UNIVERSITÉ TOULOUSE III – PAUL SABATIER

FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

ANNÉE 2013 2013 TOU3 3046

THÈSE

POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement

par

Chloé BUGNARD

Le 24 Septembre 2013

ALTERNATIVES À L'ENDODONTIE

Directeur de Thèse : Dr Marie GURGEL GEORGELIN

JURY

Président :	Professeur Cathy NABET
1er assesseur :	Docteur Franck DIEMER
2ème assesseur :	Docteur Marie GURGEL-GEORGELIN
3ème assesseur :	Docteur Mélanie DEDIEU

UNIVERSITÉ TOULOUSE III – PAUL SABATIER

FACULTÉ DE CHIRURGIE DENTAIRE

ANNÉE 2013 2013 TOU3 3046

THÈSE

POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement

par

Chloé BUGNARD

Le 24 Septembre 2013

ALTERNATIVES À L'ENDODONTIE

Directeur de Thèse : Dr Marie GURGEL GEORGELIN

JURY

Président :	Professeur Cathy NABET
1er assesseur :	Docteur Franck DIEMER
2ème assesseur :	Docteur Marie GURGEL-GEORGELIN
3ème assesseur :	Docteur Mélanie DEDIEU

FACULTÉ DE CHIRURGIE DENTAIRE

➔ DIRECTION

DOYEN
Mr SIXOU Michel

ASSESSEURS DU DOYEN

- ***ENSEIGNANTS*** :

Mme GRÉGOIRE Geneviève
Mr CHAMPION Jean
Mr HAMEL Olivier
Mr POMAR Philippe

- ***PRÉSIDENTE DU COMITÉ SCIENTIFIQUE***

Mme GRIMOUD Anne-Marie

- ***ÉTUDIANT*** :

Mr HAURET-CLOS Mathieu

CHARGÉS DE MISSION
Mr PALOUDIER Gérard
Mr AUTHER Alain

RESPONSABLE ADMINISTRATIF
Mme GRAPELOUP Claude

➔ HONORARIAT

DOYENS HONORAIRES
Mr LAGARRIGUE Jean +
Mr LODTER Jean-Philippe
Mr PALOUDIER Gérard
Mr SOULET Henri

➔ ÉMÉRITAT

Mr PALOUDIER Gérard

➔ PERSONNEL ENSEIGNANT

56.01 PÉDODONTIE

Chef de la sous-section : Mr VAYSSE

Professeur d'Université : Mme BAILLEUL-FORESTIER
Maîtres de Conférences : Mme NOIRRIT-ESCLASSAN, Mr VAYSSE
Assistants : Mr DOMINÉ, Mme GÖTTLE
Chargés d'Enseignement : Mme BACQUÉ, Mme PRINCE-AGBODJAN, Mr TOULOUSE

56.02 ORTHOPÉDIE DENTO-FACIALE

Chef de la sous-section : Mr BARON

Maîtres de Conférences : Mr BARON, Mme LODTER, Mme MARCHAL-SIXOU, Mr ROTENBERG,
Assistants : Mme ELICEGUI, Mme OBACH-DEJEAN, Mr PUJOL
Chargés d'Enseignement : Mr GARNAULT, Mme MECHRAOUI, Mr MIQUEL

56.03 PRÉVENTION, ÉPIDÉMIOLOGIE, ÉCONOMIE DE LA SANTÉ, ODONTOLOGIE LÉGALE

Chef de la sous-section : Mr HAMEL

Professeurs d'Université : Mme NABET, Mr PALOUDIER, Mr SIXOU
Maître de Conférences : Mr HAMEL
Assistant : Mr MONSARRAT
Chargés d'Enseignement : Mr DURAND, Mr PARAYRE, Mr VERGNES

57.01 PARODONTOLOGIE

Chef de la sous-section : ***Mr BARTHET***

Maître de Conférences : Mr BARTHET

Assistants : Mr MOURGUES, Mme VINEL

Chargés d'Enseignement : Mr. CALVO, Mme DALICIEUX-LAURENCIN, Mr LAFFORGUE, Mr PIOTROWSKI, Mr SANCIER

57.02 CHIRURGIE BUCCALE, PATHOLOGIE ET THÉRAPEUTIQUE, ANESTHÉSIOLOGIE ET RÉANIMATION

Chef de la sous-section : ***Mr CAMPAN***

Professeur d'Université : Mr DURAN

Maîtres de Conférences : Mr CAMPAN, Mr COURTOIS, Mme COUSTY

Assistants : Mme BOULANGER, Mr FAUXPOINT, Mme FERNET-MAGNAVAL

Chargés d'Enseignement : Mr GANTE, Mr L'HOMME, Mme LABADIE, Mr PLANCHAND, Mr SALEFRANQUE

57.03 SCIENCES BIOLOGIQUES (BIOCHIMIE, IMMUNOLOGIE, HISTOLOGIE, EMBRYOLOGIE. GÉNÉTIQUE, ANATOMIE PATHOLOGIQUE, BACTÉRIOLOGIE, PHARMACOLOGIE

Chef de la sous-section : ***Mr KÉMOUN***

Professeur d'Université : Mme DUFFAUT

Maîtres de Conférences : Mme GRIMOUD, Mr KEMOUN, Mr POULET

Assistants : Mr BLASCO-BAQUE, Mme GAROBY-SALOM, Mme SOUBIELLE, Mme VALERA

Chargés d'Enseignement : Mr BARRÉ, Mme DJOUADI-ARAMA, Mr SIGNAT

58.01 ODONTOLOGIE CONSERVATRICE, ENDODONTIE

Chef de la sous-section : ***Mr GUIGNES***

Maîtres de Conférences : Mr DIEMER, Mr GUIGNES, Mme GURGEL-GEORGELIN, Mme MARET-COMTESSE

Assistants : Mr ARCAUTE, Mlle DARDÉ, Mme DEDIEU, Mme DUEYMES, Mme FOURQUET, Mr MICHETTI

Chargés d'Enseignement : Mr BALGUERIE, Mr BELAID, Mlle BORIES, Mr ELBEZE, Mr MALLET, Mlle PRATS, Mlle VALLAEYS

58.02 PROTHÈSES (PROTHÈSE CONJOINTE, PROTHÈSE ADJOINTE PARTIELLE, PROTHÈSE COMPLÈTE, PROTHÈSE MAXILLO-FACIALE)

Chef de la sous-section : ***Mr CHAMPION***

Professeurs d'Université : Mr ARMAND, Mr POMAR

Maîtres de Conférences : Mr BLANDIN, Mr CHAMPION, Mr ESCLASSAN

Assistants : Mr CHABRERON, Mr DESTRUHAUT, Mr GALIBOURG, Mr HOBEILAH, Mme SOULES

Chargés d'Enseignement : Mr ABGRALL, Mr DEILHES, Mr FARRÉ, Mr FLORENTIN, Mr FOLCH, Mr GHRENASSIA, Mr KAHIL, Mme LACOSTE-FERRE, Mme LASMOLLES, Mr LUCAS, Mr MIR, Mr POGEANT, Mr RAYNALDY

58.03 SCIENCES ANATOMIQUES ET PHYSIOLOGIQUES, OCCLUSODONTIQUES, BIOMATÉRIAUX, BIOPHYSIQUE, RADIOLOGIE

Chef de la sous-section : ***Mme GRÉGOIRE***

Professeur d'Université : Mme GRÉGOIRE

Maîtres de Conférences : Mme JONIOT, Mr NASR

Assistants : Mr AHMED, Mr CANIVET, Mr DELANNÉE

Chargés d'Enseignement : Mme BAYLE-DELANNÉE, Mme MAGNE, Mr TREIL, Mr VERGÉ

L'université Paul Sabatier déclare n'être pas responsable des opinions émises par les candidats.
(Délibération en date du 12 Mai 1891).

Mise à jour au 4 février 2013

Remerciements

À mon père et ma mère; merci pour votre soutien pendant toutes ces années et Dieu sait qu'elles ont été longues ! Malgré la distance qui nous sépare à travers la France je vous ai toujours senti à mes côtés. Et à Ophélie, Glenn et Anaïs, je vous adore. J'espère que nos différents chemins de vie nous permettront toujours de nous retrouver.

À tout le reste de ma famille, à Lison ma grand-mère géniale, à Karine ma marraine, à Hélène ma tante, et à mes oncles. Merci pour ces dimanches et ces repas en famille où vous m'avez tant chambrée pour mes mésaventures avec les trains et les voitures.

À Gildas, mon super binôme. Merci pour ces trois années de clinique ou tu as su supporter mon caractère pas très patient, pas très zen et franchement stressé. Merci pour tes conseils, ta patience, ton amitié et ton soutien constant dans toutes les situations. J'espère que tu t'épanouiras dans la nouvelle voie que tu te traces aujourd'hui.

À Serge mon parrain, Sylvie et Romain. Pour avoir toujours été là à me soutenir à Toulouse et pour votre éternelle bonne humeur.

À Sarah, merci encore pour tout. Pour cette amitié si chère à mes yeux, ta bonne humeur et tes conseils toujours avisés. Merci pour tous ces fous rires, nos japonais, et nos goûters en clinique. Nous avons partagé énormément ensembles et tu fais partie des personnes qui me connaissent le mieux. Je serai toujours là pour toi.

À mes amis de Bretagne, Delphine, Anna, Privel, Silver. Merci pour toutes ces années d'amitié que la distance n'a pas pu détruire. La distance va encore augmenter, mais je sais que je pourrai toujours compter sur vous.

À Mathieu, Vincent, Sophie, Cyrielle, Alicja. Si ces années d'études sont passées tellement vite c'est en partie grâce à vous. Merci pour toutes ces sorties, ces soirées, ces moments passés ensembles. Merci pour ces voyages passés et, j'en suis sûre, pour ceux à venir, entre autre celui où vous viendrez me voir !

À Carole et Pascale, les copines de BU !

Aux Toulousains : Franck, Vivien, Sylvain. Des rencontres diverses qui ont égayé ma vie d'étudiante et l'ont enrichie. Merci enfin à celui qui m'a convaincue que je pouvais redoubler la P1, que j'y arriverais.

Enfin, merci à Laurent pour ta patience, pour tes corrections et tes relectures, ton aide et ton soutien dans ce travail. Cette thèse marque la fin de mes études et le début de notre aventure outre-Atlantique. Je t'aime.

À la présidente du Jury,

Madame le Professeur NABET Cathy

- Professeur des Universités, Praticien hospitalier d'Odontologie,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- Diplôme d'Études Approfondies de Santé Publique – Épidémiologie
- Docteur de l'Université Paris XI,
- Habilitation à Diriger des Recherches (HDR),
- Lauréate de la Faculté de Médecine,
- Lauréate de l'Université Paul Sabatier,
- Lauréate de l'Académie Nationale de Chirurgie Dentaire

Je souhaite vous remercier de m'avoir fait l'honneur d'accepter la présidence de mon jury de thèse.

Veuillez agréer l'expression de ma profonde reconnaissance et de ma gratitude.

À la directrice de Thèse,

Madame le Docteur GURGEL-GEORGELIN Marie

- Maître de Conférences des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- Ancienne Interne des Hôpitaux,
- Titulaire d'un D.E.A. MASS « Lyon III »,
- Maîtrise des Sciences Biologiques et Médicales

Vous m'avez fait l'immense honneur d'accepter de diriger cette thèse. J'ai été ravie de pouvoir faire ce travail avec vous, après vous avoir connue en clinique. Je tenais à vous remercier pour tout ce que vous m'avez apporté tout au long de ces années, tant en cours que durant mon année de TCEO1.

Veuillez trouver ici toute ma reconnaissance et mes remerciements les plus sincères.

Au membre du Jury,

Monsieur le Docteur DIEMER Franck

- Maître de Conférences des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- Diplôme d'Études Approfondies en Education, Formation et Insertion Toulouse- Le Mirail-,
- Docteur de l'Université Paul Sabatier,
- Lauréat de l'Université Paul Sabatier,
- Habilitation à diriger les recherches.

Vous avez été présent tout au long de mon parcours universitaire, avec votre gentillesse et votre pédagogie. C'est donc un honneur pour moi que vous ayez accepté de siéger à mon jury de thèse.

Veuillez recevoir l'expression de ma profonde gratitude et de tout mon respect.

Au membre du Jury,

Madame le Docteur DEDIEU Mélanie

- Assistante hospitalo-universitaire d'Odontologie,

- Docteur en Chirurgie Dentaire,

- Master 1 « Biosanté », mention Anthropologie, ethnologie et sociologie de la santé

Merci beaucoup d'avoir accepté de siéger à mon jury de thèse. Je garde un très bon souvenir de votre encadrement en clinique, ainsi que de vos conseils.

Veuillez recevoir ici l'expression de mes sentiments les meilleurs.

Sommaire

Contexte tissulaire et problématique **12**

1. La pulpe **15**

1.1. Rappels **15**
1.1.1. Définitions 15
1.1.2. Histologie de la pulpe 15

1.2. Réaction de la pulpe face aux agressions carieuses ou autres **18**
1.2.1. La dentine réactionnelle 20
1.2.2. La dentine réparatrice 20

1.3. Potentiel régénératif de la pulpe **22**

2. Diagnostic précoce et prévention **23**

2.1. Prévention **23**

2.2. Utilisation des méthodes de détection des caries **23**
2.2.1. La radiographie 24
2.2.2. La fluorescence laser 25
2.2.3. La transillumination 26
2.2.4. La conductivité dentaire 27
2.2.5. Le colorant 27

3. Techniques conservatrices **28**

3.1. La stepwise excavation **28**
3.1.1. Technique et méthode 28
3.1.2. Résultats 29
3.1.3. Discussions 31

3.2. Excavation ultra conservative **34**
3.2.1. Description de la technique 34
3.2.2. Résultats 36
3.2.3. Discussions 37

4. Techniques non conservatrices suite à la carie ***39***

4.1. Coiffage pulpaire direct **40**
4.1.1. Technique 40
4.1.2. Matériaux utilisés 42
Hydroxyde de Calcium 42
Mineral Trioxide Aggregate 44
Autres 46
4.1.3. Résultats 48
4.1.4. Discussions 50

4.2. La pulpotomie **52**
4.2.1. Pulpotomie partielle 52
4.2.2. Pulpotomie totale 54
4.2.3. Discussion 56

Conclusion ***58***

Bibliographie ***61***

Annexes ***70***

Iconographie ***71***

Contexte tissulaire et problématique

La carie est la première pathologie rencontrée par le dentiste. Si dans une partie des cas la problématique du traitement consiste en le choix du matériau d'obturation de la cavité carieuse, parfois l'importance de la carie nous amène à nous poser d'autres questions : peut-on garder la dent vitale ? La pulpectomie est-elle la seule option disponible ?

Le traitement endodontique est fréquemment utilisé de nos jours, en tant que thérapeutique fiable et reconnue. C'est un traitement qui est employé lors de plusieurs circonstances cliniques comme une carie profonde atteignant la pulpe et entraînant une pulpite irréversible, une nécrose pulpaire due à des agressions répétées sur une dent, une pulpite à rétro, un traumatisme dentaire exposant la pulpe et non traité à temps pour permettre la sauvegarde de la pulpe… Toutefois la dévitalisation pourrait être évitée dans plusieurs de ces cas, par l'utilisation d'une thérapeutique de maintien de vitalité.

Ainsi, une étude menée via internet auprès des dentistes par rapport à leur pratique en 2007 a évalué leur réaction face à une carie profonde exposant la pulpe. 62% des dentistes enlèveront toute la carie quitte à risquer l'effraction, 18% des dentistes opteront pour une approche plus précautionneuse en enlevant partiellement la carie et 21% des dentistes initieront directement le traitement endodontique sans se soucier de la question du maintien de la vitalité.[18]

Cependant, si la dévitalisation assure un maintien sur l'arcade de dents qui devraient autrement être avulsées, elle ne permet pas un taux de survie de 100%. Selon une méta-analyse, le taux de survie lors d'une dévitalisation d'une dent vivante est de 82.9%.[62] Il est également intriguant de remarquer que ce taux de survie a diminué ces 40 dernières années, passant de 92% à 82%.[92]

Une autre étude montre que le taux de survie d'une dent dévitalisée augmente considérablement lorsque quatre facteurs sont respectés : la dent doit être restaurée par une couronne après le traitement, elle doit avoir des contacts proximaux mésiaux et distaux, la dent ne doit pas servir de soutien pour une prothèse fixe ou amovible, et enfin

s'il ne s'agit pas d'une molaire.[88] En effet, le taux de survie d'une molaire traitée endodontiquement est très bas.[22] Les cas contrôles montrent des résultats de survie entre deux et dix ans variant entre 86 et 94%.[90] Cependant, ces résultats concernent des dents traitées dans des conditions très contrôlées et ne peuvent être généralisés. Ainsi, les études épidémiologiques donnent des résultats de survie nettement inférieurs à l'échelle des pays. Pour des pays développés (l'Écosse par exemple), la moyenne de survie d'une dent dévitalisée est de 50%.[100]

Une étude a imaginé un scénario pour représenter la survie d'une dent qui est dévitalisée.[5] En estimant une population avec 100 millions d'adultes, ayant tous une dent avec un traitement endodontique en bouche. Environ 50% d'entre eux ont donc besoin d'un retraitement. Si celui-ci est effectué par des endodontistes (ou des cliniciens expérimentés), le taux de réussite est estimé à 77%.[89] Après ce retraitement, il resterait donc tout de même 11.5 millions de dents dont le problème serait non résolu. L'option suivante est le retraitement chirurgical, dont le taux de réussite est estimé à environ 60%.[64] Au final, il resterait donc 4.5 millions de dents pour lesquelles il n'y aurait d'autre solution que l'extraction.

