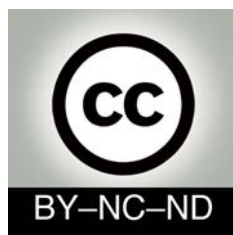




<http://portaildoc.univ-lyon1.fr>

Creative commons : Paternité - Pas d'Utilisation Commerciale -
Pas de Modification 2.0 France (CC BY-NC-ND 2.0)



<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/fr>

**UNIVERSITE CLAUDE BERNARD-LYON I
U.F.R. D'ODONTOLOGIE**

Année 2014

THESE N° 2014 LYO 1D 016

**T H E S E
POUR LE DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE**

Présentée et soutenue publiquement le 27/02/2014

par

Corgié Joséphine

Née le 15 février 1988, à Annecy (74)

**Préservation de la vitalité pulpaire dans le cadre d'une atteinte carieuse profonde :
concepts actuels.**

JURY

Mme Dominique SEUX	Président
Mme Brigitte GROSGOGEAT/BALAYRE	Assesseur
Mme Marion LUCCHINI	Assesseur
M. <u>Cyril VILLAT</u>	<u>Assesseur</u>

UNIVERSITE CLAUDE BERNARD LYON I

Président de l'Université	M. le Professeur F-N. GILLY
Vice-Président du Conseil Scientifique	M. le Professeur P-G. GILLET
Vice-Président du Conseil des Etudes et de Vie Universitaire	M. le Professeur P. LALLE
Directeur Général des Services	M. A. HELLEU

SECTEUR SANTE

Comité de Coordination des Etudes Médicales	Président : Mme la Professeure C. VINCIGUERRA
Faculté de Médecine Lyon Est	Directeur : M. le Professeur. J. ETIENNE
Faculté de Médecine et Maïeutique Lyon-Sud Charles Mérieux	Directeur : Mme la Professeure C. BURILLON
Faculté d'Odontologie	Directeur : M. le Professeur D. BOURGEOIS
Institut des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques	Directeur : Mme la Professeure C. VINCIGUERRA
Institut des Sciences et Techniques de la Réadaptation	Directeur : M. le Professeur Y. MATILLON
Département de Formation et Centre de Recherche en Biologie Humaine	Directeur : Mme la Professeure A.M. SCHOTT

SECTEUR SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Faculté des Sciences et Technologies	Directeur : M. le Professeur F. DE MARCHI
UFR des Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives	Directeur : M. le Professeur C. COLLIGNON
Institut Universitaire de Technologie Lyon 1	Directeur : M. C. VITON, Maître de Conférences
Ecole Polytechnique Universitaire de l'Université Lyon 1	Directeur : M. P. FOURNIER
<i>Institut de Science Financière et d'Assurances DESCHAMPS</i>	<i>Directeur : Mme la Professeure V. MAUME</i>
<i>Institut Universitaire de Formation des Maîtres De l'Académie de Lyon (IUFM)</i>	<i>Directeur : M. A. MOUGNIOTTE</i>
Observatoire de Lyon	Directeur : M. B. GUIDERDONI, Directeur de Recherche CNRS
Ecole Supérieure de Chimie Physique Electronique	Directeur : M. G. PIGNAULT

FACULTE D'ODONTOLOGIE DE LYON

Doyen :	M. Denis BOURGEOIS, Professeur des Universités
Vice-Doyen :	Mme Dominique SEUX, Professeure des Universités
<u>SOUS-SECTION 56-01:</u>	PÉDODONTIE
Professeur des Universités :	<u>M. Jean-Jacques MORRIER</u>
Maître de Conférences :	M. Jean-Pierre DUPREZ
<u>SOUS-SECTION 56-02 :</u>	ORTHOPÉDIE DENTO-FACIALE
Maîtres de Conférences :	<u>M. Jean-Jacques AKNIN</u> , Mme Sarah GEBEILE-CHAUTY, Mme Claire PERNIER, Mme Monique RABERIN
<u>SOUS-SECTION 56-03 :</u>	PRÉVENTION - EPIDÉMIOLOGIE ECONOMIE DE LA SANTÉ - ODONTOLOGIE LÉGALE
Professeur des Universités	M. Denis BOURGEOIS
Professeur des Universités Associé :	M. Juan Carlos LLODRA CALVO
Maître de Conférences	<u>M. Bruno COMTE</u>
<u>SOUS-SECTION 57-01 :</u>	PARODONTOLOGIE
Maîtres de Conférences :	Mme Kerstin GRITSCH, M. Pierre-Yves HANACHOWICZ, <u>M. Philippe RODIER</u> ,
<u>SOUS-SECTION 57-02 :</u>	CHIRURGIE BUCCALE - PATHOLOGIE ET THÉRAPEUTIQUE ANESTHÉSIOLOGIE ET RÉANIMATION
Maître de Conférences :	Mme Anne-Gaëlle CHAUX-BODARD, <u>M. Thomas FORTIN</u> , M. Jean-Pierre FUSARI
<u>SOUS-SECTION 57-03 :</u>	SCIENCES BIOLOGIQUES
Professeur des Universités :	<u>M. J. Christophe FARGES</u>
Maîtres de Conférences :	Mme Odile BARSOTTI, Mme Béatrice RICHARD, Mme Béatrice THIVICHON-PRINCE, M. François VIRARD
<u>SOUS-SECTION 58-01 :</u>	ODONTOLOGIE CONSERVATRICE - ENDODONTIE
Professeur des Universités :	M. Pierre FARGE, M. Jean-Christophe MAURIN, <u>Mme Dominique</u>
<u>SEUX</u>	
Maîtres de Conférences :	Mme Marion LUCCHINI, M. Thierry SELLI, M. Cyril VILLAT
<u>SOUS-SECTION 58-02 :</u>	PROTHÈSE
Professeurs des Universités :	M. Guillaume MALQUARTI, Mme Catherine MILLET
Maîtres de Conférences :	M. Christophe JEANNIN, M. Renaud NOHARET, <u>M. Gilbert VIGUIE</u> , M. Stéphane VIENNOT, M. Bernard VINCENT
<u>SOUS-SECTION 58-03 :</u>	SCIENCES ANATOMIQUES ET PHYSIOLOGIQUES OCCLUSODONTIQUES, BIOMATÉRIAUX, BIOPHYSIQUE, RADIOLOGIE
Professeur des Universités :	Mme Brigitte GROSGOGEAT, <u>M. Olivier ROBIN</u>
Maîtres de Conférences :	M. Patrick EXBRAYAT, Mme Sophie VEYRE-GOULET
Maître de Conférences Associé :	Mme Doris MOURA CAMPOS

Je dédie cette thèse à mon grand-père, Alexis Marcellin.

Remerciements

A la présidente de notre Jury,
SEUX Dominique
Professeure des Universités à l'UFR d'Odontologie de Lyon
Praticien-Hospitalier
Docteur en Chirurgie Dentaire
Docteur de l'Université Lyon I
Habilité à Diriger des Recherches
Responsable de la sous-section Odontologie Conservatrice - Endodontie
Vice-Doyen à l'UFR d'Odontologie de Lyon

Nous vous remercions pour avoir accepté cette responsabilité avec enthousiasme et bienveillance. Votre confiance dans notre travail et votre efficacité dans les relectures nous ont été très profitables pour finaliser cette thèse de manière satisfaisante. Merci également pour la rigueur et l'attention que vous portez à vos étudiants lors de leur apprentissage, et qui montrent votre investissement dans ce rôle.

A notre maître de thèse

VILLAT Cyril

Maître de Conférences à l'UFR d'Odontologie de Lyon

Praticien-Hospitalier

Docteur en Chirurgie Dentaire

Ancien Interne en Odontologie

Docteur de l'Ecole Centrale Paris

Nous vous remercions tout d'abord pour nous avoir orientée vers un sujet passionnant et actuel dont nous ne soupçonnions pas l'étendue lorsque nous nous sommes tournée vers vous pour cette thèse sur la préservation de la vitalité pulpaire. Nous n'aurions pas imaginé découvrir autant sur ces techniques innovantes encore peu enseignées dans les facultés, et dont les publications qui ne cessent de paraître aujourd'hui montrent qu'on est à un tournant dans le domaine de l'odontologie conservatrice. Nous sommes fière de pouvoir grâce à vous en donner quelques notions (aussi balbutiantes soient-elles!) à nos jeunes confrères.

Nous vous remercions également pour votre connaissance des auteurs et des publications incontournables sur le sujet, la quantité trouvée étant telle que nous nous serions facilement perdue sans votre aide.

Merci enfin pour votre sympathie, votre investissement et votre disponibilité tout au long de ce travail.

Au membre de notre Jury
GROSGOGEAT/BALAYRE Brigitte
Professeur des Universités à l'UFR d'Odontologie de Lyon
Praticien-Hospitalier
Docteur en Chirurgie Dentaire
Docteur de l'Université Lyon I
Habilitée à Diriger des Recherches

Nous vous remercions pour avoir accueilli cette responsabilité avec intérêt et considération. Nous avons eu la chance d'avoir eu l'aide d'un jury investi dans le sujet de notre thèse, ce qui est très gratifiant. Merci pour avoir apporté tant de soins à vos relectures, et pour votre disponibilité.

Au membre de notre Jury

LUCCHINI Marion

Maître de Conférences à l'UFR d'Odontologie de Lyon

Praticien-Hospitalier

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur de l'Université Lyon I

Nous vous remercions pour la bienveillance avec laquelle vous avez accepté d'être membre de notre jury. Merci pour votre disponibilité, pour l'aide que vous n'avez pas hésité à proposer, et votre efficacité dans vos relectures. Vous nous avez aidée à finaliser notre travail le plus sereinement possible. Merci enfin pour la gentillesse et l'application dont vous faites preuve auprès des étudiants, elles nous ont été très précieuses.

Préservation de la vitalité pulpaire dans le
cadre d'une atteinte carieuse profonde :
concepts actuels

Préservation de la vitalité pulpaire dans le cadre d'une atteinte carieuse profonde : concepts actuels.

<u>I/ Introduction :</u>	4
1. Rappels historiques.....	4
2. Intérêts de la conservation de la vitalité pulpaire.....	4
<u>II/ Matériel et méthode</u>	5
1. Supports de recherche.....	5
2. Critères de sélection.....	5
3. Stratégie de recherche.....	6
<u>III/ Les matériaux de protection pulpaire</u>	7
1. Matériau de protection pulpaire idéal.....	7
2. Les matériaux actuels.....	8
2.1. L'hydroxyde de calcium.....	8
2.1.1. Composition.....	8
2.1.2. Propriétés physico-chimiques.....	9
2.1.3. Mode d'action.....	9
2.1.4. Inconvénients.....	10
2.1.5. Formes commerciales.....	10
2.2. Le MTA.....	11
2.2.1. Composition.....	11
2.2.2. Propriétés physico-chimiques.....	12
2.2.3. Mode d'action.....	13
2.2.4. Formes commerciales.....	14
2.3. La Biodentine.....	14
2.3.1. Composition.....	14
2.3.2. Propriétés physico-chimiques.....	15
2.3.3. Mode d'action.....	15
2.3.4. Comparaison MTA-Biodentine.....	16
<u>IV/ Utilisation en pratique clinique</u>	17

1. Bilan biologique général et pulpaire.....	17
2. La pulpotomie.....	18
2.1. Définition.....	18
2.2. Indications thérapeutiques.....	19
2.3. Mise en œuvre clinique.....	20
2.4. Résultats et pronostic.....	21
3. Le coiffage pulpaire direct.....	24
3.1. Définition.....	24
3.2. Indications thérapeutiques.....	24
3.3. Mise en œuvre clinique.....	24
3.4. Résultats et pronostic.....	25
4. Le coiffage pulpaire indirect.....	29
4.1. Définition.....	29
4.2. Indications thérapeutiques.....	29
4.3. Mise en œuvre clinique.....	30
4.4. Résultats et pronostic.....	30
5. La méthode stepwise.....	32
5.1 Définition.....	32
5.2. Indications thérapeutiques.....	32
5.3. Mise en œuvre clinique.....	33
5.4. Résultats et pronostic.....	34
6. L'éviction carieuse partielle.....	37
6.1 Définition.....	37
6.2. Indications thérapeutiques.....	37
6.3. Mise en œuvre clinique.....	38
6.4. Résultats et pronostic.....	38
<u>V/ Discussion</u>	41
<u>VI/ Conclusions-perspectives</u>	44
<u>Références</u>	47
<u>Annexe 1</u>	55

I. Introduction :

1. Rappels historiques :

Black (1836–1915), en 1908, prônait une éviction carieuse standardisée selon le site de la carie, et des extensions prophylactiques aux surfaces accessibles au brossage par le patient. On a pu constater que ces techniques mutilantes ne faisaient que promettre un enchaînement de restaurations toujours plus importantes, jusqu'à la dévitalisation voire l'extraction de la dent. Aujourd'hui, et depuis une vingtaine d'années, la dentisterie moderne s'appuie sur le principe de conservation maximale des tissus dentaires. Le processus carieux étant mieux compris, la prévention et l'hygiène bucco-dentaire s'étant améliorées, et les matériaux ainsi que l'instrumentation ayant évolué favorablement, on est en mesure de proposer des traitements adaptés à chaque stade de l'évolution de la pathologie carieuse, en restant conservateur (Hayashi et coll. 2011, Alleman et Magne 2012).

