pathologies pulpaires.

Discipline :

Endodontie

Mots clés fMesh et Rameau :

Pulpotomie -- Dissertations universitaires ; Denture permanente -- Dissertations universitaires ; Plan de recherche -- Dissertations universitaires ; Silicates -- Thèses et écrits académiques

Université Paris Descartes
Faculté de Chirurgie dentaire
1, rue Maurice Arnoux
92120 Montrouge