Ainsi, il est quelque chose que toutes les études reconnaissent, c'est qu'une dent dévitalisée est plus fragile qu'une dent vivante et que, de par la perte de son système neuro-vasculaire, elle perd sa capacité à avertir le patient d'une possible reprise carieuse.

Il est devenu aujourd'hui reconnu que garder les dents vitales le plus longtemps possible est un enjeu principal de nos thérapeutiques. Avec l'évolution des biomatériaux utilisés dans nos soins et l'évolution de la compréhension des phénomènes carieux et bactériens, les techniques de soins évoluent et il devient de plus en plus possible de tenter de conserver une vitalité pulpaire, que ce soit sur une dent avec un diagnostic de carie profonde, ou sur une dent avec une effraction pulpaire due à une carie, surtout lorsque le diagnostic de la dent est une pulpite réversible.

Lorsqu'une dent temporaire se retrouve agressée par une carie profonde, le praticien ne se pose pas de questions : si la dent est toujours vitale, il effectue une pulpotomie. Ce traitement permet à la dent de rester sur l'arcade, vivante. De même, lors des fractures coronaires exposant la pulpe d'une dent, le praticien effectue un coiffage

pulpaire, thérapeutique qui permet ainsi de garder la dent vitale. Ces traitements peuvent être transposés à la dent permanente atteinte par une agression carieuse, dans certaines conditions de mise en œuvre et de suivi.

De même, lorsque le praticien sait qu'il a affaire à une carie profonde, plutôt que de réaliser une excavation complète risquant d'exposer la pulpe et de par ce fait diminuant le pronostic vital de la dent, il peut se tourner vers d'autres méthodes d'excavation carieuses, lui permettant d'éviter au mieux cette effraction pulpaire.

Ainsi, le praticien a dans son arsenal thérapeutique plusieurs options qu'il peut associer en cas d'échec d'une première tentative, toujours dans ce but essentiel de conserver la vitalité de la dent concernée. Et demain, de nouvelles techniques viendront également s'ajouter à cet arsenal, permettant encore plus de repousser le moment ou le praticien devra dévitaliser une dent.

1. La pulpe

1.1. Rappels

1.1.1. Définitions

La pulpe dentaire est la partie centrale de la dent, constituée par une masse conjonctivo-vasculaire. Elle assure plusieurs fonctions, dont la formation de la dentine, élément de la dent dont elle est indissociable, ce qui fait que l'on parle souvent de complexe dentino-pulpaire.

Elle est également responsable des fonctions neuro-sensorielles de la dent (ressenti des températures, de la douleur, de la proprioception) grâce à son innervation, et de la survie des odontoblastes, grâce à sa vascularisation qui lui apporte les nutriments essentiels pour la synthèse dentinaire.

La pulpe occupe la partie centrale de la racine dentaire et de la couronne où elle forme une chambre pulpaire dont la morphologie dépend de celle de la couronne dentaire. Ce volume pulpaire diminue tout au long de la vie dentaire, suite à l'apposition continue de dentine dite secondaire.

1.1.2. Histologie de la pulpe

La pulpe adulte est constituée de plusieurs éléments cellulaires, nerveux, vasculaires, fibreux et par de la substance fondamentale. Elle est constituée microscopiquement de deux zones, une pulpe marginale et une pulpe centrale.

La pulpe marginale comprend les éléments situés au contact de la dentine et est formée de la ligne des barres terminales (alignement des jonctions intercellulaires entre les corps des odontoblastes, véritable frontière entre la dentine et la pulpe), des corps cellulaires des odontoblastes, de la zone pauvre de Weill (zone pauvre en cellules et riche en fibres où l'on retrouve des fibres nerveuses qui constituent le complexe de Rashkov), et de la zone riche de Schour (zone riche en cellules telles que les fibroblastes, fibrocytes,

lymphocytes et de cellules indifférenciées). Pour certains auteurs, la zone pauvre de Weill et la zone riche de Schour sont confondues en une couche appelée couche de Höhl[47].

Les odontoblastes sont des cellules post-mitotiques (elles n'ont donc plus de possibilité de division), responsables de la sécrétion de la pré-dentine qui se transforme en dentine par minéralisation. Ce sont également des cellules immuno-compétentes, capables d'orchestrer une réponse immunitaire suite à une agression bactérienne.[31]

La pulpe centrale constitue une zone de conjonctif lâche, riche en cellules et en fibres, ainsi qu'en substance fondamentale.

La substance fondamentale est constituée à 90%d'eau, de Glyco-amino-glycanes responsables de l'absence de minéralisation de ce tissu conjonctif et de résistance à la compression, jouant ainsi un rôle dans la protection des éléments vasculaires et nerveux au sein de la pulpe, et enfin de glycoprotéines de structure.

Les fibroblastes et fibrocytes sont des cellules sécrétrices (de fibres et de la substance fondamentale), responsables du renouvellement de la pulpe. Les fibroblastes sont des cellules jeunes tandis que les fibrocytes sont des cellules à l'activité métabolique réduite. Ces cellules sont reliées entre elles par des jonctions intercellulaires et communicantes, formant un réseau continu. Ces cellules se déplacent donc en groupe, suivant un mouvement horizontal pour la pulpe coronaire et vertical pour la pulpe radiculaire, amenant les cellules ayant fini leur cycle à entrer en apoptose au niveau de la zone juxta-dentinaire formée par la couche de Höhl.[65]

Des cellules immunitaires se trouvent également dans la pulpe, de type histiocyte (cellules de veille se transformant en macrophages lors de réactions inflammatoires), macrophage (peu nombreuses dans la pulpe, apparaissent lors des réactions inflammatoires par migration depuis les vaisseaux sanguins), polynucléaire neutrophile (rares, concentrés dans la pulpe coronaire), mastocytes (apparaissent surtout lors de réactions inflammatoires), lymphocyte (présents dans la pulpe saine, surtout au niveau de la zone riche de Schour) et plasmocyte (rares dans la pulpe saine).

Enfin on retrouve des cellules indifférenciées, le plus souvent à proximité des vaisseaux, au niveau de la couche de Höhl en particulier. Elles font partie du groupe des

cellules souches mésenchymateuses ou cellules progénitrices qui sont présentes initialement dans la pulpe ou qui peuvent y migrer à partir d'autres tissus dont la moelle osseuse. Ces cellules peuvent se différencier en fibroblastes ou en néo-odontoblastes. La population de ces cellules diminue dans les pulpes âgées.

La pulpe contient essentiellement deux types de fibres, les fibres de collagène et les fibres élastiques. C'est surtout un collagène de type I et III, responsable du support et de la structure du tissu conjonctif.

La vascularisation de la pulpe s'effectue grâce à une ou deux petites artérioles qui pénètrent la dent par le foramen apical et qui cheminent jusqu'à la chambre pulpaire en formant des capillaires au voisinage des odontoblastes, le plexus capillaire sous-odontoblastique. Puis le retour veineux est assuré par des veinules qui rejoignent le foramen apical. La vascularisation lymphatique est également assurée par des petits capillaires qui drainent le tissu de la périphérie vers le centre de la dent.

Les gaines nerveuses pénètrent la dent par le foramen apical dès la formation de la gaine d'Hertwig mais ne sont fonctionnelles qu'au moment ou la dent entre en contact avec son antagoniste. Au niveau de la zone pauvre de Weill, les fibres nerveuses constituent un réseau dense sous-odontoblastique, le plexus de Rashkov où les fibres myéliniques et amyéliniques entrent en contact direct avec les corps cellulaires des odontoblastes.

La pulpe est un tissu actif tout au long de la vie de l'organe dentaire, responsable de son innervation, de sa vascularisation, de sa nutrition et éventuellement de sa réparation lors des agressions.

1.2. Réaction de la pulpe face aux agressions carieuses ou autres

La pulpe est donc enfermée au centre de la dent, protégée par les tissus durs que sont l'émail et la dentine. Elle est également microscopiquement protégée par une barrière odontoblastique, formée par les corps cellulaires des odontoblastes, présents à la jonction pulpo-dentinaire. Ce système de protection permet de mettre en alerte la pulpe à la moindre agression, et ce par plusieurs mécanismes.

Les antigènes ou irritants bactériens présents à la jonction amélo-dentinaire diffusent jusqu'à la pulpe, où ils déclenchent une réaction inflammatoire plus ou moins modérée, localisée et réversible[104]. Les antigènes sont alors capturés par des cellules dendritiques pour être présentés au niveau des ganglions aux lymphocytes T, permettant une réaction immédiate lors d'une exposition secondaire.

En temps normal cette diffusion intra-dentinaire est limitée car la pression intra-pulpaire étant supérieure, elle s'oppose à cette migration, ce qui constitue un moyen de protection. Cependant ce mécanisme de défense a ses limites.

Dans l'avancée du processus carieux, on observe en premier lieu la déminéralisation de l'émail, causée par la diffusion d'acides bactériens. Petit à petit ces pans déminéralisés s'effondrent et les bactéries envahissent la cavité formée. La déminéralisation se poursuit alors, jusqu'à franchir la jonction amélo-dentinaire, et les bactéries colonisent en suivant. Tout au long du processus carieux, la déminéralisation précède la colonisation bactérienne. De même, il a été prouvé que dans l'avancement de ce processus, le ramollissement de la dentine précède sa coloration, qui elle-même précède l'infiltration bactérienne.[39]

D'un point de vue histopathologique, la carie dentinaire n'est pas homogène et présente plusieurs zones distinctes. Deux couches ont été ainsi identifiées par Fusayama[40], une couche externe de dentine infectée (décomposée) et une couche interne de dentine affectée (déminéralisée). La distinction entre ces deux couches est importante à faire car la couche interne est considérée comme physiologiquement reminéralisable et la conservation de cette zone augmente l'épaisseur de dentine

résiduelle.[114] Des travaux récents suggèrent que la reminéralisation de la couche interne serait également possible[23,73] Cependant, la distinction clinique entre ces deux couches est délicate, car elle se base sur un changement de couleur et de sensation tactile (la couche interne est plus sombre et plus dure).[126]

Une étude s'est penchée sur les évènements moléculaires survenant au niveau du complexe dentino-pulpaire lors la progression carieuse et a observé l'augmentation de collagène de type I, ainsi que de phosphophoryne et sialoprotéine dentinaire : ces trois molécules jouant un rôle actif dans le processus de minéralisation dentinaire. Cette étude en conclue que l'agression carieuse stimule activement la synthétisation de ces molécules par le complexe dentino-pulpaire et que cette réponse est une base à la formation ultérieure de dentine réparatrice ou réactionnelle.[66]

L'intensité de la réponse pulpaire à cette agression carieuse va alors varier selon plusieurs facteurs, dont l'âge de l'individu, l'état initial de la pulpe (si elle a déjà subi une agression précédemment), la vitesse de la progression, la perméabilité dentinaire face aux toxines carieuses…[95]

Ainsi, on pourra observer au sein de la pulpe plusieurs manifestations, en réaction à l'agression. Ces manifestations s'observent histologiquement et consistent notamment en une réduction du nombre et de la taille des odontoblastes ; un dépôt de fibres collagènes au sein de la pulpe ; l'apparition d'un infiltrat inflammatoire (composé de lymphocytes, de plasmocytes et de macrophages) ; et la prolifération de petits vaisseaux sanguins et de fibroblastes. L'inflammation pulpaire augmente selon la proximité de l'agression et son intensité. Lorsque les bactéries atteignent la couche de dentine réactionnelle, elle est alors à un stade d'inflammation aigüe, ou pulpite réversible. Puis les bactéries atteignent la pulpe : plus elles sont nombreuses plus la pulpe à du mal à se défendre, jusqu'au stade ou elle se laisse déborder par l'agression. La pulpe est alors en pulpite irréversible et on atteint le point de non retour, menant à la nécrose pulpaire.

Selon l'importance de la stimulation pulpaire, on observera différentes réactions de défense, situées en regard de la zone de l'agression.

1.2.1. La dentine réactionnelle

La dentine réactionnelle est une dentine tertiaire (dentine secrétée en réponse à une agression) qui est formée par les odontoblastes lésés. Elle a lieu lors d'une stimulation modérée, telle une carie superficielle, ou à progression lente. Ce sont les odontoblastes de la 1ère génération, différenciés lors de l'odontogénèse, qui synthétisent cette dentine rapidement.

Elle se dépose plus rapidement que la dentine secondaire et le début de sa sécrétion est marquée par l'apparition d'une ligne calcio-traumatique. Elle ressemble par son aspect à la dentine secondaire et physiologique, avec laquelle elle est en continuité. C'est une dentine canaliculaire, aussi appelée orthodentine (les corps cellulaires sont à l'extérieur du tissu minéralisé).

Cette sécrétion serait surtout due à la solubilisation de facteurs de croissance présents dans la dentine saine par le processus carieux. Ces facteurs de croissance atteignent les corps odontoblastiques par une diffusion dans les tubulis et stimuleraient ainsi l'augmentation de la formation dentinaire.

1.2.2. La dentine réparatrice

Lorsque les odontoblastes sont trop lésés par les irritants, ils entrent en apoptose, et de nouvelles cellules indifférenciées issues de la zone riche de Schour viennent les remplacer. Ces nouvelles cellules se différencient, mais ne deviennent pas des odontoblastes mais des cellules odontoblastes-like. Cela a surtout lieu lors de caries profondes, ou à progression rapide ou encore lors d'effraction pulpaire. Il faut alors environ 20 jours pour que ces cellules se différencient et une 10aine de jours supplémentaires pour que la sécrétion commence. Il y a donc une interruption de la sécrétion dentinaire, ce qui est objectivé ensuite par l'observation d'une ligne calcio-traumatique.[9]

Ceci induit un processus de différentiation et de migration des cellules souches, qui se différencient et synthétisent rapidement une couche de dentine atubulaire ou fibrodentine ou ostéodentine (les corps cellulaires sont à l'intérieur du tissu minéralisé), qui isole la pulpe du milieu extérieur. Cet isolement crée les conditions de polarisation des cellules accrochées à la fibrodentine, qui prennent alors un aspect odontoblastique et se mettent à déposer une dentine tubulaire de type orthodentine. Ceci marque l'aboutissement du processus de cicatrisation pulpaire.[104]

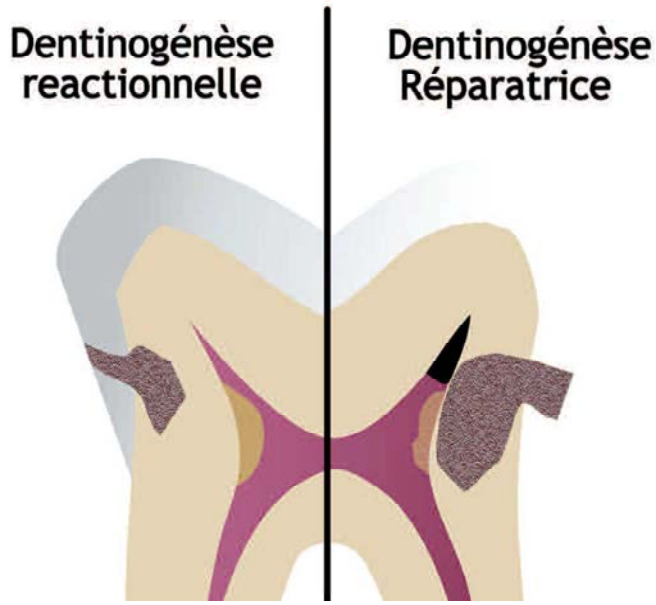


Figure 1 : Différence entre la dentinogénèse réactionnelle et la dentinogénèse réparatrice[102]

On peut cependant observer un mélange de ces deux réactions (dentine réactionnelle et dentine réparatrice), conduisant à une dentine avec une moindre densité tubulaire et une perméabilité partielle.

1.3. Potentiel régénératif de la pulpe

La pulpe possède donc une capacité de réparation par le biais de cette dentine tertiaire réparatrice et elle possède également un potentiel régénératif via la présence de cellules indifférenciées appelées Dental Pulp Stem Cells (DPSC) pouvant donner naissance à une nouvelle génération de cellules sécrétrices de type odontoblaste.

L'origine de ces cellules progénitrices reste discutée, car incertaine. Leur présence au sein de la masse pulpaire a permis de démontrer l'intérêt de la pulpe en tant que niche de remplacement. Une seconde population de cellules souches a été mise en évidence dans la pulpe de la dent temporaire, appelée Stem cells from Human Exfoliated Deciduous teeth (SHED).[102]

Ces cellules souches présentent un intérêt évident mais doivent encore être analysées afin de déterminer leur degré de plasticité (capacité à se différencier en différents tissus dentaires ou non). De plus, leur présence au sein de la pulpe ouvre de nouvelles voies pour les investigations sur le processus de réparation pulpaire, même si de nombreux auteurs tendent à penser que l'origine des cellules néo-odontoblastiques serait extra dentaire.