2. Intérêt de la conservation de la vitalité pulpaire :

En 2012, Demant étudie la qualité et le succès thérapeutique des traitements canalaires, basé sur la détection radiologique de lésion périapicale. Les résultats montrent que la grande majorité des dents dévitalisées étudiées n'avaient pas reçu un traitement optimal. Pour 59% des cas, c'est la préparation latérale qui est insuffisante et pour 40% une longueur d'obturation imparfaite. Au total 52% des dents étudiées présentaient une image apicale radioclaire, signe d'échec thérapeutique. L'auteur souligne qu'il y a un écart important entre ce qu'il est possible de réaliser théoriquement et ce qui est fait en pratique dans les cabinets. Il semble donc que la qualité de l'obturation soit très opérateur dépendante, mais que rentrent en compte également les instruments utilisés, la demande et de le degré de satisfaction du patient, et également le système de santé du pays.

Outre la qualité d'obturation, il est également à prendre en compte la fragilité accrue d'une dent dépulpée (Hayashi et coll. 2011).

La pulpectomie, bien que courante dans notre pratique quotidienne, n'est donc pas entièrement satisfaisante. C'est pourquoi l'apparition de techniques de préservation de la vitalité pulpaire réduisant les indications de traitement canalaire, sont à prendre en compte et à inclure dans notre pratique (Demant et coll. 2012 ; Fransson 2012).

L'objectif de cette étude est de recenser, dans le cadre de lésions carieuses profondes avec ou sans symptomatologie, les concepts actuels, leurs indications, les techniques thérapeutiques mais aussi les matériaux à notre disposition.

II/ Matériel et méthode :

1. Supports de recherche :

Les recherches ont été réalisées sur internet, grâce au moteur de recherche « google scholar » et à l'outil de recherche spécialisée Pubmed. Nous avons également étayé nos recherches à l'aide des ouvrages et revues proposés par la bibliothèque universitaire de Lyon.

2. Critères de sélection :

- Publications incluses : les essais randomisés, essais cliniques contrôlés ainsi que les présentations de cas traitant des lésions carieuses très profondes sur dents permanentes et de leur traitement, ainsi que des matériaux de coiffage pulpaire direct ou indirect.

- Publications exclues : les articles s'intéressant au traitement des dents temporaires, ou concernant des patients porteurs d'une pathologie particulière ayant une incidence sur la sphère buccale ; les articles dont la revue n'est pas reconnue par la profession.

- Méthode de sélection : Les recherches ont été ciblées d'abord sur les articles en anglais, mais également en français. Ceux qui n'étaient pas accessibles dans l'une de ces deux langues ont dû être rejetés, ce critère d'exclusion n'étant pas significatif. On a recherché en priorité les articles les plus récents possibles concernant les nouvelles techniques (après 2005) ; des articles plus anciens ont été acceptés pour décrire d'anciennes techniques ou des faits immuables comme la composition de certains matériaux. Voir annexe 1.

3. Stratégie de recherche :

- Mots-clés : « deep carious treatment », « pulp vitality preservation », « indirect/direct pulp capping », « partial excavation », « stepwise excavation », « pulpotomy », « pulp capping biomaterials », « dentinal remineralisation », « dentinal bridge induction », « pulpal healing ».

Grâce en particulier à l'outil de recherche PUBMED nous avons pu constater que quatre méthodes récentes semblent s'imposer : de la plus invasive à la plus conservatrice, la pulpotomie, le coiffage pulpaire direct ou indirect, la technique « stepwise », et l'éviction carieuse partielle.

Au service de ces techniques, de nouveaux matériaux visant à la protection pulpaire font leur apparition, certains reviennent à la mode, quand d'autres qui étaient des références se trouvent supplantés. Nous comparerons donc les résultats à court et moyen terme obtenus avec l'hydroxyde de calcium, qui jusqu'à récemment était une référence du coiffage pulpaire, le MTA, ciment aux silicates tricalciques à base de ciment de Portland natif, décrit à partir de 1993 pour ses applications en endodontie et dont les propriétés lui ouvrent aujourd'hui d'autres domaines d'indication, et la Biodentine, nouveau matériau aux silicates tricalciques d'origine synthétique. D'autres biomatériaux, tels que Calcium Enriched Mixture, (CEM), ou encore MTA enrichi en Na_2HPO_4 (NAMTA), ont également été étudiés dans quelques

publications, mais qui restent en nombre faible. Afin de pouvoir évaluer leur intérêt thérapeutique, nous devons commencer par définir le cahier des charges d'un matériau de protection pulpaire idéal, puis décrire les différents ciments sus-mentionnés et leurs propriétés, pour enfin détailler les techniques conservatrices actuelles, en y associant le matériau adéquat et les éventuelles évolutions.

III/ Les matériaux de protection pulpaire :

Dans un esprit de conservation de la vitalité pulpaire, se sont développés au cours des dernières années des matériaux visant à protéger la pulpe après une éviction carieuse profonde voire une exposition pulpaire. Nous pouvons citer les ciments-verre-ionomères, les hydroxydes de calcium, les ciments à base d'oxyde de zinc et eugénol... Ces protections ont toutes un objectif thérapeutique vis-à-vis de la pulpe, face à une agression carieuse ou traumatique, et face à l'agression iatrogène nécessairement subie lors de l'éviction carieuse et la mise en place d'un matériau d'obturation.

1. Matériau de protection pulpaire idéal :

Un matériau qu'on pourra utiliser pour préserver la vitalité pulpaire compromise par diverses agressions devra posséder plusieurs propriétés, à la fois pour assurer son efficacité dans son rôle premier, la conservation de la vitalité pulpaire, mais aussi pour assurer une longévité dans le temps compte tenu des conditions mécaniques et chimiques particulières de la cavité buccale. Koubi et coll. (2013) recensent ces propriétés : biocompatibilité, étanchéité marginale, résistance mécanique, effet bactériostatique, mise en place rapide, stabilité dimensionnelle pendant la prise, compatibilité avec les systèmes adhésifs et composites.

La biocompatibilité est la qualité première d'un matériau de protection pulpaire. C'est une propriété dont la définition évolue : selon William

(1997), elle est définie comme la capacité d'un matériau à remplir ses fonctions en induisant une réponse hôte appropriée, dans une situation donnée. Cette définition exclut d'emblée qu'un matériau puisse être totalement inerte au contact d'un tissu vivant. Les effets qu'il produira devront donc être soit non délétères (non toxique, non immunogénique, non thrombogénique, non carcinogénique...) soit bénéfiques, participant ainsi à la fonction du matériau. D'après Wataha (2012), il faut maintenant tenir pour acquis qu'à l'interface tissu-matériau, les interactions vont induire une réponse de chacun d'eux. Le matériau sera donc forcément modifié lors de son introduction dans le milieu vivant (corrosion, modifications chimiques, dégradation...). Un matériau biocompatible devra donc également supporter ces changements sans perdre les propriétés pour lesquelles il est employé. On peut déduire de ces observations que l'interface matériau-tissu est dynamique, et en constante évolution (Williams 2008).

Enfin, **la considération la plus récente dans le concept de biocompatibilité, est la possibilité de contrôler la nature de l'interface matériau-tissu, et les échanges qui s'y opèrent** ; cela par une modification de sa composition (par exemple des séquences peptidiques pour stimuler une interaction cellulaire) ou de sa structure (pour favoriser l'élaboration d'un tissu ou d'une matrice). **On passe alors du concept de biocompatibilité à celui de bioactivité** (Wataha 2012).

2. Les matériaux actuels :

1. *L'hydroxyde de calcium* :

1. Composition :

L'hydroxyde de calcium, ou chaux éteinte, s'obtient par la combustion à 1200°C du carbonate de calcium selon la formule $\text{CaCO}_2 \Rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$, puis par l'hydratation de l'oxyde de calcium obtenu : $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2$ (Ricci 1987). L'hydroxyde de calcium est blanc, inodore. Son pH est élevé, de 12,5 à 12,8. Il

possède une solubilité faible, environ 1.2 g L⁻¹ à 25°C. , solubilité qui diminue quand la température augmente (Duda et Dammaschke 2008).

2. Propriétés physico-chimiques :

L'hydroxyde de calcium connaît une dissociation ionique selon la formule $\text{Ca}(\text{OH})_2 \Rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{OH}^-$, libérant des ions Ca^{2+} et OH^- (Fava et Saunders 1999). C'est cette réaction qui va conférer à l'hydroxyde de calcium ses propriétés : les ions Ca^{2+} vont favoriser la production et la minéralisation des tissus durs, et avoir une action hémostatique et anti-inflammatoire. Les ions OH^- vont alcaliniser le milieu et avoir ainsi une forte action antibactérienne (Graham et coll. 2006).

Il est cependant à noter qu'en présence de CO_2 ou d'ions carbonates CO_3^{2-} comme rencontré dans les tissus vivants, il se forme également du carbonate de calcium, qui n'a ni propriétés biologiques ni antibactériennes. Cette réaction est alors un frein à la procédure de minéralisation (Estrela et Holland 2003).

3. Mode d'action de l'hydroxyde de calcium :

Au contact des tissus de la pulpe vitale, l'hydroxyde de calcium contribue à la formation de dentine de cicatrisation, une variante particulière de la dentine tertiaire. D'après Duda et Dammaschke (2008), il a été montré que l'hydroxyde de calcium favorisait la différenciation des odontoblastes et des odontoblastes de remplacement, lesquels vont former un pont de tissu dur dans la pulpe. De plus, l'hydroxyde de calcium à faible concentration induit la prolifération des fibroblastes pulpaire.

Cet effet est en rapport avec le caractère alcalin du matériau : au contact de la pulpe, il induit une nécrose de coagulation du tissu pulpaire. Le tissu vivant sous-jacent va alors réagir, et initier une cicatrisation qui va se dérouler entre 9 et 14 jours. Elle comprend

différentes étapes : une résorption du caillot, une prolifération de fibroblastes, une stratification de l'interface avec le matériau, et une différenciation des cellules mésenchymateuses sous-jacentes en néo-odontoblastes, pour aboutir à la néo-formation d'une matrice dentinaire (Duda et Dammaschke 2008).

4. Inconvénients :

L'hydroxyde de calcium présente une faible adhésion à la dentine, une instabilité mécanique et une résorption persistante après le placement (Cox et coll. 1996) dues à la dissociation ionique citée précédemment. Cette dissolution progressive amène donc à une perte d'étanchéité, et une diminution de la stabilité de la restauration sus-jacente. Le pH élevé (12,5) des suspensions d'hydroxyde de calcium occasionne des nécroses par liquéfaction à la surface des tissus pulpaire (Duda et Dammaschke 2008), ce qui pourrait causer des calcifications intrapulpaire rendant une éventuelle réintervention difficile.

5. Formes commerciales :

Il existe des suspensions d'hydroxyde de calcium pur à spatuler directement dans l'eau stérile ou le sérum physiologique : on obtient donc une pâte dont on peut faire varier la viscosité en fonction du ratio poudre/eau (Stanley et Thonemann 2009), ce qui peut constituer un avantage si ce ratio est maîtrisé, mais un temps opératoire et une mise en œuvre plus longs. C'est sous cette forme que le matériau aura la plus forte alcalinité (pH 12-13) et donc la plus forte action antibactérienne (Duda et Dammaschke 2008).

Exemple : HYDROCAL® (figure 1).