Aujourd'hui, ces nouvelles approches et connaissances de la pulpe amènent les scientifiques à chercher de nouvelles techniques de conservation de vitalité pulpaire, telles que l'utilisation de matériaux bio-actifs permettant d'induire directement une réaction pulpaire en coiffage[115], ou bien l'utilisation de molécules permettant le recrutement de cellules néo-odontoblastiques.[44] Ces techniques visent à stimuler le potentiel régénératif de la pulpe assez peu exploité et à diminuer la quantité de dévitalisations réalisées.

2. Diagnostic précoce et prévention

2.1. Prévention

Si initialement le traitement de la carie ne se considérait qu'au travers du traitement de la lésion en elle-même, aujourd'hui la prévention reste le premier moyen à notre disposition pour éviter la dévitalisation. En effet, en prévenant l'apparition de la maladie carieuse, on prévient également sa progression et donc la pathologie pulpaire associée. De plus, les concepts de nos traitements actuels ne s'envisagent qu'au sein d'une cavité buccale «propre», où le patient a compris l'intérêt de cette prévention. Ce traitement préventif repose sur plusieurs aspects, incluant par exemple les scellements de sillons chez l'enfant, l'initiation et la motivation à l'hygiène chez tous nos patients, la fluoration des lésions débutantes de l'émail.[49] La prévention doit rester au cœur de notre action thérapeutique comme premier outil de traitement.

2.2. Utilisation des méthodes de détection des caries

C'est en ayant conscience de la possibilité de proximité pulpaire que le praticien pourra mettre en œuvre les méthodes nécessaires à la survie pulpaire. Il est donc nécessaire qu'il ait au préalable diagnostiqué la présence d'une carie profonde sur la dent concernée, pour pouvoir réaliser son excavation dans les meilleures conditions de protection de la pulpe.

Qu'est ce qu'une carie profonde ? A partir de quel moment la carie est-elle considérée comme telle, et comment le praticien peut il s'en apercevoir ? La profondeur de la carie est estimée en général par rapport à sa distance à la pulpe. D'un point de vue clinique, une carie est profonde lorsqu'elle correspond à un stade trois ou quatre. La majorité des dentistes définissent une carie profonde comme une carie qui pénètre aux trois quarts de la dentine ou plus sur une radio.[17]

2.2.1. La radiographie

Le premier moyen de détection de ces caries reste le diagnostique radiologique. Il permet au praticien d'apprécier les rapports entre la pulpe et la carie, de classifier cette carie grâce à la méthode de classification SiSta, et également d'estimer la présence de lésion apicale lorsque la radio est une rétro-alvéolaire.

Le bite-wing est le cliché de choix dans la détection précoce des lésions carieuses initiales, surtout pour les lésions proximales car l'épaisseur des tissus superposés rend la détection des lésions initiales occlusales plus difficile. Cependant dans le cadre de la recherche d'une lésion avancée, ces considérations n'entrent pas en jeu, les lésions étant importantes et plus que facilement décelables à la radio.[24]

Figure 2 : Bitewing des deux côtés, montrant plusieurs lésions carieuses

La radio reste le moyen de détection le plus fiable, cependant il expose le patient à une irradiation qui n'est pas toujours justifiée. Le principe de précaution n'incite pas à faire des radios à tous les patients qui se présentent devant leur praticien, cependant la présence de lésion carieuse en bouche est en général une indication pour la réalisation de bite-wing, qui peuvent donner les indications nécessaires sur la taille de la lésion et sa proximité pulpaire.

2.2.2. La fluorescence laser

Le principe de détection de la fluorescence laser est basé sur le fait qu'il y a plus d'eau dans une lésion carieuse que dans un émail sain. En irradiant une dent avec un laser, une partie des photons des lasers sont absorbés et réémis à une longueur d'onde différente par l'eau présent dans l'émail.[109] A l'aide d'un filtre éliminant la longueur d'onde du laser et d'un étalonnage, le détecteur permet de mesurer la quantité supplémentaire de ces photons réémis à cette longueur d'onde modifiée par rapport à une dent normale[96], l'émail sain possédant alors une fluorescence jaune tandis que les zones déminéralisées apparaissent sombres. Il existe deux systèmes différents d'utilisation du laser :

La Fluorescence Laser Quantitative : Le terme QLF est appliqué pour quantifier la déminéralisation et donc la sévérité d'une lésion après l'utilisation d'une lumière laser proche de 400 nm.[109] Un instrument de détection des caries basé sur ce principe a été élaboré, il s'agit du système DIAGNODENT® (Kavo), qui permet à la fois la détection et la quantification des caries. Les dents sont irradiées avec une lumière laser de longueur d'onde de 655 nm puis la lumière est réémise, proche d'une lumière fluorescente infrarouge. Le changement de la substance dentaire associé à la progression carieuse se traduit par une augmentation de la quantité de lumière fluorescente. Cependant ce système ne donne pas d'information ni sur la taille de la lésion, ni sur sa proximité pulpaire. Il permet une détection des lésions cachées et peut être un justificatif de prise de cliché radiologique.

Figure 3 : Système Diagnodent®

La fluorescence laser expérimentale avec marqueur : Le DELF repose sur le même principe que le QLF, à la différence qu'il repose sur l'utilisation d'un marqueur afin de permettre la détection de la lésion initiale sans pour autant améliorer la quantification.

2.2.3. La transillumination

La transillumination repose sur le principe de la diffusion et l'absorption de photons au niveau de la dent, aboutissant à une diminution localisée de transillumination lors de la présence de caries.[28] On utilise la transillumination (laser) avec une longueur d'onde de 780 nm qui sera utilisée comme une fibre optique. Deux principes reposant sur la transillumination existent actuellement : [24]

La transillumination par fibre optique simple ou FOTI : L'illumination est délivrée via les fibres d'une source lumineuse halogène placé au niveau de la surface dentaire. La source lumineuse est passée sur les surfaces, permettant la détection carieuse à l'examen visuel.

La transillumination par fibre optique avec imagerie numérique ou DIFOTI : Le système de transillumination est alors couplé à un système d'imagerie numérique, permettant un affichage des données sur un écran, ainsi que la sauvegarde d'images.

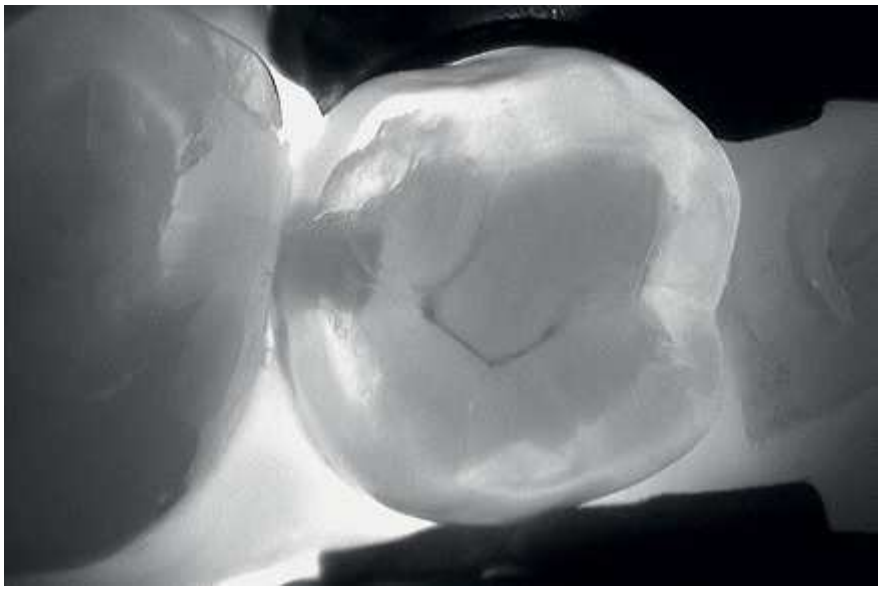


Figure 4 : Image carieuse vue par le système Diagnocam®

L'étude de Schneiderman et coll. en 1997 a révélé la supériorité de la DIFOTI pour la détection des caries débutantes aussi bien au niveau des faces proximales, occlusales ou lisses par rapport à la radiographie.[101] Le système mis en place pour cette méthode de détection est le DIAGNOcam®, de Kavo.

2.2.4. La conductivité dentaire

Les dents possèdent une faible conductivité due à la présence de l'émail. Lorsqu'il y a une augmentation ou une diminution du volume amélaire, les valeurs de cette conductivité sont modifiées. Cette technique est cependant peu fiable, de par le nombre de paramètres entrant en jeu et des biais d'utilisation.[10]

2.2.5. Le colorant

Un colorant a été mis au point, pour permettre de différencier la dentine infectée par les bactéries de la dentine affectée seulement par la carie (déminéralisée mais non infectée). Il a été mis au point en 1988 et était constitué d'acide rouge dans du propylène glycol. Le front d'avancement du colorant devait représenter la démarcation entre ces deux types de dentine et devait servir d'aide à l'excavation carieuse, permettant au praticien de s'arrêter à ce niveau car il avait été prouvé que la dentine affectée était capable de se reminéraliser. Cependant, plusieurs études ont par la suite prouvé que ce colorant ne faisait pas une démarcation exactement à l'endroit ou la dentine infectée devenait dentine affectée et qu'il encourageait les sur-préparations des cavités. Il a donc été abandonné.[59]

3. Techniques conservatrices

3.1. La stepwise excavation

3.1.1. Technique et méthode

La stepwise excavation est une méthode d'excavation carieuse qui consiste à enlever partiellement la dentine cariée afin d'éviter l'effraction pulpaire. Cette méthode a été évoquée dès 1859 par John Tomes[116] avant d'être mise de côté au profit des excavations totales préconisées par Black qui en 1908 affirmait «... it will often be a question of whether or not the pulp will be exposed when all decayed dentine overlaying it is removed ... it is better to expose the pulp of a tooth than to leave it covered only with softened dentine»[59], puis a à nouveau été utilisée dans les années 70.[54] Cette technique est reconsidérée aujourd'hui, suite à des études de comparaison de survie pulpaire.

La stepwise excavation consiste à enlever le tissu dentaire carié en deux étapes. Lors du premier nettoyage carieux on enlève délicatement les tissus nécrotiques et la dentine désorganisée, en nettoyant complètement les pourtours de la cavité carieuse à l'aide d'une fraise tungstène montée sur contre-angle mais en laissant de la dentine infiltrée sur le fond de la cavité, en juxta pulpaire. On scelle ensuite la cavité à l'aide d'un Eugénol de Zinc modifié en fond de cavité, coiffé par un CVI et on attend environ trois mois. Lors d'une seconde étape de réouverture, on dépose cette fois ci toute la dentine ramollie, tout en faisant attention lors du nettoyage du fond carieux à ne pas être trop insistant. La cavité peut ensuite être scellée définitivement, à l'aide du matériau indiqué selon sa taille, sa forme…

Cette technique d'excavation carieuse est réalisée sur des dents avec des caries profondes primaires diagnostiquées avant l'excavation. La dent doit de plus être asymptomatique, sensible au test au froid et insensible aux tests de percussion, ne pas présenter de douleurs spontanées et sans signe de lésion apicale visible à la radio. Cela afin de garantir en premier temps la vitalité pulpaire indispensable à la survie de la pulpe recherchée, et dans un second temps pour travailler sur une dent qu'on espère la moins enflammée possible, ce qui améliore le diagnostic pulpaire.

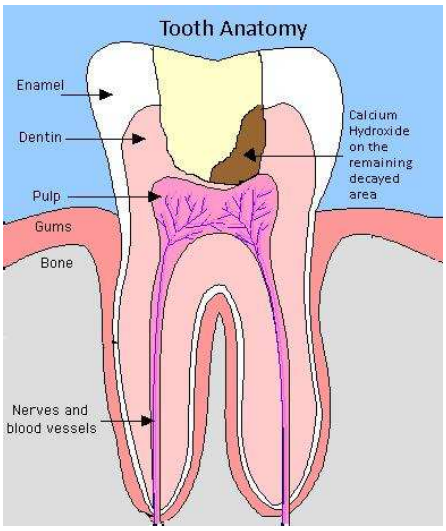


Figure 5 : Schéma de la restauration en interséance pendant une stepwise excavation

3.1.2. Résultats

Le but de cette technique est essentiellement de promouvoir la synthèse de dentine tertiaire, afin d'augmenter l'épaisseur de dentine juxta-pulpaire et de diminuer les risques d'expositions pulpaires lors de l'excavation totale à la seconde ouverture par rapport à une excavation complète en un seul temps comme effectué en majorité aujourd'hui. Plusieurs études ayant démontré que les techniques conservatrices suite à une exposition pulpaire ont un pourcentage de réussite peu élevée, elle assurerait donc un meilleur pronostique aux dents ainsi traitées.[71]

Plusieurs travaux ont démontré que l'activité d'une cavité carieuse isolée de la cavité buccale était stoppée.[14] Lors des recherches menées sur la stepwise excavation, des tests bactériens comparatifs effectués entre la première ouverture et la réouverture de la cavité montraient tous un changement de la flore buccale. Avant le scellement, la flore pathogène était dominée par la présence de bactéries gram + et de lactobacilles, tandis qu'à la réouverture la flore était celle d'une lésion inactive, avec une population bactérienne très nettement diminuée.[15]

De plus, l'intervalle pendant lequel de la dentine cariée est laissée en place permet également une reminéralisation de cette dentine, au même titre que la reminéralisation de certaines caries de surface (caries arrêtées). Il a été démontré que ces «caries»

n'avaient plus de pouvoir pathogène, leur évolution étant stoppée par l'élimination des facteurs pathogènes, et pouvaient être laissées telles quelles en bouche, sans qu'aucune intervention de curetage ne soit nécessaire (sauf pour des raisons esthétiques, à la demande du patient).

Pour estimer le succès de la technique de stepwise excavation, des études de suivi des dents ainsi traitées sont réalisées sur une période variant de un à dix ans, en examinant différents critères.

- Le premier critère le plus évident est celui du maintient de la vitalité pulpaire. Il est évalué grâce à un test au froid dans la majorité des études, ou par un test électrique.

- Un autre critère de réussite est l'absence de lésion apicale, déterminé par des radios de la zone concernée. Ces radios peuvent être comparées aux radios pré-opératoires afin d'évaluer au mieux l'évolution de la densité osseuse, cependant selon la période de suivi le matériel radiologique peut avoir changé, compromettant ainsi cette comparaison subjective.

- Enfin, certaines études ont comparé grâce à un système radiologique standardisé le niveau de densité dentinaire sous la lésion carieuse entre les radios pré-opératoires et les radios de contrôle, ceci afin d'objectiver l'absence de progression de la lésion carieuse et la reminéralisation[3,73]. Cette reminéralisation observée peut cependant aussi être une sclérose de la dentine, une production de dentine tertiaire ou un mélange de ces différents processus.

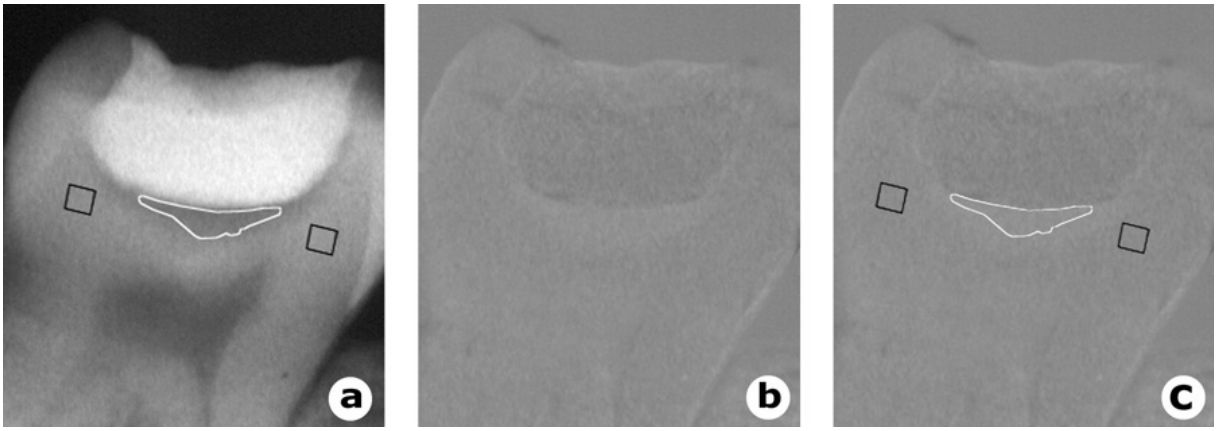


Figure 6 : Radio prise lors de la situation initiale (a), image traitée lors du contrôle à 6 mois (b) et superposition des deux couches pour l'analyse de la zone de reminéralisation (c).[3]

Le taux de réussite de cette technique varie selon les études et les périodes de suivi, on a ainsi de 74%[16] à 93%[71] de réussite sur un an, de 86%[72] à 97%[70] sur 18 mois et de 69%[71] à 90%[70] sur trois ans. On observe de plus un taux supérieur à 60% sur une étude dont le suivi s'est fait sur dix ans[70].

En analysant les résultats des différentes études, on peut en conclure que cette technique montre de bons résultats dans le maintien de la vitalité pulpaire, ainsi qu'une forte diminution du risque d'effraction pulpaire lors de la phase d'excavation. Ce risque est diminué ainsi dans toutes les études concernant cette technique, l'une d'elle montrant une diminution de 11.4%[16] de risque d'effraction par rapport à une excavation complète en une seule étape.