La nécrose superficielle pulpaire causée par le pH très alcalin de l'hydroxyde de calcium pur en suspension a amené au développement de ciments à l'hydroxyde de calcium gardant les

propriétés de stimulation de la dentinogenèse tertiaire avec un pH plus faible (10-12) (Stanley et Thonemann 2009).

Exemple : Dycal® (Dentsply) (figure 1).



Figure 1 : Dycal® ; Hydrocal®

2. Le MTA :

1. Composition :

Le MTA est composé à 75% de ciment de Portland (Camilleri 2006). Ce ciment contient lui-même du silicate dicalcique, du silicate tricalcique, de l'aluminoferrite tétracalcique, de l'aluminate tricalcique. On trouve également 20% d'oxyde de bismuth pour la réaction de prise et de 5% de gypse. Le gypse est une espèce minérale composée de sulfate de calcium dihydraté de formule $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Une version blanche du MTA est constituée de silicate tricalcique et oxyde de bismuth, sans particule ferrique ni silicate dicalcique (Torabinejad 2004).

Lorsque cette poudre est mélangée à l'eau stérile dans un rapport poudre/liquide de 3/1, on obtient un gel colloïdal de consistance sableuse. Le temps de travail est alors de plus ou moins 5 minutes, le temps de prise total de 2h30 à 4h (Hilton 2013). Par cette hydratation, le silicate di et tricalcique va former un gel de silicate de calcium hydraté ; l'oxyde de bismuth va également participer à la composition de ce gel, mais aussi empêcher la précipitation de l'hydroxyde de calcium dans cette pâte. Bismuth et calcium seront

libérés, jusqu'à 5 semaines après hydratation pour l'hydroxyde de calcium (Camilleri 2008).

2. Propriétés physico-chimiques

Le pH initial du mélange est de 10,2 et monte au bout de trois heures à 12,5. Ce pH lui confère des propriétés histologiques et biologiques similaires à l'hydroxyde de calcium (Camilleri 2006).

- Résistance à la compression : A 24h, elle est de 40 MPa, et augmente jusqu'à atteindre 67 MPa à 21 jours (Schönenberger 2004).

- Radio-opacité : Elle est liée à la présence d'oxyde de bismuth et est équivalente à celle d'une plaque d'aluminium d'épaisseur de 6,4mm. En comparaison, la radio-opacité de la dentine est équivalente à une épaisseur de 0,7mm d'aluminium, et celle de l'IRM 9,3mm (Schönenberger 2004).

- Susceptibilité en milieu aqueux : Elle est faible : d'après une étude de Formosa et coll (2012), la production d'hydroxyde de calcium et de phosphates de calcium serait même augmentée par le contact avec une simulation de fluide corporel (Hank's balanced salt solution : HBSS).

- Solubilité : Insoluble après la prise (Camilleri et Pitt-Ford 2006).

- Étanchéité : Excellente. Pereira (2004) publie des études comparatives d'étanchéité à l'aide de marqueurs bactériens qui montrent pour le MTA une étanchéité supérieure au Super-EBA, et une qualité de scellement supérieure à l'amalgame et au Super-EBA. Un test par filtration des endotoxines a montré que le MTA était plus étanche que l'IRM dès la première semaine et que le super EBA dès la deuxième, jusqu'à la 12ème. Puis, à partir de trois mois les étanchéités des 3 ciments sont équivalentes. A 12 mois, le MTA est le ciment qui possède le hiatus le plus faible.

- Biocompatibilité : D'après les études de Keiser et coll. en 2000, le MTA placé en culture cellulaire a une toxicité minimale et induit une

adhérence et une croissance cellulaire à son contact, ainsi qu'une augmentation de la production de phosphatase alcaline, d'ostéocalcine et d'interleukines 6 et 8. Ahmad et coll (2012) confirment que le MTA est le matériau en regard duquel les cellules développent le plus d'attachement, parmi les 6 ciments comparés. Ce développement de lamellipodes, filopodes et microvillosités sont le signe d'un attachement important des cellules sur le matériau et donc d'une biocompatibilité très satisfaisante. Ces résultats prometteurs font du MTA un matériau de choix pour la protection et la guérison pulpaire (Roberts et coll. 2008).

3. Mode d'action du MTA :

Les ciments aux silicates de calcium, tels que le MTA, ont la propriété de libérer des ions calcium et hydroxyles et de former des cristaux d'hydroxyapatite à la surface après contact avec des liquides contenant des phosphates tels que les fluides corporels (Gandolfi et coll. 2011). En effet lors de son hydratation, des molécules d'hydrates de calcium-silicate (CSH) et de l'hydroxyde de calcium $[Ca(OH)_2]$ sont formés. Une partie de cet hydroxyde de calcium formé va alors interagir avec les ions phosphates des fluides corporels pour former des cristaux d'hydroxyapatite qui vont assurer l'étanchéité du joint MTA-dentine en se plaçant dans l'interface entre les deux surfaces (Chang 2012).

De plus, le MTA est mécaniquement plus résistant, et moins soluble que l'hydroxyde de calcium (Hachmeister et coll 2002). En effet, l'hydratation du MTA consiste principalement en l'hydratation des silicates di- et tricalciques pour former des hydrates de silicate et de calcium, ainsi que de l'hydroxyde de calcium, selon les formules :



$3(2CaO+SiO_2)+4H_2O \Rightarrow 3CaO+2SiO_2+3H_2O+Ca(OH)_2$ (Camilleri 2007). Cette formule permet de comprendre la faible dissolution du

MTA : sa structure de silicates di et tricalciques lui assure une bonne stabilité dans le temps malgré le relargage d'hydroxyde de calcium.

Il a donc les mêmes propriétés de stimulation de la dentine tertiaire que l'hydroxyde de calcium, sans ses principaux inconvénients.

Caicedo et coll. (2006) ont démontré que la qualité du pont dentinaire induit par le MTA au contact de la pulpe était supérieure à celle trouvée après apposition d'hydroxyde de calcium, de par son épaisseur, la structure de ses tubuli mais aussi sa reproductibilité.

4. Formes commerciales :

Ce ciment se commercialise sous différentes formes : Pro-Root MTA (Dentsply Maillefer), MTA-Angelus (Angelus, Brésil), MM-MTA (Micro-Mega, France). Ces formes commerciales diffèrent par des variantes de composition qui modifient la consistance et la rhéologie du matériau. Les deux premiers ont été l'objet de nombreuses études à haut niveau de preuve. En revanche peu d'investigations scientifiques ont été publiées au sujet du MM-MTA.

3. *La Biodentine* :

Il existe également un autre ciment à base de silicate tricalcique, la Biodentine™ (Septodont, France).

1. Composition :

Biodentine™ est un ciment dont la poudre est constituée de silicate tricalcique synthétique micronisé (C3S), de carbonate de calcium et d'oxyde de zirconium. Le liquide est composé d'eau, d'un fluidifiant (Premia) et de chlorure de calcium (Koubi et coll. 2013). La réaction de prise ressemble à celle du MTA : on a hydratation du silicate tricalcique pour former un gel calcium-silicate, et de l'hydroxyde de calcium. Et, au contact d'ions phosphates, on observe une précipitation et la formation de cristaux d'hydroxyapatites.

2. Propriétés physico-chimiques :

D'après Koubi (2013), la biocompatibilité de la Biodentine est excellente. Elle est donc indiquée en tant que protection dentino-pulpaire même en cas d'effraction pulpaire, voire de pulpotomie (Villat et coll 2013). Elle a également une stabilité dimensionnelle durant la prise telle que l'étanchéité marginale est optimale. En 2012, Kokate et Pawar comparent le hiatus marginal observé avec le MTA, le ciment-verre-ionomère et la Biodentine, et malgré de très bons résultats pour les trois, c'est cette dernière qui a montré la meilleure étanchéité. Enfin, sa résistance mécanique est suffisante pour des indications de substitut dentinaire dans les techniques sandwich ouvert ou fermé ainsi que de restauration coronaire temporaire jusqu'à 6 mois (Koubi et coll. 2013).

Son pH après hydratation est alcalin lui conférant des propriétés antibactériennes (Formosa et coll. 2012).

3. Mode d'action de la Biodentine :

Ce ciment est encore l'objet de peu de publications, mais il a été rapporté des résultats prometteurs concernant ses effets biologiques de régulation des facteurs de croissance et la différenciation des cellules pulpaire en odontoblastes ; son induction d'une biominéralisation et de l'édification d'un pont dentinaire après coiffage pulpaire a également été démontré chez le rat (Tran et coll. 2012). Cette étude compare les effets produits sur le complexe dentino-pulpaire par différents matériaux de coiffage, l'hydroxyde de calcium, le MTA et la Biodentine. Il apparaît que dès le 7ème jour la Biodentine et le MTA induisent une prolifération cellulaire à leur contact ainsi qu'un front de minéralisation contenant de l'ostéopontine. A long terme, on observe la formation d'un pont dentinaire épais et homogène sécrété par des cellules différenciées en odontoblastes. En revanche, le tissu réactionnel induit par

l'hydroxyde de calcium est mal organisé, plus poreux et semble relever d'un autre mécanisme de réparation. Ces résultats excellents pour les ciments aux silicates tricalciques montrent à la fois leur grande biocompatibilité, mais également leur propriété d'induire la différenciation en néo-odontoblastes des cellules pulpaire, permettant l'édification d'un pont dentinaire fiable et reproductible, et donc la formation d'une meilleure protection pulpaire.

4. Comparaison MTA-Biodentine :

Pérard et coll (2013) comparent les biocompatibilités du MTA et de la Biodentine. Ces matériaux ont été mis en contact avec des cellules pseudo-odontoblastiques et des cellules pulpaire mises en culture. L'expression de différents gènes a alors été évaluée : RunX2 (différenciation odontoblastique), Colla1, Spp1 (sécrétion de la matrice), Alp (minéralisation). Les résultats montrent qu'au jour 7, les cellules pseudo-odontoblastiques cultivées en présence de MTA ont un plus haut niveau de viabilité que celles cultivées avec Biodentine, mais aussi que les cellules-témoin.

Le taux de prolifération des cellules pulpaire est plus faible en présence de MTA ou de Biodentine que pour les cellules-témoin. Le niveau d'expression du gène Colla1, responsable de la sécrétion de la matrice dentinaire, est plus faible en présence de MTA que de Biodentine ou que les cellules-témoin.

Il a été conclu que MTA et Biodentine sont donc tous deux capables d'induire des modifications de la prolifération de différentes lignées cellulaires pulpaire, et ont des impacts sur leur expression génétique qui ne sont pas tout à fait les mêmes et qui changent probablement avec la durée de mise en contact. Il est néanmoins précisé que les similitudes observées entre MTA et Biodentine valident leur utilisation à tous deux en tant que protection pulpaire.

Selon Formosa et coll. (2012), les propriétés principales des deux

ciments (MTA et Biodentine) sont sensiblement les mêmes, bien que les résultats montrent que le silicate tricalcique synthétique a de meilleures propriétés bioactives *in vitro* (propriétés mesurées par la quantité d'hydroxyde de calcium produites et la formation de phosphates de calcium lorsque les matériaux étaient en milieu aqueux ou dans des milieux organiques simulés); nous inclurons donc indifféremment MTA et Biodentine sous l'appellation « ciments aux silicates tricalciques » et les nommerons précisément lorsque des différences seront à noter (figure 2).



Figure 2 : MM-MTA, Micro-Méga, France,
Pro-Root MTA Dentsply, et Biodentine, Septodont, France.

IV/ Utilisation en pratique clinique :

1. Bilan biologique général et pulpaire :

Pour toutes les techniques de préservation de la vitalité pulpaire que nous allons décrire, le plus difficile à réaliser dans la pratique quotidienne est le bilan biologique pulpaire qui permettra de poser l'indication ou non des thérapeutiques. La seule contre-indication absolue de tentative de préservation de la vitalité lorsque la pulpe est ouverte concerne les patients à risque d'endocardite infectieuse (ANSM 2011). Les contre-indications relatives sont les différents facteurs à prendre en compte afin d'évaluer les chances de réussite du traitement.

On prendra en compte l'âge du patient, une dent jeune étant mieux

vascularisée et possédant un potentiel de réparation supérieur. Le volume pulpaire sera également plus faible chez un patient âgé, et la qualité de l'organe pulpaire sera diminuée par des phénomènes de fibrose partielle ou de calcifications intrapulpaires, dus aux agressions chroniques telles qu'attrition, abrasion, micro-fêlures amélares (Séguier et coll. 2009). De même, le passé inflammatoire de la dent, et notamment le vieillissement pulpaire prématuré de la dent suite à une dentinogenèse réactionnelle passée diminuera son potentiel réparateur. En effet, une agression antérieure peut conduire à la formation d'un tissu fibreux de cicatrisation, avec une diminution de la vascularisation et donc une diminution du potentiel de réparation (Deveaux et Gambiez 2006).

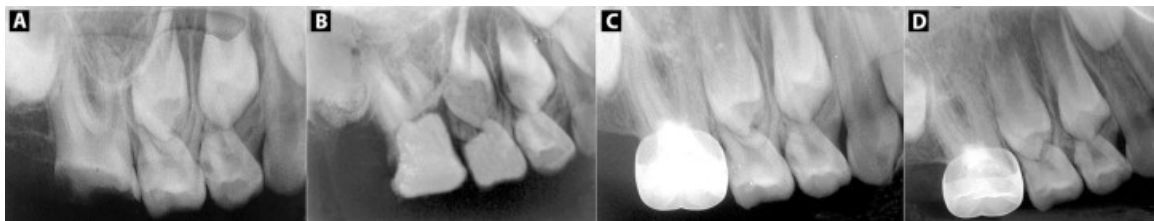
2. Pulpotomie :

1. *Définition* :

La pulpotomie est une intervention qui consiste à pratiquer, à un niveau choisi, la section de la pulpe, à éliminer la partie amputée et à placer après hémostase, au contact du moignon pulpaire radiculaire restant, une substance capable de permettre une obturation calcique dentinaire naturelle du canal (Hess 2004). Selon Barnngkei et coll., en 2013, la pulpotomie traditionnelle comprend l'éviction de la totalité de la pulpe camérale et le coiffage de la pulpe radiculaire. Mais il existe une variante, la « Cvek Type » ou pulpotomie partielle, où la pulpe camérale est retirée partiellement. Ayant étudié de nombreuses coupes histologiques de dents ayant subi des effractions pulpaire, Cvek (1987) propose une élimination moyenne de deux millimètres de profondeur. C'est un ordre de grandeur indicatif représentant une moyenne de profondeur après laquelle le tissu pulpaire enflammé a été totalement éliminé.

2. Indications thérapeutiques :

La pulpotomie se réalise traditionnellement sur des dents temporaires ou permanentes immatures présentant une lésion carieuse dont l'éviction va conduire à une exposition pulpaire, et dont la symptomatologie pulpaire se situera dans la catégorie I ou II de Baume, correspondant à une inflammation réversible de la pulpe (Bjørndal et coll. 2010), voire à un stade de pulpite coronaire irréversible (Barnngkei et coll. 2013), stade difficile à différencier de la catégorie III de Baume. Les indications de pulpotomie sont également les cas où le coiffage pulpaire devient impossible : une effraction pulpaire trop étendue, dans ce cas la surface de cicatrisation des filets pulpaire sectionnés sera plus faible après une pulpotomie qu'un coiffage direct ; la pénétration accidentelle d'un instrument dans la pulpe, induisant une dilacération tissulaire et une inoculation bactérienne (Hess 2004). L'objectif est de maintenir la vitalité pulpaire de ces dents, afin qu'elles puissent assurer leurs fonctions, tout en éliminant toute symptomatologie (Barnngkei et coll. 2013), y compris radiographique (Harandi et coll. 2013)(figure 3).



*Figure 3 : A : radiographie initiale d'une 16 immature avec carie profonde.
B : Radiographie post-opératoire, après pulpotomie cervicale
C : Radiographie après pose d'une couronne préformée
D : Radiographie de contrôle à 18 mois post-opératoires.
(Harandi et coll. 2013).*

3. *Mise en œuvre clinique :*

Après s'être assuré de la vitalité pulpaire par les différents tests adéquats (test électrique ou thermique, palpation et percussion, et radiographie rétro-alvéolaire pour écarter toute pathologie apicale), la dent est anesthésiée, et isolée de la cavité buccale et de la salive (Subay et coll. 2013); la cavité est éventuellement élargie à l'aide d'une fraise boule diamantée montée sur turbine si la cavité carieuse n'est pas totalement accessible.

On procède alors à l'éviction carieuse avec une fraise boule de carbure de tungstène montée sur contre-angle bague verte, accompagnée d'une irrigation abondante (Kumar et coll. 2012).

Lorsque les parois sont propres, l'effraction pulpaire est bien visible et on a un saignement pulpaire. On ouvre le plafond pulpaire pour procéder à l'élimination de la totalité de la pulpe camérale (Barngkgei et coll. 2013). Selon l'importance de l'inflammation pulpaire, qui sera à évaluer d'après l'importance du saignement, on va alors introduire dans les premiers millimètres des canaux une fraise boule acier de gros diamètre pourvue d'une irrigation d'eau stérile, afin de ne laisser au niveau canalaire qu'une pulpe saine et non enflammée (Subay et coll. 2013). Une irrigation à l'hypochlorite à 5% permet de terminer la désinfection au contact de la pulpe (Haghgoo et Abbasi 2012). L'hémostase est ensuite assurée par des boulettes de coton stériles (Subay et coll. 2013). Puis un ciment de protection pulpaire, le MTA (Kumar et coll. 2012), est mis en place pour isoler la pulpe. Il est placé aux entrées canalaires au niveau des filets pulpaires amputés, avec un pistolet à CVI ou un porte-amalgame (Idnani et Choksi 2013). Subay assure une bonne compaction du matériau en y pressant des boulettes de coton imbibées d'eau stérile, contre les entrées canalaires. Puis, un CVI est placé en obturation temporaire, et lors de l'obturation définitive deux semaines plus tard, il pourra être laissé en fond de cavité dans la chambre pulpaire. (Frenkel et coll. 2012).

4. *Résultats et pronostics :*

Un suivi à long terme sera à réaliser, avec des tests de vitalité et radiographiques, contrôlant la présence d'un pont dentinaire, la poursuite de l'apexogenèse pour les dents immatures, et l'absence de lésion apicale (Eghbal et coll. 2009, Asgary et Ehsani 2012).

Dès 2008, Ng et Messer notent que l'hydroxyde de calcium, malgré sa capacité à induire une cicatrisation pulpaire et la formation de dentine réactionnelle, peut provoquer des phénomènes inflammatoires tels que résorption interne, ou inflammation chronique ; il serait également inapte à maintenir une étanchéité satisfaisante sur le long-terme, permettant l'apparition de ré-infiltrations (Darvell et Wu 2011). De plus, le pont dentinaire formé est imparfait et poreux. Du fait de la faible adhésion dentinaire de l'hydroxyde de calcium et de sa dissolution progressive, le pont dentinaire se retrouve à long terme en contact avec le milieu intra-buccal et du fait de sa porosité, permet le passage de bactéries dans le parenchyme pulpaire, et donc son inflammation voire sa nécrose. **Le MTA se comporte en revanche comme un réservoir d'hydroxyde de calcium dans une matrice de silicate, ce qui lui confère les mêmes propriétés antibactériennes et bioactives dans une structure stable** ; étant insoluble dans l'eau après 8 jours, il ne se dissout pas sur le long terme. Il a, de plus, un pouvoir d'étanchéité supérieure à celui de l'amalgame ou de l'IRM. Il est donc pour Ng et Messer le matériau de choix pour la pulpotomie.

Villat et coll. (2013) utilisent la Biodentine pour couvrir l'exposition pulpaire, et constatent une absence de symptômes post-opératoires, confirmant le caractère biocompatible de ce ciment aux silicates tricalciques. Il couvre directement la Biodentine avec un CVI qui constituera une obturation semi-définitive, dans le cas d'une prémolaire. Il constate l'élaboration d'un pont dentinaire épais et la poursuite de l'édification radiculaire dès 3 mois, et à 6 mois. La Biodentine favorise donc une réponse rapide à la fois pulpaire et dentinaire, avec les mêmes

propriétés d'étanchéité et antibactériennes que le MTA, par la libération d'hydroxyde de calcium. (figure 4).

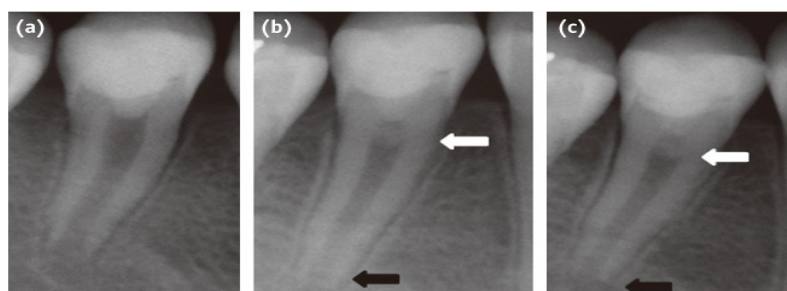
Barnkggei et coll., en 2013, étendent les indications de la pulpotomie camérale aux dents permanentes matures symptomatiques avec exposition pulpaire d'origine carieuse ou iatrogène suite à l'éviction carieuse. Sur les 11 dents traitées, la totalité sont asymptomatiques après en moyenne 30,5 mois. Toutes les dents dont il était possible de mesurer la vitalité pulpaire (soit 9, deux dents ayant été couronnées) répondent positivement au test thermique, et aucune dent traitée ne présente de lésion apicale. Selon les auteurs, c'est le MTA, matériau utilisé dans cette étude, qui a permis ces excellents résultats, par sa capacité à offrir une étanchéité optimale, sa grande biocompatibilité, mais également sa capacité à induire la formation d'un pont dentinaire, et la prolifération des cellules pulpaires. Grâce à ce matériau, la pulpotomie pourrait devenir un traitement de choix des dents matures avec exposition pulpaire d'origine carieuse présentant une symptomatologie de catégorie II de Baume. Des études à plus grande échelle et avec un suivi à plus long terme sont néanmoins nécessaires.

Powell, en 2012, étend même les indications de la pulpotomie partielle ou totale à des pulpes avec une exposition d'origine carieuse, publiant des taux de succès à 3 ans post-opératoires de 99,3 et 99,4% respectivement. L'auteur ne relève pas de différence significative entre l'utilisation de MTA ou de biodentine.

Eghbal et coll., en 2009, publient une étude dans laquelle 14 molaires permanentes matures présentant une symptomatologie de pulpite irréversible ont été traitées par pulpotomie au MTA. Après traitement, aucun patient ne se plaint de douleur, et ce pendant les deux mois où elles sont conservées sur l'arcade. Après ces deux mois les dents sont extraites et étudiées histologiquement. La pulpe se révèle vivante et non inflammatoire, et un pont dentinaire s'est formé à l'interface tissu pulpaire-MTA. Encore une fois, des études plus conséquentes et sur

plusieurs années sont à réaliser avant que la pulpotomie puisse supplanter la pulpectomie .dans le traitement des pulpites irréversibles. Ces études montrent néanmoins que le MTA présente des propriétés bioactives exceptionnelles et que le développement de ce matériau ouvre de nouvelles perspectives dans la thérapeutique endodontique. La Commission des Dispositifs Médicaux de l'ADF a comparé les résultats obtenus avec l'utilisation de l'hydroxyde de calcium ou du MTA dans l'apexogénèse. Le pont dentinaire néoformé est inconstant et de qualité variable avec l'hydroxyde de calcium : il n'est pas homogène, incomplet, la dentine a un aspect sinueux et des tubules en moindre quantité. Avec le MTA, les résultats sont bien meilleurs : le pont dentinaire est extrêmement complet, avec une organisation tubulaire régulière, et homogène. De plus ces résultats sont, eux, reproductibles. L'inconvénient majeur de ce traitement est la stimulation excessive de la dentinogénèse pour deux raisons : le rétrécissement, voire l'obturation du canal pulpaire rendra un traitement canalaire délicat voire impossible (Ghoddusi et coll. 2012).

De plus, on pourra observer une discoloration de la dent qui ne pourra se traiter que par facette, l'éclaircissement dentaire externe donnant des résultats médiocres dans ce cas (Subay et coll. 2013).