3.1.3. Discussions

Toutes les études réalisées présentent des protocoles semblables mais d'un point de vue clinique ceux-ci semblent difficilement reproductibles. Notamment en ce qui concerne la quantité de dentine cariée à déposer en juxta pulpaire pour éviter l'effraction. Bien que chaque situation clinique soit unique, le praticien avance à l'aveugle dans son estimation de la proximité pulpaire. De plus, avec quel matériel enlèvera-t-il la

dentine juxta pulpaire pour promouvoir au mieux la reminéralisation et léser le moins possible le complexe pulpaire ? De nombreuses études ayant prouvé que la préparation de la cavité carieuse pouvait avoir un effet négatif sur la pulpe[25,67], dû aux élévations de température et aux vibrations, il serait donc envisageable d'utiliser de préférence une méthode manuelle.

Pour essayer de déterminer le niveau d'excavation nécessaire (et non effractant), un article faisant le résumé d'une étude critique de cette technique expose un protocole légèrement différent : après avoir évalué la dent comme pouvant bénéficier de la technique de stepwise excavation (carie profonde, dent vitale et restauration possible par la suite), l'excavation carieuse a lieu, complète sur les pourtours de la cavité, et prudente sur le fond, en laissant au minimum 1mm de dentine avant la pulpe. Après cela il y a mise en place d'un matériau provisoire, à base de CVI. La dent est ensuite réévaluée, environ 12 semaines après pour déterminer son statut. Face à une dent répondant aux tests de vitalité, une partie du CVI est enlevée pour faire place à un matériau d'obturation définitif (composite ou amalgame).[98] Cette modification de l'excavation partielle en une étape permet au praticien de valider le maintien de l'intégrité pulpaire face aux agressions carieuses et d'excavations cumulées.

Une autre problématique est soulevée par cette thérapeutique : quel est l'intervalle optimal entre les deux ouvertures ? Dans les études analysées par une revue de la littérature, cet intervalle va de quatre semaines à douze mois. Mais quelle est la durée réellement nécessaire ? En sachant que cet intervalle de temps est indispensable pour la reminéralisation de la dentine cariée et la synthèse de dentine tertiaire et que la dentine réparatrice met au minimum trente jours pour être mise en place, il est conseillé de laisser au minimum deux mois avant la réouverture. Cependant, au bout de combien de temps y a-t-il suffisamment de dentine tertiaire pour permette une réouverture et une nouvelle excavation carieuse sans risquer l'effraction ? L'intervalle peut être modifié par la quantité de dentine infiltrée laissée en place et par la nature du matériau de scellement intermédiaire utilisé.[52]

Dans une étude de suivi sur dix huit mois, des radiographies standardisées ont été prises à des intervalles définis afin de comparer la reminéralisation sous la restauration. Une radiographie a d'abord été prise le jour de la première excavation, ensuite après la seconde excavation à 6-7mois, et enfin une dernière de contrôle entre quatorze et dix-huit mois. Les radiographies ont été comparées à l'aide d'un logiciel qui déterminait le niveau de gris présent dans deux zones de contrôle et une zone située sous la cavité, dans la zone déminéralisée. Cet article montre qu'entre la première radiographie et la seconde il y a un changement dans la zone déminéralisée indiquant une reminéralisation mais qu'entre la seconde et la troisième radiographie aucun changement n'est observé. Cela permet d'affiner l'intervalle de temps pour la réouverture à une période allant de deux à six mois.[91]

Aussi cette technique nécessite de la part du praticien deux interventions au fauteuil, la première n'étant pas présente dans la nomenclature pour rémunération ; de la part du patient une nécessité de suivi et de motivation. Dans les études, on évoque les patients qui sont perdus au cours de l'étude et qui ne reviennent pas au deuxième rendez-vous. Ces patients sont donc «dans la nature», avec un matériau de scellement temporaire sur une dent délabrée. La technique supposée les aider à garder leur dent vitale les amènera au final à devoir la dévitaliser, ce qui constituera un échec du traitement.

Enfin, comme précisé plus avant, c'est essentiellement une technique évitant une effraction pulpaire potentielle, or lors de la deuxième ouverture ce risque est toujours présent, et cette technique peut alors être considérée comme un échec.

3.2. Excavation ultra conservative

La technique d'excavation ultra conservatrice (ou partial caries removal ou partial caries excavation ou enfin partial removal of carious dentine) est également une technique d'excavation carieuse, qui s'est développée suite aux avancées faites sur la compréhension du processus curieux et aux réflexions que les chercheurs se sont faites. En effet, plusieurs études ont mis en avant le fait que la flore cariogène, une fois isolée de la cavité buccale et de ses changements de pH subissait une modification (changement de sa composition et diminution de la flore) qui l'amenait à devenir inactive. Cette théorie de l'arrêt du processus carieux serait due entre autre à la perturbation du biofilm lors de l'excavation et du nettoyage de la cavité, à la perturbation de son adhésion bactérienne, de son métabolisme et de sa reproduction, avec en conséquence une diminution de production d'acides responsables de la déminéralisation et de la toxicité pulpaire.[91] Après avoir étudié la possibilité de réaliser une excavation carieuse avec la technique de la stepwise excavation, les auteurs de ces études se sont demandé s'il était vraiment nécessaire de rouvrir la cavité pour enlever le reste de dentine infiltrée, étant donné que cette flore inactive n'était plus une menace pour la dent.

3.2.1. Description de la technique

Tout comme pour la technique de la *stepwise excavation*, cette technique s'applique dans des cas bien particuliers. Les critères de sélection des dents sont les mêmes que pour la stepwise *excavation*, c'est à dire : une dent cariée avec une carie primaire, dont la carie est profonde et a été évaluée radiologiquement ; cette dent ne doit montrer aucun signe de pathologie péri-apicale, ni de pulpite irréversible (douleur spontanée, douleur à la percussion verticale). Il doit donc y avoir une rigoureuse sélection des cas, car l'état initial de la dent conditionne le résultat attendu de cette technique de soins.

Une fois que la dent est identifiée comme pouvant bénéficier de la technique de l'excavation ultra conservative, l'excavation carieuse est également la même que celle décrite pour la *stepwise excavation*. C'est à dire une excavation complète sur les pourtours de la cavité carieuse et une excavation plus délicate en juxta pulpaire, pour éviter toute effraction pulpaire.

Dans la technique de la *stepwise excavation*, après cette étape la cavité est scellée avec un eugénol de zinc coiffé d'un CVI pendant quelques mois pour favoriser la formation de dentine tertiaire avant la réouverture et le second nettoyage de la cavité. Dans cette technique, il n'y a pas d'étape intermédiaire. Après avoir nettoyé la cavité carieuse, celle-ci est lavée à l'eau distillée puis séchée[71], puis il y a mise en place d'un fond de cavité, à base d'hydroxyde de calcium, avant rescellement avec la méthode et les matériaux indiqués à la situation clinique. Ici aussi, comme pour la technique de la *stepwise excavation*, il y a une grande importance à faire une reconstitution bien étanche. L'une des clés de la réussite de cette technique est le scellement de la cavité, pour empêcher une nouvelle colonisation bactérienne et donc une reprise de la carie sous l'obturation.

Le Traitement Restaurateur Atraumatique (ART, Atraumatic Restorative Treatment) est un concept qui existe depuis plus de vingt ans et qui suit les concepts modernes de la cariologie et de la dentisterie restauratrice. En 1999, Frencken et Holmgren définissent ce concept comme une approche majoritairement préventive et minoritairement invasive pour arrêter la progression des caries dentaires. Cela inclut l'excavation des tissus dentaires carieux mous et complètement déminéralisés avec des instruments manuels, suivis par la restauration de la cavité avec un matériel adhésif qui à la fois scelle les fissures et sillons restants qui sont à risques. La prévention par le biais des scellements des sillons par exemple est également un des principes de l'ART. Dans les principes de l'ART pour l'approche thérapeutique des caries dentinaires profondes, une seule étape est nécessaire contrairement à l'approche de la *stepwise excavation*, suivie de la restauration à l'aide de verre ionomère. Le succès des mises en application des protocoles ART sur les vingt dernières années soulèvent la question du besoin de ré-entrer dans la cavité nécessaire selon la technique de la *stepwise excavation*.[83]

3.2.2. Résultats

Cette technique d'excavation présente de meilleurs résultats quant aux expositions pulpaires par rapport à la *stepwise excavation*. En effet, elle diminue les expositions pulpaires de 98% par rapport à un soin carieux traditionnel et de 65% par rapport à la technique de la stepwise excavation[98]. De plus, une étude ayant réalisée un suivi de 10 ans sur des dents ainsi conservées montre qu'aucune dent ne présente au bout de ces 10 ans un quelconque signe d'inflammation pulpaire ou de nécrose[79].

Au niveau des résultats suite à l'utilisation de cette technique, une étude a suivi sur 10 ans des dents traitées de cette façon. 32 dents ont été intégrées dans l'étude initialement, il en restait 26 suivies au bout des 10 ans. Le succès était défini comme l'absence de signes cliniques et radiologiques et l'absence de symptômes de sensibilité pulpaire. Le taux de survie global a été respectivement de 97% à 1,5 ans ; 90% à 3 ans ; 82% à 5 ans et 63% à 10 ans.[70] Cependant, le faible nombre de dents incluses dans cette étude ainsi que le nombre de dents perdues (18.75%) sur l'étude ne rendent pas ces résultats concluants et indiquent juste la nécessité de réaliser plus d'études incluant un plus grand nombre de dents. Ainsi, d'autres études nous donnent des chiffres de réussite légèrement différents. Une étude comparant la technique de l'excavation partielle versus celle de la *stepwise excavation* montre un résultat de 91% à 3ans (152 dents incluses),[71] une autre étude comparant également les deux techniques d'excavation montre un résultat de 99% de réussite à 18 mois (153 dents traitées par la technique d'excavation partielle)[72].

3.2.3. Discussions

Les études portant sur la *stepwise excavation* ont relevé l'arrêt de l'activité carieuse lors de la réouverture de la cavité. La réintervention, réalisée après un temps incertain, demande une motivation dans le suivi des soins de la part du patient, engendre une agression pulpaire supplémentaire (thermique…) et peut donner lieu à une possible effraction. Cette étape de réouverture est-elle réellement nécessaire ? De plus, plusieurs études ont eu lieu, dès les années 1970, sur des lésions carieuses scellées sans un nettoyage complet, et toutes ces études sont unanimes sur le fait qu'à la réouverture il y avait une très forte diminution de la flore bactérienne présente et que la lésion n'avait pas progressé.[59]

Cette technique, ainsi que la *stepwise excavation*, posent la question de comment et avec quoi réaliser ma restauration coronaire de façon étanche sur de la dentine cariée ? Cette question peut perturber le praticien, étant habitué à faire l'inverse. Un article réalisant une critique littéraire conclue sur ce point de discussion en expliquant que pour convaincre la profession, il est nécessaire de réaliser plusieurs autres études cliniques.[110]

En effet, lorsqu'un collage est envisagé pour la reconstitution coronaire, les recommandations d'utilisation de ces matériaux précisent que celui-ci doit s'effectuer sur une surface exempte de tissus carieux et déminéralisés et que la dentine séchée doit être préparée par un mordançage et un adhésif. Des études comparatives prouvent qu'un collage réalisé sur une dentine saine présente des forces de liaison significativement supérieures à celles d'un collage réalisé sur une dentine affectée par la carie, qui présente elle-même des forces de liaison significativement supérieures à celle d'un collage réalisé sur de la dentine infectée par la carie.[124] En effet, la dentine affectée ou infectée par la carie est partiellement déminéralisée, ce qui augmente sa porosité. De ce fait, il y a une meilleure diffusion de l'acide orthophosphorique au sein des tubulis. Cependant, l'infiltration de la résine est elle sévèrement entravée par la présence de minéraux résistants à l'acide qui sont présents dans les tubulis des dentines affectée et infectée[81]. De ce fait, on se retrouve dans cette situation avec une couche hybride plus mince sur une dent avec une dentine non saine par rapport à une dentine saine. Cette plus faible

pénétration de résine diminue également sa rétention, donnant des forces de liaison plus faibles, ainsi qu'une moindre résistance aux forces de cisaillement.[118]

Cependant, la plupart des études réalisées sur la comparaison de l'adhésion des matériaux de collage sur la dentine affectée ou infectée par la dentine reconnaissent que ce collage est possible. De plus dans les cas nous intéressant, il y a présence de dentine saine sur les pourtours de la cavité vu que la dentine infectée/affectée est laissée seulement sur le fond afin éviter l'effraction pulpaire. Avec cette zone de dentine saine, le collage est alors capable de résister aux forces de cisaillement comme s'il était réalisé entièrement sur une zone de dentine saine. De plus, certains adhésifs développés dernièrement et sur le marché disposent d'une activité antibactérienne et de libération de fluor permettant une reminéralisation de la zone traitée, améliorant le suivi de ces collages.[123] Enfin, il ne faut pas oublier que les techniques de reconstruction à base de collage ne sont pas les seules à notre disposition. Il y a également la possibilité d'utiliser les amalgames, qui peuvent être des solutions de restaurations très indiquées dans certains cas cliniques.

En conclusion, il faut pour utiliser ces techniques être certain de l'admissibilité de la dent choisie. Ces techniques sont à utiliser avec une grande rigueur et sous digue afin d'être sûr de contrôler la non réinfection du site. La technique de l'excavation ultra conservatrice est à utiliser préférablement à celle de la *stepwise excavation* car il n'y a aucune donnée qui justifie la réintervention décrite dans cette technique. Enfin, l'excavation ultra conservatrice doit être assortie d'un suivi du maintien de la vitalité pulpaire.

4. Techniques non conservatrices suite à la carie

Les techniques exposées précédemment sont donc applicables tant que le praticien est conscient de la proximité pulpaire et correspondent au final à un coiffage indirect. En effet, les matériaux ne sont pas directement au contact de la pulpe pour stimuler celle-ci, mais les principes actifs diffusent alors à travers la dentine et ses tubulis. Cependant, il est reconnu que dans les cas où l'épaisseur de dentine résiduelle est très mince (inférieure à 0.5mm), il n'y a pas de réelle différence entre les deux thérapeutiques, car le nombre et la taille des tubulis ouverts sont tels que la communication entre le matériau et la pulpe est équivalente à celle d'un coiffage direct.[105]

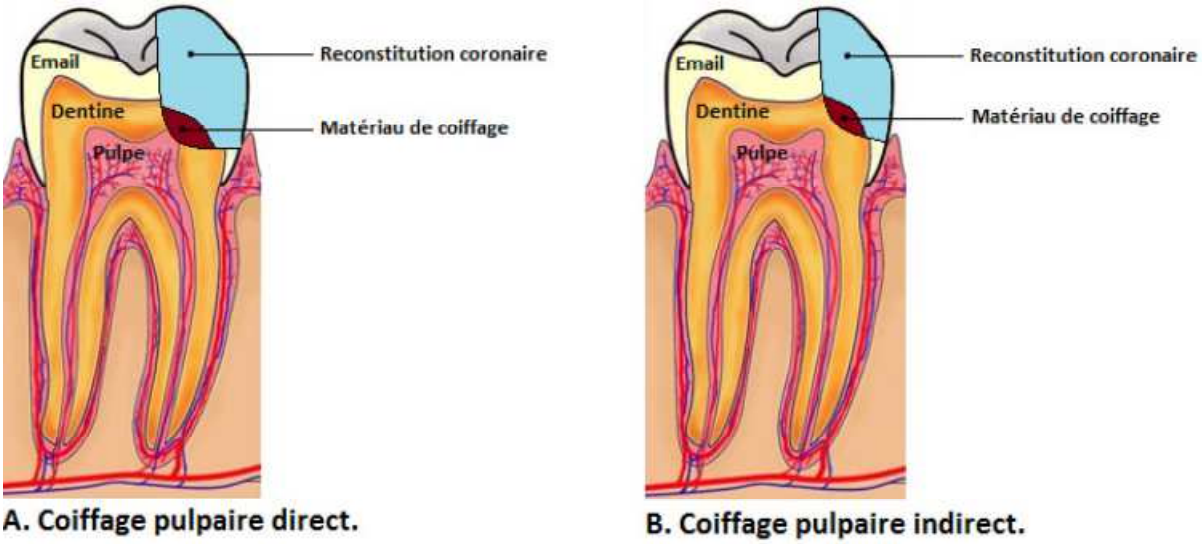


Figure 7 : Différences entre un coiffage direct et un coiffage indirect (Académie Canadienne d'Endodontie)

Parfois, le diagnostic de carie profonde n'est pas posé avant le début de l'excavation carieuse et le praticien n'a pas fait de radiographie de la dent concernée. Soucieux de réaliser un nettoyage consciencieux de sa cavité, il réalise alors une effraction pulpaire. Ou alors, bien que conscient du risque d'effraction, le praticien ait décidé de réaliser le curetage complet de sa cavité carieuse. En effet, selon une étude récente seul un praticien sur cinq choisit de procéder à un curetage partiel.[36] Dans la

majorité des cas, la suite du traitement consiste alors en la biopulpectomie de la dent concernée, et ce d'autant plus dans un contexte de maladie carieuse sur cette dent et de patient considéré comme âgé (plus de vingt ans). De plus, il faut comme pour les thérapies vitales précédentes être sûr du diagnostic de pulpite réversible pour la dent concernée. Le diagnostic de pulpite irréversible n'a qu'une seule thérapeutique : la pulpectomie.

Ce diagnostic est posé avec assez peu d'éléments : l'historique de la douleur, la sensibilité à la percussion et la réponse aux tests thermiques et électriques[13]. Ces tests nous donnent des indications permettant de classer la dent dans la catégorie réversible ou irréversible. Cependant, même une dent avec une pulpite réversible peut présenter une trop grande inflammation pulpaire pour pouvoir supporter une thérapeutique vitale et là réside la principale difficulté de ces thérapeutiques. C'est en partie à cause de ce problème que ces thérapeutiques sont assez peu mises en œuvre par les praticiens et qu'elles sont associées à une image de thérapeutiques peu fiables et controversées.

4.1. Coiffage pulpaire direct

Lorsque lors du curetage carieux le praticien réalise une effraction pulpaire, il peut alors tenter de conserver la vitalité de la dent concernée en réalisant un coiffage direct : la mise en place directement au contact de la pulpe de biomatériaux sensés l'aider à synthétiser une dentine tertiaire.

4.1.1. Technique

La première option thérapeutique à notre portée pour essayer de conserver la vitalité de la dent consiste à réaliser un coiffage pulpaire. Une fois l'effraction pulpaire réalisée, cette méthode consiste en la pose d'un biomatériau directement au contact de la pulpe, pour l'inciter à synthétiser de la dentine réparatrice au niveau même de l'effraction afin de réaliser un pont dentinaire pour isoler de nouveau la pulpe et conserver la dent vitale. Une fois ce matériau placé, il est recouvert d'un matériau

étanche, puis le temps est laissé à la pulpe pour cette synthèse (au minimum un mois, pour une pulpe jeune avec un potentiel régénératif encore intact).

Pour réussir cette thérapeutique, il est nécessaire de placer au contact de la pulpe un biomatériau avec certaines propriétés. En effet, le matériau doit être bactéricide, ou au moins bactériostatique, il doit pouvoir induire la formation du pont dentinaire et doit pouvoir être étanche face aux bactéries le temps que la pulpe revienne à un état sain. De plus, il doit être capable de résister aux infiltrations bactériennes sur du long terme, pour éviter une nouvelle agression bactérienne, bien que ce matériau soit utilisé en fond de cavité, c'est-à-dire sous un autre matériau dont les capacités d'étanchéité sont reconnues.[121]

Cette thérapeutique est appelée coiffage direct en opposition aux thérapeutiques précédentes où le matériau n'est pas posé au contact de la pulpe mais au contact de la dentine qui sert d'interface avec la pulpe. L'un des principaux facteurs pouvant compromettre cette guérison est la pénétration bactérienne à travers l'interface de la restauration : c'est pourquoi ce matériau est recouvert par un autre reconnu comme suffisamment étanche pour empêcher les infiltrations bactériennes.

Un autre élément clé de la réussite du coiffage direct est le contrôle de l'inflammation initiale. En effet, au moment de l'effraction pulpaire le praticien se retrouve face à une pulpe enflammée par la carie adjacente. Une pulpe trop enflammée ne pourra jamais revenir à un état normal et amènera à l'échec de la thérapeutique. Un des moyens de contrôler cette inflammation est le contrôle du saignement. Après un rinçage à l'hypochlorite (désinfection des copeaux contaminés, de l'interface dentinaire ; inhibition de la formation de caillot et excellent agent hémostatique)[19] et une compression avec une boulette de coton imbibée d'eau stérile, celui-ci doit s'arrêter dans les cinq minutes. Sinon cela signe l'état trop enflammé de la pulpe pour pouvoir supporter une thérapeutique vitale et la dévitalisation est à mettre en œuvre.[78] De plus, il est également nécessaire pour la réussite de la thérapeutique qu'il n'y ait pas de caillot à l'interface pulpe/matériau.[107]

4.1.2. Matériaux utilisés

Hydroxyde de Calcium

Historiquement l'hydroxyde de calcium n'est pas le premier matériau à avoir été utilisé en coiffage pulpaire direct. En effet, il est rapporté un cas de coiffage avec de l'or en 1756 par Phillip Pfaff[42] et les premiers essais avec des composés à base d'hydroxyde de calcium ne sont décrits qu'environ cent ans après. Ce matériau ne connait une reconnaissance pour les coiffages qu'après les publications des travaux d'Hermann en 1930.[78] Depuis, jusqu'à la fin du 20ème siècle il a été considéré comme le «gold standard» pour cette thérapeutique et utilisé dans tous les tests de comparaison pour les nouveaux matériaux. Aujourd'hui la présence sur le marché d'autres matériaux disponibles considérés comme plus efficaces commence à mettre l'hydroxyde de calcium de côté. Cependant, il reste encore la médication la plus utilisée dans le monde en odontologie.[8]

L'hydroxyde de calcium [$Ca(OH)_2$] possède des propriétés antimicrobiennes grâce à son pH basique (supérieur à 12)[69], désinfecte la pulpe superficielle et possède également la propriété de favoriser l'élaboration de ponts dentinaires au-dessus des zones pulpaires exposées. De plus, il possède également une aptitude à dissoudre la dentine et ainsi à libérer des facteurs de croissance qui vont stimuler la pulpe dans la direction d'induction d'un nouveau pont dentinaire.[102]

Cependant, ce matériau n'est pas exempt de défauts, ainsi il est connu pour se dégrader graduellement, pour induire la formation de défauts en tunnel dans le pont dentinaire et pour avoir de très faibles capacités de scellement[6]. Sa non-adhésion à la dentine, son manque d'étanchéité, ses faibles propriétés mécaniques et sa solubilité face à un mordançage imposent du coup de le recouvrir d'un matériau de restauration intermédiaire du type ciment de verre ionomère avant la mise en place du matériau définitif[25]. Cela est d'autant plus recommandé que par son manque d'adhésion, le matériau peut être déplacé de la surface pulpaire par le phénomène de contraction de polymérisation du composite si celui-ci est mis directement au contact de l'hydroxyde de calcium[107]. Les études montrent également que le taux d'échec augmente avec le temps.[68]

De plus, avec son pH très élevé, l'hydroxyde de calcium pur provoque une zone superficielle de nécrose pulpaire sur approximativement 1.5mm et le pont dentinaire commence à se former dans une zone plus profonde[6]. Au niveau de cette zone, l'irritation mineure subie par la pulpe stimule la réponse inflammatoire qui, en l'absence de bactéries, amène à la formation du pont dentinaire. Cependant, si la pulpe n'est pas efficacement protégée durant le processus de guérison par un matériau étanche, cette zone de nécrose peut amener à l'échec de la formation de ce pont[20]. C'est pour cela que dans la plupart des études, ce n'est pas de l'hydroxyde de calcium pur qui est utilisé, mais de la poudre d'hydroxyde de calcium, qui a été démontrée pour être plus efficace que le ciment pur[1]. Ainsi, les pâtes contenant de la poudre d'hydroxyde de calcium, comme le Dycal®(Dentsply, Caulk, Milford, DE, USA) ou le Life®(Kerr Hawe, Suisse), sont moins caustiques que l'hydroxyde de calcium pur et ne provoquent pas de nécrose superficielle tout en initiant le même processus de guérison que la poudre d'hydroxyde de calcium.[106,107]Ces préparations sont durcissantes, composées d'une base et d'un catalyseur ou pâte photopolymérisable, ce qui rend également leur emploi plus pratique.[29]

Figure 8 : Dycal®

Mineral Trioxide Aggregate

En réponse aux inconvénients d'utilisation de l'hydroxyde de calcium, les scientifiques ont cherché de nouveaux matériaux qui pourraient être utilisés en coiffage pulpaire. Le MTA (Mineral Trioxide Aggregate) a été développé dans les années 90 par Torabinejad et al[111] et a reçu l'approbation de la «Food and Drug Administration» en 1998, ce qui a permis sa mise sur le marché et son utilisation en tant que matériau médical. Il est commercialisé en France par la société Dentsply-Maillefer depuis 1998 sous l'appellation ProRoot®.

Le MTA possède un pH de 10.2, qui augmente jusqu'à 12.5 durant les premières heures de prise.[78] Ce pH très basique lui confère, comme pour l'hydroxyde de calcium, d'excellentes propriétés antibactériennes.

Le MTA est composé de silicate tricalcique, d'oxyde de bismuth, de silicate bicalcique, d'aluminate tricalcique' de dihydrate de sulfate de calcium et d'oxyde de bismuth pour la radio-opacité. L'hydratation de cette poudre résulte en la formation d'un gel qui se solidifie en un peu moins de trois heures et possède un temps de travail de cinq minutes.[43] On retrouve de l'hydroxyde de calcium dans ce gel.[111] De plus, la prise de ce gel n'est en rien gênée par la présence de fluides ou de sang. Le MTA existe sous deux formes, une version blanche et une version grise. La composition de ces deux formes diffère en peu de choses : la version blanche ne contient ni fer ni silicate bicalcique, composants tous les deux présents dans la version grise.[85]

En comparaison avec l'hydroxyde de calcium, le MTA a démontré de bonnes, voire de meilleures propriétés. Sur des évaluations histologiques, le MTA montre en effet la formation de ponts dentinaires plus épais, à une vitesse plus élevée et avec moins de réponse inflammatoire et de nécrose pulpaire.[1] Cependant, l'effet antibactérien du MTA est moindre que celui des pâtes d'hydroxyde de calcium.[112]

Le MTA n'est donc pas exempt de défauts, c'est ainsi un matériau qui met du temps à prendre, difficile à manipuler et très cher. De plus certains auteurs ont démontré la possibilité du MTA à noircir la dent concernée, lors d'utilisation du MTA gris.[108] Le White MTA, sans fer, évite les colorations dues aux sulfates ferriques. Cependant, il semblerait que la forme blanche entraine également des dyschromies dentaires.[48]

Figure 9 : Discoloration cervicale due au MTA[55]

D'autres présentation du MTA sont également disponibles sur le marché : l'Angelus® (Dental DCP, Brésil), et le MM-MTA (Micro-Méga, Besançon, France). L'Angelus® et le ProRoot® sont disponibles sous forme de sachets, à mélanger à une unité d'eau. Le MM-MTA® quand à lui se présente sous la forme de capsule contenant poudre et liquide, se mélangeant automatiquement à l'aide d'un vibreur. L'Angelus® contient seulement du ciment de Portland et de l'oxyde de Bismuth. Quand au MM-MTA®, il y a du carbonate de calcium en plus dans la formule, permettant de réduire considérablement le temps de prise du MTA, qui passe alors à 20 minutes, permettant l'obturation dans la même séance.

Autres

Le NEC (Novel Endodontic Cement) ou **CEM** (Calcium Enriched Mixture Cement). Ce matériau contient plusieurs composés calciques (oxyde de calcium, phosphate de calcium, carbonate de calcium, silicate de calcium, sulfate de calcium et chlorure de calcium)[125] (wt CaO, wt SO3c wt P2O5, wt SiO2) et autres composants. Lorsque cette poudre est mélangée avec de l'eau, elle donne alors une pâte à base de phosphate et de calcium bioactif. Le NEC a un pH similaire au MTA, et une aussi bonne capacité de scellement, mais avec un temps de travail diminué, de meilleures caractéristiques de manipulation, un besoin d'épaisseur moindre et un prix moins élevé que ce dernier. Les études initiales ont montré que le NEC a des résultats comparables au MTA dans les coiffages pulpaires[6] et que ce matériau semble également avoir de meilleurs effets antibactériens et un faible effet cytotoxique sur les différentes lignées cellulaires.[108]

La Propolis : Le propolis est un produit naturel, fabriqué à partir de plusieurs éléments par les abeilles. Ce matériau présente des propriétés anti-microbiennes et anti-inflammatoires, et soutient le système immunitaire en améliorant l'activité des phagocytes et en stimulant les réponses du système immunitaire[21]. On y retrouve comme composés chimiques des flavonoïdes (connus pour leurs propriétés antioxydantes, antibactériennes, antifongiques, antivirales et anti-inflammatoires) et des phénoliques entre autres. La propolis a été étudié en coiffage direct versus le Dycal et le MTA et présente au bout de plusieurs jours d'étude le moins d'inflammation pulpaire. Il est précisé dans la conclusion que la réponse pulpaire est comparable pour les trois matériaux, bien que l'auteur reconnaisse que cela puisse être du à la présence d'un bon scellement par-dessus le matériau de coiffage, ce point étant reconnu comme critique dans la réussite de cette thérapeutique.[93]

La Biodentine : Biodentine® (Septodont, Saint-Maur-des-Fossés, France) est un nouveau ciment bioactif possédant des propriétés mécaniques identiques à la dentine. Il est composé d'une poudre et d'un liquide, qui peuvent être mélangés à l'aide d'un vibreur. La poudre est constituée silicate tricalcique (principal composant du ciment de portland, présent dans le MTA) et de carbonate de calcium, ainsi que de dioxyde de zirconium pour la radio-opacité. Le liquide quand à lui est composé de chlorure de

calcium.[30] Le temps de prise de ce matériau est de 12 minutes et pendant la prise de l'hydroxyde de calcium est formé. Une des caractéristiques de la Biodentine® est sa résistance à la compression, proche de celle de la dentine naturelle. Une autre de ses caractéristiques, très intéressante dans le cadre des coiffages pulpaire est sa capacité à induire la formation de dentine tertiaire par la stimulation des cellules pulpaires. La Biodentine® est à manipuler à l'abri de toute source d'humidité. C'est donc un matériau à la manipulation facile et au temps de durcissement rapide pour permettre son utilisation en obturation temporaire ou en fond de cavité dans les petites cavités.

Figure 10 : Utilisation de Biodentine® en restauration temporaire

D'autres molécules sont également essayées en coiffage pulpaire, pour tester leur capacité à induire la formation de dentine réparatrice (le BSP, (Bone SialoProtein) et le BMP (Bone Morphogenetic Protein)) ;[46] l'EMD (Enamel Matrix Derivative)[86] de même que l'Emdogain,[37] gel qui contient de l'amélogénine et de l'améline, molécules intervenant dans le processus naturel de formation de la dentine. Ces recherches représentent le futur de cette thérapeutique car, pour améliorer les résultats et augmenter la réussite, il est reconnu qu'il faut trouver un matériau de coiffage qui soit le plus apte dans sa capacité à induire directement la formation de dentine, c'est-à-dire l'implantation de biomolécules capables de réveiller les cellules dormantes directement dans la pulpe[45],

voire l'implantation de cellules exogènes capables d'initier la formation du pont dentinaire.[51]

Enfin, certaines études ont posé l'hypothèse suivante : la nature du matériau de coiffage n'a pas de réelle importance, car le succès de la thérapeutique dépend essentiellement du bon scellement de la cavité pour éviter toute infiltration bactérienne. À partir de cette hypothèse, dans ces études le coiffage est réalisé directement avec des systèmes résineux. En effet, ces systèmes réalisent un excellent scellement de la cavité et permettent donc à la pulpe d'être à l'abri de toute contamination bactérienne.[61,119] Cependant, le mordançage, puis le protocole de collage et enfin les monomères acides des systèmes résineux provoquent une inflammation chronique et un saignement de la pulpe, ce qui compromet la dentinogénèse tertiaire.[58]

4.1.3. Résultats

Pour analyser les résultats, les chercheurs ont dû déterminer quels étaient les facteurs de réussite. Ces facteurs sont différents selon les études mais ils ont au final des caractéristiques communes. Les caractéristiques de la guérison de la pulpe exposée incluent la réorganisation des tissus mous endommagés, la différentiation des cellules odonto-like depuis la couche de cellules sous odontoblastique et la réparation de la dentine avec la formation d'un pont dentinaire.[93] Le dentiste peut réussir à objectiver cet état de guérison pulpaire en effectuant un suivi régulier de la dent concernée (le suivi doit être fait à 3-4 semaines, 3 mois, 6 mois, 12 mois et une fois par an ensuite)[107] et en cherchant certains signaux (ou absence de signaux) : absence de douleur spontanée, pas de sensibilité à la percussion, pas de suintement, d'encombrement sinusien ou de mobilité pathologique, pas d'image à la furcation, ou de résorption osseuse.[35] Bien évidemment, un test de vitalité doit être effectué, test auquel la dent doit répondre positivement. Enfin pour les études sur les dents qui doivent être extraites pour raison orthodontique, il y a également possibilité de faire des analyses histologiques avec mesure de l'épaisseur du pont dentinaire synthétisé, sa qualité (présence ou absence de tunnels) et l'observation cytologique de la pulpe.

Les résultats varient énormément d'une étude à une autre, même au sein d'études différentes sur le même matériau de coiffage. Pour expliquer ces différences, plusieurs options sont à étudier : l'origine de l'exposition pulpaire (carieuse, mécanique lors de fracture, de préparation, ou volontaire sur des prémolaires devant subir une extraction orthodontique) ; le protocole de mise en place du matériau (présence de la digue ?) ; le facteur praticien ; enfin le facteur pulpaire, difficile à maîtriser, puisqu'il est impossible de déterminer à l'avance la réelle inflammation de la pulpe et donc sa capacité à pouvoir se remettre de l'agression.