*Figure 4 : a : Radiographie post-opératoire, après pulpotomie cervicale à la Biodentine
 b : Radiographie à 3 mois post-opératoires, formation d'un pont dentinaire.
 c : Radiographie à 6 mois post-opératoires, édification radiculaire en cours.
 (Villat 2013).*

3. Coiffage pulpaire direct :

1. *Définition* :

Le coiffage pulpaire direct consiste à placer un matériau biocompatible au contact direct d'une petite parcelle de tissu pulpaire mis à nu, lequel est lui-même recouvert par un matériau d'obturation coronaire définitif (Willershausen et coll. 2011). Ce matériau aura pour rôle à la fois de protéger et d'isoler physiquement la pulpe de la cavité buccale par une bonne étanchéité de l'obturation, mais aussi d'induire sa guérison par une action anti-inflammatoire, voire par l'induction de son activité dentinogénétique (Fransson 2012).

2. *Indications thérapeutiques* :

Un coiffage pulpaire direct devra être réalisé lors d'une effraction pulpaire minime (inférieure à 0,5 mm pour Hevinga et coll., 2010), liée à un traumatisme ou une atteinte iatrogène lors de l'éviction d'une carie profonde (Fransson 2012). Le coiffage pulpaire direct peut donc s'envisager en présence d'une symptomatologie de catégorie I ou II de Baume (Willershausen et coll. 2011).

3. *Mise en œuvre clinique* :

Un coiffage pulpaire direct se traduit selon Bjørndal (2010) par l'isolation de la dent par une digue, suivie de l'excavation complète de la carie, avec des instruments manuels pour l'excavation finale, et son nettoyage à l'aide d'une solution d'alcool contenant 5mg/L de chlorhexidine. La pulpe exposée est irriguée avec de l'eau stérile. Après obtention de l'hémostase, un ciment à base d'hydroxyde de calcium est appliqué, le Dycal pour Willershausen et coll. (2011), de l'hydroxyde de calcium pur pour Bjørndal. Puis, pour Iwamoto et coll. (2006), on peut immédiatement procéder à l'obturation définitive à la résine composite avec système adhésif, tandis que Bjørndal préfère passer par une

restauration temporaire, et un mois plus tard, réaliser la restauration définitive à l'OptiBond Solo Plus, en laissant en place le ciment de coiffage et une fine couche de l'obturation temporaire pour être sûr que l'exposition pulpaire ne sera pas au contact du milieu buccal.(Bjørndal et coll. 2010). Un suivi régulier est à assurer à 3 mois puis une fois par an (Willershausen et coll. 2011).

4. *Résultats et pronostics :*

Le matériau de référence a longtemps été l'hydroxyde de calcium. D'après Blunck (1999), il offre un taux de succès du coiffage direct entre 65 et 90% pour un suivi allant jusqu'à 9 ans post-opératoires. Les propriétés du matériau au contact de la pulpe ont déjà été évoquées. Elles sont liées à la dissolution du Ca(OH)_2 en Ca^{2+} et en OH^- . Le pH alcalin du matériau, outre son pouvoir antibactérien, induit une nécrose superficielle du tissu pulpaire, et le processus de cicatrisation. Les ions Ca^{2+} participent à la formation et à la minéralisation d'un pont de dentine tertiaire au niveau de l'effraction, permettant le retour d'une isolation de la pulpe du milieu buccal. Modena et coll., en 2009, comparent différents matériaux de coiffage direct ou indirect et leurs effets ; ils notent que l'hydroxyde de calcium, par son pH très alcalin, joue également un rôle dans la libération de protéines et de facteurs de croissance ayant un rôle dans la guérison pulpaire ; mais le pH a également un rôle dans la formation de la dentine réactionnelle, en inhibant l'action des ostéoclastes par un effet tampon sur leur sécrétion d'acides lactiques.

Cependant des imperfections sont à noter : l'hydroxyde de calcium présente une faible adhésion à la dentine, une instabilité mécanique et une résorption persistante après le placement (Cox et coll. 1996) dues à la dissociation ionique citée précédemment. Le pH élevé (12,5) des suspensions d'hydroxyde de calcium occasionne des nécroses par liquéfaction à la surface des tissus pulpaire (Dammaschke et coll.

2010). L'éventuel traitement canalaire à réaliser en cas d'échec du coiffage direct pourra être rendu plus difficile par les calcifications pulpaire induites par l'hydroxyde de calcium et l'inflammation (Blunck 1999). De plus, la structure du pont dentinaire néo-formé est imparfaite : des coupes histologiques de complexes dentino-pulpaire plusieurs mois après un coiffage direct montrent que l'hydroxyde de calcium n'induit qu'une fine couche de tissu minéralisé, avec un grand nombre de perforations et des tubulis dentinaires anarchiques augmentant sa perméabilité (Duda et Dammaschke 2008). Cox observe des récurrences d'inflammation et de nécrose après un ou deux ans sur des pulpes dentaires de singes exposées. De la dentine réactionnelle est observée, mais pas en quantité ni qualité suffisante pour protéger convenablement le tissu pulpaire. Il conclut en affirmant que les avantages qu'offre l'hydroxyde de calcium à court terme sont contrebalancés par ses inconvénients à long terme, c'est-à-dire sa dissolution inexorable, et donc son défaut d'étanchéité face aux pénétrations bactériennes (Cox et coll. 1996). Blunck met en évidence le caractère aléatoire de la réussite d'un traitement par coiffage direct à l'hydroxyde de calcium, qui dépend du degré inflammatoire de la pulpe, qui est difficilement évaluable, du contrôle de l'hémorragie, de la taille de l'exposition, et du lieu de formation du pont dentinaire et sa qualité. Ce sont donc des facteurs indépendants de l'opérateur.

Aujourd'hui, le MTA semble supplanter l'hydroxyde de calcium.

Iwamoto et coll. comparent en 2006 les résultats à court terme d'une exposition pulpaire provoquée sur des dents de sagesse saines et sur lesquelles un coiffage pulpaire direct est effectué soit à l'aide d'hydroxyde de calcium, soit de MTA : Il n'y a pas de différence significative en terme de symptomatologie entre 7 et 30 jours. Et après extraction des dents, les coupes histologiques montrent l'élaboration d'un pont dentinaire réactionnel dans les deux cas. En revanche, les

résultats de Nair et coll. (2009) sont différents : son étude met en évidence une différence dans la qualité du pont dentinaire formé ; **sous le MTA, il est dense, épais et avec des tubuli dentinaires réguliers. Tandis que sous l'hydroxyde de calcium le pont dentinaire est plus fin**, plus irrégulier et parcouru de tubuli défectueux le fragilisant. Le MTA procure donc selon l'auteur un résultat plus reproductible permettant une inflammation pulpaire significativement moindre, et est donc à privilégier.

En 2008, Bogen et coll. publient une étude à long terme dans laquelle ils relatent un suivi de 9 ans post-opératoire de cas de coiffages directs au MTA en deux temps. Les résultats sont significatifs : sur 49 dents traitées et suivies jusqu'à 9 ans, 97,96% ont tous les signes d'un état pulpaire physiologique sur la base de tests radiographiques (pas d'image radioclaire apicale), de test pulpaire au froid (discrimination sans douleur), et de symptômes subjectifs (pas de sensation douloureuse). Ils constatent à un an post-opératoire, par contrôle radiographique, la formation d'un pont dentinaire d'une épaisseur de 0,5 à 1,5mm. De plus, 100% des dents immatures traitées étaient asymptomatiques à 9 ans post-opératoires. Ils expliquent ces résultats par l'étude des effets du MTA à l'interface avec le tissu pulpaire : il stimule la libération des facteurs de croissance nécessaires aux cellules pulpaires pour le recrutement de néo-odontoblastes et la production de dentine tertiaire. Les néo-odontoblastes sont également capables de régénérer le tissu pulpaire lésé, en stimulant une angiogenèse et une néo-vascularisation, ainsi que la prolifération de cellules cuboïdales qui s'accumulent au niveau de la zone lésée, comme une première protection avant que le pont dentinaire ne se reforme. Elles se caractérisent par la sécrétion de nombreuses protéines non collagéniques qui serviront de matrice au pont dentinaire, qui se minéralisera en l'absence de bactéries. Il semblerait donc qu'à long terme les résultats obtenus avec le MTA soient meilleurs que ceux de l'hydroxyde de calcium, et que ce procédé

soit un traitement de choix pour favoriser la conservation de la vitalité pulpaire et donc l'édification radiculaire des dents immatures. Darvell et Wu en 2011, et Hilton en 2013, confirment ces résultats, constatant que **le MTA procure une meilleure qualité et une épaisseur supérieure du pont dentinaire, une meilleure étanchéité, et pas de résorption dans le temps.** En outre, le MTA est un réservoir d'hydroxyde de calcium, qu'il libère progressivement, mais le matériau reste étanche car l'hydroxyde de calcium n'est pas sa seule composition. En revanche, Hilton et coll. (2013) soulèvent un inconvénient notable du MTA : son temps de prise très long (2h45 environ) nous oblige à avoir deux temps opératoires (le MTA est alors dans la première séance couvert par un pansement provisoire à l'oxyde de zinc-eugénol), ou doit être isolé à l'aide d'un ciment verre ionomère sous l'obturation définitive si on ne dispose que d'un temps opératoire. Modena et coll. (2009) comparent des coupes histologiques de la jonction entre matériau de coiffage et pulpe après des coiffages directs. Avec un système adhésif classique, il n'y a formation d'aucun pont dentinaire, l'infiltration du système adhésif dans la zone d'effraction et la présence de nombreuses cellules inflammatoires et de vaisseaux sanguins dilatés. Sur la deuxième coupe le coiffage a été réalisé à l'hydroxyde de calcium. On observe la formation d'un pont dentinaire complet, mais présentant des tubulis défectueux et des inclusions cellulaires. La troisième coupe correspond à un coiffage au MTA. Le pont dentinaire formé est bien régulier, les tubules sont fins et parallèles, et on observe une nouvelle ligne de cellules pseudo-odontoblastiques (figure 5).

Tran et coll. (2012) constatent les mêmes différences dans la qualité des ponts dentinaires formés après application d'hydroxyde de calcium et de MTA, mais également de Biodentine. Les deux ciments aux silicates tricalciques n'ont d'après ces résultats pas de différence significative dans leur induction d'un pont dentinaire homogène et structuré.

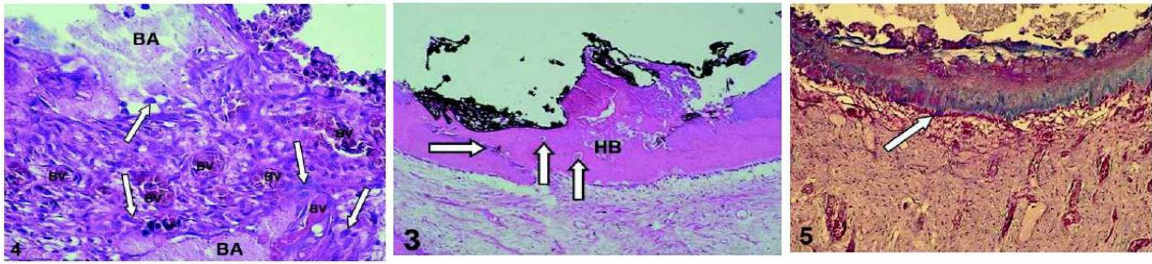


Figure 5 : Coupes histologiques des jonctions entre matériau de coiffage et pulpe, après coiffages directs (Modena 2009).

4. Le coiffage pulpaire indirect

1. *Définition :*

Le coiffage pulpaire indirect est le placement d'un matériau de protection pulpaire en regard de la pulpe après éviction carieuse complète, lorsque l'épaisseur de tissu sain restante est faible et qu'une inflammation pulpaire est suspectée ou prévisible. De plus, une présence bactérienne est toujours détectable après éviction carieuse, ce qui peut être préjudiciable à la pulpe en cas de carie profonde. La protection dentino-pulpaire assure donc également une destruction des derniers germes présents en regard de la pulpe (Neelakantan et coll. 2012).

2. *Indications thérapeutiques :*

Selon Smith (2002), lorsque l'épaisseur de dentine juxta-pulpaire résiduelle après éviction carieuse complète est inférieure à 0,5mm, on peut considérer que le nombre et la taille des tubulis dentinaires ouverts provoquent une communication du parenchyme pulpaire avec le milieu buccal comparable à une exposition pulpaire vraie. Une protection pulpaire indirecte est donc indispensable afin d'assurer un retour à un état physiologique de la pulpe enflammée, même sans symptômes (Vianna et coll. 2007), et assurer la pérenité de la restauration coronaire. Le but étant de revenir à un état physiologique de la pulpe, le matériau

utilisé devra assurer une étanchéité optimale, et induire l'oblitération des tubulis, voire formation de dentine réactionnelle ; mais aussi avoir des propriétés anti-inflammatoires et anti-bactériennes.