Ainsi, pour l'hydroxyde de calcium les résultats peuvent varier de 13%[12] à 96%[32] de réussite, avec un taux de réussite global à 70%.[78] Une autre étude a fait un suivi en distinguant les expositions dues aux caries et celles mécaniques. Les coiffages pulpaires sur les expositions mécaniques ont un taux de réussite de 92%, tandis que ceux sur exposition carieuses ont un taux de réussite de 33%.[53] Enfin, sur une étude réunissant plus de 1000 dents et suivies sur neuf ans, le taux de succès passe de 80.1% à un an à 58.7% à neuf ans. Cette étude met également en avant une différence dans le taux de succès selon la superficie de la dent touchée initialement par la carie.[120]

Pour le MTA les résultats des études ne sont pas plus unanimes. Selon une étude[19] le taux de succès des études in vivo varie de 30 à 85% sur des périodes de suivi allant de 2 à 10 ans. Une autre étude donne d'autres résultats, entre 93 et 98% sur des dents avec exposition carieuse.[121] La plupart des études sur le MTA sont faites en comparaison avec l'hydroxyde de calcium, produit considéré comme «gold standard». Cependant la plupart des études démontrent que le MTA donne de meilleurs résultats que l'hydroxyde de calcium,[20] certaines études arrivant à la conclusion que le MTA devrait devenir le matériau de choix pour ce type de thérapie.[85]

Enfin pour les autres biomatériaux testés en coiffage direct les études sont moins nombreuses et en général ces matériaux sont testés en comparaison avec un autre de référence, que ce soit l'hydroxyde de calcium ou le MTA. Ainsi les résultats sont plus ciblés sur la qualité du pont dentinaire d'un point de vue histologique et indiquent si les biomatériaux peuvent être utilisés en tant que matériaux de coiffage. Ainsi, une des études sur l'utilisation du gel Emdogain conclue que ce gel initie la formation de dentine,

mais pas sous une forme pouvant constituer une barrière efficace vis-à-vis des bactéries.[38] Pour la Biodentine®, les études sont pour le moment peu nombreuses et insuffisantes mais elles permettent déjà d'affirmer la biocompatibilité de ce matériau et sa capacité à induire la formation de dentine tertiaire. Une autre étude s'est penchée sur l'EMD (Enamel Matrix Derivative) et conclue que c'est une substance qui joue un rôle dans la prolifération et la différentiation odontogénique des cellules souches de la pulpe dentaire. Ainsi, il peut s'avérer utile d'associer ce produit à un autre produit de coiffage pour améliorer la qualité du coiffage.[50] Cependant, d'autres études in vivo, avec un suivi régulier et sur un plus grand nombre de dents sont nécessaires avant de déterminer si ces matériaux sont réellement adaptés à ce type de thérapie.

4.1.4. Discussions

Face à tant de résultats divergents, il est difficile pour les praticiens de se faire une véritable opinion vis-à-vis de cette thérapeutique. C'est pourquoi durant longtemps les indications de cette technique ont été centrées sur les expositions mécaniques, telles des fractures coronaires avec exposition pulpaire. Les expositions pulpaires carieuses étant considérées comme trop risquées pour tenter un coiffage, le praticien préférant effectuer une biopulpectomie, thérapeutique considérée comme plus sûre, car connue, avec des résultats prédictibles et un haut degré de réussite (90-96% de réussite[117] lorsque le traitement est réalisé par un endodontiste spécialisé dans des conditions strictement contrôlées).

Cependant, les indications limitant le coiffage pulpaire aux expositions mécaniques commencent à dater et depuis la recherche a fait des progrès dans la compréhension du processus de guérison pulpaire, de l'inflammation, de la dentinogénèse tertiaire et du processus carieux en lui-même. Aujourd'hui, sur des indications bien précises le coiffage pulpaire peut être une alternative à la biopulpectomie. Cependant, des articles récents continuent de soutenir que cette thérapie devrait être réservée aux expositions mécaniques seulement.[14,107,117]

Le facteur clé dans la guérison pulpaire après l'exposition est l'absence d'infection. Celle-ci peut-être due à des bactéries restantes au niveau de l'effraction ou à une nouvelle exposition bactérienne provenant d'une infiltration à travers la restauration permanente. Cependant, il a été démontré que l'exposition bactérienne à travers une infiltration est plus néfaste vis-à-vis de la guérison pulpaire que la contamination bactérienne lors du traitement en lui-même.[20] C'est pourquoi certaines études ont remarqué de meilleurs résultats au coiffage pulpaire lorsque la restauration définitive était mise en place lors des trois premiers jours. [78,117] De même, une étude réalisée en 1985 a démontré que le scellement de la cavité était plus important que le matériau utilisé en coiffage.[63]

D'autres facteurs sont également cruciaux à maîtriser pour l'utilisation de cette technique, comme la cytotoxicité du matériau mis en contact avec la pulpe, la présence ou non d'un caillot entre le matériau de scellement et la pulpe, la situation de la pulpe exposée (pulpe coronaire ou cervicale), l'âge du patient.[78] Cependant, pour ce dernier point les études sont divisées. En effet, les études ne sont pas capables d'établir un lien d'effet direct entre l'âge et les résultats des coiffages.[12,53] Enfin, le suivi post-opératoire est également désigné comme étant un point important de la réussite de la thérapeutique.[107]

Nous pouvons donc voir que le succès de cette technique dépend de plusieurs variables, qui sont toutes indispensables à contrôler. Il ne faut pas oublier non plus qu'il reste un facteur non contrôlable, qui peut faire échouer ou faire réussir la thérapeutique à lui tout seul : le statut inflammatoire de la pulpe avant le traitement. En effet, si la pulpe est trop enflammée au moment où le praticien met en œuvre, du mieux qu'il peut et selon les données acquises de la science, la pulpe ne pourra pas réagir favorablement et il y aura nécrose pulpaire.

Les développements futurs de cette thérapeutique portent sur le matériau de coiffage. En effet, il faut réussir à trouver (ou à synthétiser) un matériau qui soit à la fois anti-inflammatoire et qui induise la synthèse de la dentine tertiaire. Les éléments clés impliqués dans cette recherche sont les cellules souches et les facteurs de croissance.[63]

4.2. La pulpotomie

L'un des principaux problèmes du coiffage pulpaire reste donc l'inflammation pulpaire, que l'on ne peut ni contrôler ni prédire. Si la pulpe est trop enflammée, au-delà de ses capacités de régénération, la thérapeutique sera inefficace et la dent devra être retraitée. Le patient souffrira peut-être d'une pulpite ou il aura une nécrose silencieuse qui ne sera décelée qu'à un stade avancé, par un abcès par exemple. Le patient pourra alors être déstabilisé par la multiplicité des traitements sur cette dent, ce qui peut être une des raisons pour lesquelles le praticien préférera aller directement au traitement final, la pulpectomie.

Un des moyens d'essayer de contrôler cette inflammation et d'augmenter le potentiel régénératif de la pulpe est de supprimer une partie de la pulpe avant la mise en place du matériau de coiffage, c'est la pulpotomie. Le glossaire de l'association américaine des endodontistes propose une définition à la pulpotomie : c'est l'ablation chirurgicale de la partie coronaire d'une pulpe vitale comme moyen de préservation de la vitalité du restant de la portion radiculaire.[103] Il existe deux types de pulpotomie, la pulpotomie partielle et la pulpotomie totale.

4.2.1. Pulpotomie partielle

Aussi appelée pulpotomie de Cvek car décrite en 1978 par celui-ci comme l'excavation aseptique et chirurgicale de la pulpe exposée et de la dentine qui l'entoure sur une profondeur de 1.5mm à 2mm.[117] Ainsi dans ses études il rapporte qu'il y a 96% de réussite avec une pulpotomie partielle après des fractures coronaires compliquées. De même, plusieurs écrits précisent que c'est un traitement avec un haut taux de réussite réalisé sur de jeunes molaires permanentes.[74] Ainsi, dans une recherche sur des pulpotomies partielles sur jeunes molaires atteintes de caries profondes, avec un suivi radiologique et clinique sur plus de trois ans les chercheurs obtiennent un taux de succès de 93.9%. L'aspect radiologique des racines et de la pulpe (absence d'oblitération totale de la pulpe) en font ainsi un traitement tout à fait valable.[75]

Les matériaux utilisés pour la pulpotomie partielle sont les mêmes que ceux du coiffage pulpaire et de la pulpotomie totale. Ainsi, une étude comparant l'utilisation du MTA et de l'hydroxyde de calcium arrive à la conclusion qu'il n'y a pas de différence entre les deux biomatériaux, et qu'ils sont tous les deux recommandables pour cette thérapeutique.[97]

Plusieurs travaux soutiennent que la pulpotomie partielle reste un traitement de choix par rapport au coiffage pulpaire.[2] En effet, les taux de réussite des coiffages directs restent assez faibles en comparaison à ceux des pulpotomies partielles. Ainsi, l'étude de Barthel[12] montre un taux de réussite de 37% sur un suivi de cinq ans après un coiffage direct. Tandis que les recherches sur les pulpotomies partielles montrent des résultats plus élevés (91.4% à 93.5%).[74] Ceci s'explique par le fait que en réalisant une légère excavation pulpaire avant de réaliser le coiffage, le praticien élimine la coucher superficielle de la pulpe la plus enflammée et infectée par l'agression carieuse, permettant ainsi de réduire l'hyperhémie, de contrôler le saignement et permettant également à la pulpe restante d'avoir une réaction de défense plus rapide par la suite.[4] Une revue de la littérature indique également des résultats supérieurs à 95% de réussite sur des suivis allant jusqu'à plus de trois ans pour la pulpotomie partielle.[2]

De plus, la pulpotomie partielle est considérée comme un traitement préférable vis-à-vis de la pulpotomie complète, surtout sur des jeunes dents matures. En effet, la pulpotomie complète détruit le tissu pulpaire coronaire complètement, avec toutes ses cellules, ce qui empêchera toute synthèse de dentine tertiaire au niveau coronaire.[57] Cela peut également entraîner l'effacement des canaux radiculaires.[11]

4.2.2. Pulpotomie totale

La pulpotomie complète consiste en l'éviction totale de la pulpe de la chambre pulpaire. Le praticien ne touche pas aux canaux pulpaires et réalise son coiffage directement au contact de ceux-ci. Les matériaux utilisés pour le coiffage des canaux sont les mêmes que ceux utilisés pour le coiffage direct de la pulpe (MTA, hydroxyde de calcium, NEC dans les études les plus récentes).

La pulpotomie complète est une thérapeutique fréquemment utilisée sur les molaires temporaires avec de grosse atteinte carieuse, sans signe de pulpite irréversible. Ce traitement permet à la dent de rester vitale le temps qu'elle reste sur l'arcade et est un traitement approuvé, qui a fait ses preuves. Ce traitement a également été utilisé sur des dents permanentes et matures, en tant que thérapeutique préliminaire à un traitement prothétique il y a quelques dizaines d'années (1972).[103] Elle est également utilisée sur les molaires immatures pour promouvoir l'apexogénèse. Si le protocole thérapeutique indique pour le moment de faire la pulpectomie dès que l'apexogénèse est terminée pour éviter toute nécrose et oblitération canalaire, des études suggèrent que tant que le scellement reste étanche suite à cette pulpotomie, la pulpectomie n'est pas nécessaire.[117]

La pulpotomie est également une thérapeutique utilisée sur les molaires définitives et matures, mais en traitement d'urgence. En effet, ce traitement permet de soulager la douleur chez un patient souffrant de pulpite irréversible. Cependant, lorsque la pulpe dentaire d'une dent permanente est infectée suite à un contexte carieux, dans beaucoup de cas seule la pulpe superficielle de la dent est affectée et ceci pendant un certain temps.[122] Ainsi, certains travaux ont suggéré que la pulpotomie réalisée en urgence dans les cas de pulpite irréversible pouvait être une option de traitement viable.[27,34] Une étude en particulier a comparé la douleur post opératoire entre la pulpotomie et la pulpectomie, sur plus de 400 participants. Les résultats de cette recherche montrent que la douleur post opératoire est aussi bien réduite par l'un ou l'autre. Cependant, le suivi sur cette étude reste faible dans le temps, ce qui ne permet pas de tester la viabilité de la pulpotomie en traitement définitif.[7] Ce traitement serait ainsi un plus non négligeable pour la dent concernée, permettant au réseau radiculaire de

rester en place grâce à son potentiel de guérison et à la biocompatibilité des agents de coiffage utilisés (MTA, Hydroxyde de calcium).

Dans une autre étude, la pulpotomie est testée comme traitement définitif, avec un suivi de 24 mois. Cette thérapeutique est alors utilisée sur des prémolaires ou des molaires vitales, sans signe de pulpite irréversible. Le suivi est réalisé par des examens cliniques et radiologiques, et ces travaux donnent au bout des 24 mois un taux de réussite de 82%.[103] Cependant, dans cette étude c'est le nombre de dents suivies qui est trop faible pour avoir un degré de preuve suffisant, ainsi que le suivi. Une revue de la littérature indique également que la pulpotomie complète montre un haut taux de réussite, avec plus de 90% de réussite selon les études recensées, sur des suivis allant jusqu'à plus de trois ans.[2]

Figure 11 : Pulpotomie complète suite à une effraction carieuse. Radio de contrôle à 24 mois.[103]

Une étude a considéré la pulpotomie comme alternative à l'extraction, dans les cas où les patients n'avaient pas les moyens de se payer la pulpectomie. Sur 26 dents traitées, au bout de 88 mois 17 dents sont toujours fonctionnelles et en bouche, ce qui donne un taux de réussite de 65%.[33] Un taux assez faible comparé aux autres recherches,

cependant les dents concernées étaient en situation de pulpite irréversible et ce taux de succès peut alors être considéré comme une bonne alternative à la pulpectomie, en permettant à la dent de rester un peu plus longtemps vitale sur l'arcade. Dans les pays où le traitement radiculaire est un véritable investissement financier pour le patient, cela peut également permettre de repousser ce traitement le temps que le patient trouve un financement.

Une autre difficulté de cette thérapeutique est l'appréciation de sa réussite. En effet, après une pulpotomie, la plupart des dents ne répondent plus aux tests de vitalité, ou alors de manière très faible. Le praticien doit alors essentiellement s'appuyer sur le suivi radiologique, et ne pourra être averti de l'échec du traitement que par la survenue d'une complication infectieuse (chronique ou aigüe).

4.2.3. Discussion

Il a été démontré que le succès de la pulpotomie dépendait de la bonne compréhension de l'étendue de la lésion au complexe dentino-pulpaire, de l'intensité de l'infection bactérienne et de la mise en place de la réponse inflammatoire et immunitaire. Cela met en évidence le défi clinique qui consiste à dire si la pulpite est réversible ou non.

La pulpectomie reste plus utilisée par les praticiens par rapport à la pulpotomie, ne serait ce que par habitude. En effet, pendant la formation initiale les futurs praticiens se voient enseigner la pulpectomie d'une manière poussée, tandis que la pulpotomie n'est abordée presque que pendant les cours de pédodontie et rarement comme solution thérapeutique pour des dents définitives. De plus, la pulpotomie sur dent définitive était associée à une possible oblitération canalaire. En effet, si la pulpotomie n'est pas faite avec discernement, sur une dent dont le capital régénératif de la pulpe est épuisé, il peut y avoir formation de minéralisations intra canalaires, amenant à l'oblitération des canaux. Une pulpe ayant déjà un passé carieux, où une pulpe âgée est plus fibreuse, et contient moins de cellules. Elle supporte donc moins bien la diminution d'apport sanguin induit par la pulpotomie.[76] De ce fait, si par la suite la dent nécessite une pulpectomie, et que celle-ci n'est pas réalisable à cause de cette oblitération, il ne reste d'autre solution que

l'avulsion, ce qui signe l'échec de la thérapeutique. Tandis que la pulpectomie est un traitement reconnu, avec un taux de réussite important lorsqu'elle est réalisée dans de bonnes conditions d'asepsie (93% à 96% de réussite lorsqu'effectué sous contrôle rigoureux par des endodontistes spécialisés).[80] Cependant, il y a aujourd'hui assez de preuves démontrant que la fréquence des nécroses pulpaires et des résorptions apicales dues aux oblitérations canalaires est très faible.[77] De plus, si la pulpectomie montre des résultats fiables en tant que traitement, le pronostic en termes de taux de survie des dents traitées n'est pas comparable à celui d'une dent restée vitale, en particulier pour les molaires, ce qui est une des raisons pour lesquelles les thérapeutiques vitales doivent être développées et mises en application.[2]

Plusieurs études arrivent à la même conclusion : la pulpotomie, qu'elle soit partielle ou totale est une bonne alternative à la pulpectomie, dans le cas de pulpite réversible bien évidemment, mais également dans le cas de pulpite irréversible. Il est ainsi suggéré de réserver la pulpotomie partielle aux effractions pulpaires superficielles et la pulpotomie totale pour les caries plus importantes, arrivant directement dans la pulpe.[103] Cependant, il est nécessaire pour la communauté scientifique de réaliser d'autres études, avec un échantillon plus important et sur une période de suivie assez longue pour être valable. Car pour le moment, toutes les études portant sur le sujet sont essentiellement des études de cas, ou alors des études sur une période trop courte pour avoir un degré d'évidence suffisant.

Conclusion

Il existe donc des techniques pour éviter tant que possible la dévitalisation d'une dent. Ces techniques ne sont pas applicables dans toutes les situations cliniques et chaque praticien doit juger au cas par cas de la faisabilité d'une de ces thérapeutiques. Toutes les dents ne peuvent pas ne pas être dévitalisées : il y a des situations où la dévitalisation est incontournable et dans ces cas là elle représente même un traitement de choix pour garder la dent en place sur l'arcade avec ses propriétés de proprioception. De plus, ces techniques sont incertaines dans leur pronostic (notamment les coiffages pulpaires et les pulpotomies) car malgré toutes nos connaissances sur la carie nous sommes encore incapables de déterminer précisément l'inflammation pulpaire, critère essentiel pour la survie de la pulpe. Cependant, elles démontrent tout de même des résultats intéressants, valant la peine de prendre ces options thérapeutiques en compte lorsqu'un praticien se retrouve face à un patient avec une carie profonde.

Le potentiel régénératif de la pulpe est encore mal exploité mais est le sujet de nombreuses recherches. La présence de cellules souches pulpaires est maintenant bien démontrée, avec les cellules souches pulpaires (DPSCs, Dental Pulp Stem Cells), les cellules souches des dents temporaires (SHEDs, Stem cells from Human Exfoliated Deciduous teeth) et les cellules souches de la papille apicale (SCAPs, Stem Cells from the Apical Papilla).[56] Ce sont d'ailleurs les SCAPS qui sont sollicitées lors des tentatives de revascularisation.

La revascularisation est une thérapeutique utilisée pour le moment sur des dents permanentes immatures. Lorsqu'une telle dent est nécrosée, plutôt que de faire le traitement endodontique, il y a la possibilité de nettoyer le système canalaire avant de stimuler la papille apicale mécaniquement pour la faire saigner et créer un caillot dans le canal ; caillot qui sera par la suite colonisé par les cellules souches et transformé en un tissu. Cependant, il reste beaucoup de points à éclaircir sur cette technique.

Premièrement les résultats ne sont pas vraiment prédictibles. En effet, une étude a montré cinq types de réponse suite à des tentatives de revascularisation : 1) épaississement des parois canalaires et continuation de la maturation radiculaire ; 2) aucune continuation significative du développement radiculaire avec l'apex qui devient émoussé et fermé ; 3) continuation du développement avec le foramen apical qui reste ouvert ; 4) sévère calcification voir oblitération du canal ; 5) formation d'une barrière de tissus durs entre le bouchon de MTA et l'apex canalaire.[26]

Deuxièmement cette technique est assez limitée, en effet elle est indiquée pour les dents immatures, car possédant un apex ouvert permettant l'afflux sanguin dans le canal : donc chez des patients jeunes possédant un plus grand potentiel de guérison et de régénération cellulaire.[87]

Il y a également la problématique du tissu créé dans la racine. En effet, ce tissu a encore une nature histologique inconnue, par manque d'études à ce niveau. On ne peut éthiquement pas faire un procédé de revascularisation sur une dent pour la sauver, pour ensuite l'extraire.

Enfin, c'est une technique dont le protocole est encore mal fixé. Jusqu'à aujourd'hui, le protocole prévoyait une irrigation abondante à l'hypochlorite de sodium, connu pour son rôle désinfectant, puis une interséance avec la mise en place intracanalaire de pâtes antibiotiques, avec des associations de deux ou trois antibiotiques. Enfin à la réouverture du canal, il nécessitait une nouvelle irrigation, l'élimination des pâtes antibiotiques et la stimulation du périapex, puis la mise en place d'un bouchon de MTA, un coiffage au CVI pour protéger le MTA et la restauration coronaire.[41] Des études récentes ont montré des points faibles dans ce protocole.

Une première étude s'est penchée sur l'effet des irrigants sur la viabilité des cellules souches de la papille apicale. Avec la comparaison entre quatre protocoles différents d'irrigation, cette étude arrive à la conclusion surprenante que le meilleur protocole pour la survie cellulaire est une irrigation uniquement à l'EDTA (Acide Éthylène Diamine Tétra acétique) à 17%, qui amène 89% de survie. Le groupe de cellules irriguées avec une alternance d'hypochlorite, d'EDTA et à nouveau de l'hypochlorite donne 74% de survie cellulaire, ce qui amène une différence significative entre ces deux groupes.[113]

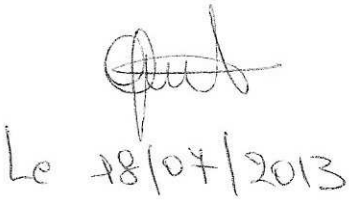
Une autre étude a comparé également le taux de survie des même cellules souches, mais après leur exposition pendant trois jours à différentes concentrations de diverses associations d'antibiotiques. Les chercheurs se sont rendu compte que le taux de survie cellulaire diminuait selon un mode concentration dépendant. Plus la concentration des antibiotiques (quel que soit cette association) est forte, moins le taux de survie est haut. Curieusement, l'hydroxyde de calcium à n'importe quelle concentration assure des taux de survie favorable à une prolifération cellulaire.[99] Les antibiotiques auraient donc un effet plutôt néfaste sur la survie cellulaire.

Un nouveau protocole pour la revascularisation pourrait alors être mis en place, en utilisant de l'EDTA comme irriguant, en supprimant les associations d'antibiotiques en interséance et en mettant à la place un hydroxyde de calcium tel l'Ultracal® (Ultradent, South Jordan, USA).

La technique de la revascularisation n'est pas la seule technique qui exploite les nouvelles possibilités que nous offrent les cellules souches (cf Annexe 1). Certaines études envisagent l'utilisation des facteurs de croissance pour faire migrer les cellules par chimiotaxie,[60] l'implantation cellulaire directement dans le canal, l'injection d'un gel contenant les cellules souches et leurs facteurs nutritifs, les thérapies géniques, la création et l'implantation d'échafaudages pour permettre la croissance cellulaire…[84] La bioingénierie tissulaire a encore de nombreuses possibilités thérapeutiques à nous offrir. Et peut-être que la thérapie de demain est tout simplement la culture de dents, pour remplacer directement toute dent abimée/cariée/nécrosée.

Signature de la Directrice de thèse
Dr GURGEL-GEORGELIN Marie

Signature de la Présidente du Jury
Dr NABET Cathy



Bibliographie

1. Accorinte MLR, Loguercio AD, Reis A, et al. Response of human dental pulp capped with MTA and calcium hydroxide powder. *Operative Dentistry*. 2008;33(5):488–495.

2. Aguilar P, Linsuwanont P. Vital pulp therapy in vital permanent teeth with cariously exposed pulp: a systematic review. *Journal of Endodontics*. 2011;37(5):581–587.

3. Alves LS, Fontanella V, Damo AC, Ferreira de Oliveira E, Maltz M. Qualitative and quantitative radiographic assessment of sealed carious dentin: a 10-year prospective study. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontics*. 2010;109(1):135–141.

4. Asgary S, Ahmadyar M. Can miniature pulpotomy procedure improve treatment outcomes of direct pulp capping? *Medical Hypotheses*. 2012;78(2):283–285.

5. Asgary S, Ahmadyar M. Vital pulp therapy using calcium-enriched mixture: An evidence-based review. *Journal of Conservative Dentistry*. 2013;16(2):92.

6. Asgary S, Eghbal MJ, Parirokh M, Ghanavati F, Rahimi H. A comparative study of histologic response to different pulp capping materials and a novel endodontic cement. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. 2008;106(4):609–614.

7. Asgary S, Eghbal MJ. The effect of pulpotomy using a calcium-enriched mixture cement versus one-visit root canal therapy on postoperative pain relief in irreversible pulpitis: a randomized clinical trial. *Odontology / the Society of the Nippon Dental University*. 2010;98(2):126–133.

8. Athanassiadis B, Abbott PV, Walsh LJ. The use of calcium hydroxide, antibiotics and biocides as antimicrobial medicaments in endodontics. *Australian Dental Journal*. 2007;52(1 Suppl):S64–82.

9. Avery JK, Steele PF. *Essentials of oral histology and embryology : a clinical approach*. St Louis, Etats-Unis: Mosby; 2000.

10. Badet C. Étude clinique de la carie. *Médecine buccale - 28-260-M-10*. 2011:1–7.

11. Barrieshi-Nusair KM, Qudeimat MA. A prospective clinical study of mineral trioxide aggregate for partial pulpotomy in cariously exposed permanent teeth. *Journal of Endodontics*. 2006;32(8):731–735.

12. Barthel CR, Rosenkranz B, Leuenberg A, Roulet JF. Pulp capping of carious exposures: treatment outcome after 5 and 10 years: a retrospective study. *Journal of Endodontics*. 2000;26(9):525–528.

13. Bender IB. Reversible and irreversible painful pulpitides: diagnosis and treatment. *Australian endodontic journal: the journal of the Australian Society of Endodontology Inc*. 2000;26(1):10–14.

14. Bergenholtz G, Spångberg L. Controversies in Endodontics. *Critical reviews in oral biology and medicine: an official publication of the American Association of Oral Biologists*. 2004;15(2):99–114.

15. Bjørndal L, Larsen T. Changes in the cultivable flora in deep carious lesions following a stepwise excavation procedure. *Caries Research*. 2000;34(6):502–508.

16. Bjørndal L, Reit C, Bruun G, et al. Treatment of deep caries lesions in adults: randomized clinical trials comparing stepwise vs. direct complete excavation, and direct pulp capping vs. partial pulpotomy. *European Journal of Oral Sciences*. 2010;118(3):290–297.

17. Bjørndal L. Indirect pulp therapy and stepwise excavation. *Journal of Endodontics*. 2008;34(7 Suppl):S29–33.

18. Bjørndal L. The Caries Process and Its Effect on the Pulp: The Science Is Changing and So Is Our Understanding. *Journal of Endodontics*. 2008;34(7):S2–S5.

19. Bogen G, Kim JS, Bakland LK. Direct pulp capping with mineral trioxide aggregate: an observational study. *Journal of the American Dental Association*. 2008;139(3):305–315; quiz 305–315.

20. Briso ALF, Rahal V, Mestrener SR, Dezan Junior E. Biological response of pulps submitted to different capping materials. *Brazilian Oral Research*. 2006;20(3):219–225.

21. Burdock GA. Review of the biological properties and toxicity of bee propolis (propolis). *Food and Chemical Toxicology*. 1998;36(4):347–363.

22. Caplan DJ, Cai J, Yin G, White BA. Root canal filled versus non-root canal filled teeth: a retrospective comparison of survival times. *Journal of Public Health Dentistry*. 2005;65(2):90–96.

23. Cate JM ten. Remineralization of Caries Lesions Extending into Dentin. *Journal of Dental Research*. 2001;80(5):1407–1411.

24. Chala S, Bouamara R, Abdallaoui F. Les méthodes de diagnostic des lésions carieuses initiales. *Revue Odonto Stomatologique*. 2004;Tome 33(4):297–310.

25. Chazel J-C, Esber S, Kouassi M, Pélissier B. Pulpopathies iatrogènes. Étiologies, prévention et traitements. *Médecine buccale - 28-260-V-10*. 2008.

26. Chen MY-H, Chen K-L, Chen C-A, Tayebaty F, Rosenberg PA, Lin LM. Responses of immature permanent teeth with infected necrotic pulp tissue and apical periodontitis/abscess to revascularization procedures. *International Endodontic Journal*. 2012;45(3):294–305.

27. Chueh L-H, Chiang C-P. Histology of Irreversible pulpitis premolars treated with mineral trioxide aggregate pulpotomy. *Operative Dentistry*. 2010;35(3):370–374.

28. Chung S, Fried D, Staninec M, Darling CL. Multispectral near-IR reflectance and transillumination imaging of teeth. *Biomedical Optics Express*. 2011;2(10):2804–2814.

29. Claisse Crinquette A, Claisse D. Hydroxyde de calcium ou MTA en traumatologie. *Réalités Cliniques*. 2002;13(1):53–73.

30. Colon P, Goldberg M. Biodentine: Vers une dentine synthétique en capsule? *La Revue des praticiens hospitaliers universitaires*. 2010;(42):1–11.

31. Cooper PR, Takahashi Y, Graham LW, Simon S, Imazato S, Smith AJ. Inflammation-regeneration interplay in the dentine-pulp complex. *Journal of Dentistry*. 2010;38(9):687–697.

32. Cvek M. A clinical report on partial pulpotomy and capping with calcium hydroxide in permanent incisors with complicated crown fracture. *Journal of Endodontics*. 1978;4(8):232–237.

33. DeRosa TA. A retrospective evaluation of pulpotomy as an alternative to extraction. *General Dentistry*. 2006;54(1):37–40.

34. Eghbal MJ, Asgary S, Baglue RA, Parirokh M, Ghoddusi J. MTA pulpotomy of human permanent molars with irreversible pulpitis. *Australian Endodontic Journal*. 2009;35(1):4–8.

35. Evidenced-based review of clinical studies on direct pulp capping. *Journal of Endodontics*. 2009;35(8):1152–1154.

36. Evidenced-Based Review of Clinical Studies on Indirect Pulp Capping. *Journal of Endodontics*. 2009;35(8):1147–1151.

37. Ferracane JL, Cooper PR, Smith AJ. Can interaction of materials with the dentin-pulp complex contribute to dentin regeneration? *Odontology*. 2010;98(1):2–14.

38. Fransson H. On the repair of the dentine barrier. *Swedish Dental Journal Supplement*. 2012;(226):9–84.

39. Fusayama T, Okuse K, Hosoda H. Relationship between hardness, discoloration, and microbial invasion in carious dentin. *Journal of Dental Research*. 1966;45(4):1033–1046.

40. Fusayama T. Two layers of carious dentin; diagnosis and treatment. *Operative Dentistry*. 1979;4(2):63–70.

41. Garcia-Godoy F, Murray PE. Recommendations for using regenerative endodontic procedures in permanent immature traumatized teeth. *Dental Traumatology*. 2012;28(1):33–41.

42. Glass RL, Zander HA. Pulp healing. *Journal of Dental Research*. 1949;28(2):97–107.

43. Glickman GN, Koch KA. 21st Century Endodontics. *The Journal of the American Dental Association*. 2000;131(suppl 1):39S–46S.

44. Goldberg M, Farges J-C, Lacerda-Pinheiro S, et al. Inflammatory and immunological aspects of dental pulp repair. *Pharmacological Research*. 2008;58(2):137–147.

45. Goldberg M, Lacerda-Pinheiro S, Jegat N, et al. The impact of bioactive molecules to stimulate tooth repair and regeneration as part of restorative dentistry. *Dental Clinics of North America*. 2006;50(2):277–298, x.

46. Goldberg M, Six N, Decup F, et al. Application of Bioactive Molecules in Pulp-capping Situations. *Advances in Dental Research*. 2001;15(1):91–95.

47. Goldberg M. Histologie du complexe dentinopulpaire. *Médecine buccale - 28-115-B-10*. 2008.

48. Griffol T. À propos du Mineral Trioxyde (MTA) Aggregate en endodontie. *Chirurgien Dentiste de France*. 2006;(1279).

49. Gueders A, Geerts S. Les méthodes diagnostiques en dentisterie restauratrice et prophylactique: Evolution des outils de détection des lésions carieuses pour un diagnostic précoce. *Journal du dentiste*. 2006;338.

50. Guven EP, Yalvac ME, Sahin F, Yazici MM, Rizvanov AA, Bayirli G. Effect of dental materials calcium hydroxide-containing cement, mineral trioxide aggregate, and enamel matrix derivative on proliferation and differentiation of human tooth germ stem cells. *Journal of Endodontics*. 2011;37(5):650–656.

51. Harichane Y, Hirata A, Dimitrova-Nakov S, et al. Pulpal progenitors and dentin repair. *Advances in Dental Research*. 2011;23(3):307–312.

52. Hayashi M, Fujitani M, Yamaki C, Momoi Y. Ways of enhancing pulp preservation by stepwise excavation--a systematic review. *Journal of Dentistry*. 2011;39(2):95–107.

53. Al-Hiyasat AS, Barrieshi-Nusair KM, Al-Omari MA. The radiographic outcomes of direct pulp-capping procedures performed by dental students: a retrospective study. *Journal of the American Dental Association*. 2006;137(12):1699–1705.

54. Jordan RE, Suzuki M. Conservative treatment of deep carious lesions. *Journal of the Canadian Dental Association*. 1971;37(9):337–342.

55. Karabucak B, Li D, Lim J, Iqbal M. Vital pulp therapy with mineral trioxide aggregate. *Dental Traumatology*. 2005;21(4):240–243.

56. Kawashima N. Characterisation of dental pulp stem cells: A new horizon for tissue regeneration? *Archives of Oral Biology*. 2012;57(11):1439–1458.

57. Kiatwateeratana T, Kintarak S, Piwat S, Chankanka O, Kamaolmatyakul S, Thearmontree A. Partial pulpotomy on caries-free teeth using enamel matrix derivative or calcium hydroxide: a randomized controlled trial. *International Endodontic Journal*. 2009;42(7):584–592.

58. Kiba W, Imazato S, Takahashi Y, Yoshioka S, Ebisu S, Nakano T. Efficacy of polyphasic calcium phosphates as a direct pulp capping material. *Journal of Dentistry*. 2010;38(10):828–837.

59. Kidd EAM. How “clean” must a cavity be before restoration? *Caries Research*. 2004;38(3):305–313.

60. Kim JY, Xin X, Moioli EK, et al. Regeneration of dental-pulp-like tissue by chemotaxis-induced cell homing. *Tissue Engineering*. 2010;16(10):3023–3031.

61. Kitasako Y, Ikeda M, Tagami J. Pulpal responses to bacterial contamination following dentin bridging beneath hard-setting calcium hydroxide and self-etching adhesive resin system. *Dental Traumatology*. 2008;24(2):201–206.

62. Kojima K, Inamoto K, Nagamatsu K, et al. Success rate of endodontic treatment of teeth with vital and nonvital pulps. A meta-analysis. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontics*. 2004;97(1):95–99.