3. *Mise en œuvre clinique :*

Après vérification de la vitalité pulpaire par les tests adéquats, l'éviction totale de la dentine infectée est réalisée sous anesthésie. Seule la dentine saine est conservée (Vianna et coll. 2007). Le matériau de protection dentino-pulpaire est alors apposé en fond de cavité sur une épaisseur de 2 à 3mm et une obturation coronaire provisoire étanche est mise en place. Le matériau d'obturation coronaire a longtemps été un ciment à base d'oxyde de zinc-eugénol, pour les propriétés bactéricides, apaisantes et anti-inflammatoires de l'eugénol, et sa bonne étanchéité, mais les ciments verre-ionomère sont aujourd'hui à privilégier pour leur meilleure résistance mécanique, une insolubilité relative, et surtout la libération de fluor, lui conférant à la fois des propriétés bactéricides mais aussi de reminéralisation de la dentine sous-jacente (Hume et Mount 2002). Koubi et coll. (2013), préconisent plutôt une obturation provisoire entièrement à la Biodentine, qui sera ensuite retaillée pour être recouverte par une résine composite définitive. Ses études ont permis de déterminer que la Biodentine pouvait rester environ 6 mois en obturation coronaire dans les secteurs postérieurs sans signe de fatigue. Ricketts et coll. (2013) donnent pour ce deuxième temps opératoire une fourchette de 3 semaines à 6 mois.

4. *Résultats et pronostics :*

Blunck, en 1999, explique la nécessité d'une protection dentino-pulpaire en coiffage indirect : en effet l'application d'un système adhésif amélo-dentinaire classique en juxta-pulpaire a des conséquences délétères : malgré une bonne isolation de la pulpe des micro-organismes du milieu buccal, sa forte concentration en solvants et monomères provoque des

lésions des membranes lipidiques des procès odontoblastiques, et retarde la production de dentine réactionnelle tout en entretenant une inflammation. Or, les tubuli dentinaires étant de plus en plus larges à proximité de la pulpe, les probabilités de constater une nécrose septique sont importantes.

Le matériau de protection dentino-pulpaire, qu'il soit MTA ou hydroxyde de calcium, va libérer des ions Ca^{2+} qui vont passer par les tubulis dentinaires jusqu'à la pulpe. Cette augmentation de la concentration extra-cellulaire de calcium va induire la sécrétion de fibronectine par les cellules pulpaires. C'est cette fibronectine, réservoir de facteurs de croissance, qui va déterminer la différenciation des néo-odontoblastes et donc la production de dentine tertiaire (Graham et coll. 2006). Les ions calcium vont également induire la reminéralisation de la dentine déminéralisée existante en fond de cavité.

Lorsque aucune effraction pulpaire n'est à déplorer, le taux de succès de la technique est plutôt important. D'après Ricketts et coll. (2013), les signes ou symptômes d'inflammation ou de nécrose pulpaire à un an apparaissent dans 10,1% des cas. Mais l'incidence d'effraction pulpaire iatrogène est importante : 34,7% selon les études rassemblées par Ricketts et coll. en 2013.

Leye-Benoist (2012) compare le MTA et l'hydroxyde de calcium dans cette technique de coiffage pulpaire indirect. Il constate que les deux matériaux induisent l'augmentation de l'épaisseur de dentine juxta-pulpaire, de 0,235mm pour le MTA et 0,221mm pour l'hydroxyde de calcium à 6 mois. A long terme, on observe un taux de succès de 93% pour le MTA et de 73% pour l'hydroxyde de calcium. Cette différence est imputable à la fois à l'excellente biocompatibilité du MTA, et au phénomène de dissolution de l'hydroxyde de calcium dans le temps déjà évoqué, dont l'étanchéité finit par diminuer. **Le matériau le plus indiqué pour les coiffages pulpaires indirects semble donc être le MTA pour sa stabilité sur le long-terme.**

5. La méthode Stepwise :

1. *Définition :*

Elle est aussi appelée « éviction raisonnée ». Ses précurseurs sont Magnusson et Sundell, qui l'envisagent dès 1977, mais elle a été perfectionnée et décrite depuis 1997 par Bjørndal. Elle est l'objet d'un regain d'intérêt ces dernières années. Elle se réalise en deux temps, et consiste en l'éviction partielle de la dentine infectée afin d'éviter une exposition pulpaire, laissant une fine couche de dentine infectée recouvrant le plafond pulpaire. La protection dentino-pulpaire est placée à son contact, recouverte par une restauration provisoire. Plusieurs semaines plus tard, une réintervention permet l'éviction du reste de dentine infectée ; la pulpe ayant pu induire la néo-formation de dentine réactionnelle, l'effraction pulpaire peut être évitée (Bjørndal et coll. 2010).

2. *Indications thérapeutiques :*

Cette technique d'éviction carieuse est indiquée dans le cadre du traitement de dents asymptomatiques présentant des caries profondes de stade 5 ou 6 selon la classification ICDAS, et définies par Bjørndal comme des lésions carieuses dont le cliché radiographique laisse présager une exposition pulpaire après une excavation complète ; cette définition au caractère subjectif constitue un risque de fausser les études. C'est pourquoi il admet aussi dans ses études les dents dont la lésion carieuse a atteint plus des $\frac{3}{4}$ d'épaisseur de la dentine, imparfaite également, puisque cette épaisseur n'est pas toujours mesurable, en cas de délabrement important de la dent. Bjørndal et coll. (2010) incluent dans leurs études des dents ayant une symptomatologie provoquée par le froid, mais excluent les dents cariées associées à de fortes douleurs, à une absence de réponse aux stimuli thermiques ou électriques, à une lésion apicale ou une attache parodontale inférieure à 5mm. On peut

donc dire que cette méthode peut s'appliquer à des lésions carieuses associées à une symptomatologie de catégorie I ou II de Baume.

Padmaja et Raghu, en 2010, définissent les critères d'inclusion suivants : une lésion carieuse profonde détectée cliniquement, la destruction de plus de 75% de l'épaisseur de la dentine, pas d'antécédent de douleur dentaire spontanée, une vitalité pulpaire confirmée par tous les tests, et l'absence de lésion périapicale à l'examen radiographique.

3. *Mise en œuvre clinique :*

Bjørndal et coll. (2010) préconisent tout d'abord de bien s'assurer de la vitalité de la dent : On doit avoir une réponse positive aux tests de vitalité thermique ou électrique ; les symptômes subjectifs ne doivent pas excéder une douleur provoquée thermiquement ; et aucune lésion apicale ne doit être mise en évidence à la radiographie rétro-alvéolaire. Après les gestes d'asepsie habituels et l'anesthésie de la dent, l'éviction carieuse de toute la dentine périphérique infectée doit être effectuée, afin d'assurer une parfaite étanchéité de l'obturation. Puis, la dentine juxta-pulpaire est excavée progressivement, soit à l'aide d'une fraise carbure de tungstène sur contre-angle bague vert, soit manuellement à l'excavateur. On doit laisser la couche la plus fine possible de dentine infectée, selon Bjørndal, lorsqu'on considère qu'un matériau d'obturation pourra être mis en place convenablement, ou lorsque la couche restante de dentine infectée est si fine qu'une instrumentation à l'excavateur suffirait à provoquer l'exposition pulpaire. Un matériau de protection pulpaire à base d'hydroxyde de calcium (Bjørndal et Thylstrup 1998, Bjørndal et coll. 2010, Banava 2011), ou un ciment à l'oxyde de zinc-eugénol renforcé (Padmaja et Raghu 2010), vient ensuite recouvrir de manière étanche la dentine juxta-pulpaire, et une obturation coronaire temporaire est mise en place. Le temps de temporisation varie selon Hayashi et coll. de 4 semaines à 12 mois, les plus fréquents étant entre 3 et 6 mois, alors que Bjørndal et coll. (2011) préconisent 8 à 12

semaines. Lors du deuxième temps opératoire, l'obturation temporaire est retirée. On procède alors à l'éviction du reste de la dentine infectée qui ne pourra pas se reminéraliser (Hayashi et coll. 2011); une protection dentino-pulpaire est mise en place sous une obturation permanente. Le but de cette réintervention est à la fois de contrôler cliniquement la réaction de la dent suite au traitement (production de dentine tertiaire et sclérose tubulaire), mais également de retirer ce qu'il reste de dentine légèrement infectée avant de placer l'obturation définitive (Bjørndal 2008). Un suivi minutieux doit être assuré, à 6 semaines, 3 mois et 6 mois post-opératoires (Padmaja et Raghu 2010).

4. *Résultats et pronostic :*

Dès 2002, Bjørndal explique les variations de la flore bactérienne en fonction du site et de l'évolution de la lésion carieuse : ces variations dépendent du caractère ouvert ou fermé du système cariogénique. Les caries dentinaires des sillons occlusaux ou des faces proximales des dents profitent d'un environnement beaucoup plus fermé que les caries des surfaces lisses. La plaque cariogène est alors mieux protégée, et la population bactérienne plus nombreuse et virulente. La lésion carieuse a donc une progression rapide. Bjørndal observe que lorsque le cas n'est pas traité, et que l'émail protecteur se rompt, on passe alors à un stade d'activité carieuse mixte avec une conversion temporaire du microsysteme : le système étant à présent ouvert en surface, la flore devient très hétérogène et progresse en directions proximales, où l'émail résiduel est encore une protection pour la plaque cariogène ; en profondeur, une flore moins virulente constitue le système fermé, composée de différents lactobacilles. La progression carieuse semble ralentir en profondeur, mais ce n'est que temporaire, puisqu'elle continue en proximal, et l'émail restant finit par se fracturer également ; on aboutit donc à une destruction complète de la couronne. Mais par cette observation on peut imaginer que le fait de modifier l'environnement

d'une lésion carieuse (en l'isolant du milieu buccal par un matériau d'obturation par exemple) provoquera une modification de la population bactérienne, et donc jouera sur sa virulence (figure 6).

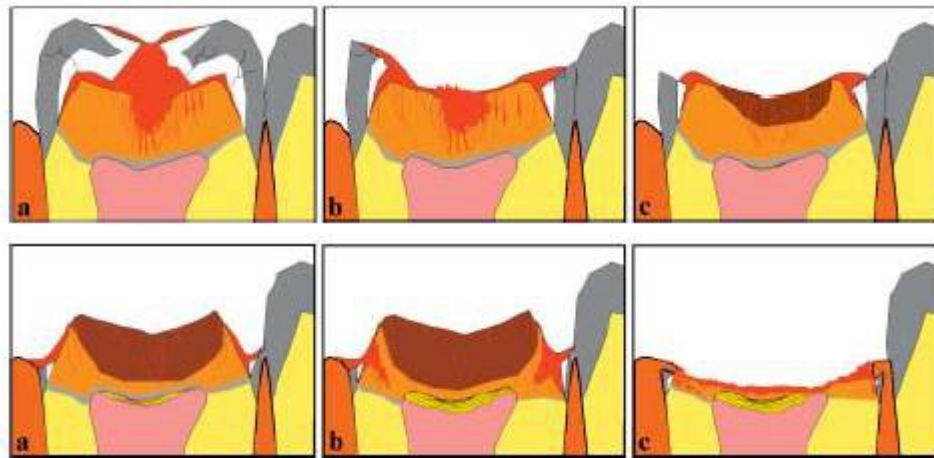


Figure 6 : évolution carieuse sans traitement ; les zones rouges représentent une forte activité carieuse, les zones marrons une avancée carieuse ralentie. (Bjørndal 2002).

En 2008, Thompson et coll. confirment cette théorie en mettant en évidence le fait que l'éviction partielle du tissu carieux suivi du recouvrement par un matériau étanche modifie de différentes façons la flore bactérienne : elle est à la fois diminuée en nombre, mais aussi en complexité. La lésion carieuse prend alors un caractère moins agressif et sa progression ralentit. Ce ralentissement laisse au complexe dentino-pulpaire le temps de produire et d'apposer de la dentine tertiaire, mais aussi aux tubuli dentinaires de se scléroser afin de diminuer la perméabilité de la dentine juxta-pulpaire. Ainsi lors de la ré-intervention, la dentine tertiaire néoformée protège le tissu pulpaire d'une effraction.

Lors du deuxième temps opératoire de la méthode stepwise, on peut d'ailleurs constater l'évolution de l'aspect de la dentine, qui devient plus dure et plus sombre (Hayashi et coll. 2011). En effet, cette coloration est due aux interactions entre les protéines composant la phase organique de

cette dernière, et les aldéhydes libérés par les bactéries. C'est la réaction Maillard (Bjørndal et coll. 2000). Le pH de l'environnement dentinaire repasse d'acide à neutre, permettant une reprécipitation de la dentine déminéralisée. Les changements dans les acides aminés constituant le collagène de la dentine augmentent sa résistance à de futures attaques protéolytiques éventuelles. Ces différents phénomènes expliquent qu'on retrouve une dentine à la fois plus sombre et plus dure lors de la réouverture.

Ricketts et coll. (2013) reprennent quatre études comparant la méthode stepwise et l'éviction complète. Au total les résultats montrent que la méthode stepwise diminue le risque d'exposition pulpaire de 56%.

Bjørndal et coll. (2011) montrent que le fait d'éviter l'exposition pulpaire permettrait d'augmenter considérablement le pronostic de sa survie, en comparant les pronostics de dents humaines ayant bénéficié d'un coiffage direct, d'un coiffage indirect ou d'une excavation raisonnée.

Hayashi et coll. (2011) confirment le bénéfice d'éviter l'exposition pulpaire, en soulignant le fait que la réaction pulpaire et sa capacité à revenir à un état physiologique était comparable après une éviction complète ou après une technique stepwise. Ils préconisent comme matériau de coiffage l'hydroxyde de calcium ou un ciment polycarboxylate enrichi en fluor, leur but étant de réduire la charge bactérienne et de promouvoir une reminéralisation dentinaire.

Les résultats des différentes études rassemblées par Ricketts et coll. en 2013 n'établissent pas de différences significatives en terme de signes cliniques ou subjectifs post-opératoires entre des dents traitées par méthode stepwise et des dents traitées par éviction complète n'ayant pas occasionné d'exposition pulpaire. Pour les patients ayant eu des douleurs préopératoires, on n'a pas de différence significative entre stepwise et excavation complète dans la mesure de la douleur aux jours 1 et 7 (Bjørndal et coll. 2010). La méthode stepwise semble donc réduire les risques d'exposition pulpaire, tout en offrant un aussi bon pronostic que

le coiffage pulpaire indirect traditionnel.

Bjørndal (2008) relève cependant des réticences des praticiens liées au risque d'oblitération pulpaire que pourrait occasionner une inflammation chronique de la pulpe après une stepwise excavation, rendant un éventuel traitement canalaire plus difficile. Cependant il souligne qu'aucune relation de cause à effet n'a à ce jour été prouvée.

Il souligne également le coût élevé de ce traitement, imputable autant à la haute qualité des ciments d'obturation qui doivent assurer une étanchéité optimale, mais également à la ré-intervention.

Enfin, il n'écarte pas le risque de dégénérescence à bas bruit de la pulpe et préconise un suivi clinique et radiographique régulier sur le long terme afin de s'assurer de la vitalité de la dent.

6. L'éviction partielle

1. *Définition :*

L'éviction partielle est une technique d'odontologie ultra-conservatrice se rapprochant de la technique stepwise, puisqu'elle a également pour objectif d'éviter l'exposition pulpaire par la conservation d'une fine couche de dentine cariée au niveau juxta-pulpaire, mais à la différence de cette dernière, elle ne comprend pas de réintervention. Le matériau apposé en fond de cavité sera donc laissé en place et devra participer à la reminéralisation de la dentine sous-jacente. Cette méthode est l'objet d'études comparatives depuis quelques années par Ricketts mais est décrite depuis 1999 par Ribeiro.

2. *Indications :*

Les indications sont les mêmes que pour la méthode stepwise : Le traitement de caries profondes dont on estime après examen radiographique que l'éviction complète provoquerait une exposition pulpaire, avec une pulpe vivante et asymptomatique ou avec une

symptomatologie provoquée (Ricketts et coll. 2013).

3. *Mise en œuvre clinique :*

Après une phase d'asepsie et anesthésie, et l'isolation de la dent, le traitement consiste en l'ouverture *a minima* de la cavité carieuse (à l'aide d'une fraise diamantée sur turbine), puis de l'élimination, avec une fraise carbure de tungstène sur contre-angle bague verte, de toute la dentine infectée et affectée au niveau périphérique (Alleman et Magne 2012); cela afin d'obtenir une étanchéité optimale lors de la phase d'obturation. Ensuite, au niveau juxta-pulpaire, la dentine infectée est partiellement retirée, soit à l'aide d'une fraise carbure de tungstène, passée délicatement au contact de la paroi, soit à l'excavateur (Hevinga et coll. 2010). Une fine couche de dentine infectée est partiellement préservée afin d'éviter l'effraction pulpaire. On remplit ensuite la cavité profonde avec un ciment aux silicates tricalciques qui sera dans un deuxième temps retaillé et laissé en place en fond de cavité sous une obturation définitive comme un amalgame ou une résine composite. Ce protocole en deux étapes s'explique par le fait que le ciment aux silicates tricalciques, hydrophile, voit une amélioration de ses propriétés d'étanchéité et de stimulation de la minéralisation au contact du milieu buccal. Le hiatus formé avec les parois dentaires devient minimal après ce temps d'hydratation qui peut durer environ six mois (Koubi et coll. 2013).

4. *Résultats et pronostic :*

Cette technique exploite le potentiel de reminéralisation du tissu affecté laissé en place. La dentine déminéralisée est laissée en place entre le tissu pulpaire et le matériau de coiffage. Les ciments aux silicates tricalciques, par leur libération d'ions calcium et hydroxydes, stimulent la reminéralisation du tissu sous-jacent (Murray et coll. 2003). Ce paramètre est primordial dans la réussite du traitement. En effet Hevinga

et coll. (2010) comparent la résistance à la fracture de dents obturées uniquement au composite hybride, avec ou sans éviction partielle. Les obturations placées sur un fond de dentine cariée étaient significativement moins résistantes qu'après éviction complète. La reminéralisation, et donc le durcissement, de la dentine cariée résiduelle sont donc primordiaux à la tenue sur le long-terme de l'obturation.

Alves et coll. (2010) confirment ce fait par l'étude radiographique de 13 dents ayant subi une éviction partielle, 10 ans après. La dentine cariée restante est reminéralisée et de la dentine réactionnelle s'est formée. Il ressort des études de Ricketts et coll. (2013) que **l'éviction partielle diminuait l'incidence des effractions pulpaires de 77% par rapport à une éviction complète, et qu'il n'y avait pas de différence significative constatée entre ces deux méthodes concernant les symptômes post-opératoires.**

Pinto et coll. (2006) ont réalisé une étude clinique et microbiologique de tissu dentinaire ayant subi un coiffage pulpaire indirect à l'hydroxyde de calcium ou à la gutta-percha, suivi d'une obturation au composite. Dans les deux cas, on note une forte diminution de la quantité de bactéries à la surface du tissu, que ce soient les aérobies ou les anaérobies, et particulièrement les lactobacilles. Mais c'est dans l'aspect de la dentine que la différence se fait : à la réouverture entre 4 et 7 mois post-opératoires, Pinto observe que la dentine déminéralisée, qui était jaunie et légèrement ramollie après éviction de la dentine infectée, devient plus foncée et plus dure dans 85% des cas traités à l'hydroxyde de calcium, contre 68,4% avec la gutta percha. Ces résultats mettent en évidence à la fois le caractère antibactérien de l'hydroxyde de calcium, qu'on peut attribuer à son pH alcalin, mais également son influence positive sur la reminéralisation de la dentine, par sa libération constante d'ions calcium. Schwendicke et coll. (2013) comparent la durée de vie des dents sur l'arcade et vitales, après avoir subi une éviction carieuse complète, une stepwise excavation ou une éviction partielle en une étape. Il en résulte

que l'éviction partielle en une seule étape donne les meilleurs résultats à condition que l'obturation soit parfaitement étanche.

Manton (2013) compare les méthodes d'éviction complète, stepwise excavation et éviction partielle. Concernant les symptômes post-opératoires, il ne constate pas de différence significative entre les trois méthodes. Concernant la fiabilité de l'obturation les résultats sont les mêmes, et ce même en incluant dans les techniques d'éviction partielle celles préservant la totalité de la dentine (no dentinal excavation).

Maltz et coll. (2012) confirment ces résultats par une étude de trois ans sur 299 traitements de caries profondes. Il conclut que la rétention de dentine cariée n'interfère pas dans la réussite du traitement et que la réintervention décrite dans la méthode stepwise est superflue.

Afin d'aider à l'élimination des bactéries présentes dans la dentine infectée restantes, des systèmes adhésifs contenant des agents antibactériens sont mis au point. Pupo et coll. (2013) prouvent l'efficacité d'un polymère quaternaire de méthacrylate d'ammonium incorporé dans le système adhésif Clearfil™ SE Bond à éliminer S. Mutans tout en n'interférant pas dans l'efficacité de l'adhésion. Ce dispositif permettrait de réaliser des évictions partielles voire seulement amélaire, dans le cadre de lésions carieuses moyennes, sans protection dentino-pulpaire interposée.

De même, Alleman et Magne (2012) considèrent qu'il est préférable de réaliser l'obturation complète avec un système adhésif et une résine composite sans protection dentino-pulpaire. D'après eux, la perte d'adhésion d'un composite sur de la dentine affectée est de l'ordre de 25 à 33%. Cette différence serait imputable à la présence de métalloprotéases matricielles qu'on peut désactiver par l'application de chlorhexidine concentrée de 0,2 à 2%. Cette application est donc préconisée pour une meilleure étanchéité de l'obturation. De plus, ils préconisent l'utilisation de détecteurs de carie (colorant à base de propylène-glycol, laser à fluorescence...) pour s'assurer de l'absence de

dentine cariée en périphérie, paramètre essentiel pour assurer une bonne étanchéité de l'obturation.

Torabzadeh et Asgary (2013) réalisent une éviction partielle sur une dent semblant présenter une symptomatologie de pulpite irréversible, et à la radio des lésions apicales sur les deux racines. Le traitement réussit néanmoins, remettant en question le consensus selon lequel une pulpe en voie de nécrose ne peut plus guérir. S'agissant d'un cas isolé, des études plus poussées sont à réaliser (figure 7)



Figure 7 : Radiographies pré-opératoire, post-opératoire et à 1 an post-opératoire. (Torabzadeh et Asgary 2013)

V/ Discussion :

Les techniques d'éviction complète de la dentine infectée dans le cadre de lésions carieuses profondes sans symptomatologie de pulpite irréversible semblent démodées aujourd'hui. En effet, alors que le taux de succès d'un coiffage direct après effraction accidentelle est évalué entre 30 à 50% selon Ayashi et coll. (2010), éviter cette effraction devient la conduite à tenir. On se tourne alors vers de nouveaux concepts basés sur une éviction raisonnée. Ce principe n'est cependant pas accepté par tous : Vianna et coll., en 2007, mettent en évidence la perméabilité des tubuli dentinaires surtout dans le cadre d'une carie à progression rapide, et soulignent que dans beaucoup de cas de caries profondes les bactéries ont pu envahir la pulpe même avant une effraction vraie. Selon eux seule une éviction complète pourra permettre l'absence d'inflammation chronique, qui n'est pas toujours symptomatique.

Bien que les techniques d'éviction raisonnée apportent des résultats prometteurs, Bjørndal (2008) souligne que l'idée même de laisser du tissu infecté sous une obturation sera longue à rentrer dans les mœurs. On a également évoqué avec Ricketts et coll. (2013) la difficulté de définir l'état d'inflammation de la pulpe, ainsi que l'épaisseur de dentine résiduelle à laisser en fond de cavité. Une grande rigueur dans l'exécution de ces techniques (isolation de la cavité, éviction carieuse complète en périphérie, obturation étanche) est également indispensable au succès thérapeutique.

Concernant l'ensemble des méthodes de traitement des caries profondes, Ricketts et coll. soulèvent également le problème du risque d'altération des résultats. En effet plusieurs paramètres sont difficiles à définir, comme la profondeur de la lésion carieuse exigée pour entrer dans les études, ou encore l'épaisseur de dentine infectée à laisser en place dans le cas de la technique stepwise ou de l'éviction partielle ; concernant ce dernier point, Alleman et Magne (2012) évoquent une solution proposée par Fusayama dès 1980 : utiliser deux colorants à base de propylène-glycol qui vont colorer de manière différente la dentine hautement infectée, déminéralisée et dont la structure de collagène est détruite de manière irréversible, de la dentine faiblement infectée et déminéralisée et dont les tubules dentinaires ne sont pas encore détruits. Seule cette dentine pourra être laissée en fond de cavité dans le cadre d'une éviction partielle.