63. Komabayashi T, Zhu Q. Innovative endodontic therapy for anti-inflammatory direct pulp capping of permanent teeth with a mature apex. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontics*. 2010;109(5):e75–81.

64. Kvist T, Reit C. Results of endodontic retreatment: a randomized clinical study comparing surgical and nonsurgical procedures. *Journal of Endodontics*. 1999;25(12):814–817.

65. Lasfargues J-J, Colon P, Vanherle G, Lambrechts P. *Odontologie conservatrice et restauratrice. Tome 1, Une approche médicale globale*. Paris, France: Éditions CdP; 2009.

66. Lee Y-L, Liu J, Clarkson BH, Lin C-P, Godovikova V, Ritchie HH. Dentin-pulp complex responses to carious lesions. *Caries Research*. 2006;40(3):256–264.

67. Levin L. Pulpal Irritants. *Endodontic topics*. 2003;5:2–11.

68. Leye Benoist F, Gaye Ndiaye F, Kane AW, Benoist HM, Farge P. Evaluation of mineral trioxide aggregate (MTA) versus calcium hydroxide cement (Dycal(®)) in the formation of a dentine bridge: a randomised controlled trial. *International Dental Journal*. 2012;62(1):33–39.

69. Lu Y, Liu T, Li H, Pi G. Histological evaluation of direct pulp capping with a self-etching adhesive and calcium hydroxide on human pulp tissue. *International Endodontic Journal*. 2008;41(8):643–650.

70. Maltz M, Alves LS, Jardim JJ, Moura M dos S, de Oliveira EF. Incomplete caries removal in deep lesions: a 10-year prospective study. *American Journal of Dentistry*. 2011;24(4):211–214.

71. Maltz M, Garcia R, Jardim JJ, et al. Randomized trial of partial vs. stepwise caries removal: 3-year follow-up. *Journal of Dental Research*. 2012;91(11):1026–1031.

72. Maltz M, Jardim JJ, Mestrinho HD, et al. Partial Removal of Carious Dentine: A Multicenter Randomized Controlled Trial and 18-Month Follow-Up Results. *Caries Research*. 2012;47(2):103–109.

73. Maltz M, de Oliveira EF, Fontanella V, Bianchi R. A clinical, microbiologic, and radiographic study of deep caries lesions after incomplete caries removal. *Quintessence International*. 2002;33(2):151–159.

74. Mass E, Zilberman U. Clinical and radiographic evaluation of partial pulpotomy in carious exposure of permanent molars. *Pediatric Dentistry*. 1993;15(4):257–259.

75. Mass E, Zilberman U. Long-term radiologic pulp evaluation after partial pulpotomy in young permanent molars. *Quintessence International*. 2011;42(7):547–554.

76. Massler M. Therapy conductive to healing of the human pulp. *Oral Surgery, Oral Medicine, and Oral Pathology*. 1972;34(1):122–130.

77. McCabe PS, Dummer PMH. Pulp canal obliteration: an endodontic diagnosis and treatment challenge. *International Endodontic Journal*. 2012;45(2):177–197.

78. Mente J, Geletneky B, Ohle M, et al. Mineral trioxide aggregate or calcium hydroxide direct pulp capping: an analysis of the clinical treatment outcome. *Journal of Endodontics*. 2010;36(5):806–813.

79. Mertz-Fairhurst EJ, Curtis JW, Ergle JW, Rueggeberg FA, Adair SM. Ultraconservative and cariostatic sealed restorations: results at year 10. *The Journal of the American Dental Association*. 1998;129(1):55–66.

80. Miyashita H, Worthington HV, Qualtrough A, Plasschaert A. Pulp management for caries in adults: maintaining pulp vitality. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2007;(2):CD004484.

81. Mjör IA. Dentin permeability: the basis for understanding pulp reactions and adhesive technology. *Brazilian Dental Journal*. 2009;20(1):3–16.

82. Modino SAC, Sharpe PT. Tissue engineering of teeth using adult stem cells. *Archives of Oral Biology*. 2005;50(2):255–258.

83. Molina GF, Cabral RJ, Frencken JE. The ART approach: clinical aspects reviewed. *Journal of Applied Oral Science*. 2009;17(SPE):89–98.

84. Murray PE, Garcia-Godoy F, Hargreaves KM. Regenerative endodontics: a review of current status and a call for action. *Journal of Endodontics*. 2007;33(4):377–390.

85. Nair PNR, Duncan HF, Pitt Ford TR, Luder HU. Histological, ultrastructural and quantitative investigations on the response of healthy human pulps to experimental capping with Mineral Trioxide Aggregate: a randomized controlled trial. 2008. *International Endodontic Journal*. 2009;42(5):422–444.

86. Nakamura Y, Hammarström L, Matsumoto K, Lyngstadaas SP. The induction of reparative dentine by enamel proteins. *International Endodontic Journal*. 2002;35(5):407–417.

87. Neha K, Kansal R, Garg P, Joshi R, Garg D, Grover H-S. Management of immature teeth by dentin-pulp regeneration: a recent approach. *Medicina Oral, Patologya Oral y Cirugia Bucal*. 2011;16(7):e997–1004.

88. Ng Y-L, Mann V, Gulabivala K. A prospective study of the factors affecting outcomes of non-surgical root canal treatment: part 2: tooth survival. *International Endodontic Journal*. 2011;44(7):610–625.

89. Ng Y-L, Mann V, Gulabivala K. Outcome of secondary root canal treatment: a systematic review of the literature. *International Endodontic Journal*. 2008;41(12):1026–1046.

90. Ng Y-L, Mann V, Gulabivala K. Tooth survival following non-surgical root canal treatment: a systematic review of the literature. *International Endodontic Journal*. 2010;43(3):171–189.

91. Oliveira EF, Carminatti G, Fontanella V, Maltz M. The monitoring of deep caries lesions after incomplete dentine caries removal: results after 14-18 months. *Clinical Oral Investigations*. 2006;10(2):134–139.

92. Oviir T. Outcome of the root canal treatment on permanent teeth is related to the preoperative diagnosis and the accuracy of the treatment procedure. *The Journal of Evidence-Based Dental Practice*. 2005;5(1):26–28.

93. Parolia A, Kundabala M, Rao N, et al. A comparative histological analysis of human pulp following direct pulp capping with Propolis, mineral trioxide aggregate and Dycal. *Australian Dental Journal*. 2010;55(1):59–64.

94. Pashley DH. Dynamics of the pulpo-dentin complex. *Critical Reviews in Oral Biology and Medicine*. 1996;7(2):104–133.

95. Piette É, Goldberg M. *La dent normale et pathologique*. De Boeck Supérieur; 2001.

96. Pinelli C, Campos Serra M, de Castro Monteiro Loffredo L. Validity and reproducibility of a laser fluorescence system for detecting the activity of white-spot lesions on free smooth surfaces in vivo. *Caries Research*. 2002;36(1):19–24.

97. Qudeimat MA, Barrieshi-Nusair KM, Owais AI. Calcium hydroxide vs mineral trioxide aggregates for partial pulpotomy of permanent molars with deep caries. *European Archives of Paediatric Dentistry*. 2007;8(2):99–104.

98. Ritter AV, Browning WD, Swift EJ Jr. Critical appraisal. Partial caries excavation. *Journal of Esthetic Restorative Dentistry*. 2012;24(2):148–152.

99. Ruparel NB, Teixeira FB, Ferraz CCR, Diogenes A. Direct effect of intracanal medicaments on survival of stem cells of the apical papilla. *Journal of Endodontics*. 2012;38(10):1372–1375.

100. Saunders WP, Saunders EM. Prevalence of periradicular periodontitis associated with crowned teeth in an adult Scottish subpopulation. *British Dental Journal*. 1998;185(3):137–140.

101. Schneiderman A, Elbaum M, Shultz T, Keem S, Greenebaum M, Driller J. Assessment of dental caries with Digital Imaging Fiber-Optic TransIllumination (DIFOTI): in vitro study. *Caries Research*. 1997;31(2):103–110.

102. Simon S, Cooper P, Berdal A, Machtou P, Smith AJ. Biologie pulpaire : comprendre pour appliquer au quotidien. *Revue Odonto Stomatologique*. 2008;Tome 37(3):209–235.

103. Simon S, Perard M, Zanini M, et al. Should pulp chamber pulpotomy be seen as a permanent treatment? Some preliminary thoughts. *International Endodontic Journal*. 2013;46(1):79–87.

104. Simon SRJ, Berdal A, Cooper PR, Lumley PJ, Tomson PL, Smith AJ. Dentin-pulp complex regeneration: from lab to clinic. *Advances in Dental Research*. 2011;23(3):340–345.

105. Smith AJ. Pulpal responses to caries and dental repair. *Caries Research*. 2002;36(4):223–232.

106. Stanley HR. Pulp capping: conserving the dental pulp--can it be done? Is it worth it? *Oral Surgery, Oral Medicine, and Oral Pathology*. 1989;68(5):628–639.

107. Swift EJ, Trope M, Ritter AV. Vital pulp therapy for the mature tooth – can it work? *Endodontic Topics*. 2003;5(1):49–56.

108. Tabarsi B, Parirokh M, Eghbal MJ, Haghdoost AA, Torabzadeh H, Asgary S. A comparative study of dental pulp response to several pulpotomy agents. *International Endodontic Journal*. 2010;43(7):565–571.

109. Tam LE, McComb D. Diagnosis of occlusal caries: Part II. Recent diagnostic technologies. *Journal of Canadian Dental Association*. 2001;67(8):459–463.

110. Thompson V, Craig RG, Curro FA, Green WS, Ship JA. Treatment of deep carious lesions by complete excavation or partial removal: a critical review. *Journal of the American Dental Association*. 2008;139(6):705–712.

111. Torabinejad M, Hong CU, McDonald F, Pitt Ford TR. Physical and chemical properties of a new root-end filling material. *Journal of Endodontics*. 1995;21(7):349–353.

112. Torabinejad M, Hong CU, Pitt Ford TR, Kettering JD. Antibacterial effects of some root end filling materials. *Journal of Endodontics*. 1995;21(8):403–406.

113. Trevino EG, Patwardhan AN, Henry MA, et al. Effect of irrigants on the survival of human stem cells of the apical papilla in a platelet-rich plasma scaffold in human root tips. *Journal of Endodontics*. 2011;37(8):1109–1115.

114. Turpin Y-L, Vulcain J-M. Principes généraux de préparation des dents en vue de leur restauration. *EMC - Odontologie*. 2005;1(2):67–76.

115. Tziafas D, Smith AJ, Lesot H. Designing new treatment strategies in vital pulp therapy. *Journal of Dentistry*. 2000;28(2):77–92.

116. Uribe S. Partial caries removal in symptomless teeth reduces the risk of pulp exposure. *Evidence-Based Dentistry*. 2006;7(4):94.

117. Ward J. Vital pulp therapy in cariously exposed permanent teeth and its limitations. *Australian Endodontic Journal*. 2002;28(1):29–37.

118. Wei S, Sadr A, Shimada Y, Tagami J. Effect of caries-affected dentin hardness on the shear bond strength of current adhesives. *The Journal of Adhesive Dentistry*. 2008;10(6):431–440.

119. Whitworth JM, Myers PM, Smith J, Walls AWG, McCabe JF. Endodontic complications after plastic restorations in general practice. *International Endodontic Journal*. 2005;38(6):409–416.

120. Willershausen B, Willershausen I, Ross A, Velikonja S, Kasaj A, Blettner M. Retrospective study on direct pulp capping with calcium hydroxide. *Quintessence International*. 2011;42(2):165–171.

121. Witherspoon DE. Vital pulp therapy with new materials: new directions and treatment perspectives--permanent teeth. *Journal of Endodontics*. 2008;34(7 Suppl):S25–28.

122. Yamasaki M, Kumazawa M, Kohsaka T, Nakamura H, Kameyama Y. Pulpal and periapical tissue reactions after experimental pulpal exposure in rats. *Journal of Endodontics*. 1994;20(1):13–17.

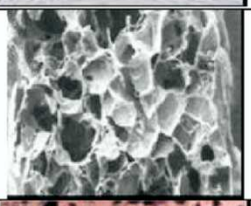
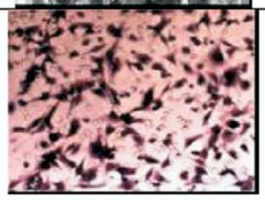
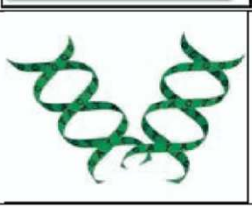
123. Yoshiyama M, Doi J, Nishitani Y, et al. Bonding ability of adhesive resins to caries-affected and caries-infected dentin. *Journal of Applied Oral Science*. 2004;12(3):171–176.

124. Yoshiyama M, Tay FR, Doi J, et al. Bonding of Self-etch and Total-etch Adhesives to Carious Dentin. *Journal of Dental Research*. 2002;81(8):556–560.

125. Zarrabi MH, Javidi M, Jafarian AH, Joushan B. Histologic assessment of human pulp response to capping with mineral trioxide aggregate and a novel endodontic cement. *Journal of Endodontics*. 2010;36(11):1778–1781.

126. Zheng L, Hilton JF, Habelitz S, Marshall SJ, Marshall GW. Dentin caries activity status related to hardness and elasticity. *European Journal of Oral Sciences*. 2003;111(3):243–252.

Annexes

Technique	Image	Advantages	Disadvantages
Root-canal revascularization: open up tooth apex to 1 mm to allow bleeding into root canals		✓ Lowest risk of immune rejection ✓ Lowest risk of pathogen transmission	➢ Minimal case reports published to date ➢ Potential risk of necrosis if tissue becomes reinfected
Stem cell therapy: autologous or allogenic stem or cells are delivered to teeth via injectable matrix		✓ Quick, ✓ Easy delivery ✓ Least painful ✓ Cells are easy to harvest	➢ Low cell survival ➢ Cells do not produce new functioning pulp ➢ High risk of complications
Pulp implant: pulp tissue is grown in the laboratory in sheets and implanted surgically		✓ Sheets of cells are easy to grow ✓ More stable than an injection of dissociated cells	➢ Sheets lack vascularity so only small constructs are possible ➢ Must be engineered to fit root canal precisely
Scaffold implant: pulp cells are seeded onto a 3-D scaffold made of polymers and surgically implanted		✓ Structure supports cell organization ✓ Some materials may promote vascularization	➢ Low cell survival after implantation ➢ Must be engineered to fit root canal precisely
3-D cell printing: ink-jet-like device dispenses layers of cells in a hydrogel which is surgically implanted		✓ Multiple cell types can be precisely positioned	➢ Must be engineered to fit root canal precisely ➢ Early-stage research has yet to prove functional in vivo
Injectable scaffolds: polymerizable hydrogels, alone or containing cell suspension are delivered by injection		✓ Easy delivery ✓ May promote regeneration by providing substitute for extracellular matrix	➢ Limited control over tissue formation ➢ Low cell survival ➢ Early-stage research has yet to prove functional in vivo
Gene therapy: mineralizing genes are transfected into the vital pulp cells of necrotic and symptomatic teeth		✓ May avoid cleaning and shaping root canals ✓May avoid the need to implant stem cells	➢ Most cells in a necrotic tooth are already dead ➢ Difficult to control ➢ Risk of health hazards ➢ Not approved by the FDA

Annexe 1 : Tableau récapitulatif des différentes possibilités de bioingénierie endodontique[84]

Iconographie

Figure 2: Image tirée du site http://www.piedmontdental.com/

Figure 3: Image tirée du site http://www.tallmadgeteeth.com/index.php

Figure 4: Image tirée du site http://diagnocam.de/FR/Information-sur-le-produit.aspx

Figure 5 : Image tirée du site http://www.intelligentdental.com/

Figure 8 : Image tirée du catalogue en ligne de la société Dentsply

BUGNARD Chloé 2013 TOU3 3046

ALTERNATIVES À L'ENDODONTIE

RÉSUMÉ :

Aujourd'hui la pulpectomie est une thérapeutique largement utilisée, dans plusieurs circonstances cliniques : effraction pulpaires, pulpite irréversible, nécrose pulpaire… Dans le cas particulier des caries profondes, pouvant amener à des effractions pulpaires, il existe d'autres solutions thérapeutiques utilisables sous certaines conditions, comme les coiffages pulpaires, ou la pulpotomie. Cette thèse explore ces différentes thérapeutiques qui s'offrent au praticien aujourd'hui pour tenter de conserver la vitalité pulpaire.

TITLE : Alternative to Endodontics

Today pulpectomy is a widely used therapeutic in many clinical circumstances: pulp effraction, irreversible pulpitis, pulp necrosis... In the particular case of deep cavities, which may lead to pulp effraction, there are other treatment options used in some conditions, such as pulp capping or pulpotomy. This thesis explores the different therapies that are available to the dentist today to try to preserve pulp vitality.

DISCIPLINE ADMINISTRATIVE : Chirurgie Dentaire

MOTS-CLÉS : Coiffages pulpaires, Pulpotomie, Stepwise Excavation

INTITULÉ ET ADRESSE DE L'UFR :

Université Toulouse III- Paul Sabatier
Faculté de Chirurgie Dentaire
3 Chemin des Maraîchers
31062 Toulouse Cedex

DIRECTEUR DE THÈSE : Docteur Marie GURGEL-GEORGELIN