Le fait d'exclure ou non les dents ayant subi une effraction pulpaire iatrogène au cours du traitement peut également fausser les résultats finaux et à long terme, les techniques d'éviction partielle ayant justement pour vocation d'éviter ces effractions qui portent atteinte au pronostic de la dent. Enfin, on observe des biais d'expérimentation liés à la ré-intervention dans le cas de la technique stepwise. En effet Bjørndal ne rappelle pour une deuxième intervention que les patients inclus dans le groupe stepwise, ce qui peut avoir une incidence sur l'attitude de ces derniers (Bjørndal 2010).

Des inconvénients sont aussi à noter concernant les biomatériaux préconisés. Les ciments aux silicates tricalciques, malgré leurs excellents résultats, ne sont pas encore très bien intégrés dans la pratique quotidienne au cabinet. Pour le MTA,

une difficulté dans l'ajustement du degré d'humidité du matériau lors de sa mise en œuvre et de sa mise en place (Rao et coll. 2009).

De plus, il apparaît difficile de nettoyer la cavité après l'insertion du matériau sans l'éliminer. Il faut également prendre en compte le temps de prise qui reste considérable, malgré l'hydrophilie du MTA (Rao et coll. 2009).

Egalement, le coût des ciments aux silicates tricalciques reste encore très élevé et est certainement un frein important à son utilisation dans une pratique courante ; cela dit, Schwendicke et coll. (2013) souligne que le coût à long terme d'une dent dont on a préservé la vitalité par une éviction partielle et une obturation étanche telle que l'offre le MTA est en moyenne plus faible que celui d'une dent dont on a fait l'éviction totale de la carie, qui statistiquement va nécessiter des réinterventions, une dévitalisation et une extraction prématurée.

Enfin, rappelons que les soins conservateurs ne sont que le traitement symptomatique d'un défaut d'hygiène. Aussi étanche et performant soit le matériau d'obturation, le succès thérapeutique ne peut exister sans une prévention accrue et une meilleure élimination du biofilm par le brossage (Alleman et Magne 2012).

VI/ Conclusions-perspectives :

Les recherches actuelles sur PUBMED nous ont montré que le coiffage pulpaire indirect traditionnel n'est plus sujet d'études ni d'articles et n'est vraisemblablement déjà plus d'actualité. En effet, l'éviction carieuse complète lorsque l'exposition pulpaire est à craindre n'est plus recommandée. Ce qu'on appelle coiffage indirect est maintenant associé dans les publications à l'éviction carieuse partielle.

Cette évolution s'explique à la fois par l'amélioration des connaissances dans les processus de réparation du complexe dentino-pulpaire, mais également par les avancées dans le domaine des biomatériaux. On se tourne indéniablement vers une approche biomédicale de l'odontologie conservatrice, prenant en compte les mécanismes cellulaires et leurs cascades de signalisation.

En 2013, Stangvaltaite et coll. comparent les choix thérapeutiques de 437 dentistes de Norvège face à des molaires permanentes atteintes de caries profondes. Sans exposition pulpaire et sans symptôme, 49% des dentistes choisissent une éviction carieuse complète, 45% une stepwise excavation. En présence de symptômes, on passe à 39% de pulpectomies pour 38% de stepwise excavation. On constate donc qu'il n'y a pas encore de consensus sur l'attitude à adopter face à une atteinte carieuse profonde, et que nous nous trouvons probablement dans une phase de transition où l'éviction partielle va peu à peu concurrencer la traditionnelle éviction complète. Weber et coll., ayant effectué le même type d'étude en 2011 au Brésil, soulignent que les jeunes dentistes (ayant été diplômés après 2000) avaient plus tendance à adopter les thérapeutiques conservatrices que ceux ayant été diplômés dans les années 80. Ce détail montre que l'évolution va dans le sens d'une augmentation des techniques d'éviction raisonnée.

Dans cette optique d'ultraconservation, on va encore plus loin : certains articles relatent une éviction carieuse uniquement amélaire : Innes et coll. en 2007 présentent cette technique sur dents temporaires, l'éviction carieuse amélaire étant suivie du scellement d'une couronne préformée métallique afin d'isoler la dentine infectée du milieu buccal, privant ainsi les bactéries qui la colonisent des substrats nécessaires à leur survie. Cette technique est critiquée dans la mesure où elle rend

une réintervention difficile. Mais selon les auteurs, elle ne serait pas nécessaire.

On peut noter également les publications de Paris et Meyer-Lueckel en 2010 et de Martignon et coll. en 2012 sur l'application de cette méthode pour des caries proximales obturées à l'aide de résine pour comblement de sillon.

Ricketts et coll. (2013) soulignent cependant le manque de recul clinique, donc l'absence de résultats à long terme concernant les techniques d'éviction partielle sans réintervention, notamment concernant la vitalité pulpaire, mais aussi la qualité et l'étanchéité de l'obturation sur le long terme.

Toutes les publications étudiées ont bien insisté sur le fait que quelle que soit la technique utilisée, la clef du succès thérapeutique résidait dans l'étanchéité de l'obturation, et donc dans l'isolation du complexe dentino-pulpaire, et éventuellement des bactéries restantes, du milieu buccal. C'est vers une amélioration de ce paramètre que de nouvelles études se dirigent.

On pourrait encore améliorer l'étanchéité du pont dentinaire néoformé par l'ajout de facteurs de croissance ou de molécules de la matrice extra-cellulaire impliquées dans la structure des tissus dentaires ou dans les processus de signalisation cellulaire. Une expérience de 2001 conduite par Rutherford consistant en l'implantation dans des pulpes enflammées de furet d'une protéine de morphogénèse osseuse, la BMP7, a montré la formation massive d'ostéodentine réparatrice. La même expérience a ensuite été réalisée chez le rat, où la formation d'ostéodentine a également été observée mais avec une structure plus homogène, sans ostéoplastes.

En 2009, Chaussain et coll. cherchent même à obtenir non plus de l'ostéodentine mais de l'orthodentine. Ils introduisent un peptide dérivé de l'aire C-terminale de la DMP1 (Dentin Matrix Protein 1) dans du CVI, au contact de pulpes de rat effractées manuellement ; il constatent la formation très rapide d'un pont d'orthodentine par des cellules portant des marqueurs des cellules odontoblastiques, mais à distance de la lésion où les cellules inflammatoires sont nombreuses.

Fransson, en 2012, a également testé la combinaison du MTA avec une autre

substance bioactive, l'Emdogain®, qui aurait également un effet positif sur la création de la barrière dentinaire.

Toutes ces études nous montrent qu'on se tourne indéniablement vers la recherche de matériaux non seulement biocompatibles, mais bioactifs, capables de stopper un phénomène inflammatoire et d'induire la régénération de tissus dentaires infectés. La connaissance des processus de production tissulaire, d'inflammation, de différenciation cellulaire, associés à la recherche des biomatériaux toujours plus performants nous permettront peut-être un jour d'inverser les phénomènes qui nous paraissent irréversibles aujourd'hui, tels que la pulpite de catégorie III de Baume ou même la nécrose pulpaire.

Références :

Alleman DS, Magne P : A systematic approach to deep caries removal end points : the peripheral seal concept in adhesive dentistry. *Quintessence Internationale*, 2012 ; 43 :197-208

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 Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.* 2010 ; 109 : 135-141

Ahmad S. AL-Hiyasat; Oula R. Al-Sa'Eed; Homa Darmani : Quality of cellular attachment to various root-end filling materials. *J. Appl. Oral Sci.* 2012 ; 20 : 82-88

Asgary S, Ehsani S : Permanent molar pulpotomy with a new endodontic cement : A case series. *J Conserv Dent.* 2009 ; 12 : 31-36

Banava S : Stepwise Excavation : A conservative community-based dental treatment of deep caries to inhibit pulpal exposure. *Iran J. Public Health.* 2011 ; 40 : 140

Barnkgkei IH, Halboub ES, Alboni RS : Pulpotomy of symptomatic permanent teeth with carious exposure using mineral trioxide aggregate. *Iran Endod J.* 2013 ; 8 : 65-68

Bjørndal L, Thylstrup A : A practice-based study on stepwise excavation of deep carious lesions in permanent teeth : a one-year follow-up study. *Community Dent. Oral Epidemiol.* 1998 ; 26 : 122-128

Bjørndal L, Larsen T : Changes in the cultivable flora in deep carious lesions following a stepwise excavation procedure. *Caries Res.* 2000 ; 34 : 502-508

Bjørndal L, Dentin and pulp reactions to caries and operative treatment: biological variables affecting treatment outcome. *Endodontic Topics* 2002 ; 2 : 10-23

Bjørndal L, The caries process and its process on the pulp : the science is changing and so is our understanding. *Pediatr. Dent.* 2008 ; 30 : 192-196

Bjørndal L, Reit C, Bruun G, Markvart M, Kjaeldgaard M, Näsman P, Thordrup M, Dige I, Nyvad B, Fransson H, Lager A, Ericson D, Petersson K, Olsson J, Santimano EM, Wennström A, Winkel P, Gluud C : Treatment of deep caries lesions in adults: randomized clinical trials comparing stepwise vs.direct complete excavation, and direct pulpcapping vs. partial pulpotomy. *Eur. J. Oral Sci.* 2010 ; 118 : 290-297

Blunck U.: Coiffage pulpaire direct: systèmes adhésifs ou hydroxyde de calcium ? Réalités cliniques. 1999 ; 10 : 225-235

Bogen G, Kim JS, Bakland LK. Direct pulp capping with mineral trioxide aggregate: an observational study. J Am Dent Assoc. 2008 ; 139: 305-15

Caicedo R, Abbott PV, Alongi DJ, Alarcon MY. : Clinical, radiographic and histological analysis of the effects of mineral trioxide aggregate used in direct pulp capping and pulpotomies of primary teeth. Aust Dent J. 2006 ; 51: 297-305

Camilleri J, Pitt-Ford TR : Mineral Trioxide Aggregate : a review of the constituents and biological properties of the material. Int. Endod. J. 2006 ; 39 : 747-754

Camilleri J : Hydration mechanisms of mineral trioxide aggregate. Int. Endod. J. 2007 ; 40 : 462-470

Camilleri J : The chemical composition of mineral trioxide aggregate. J. Conserv. Dent. 2008 ; 11 : 141-143

Chang SW : Chemical characteristics of mineral trioxide aggregate and its hydration reaction. Restor. Dent. Endod. 2012 ; 37 : 188-193

Chaussain C, Eapen A S, Huet E, Floris C, Ravindran S, Hao J, Menashi S, George A : MMP2-cleavage of DMP1 generates a bioactive peptide promoting differentiation of dental pulpstem/progenitor cells. European Cells and Materials 2009 ; 18 : 84-95

Cox CF, Sübay RK, Suzuki S, Suzuki SH, Ostro E : Biocompatibility of various dental materials : pulp healing with a surface seal. Int. J. Period. Restor. Dent. 1996 ; 16 : 240-251

Cvek M, Granath L, Cleaton-Jones P, Austin J. Hard tissue barrier formation in pulpotomized monkey teeth capped with cyanoacrylate or calcium hydroxide for 10 and 60 minutes. J Dent Res. 1987 ; 66 :1166-1174

Dammaschke T, Leidinger J, Schäfer E. Long-term evaluation of direct pulp capping treatment outcomes over an average period of 6.1 years. Clin. Oral Investig. 2010 ; 14 : 559-567

Darvell BW, Wu RCT : MTA – an hydrolic silicate cement : review update and setting reaction. Dent. Mater. 2011 ; 27 : 407-422

Demant S, Markvart M, Bjørndal L : Quality-Shaping Factors and Endodontic Treatment amongst General Dental Practitioners with a Focus on Denmark. *Int. J. Dent.* 2012 ; 2012 : 526137, 7 pp

Deveaux E, Gambiez A : Le diagnostic en endodontie - II les pathologies. *Réalités cliniques* 2006 ; 17 : 291-306

Duda S, Dammaschke T. Maßnahmen zur Vitalerhaltung der Pulpa. Gibt es Alternativen zum Kalziumhydroxid bei der direkten Überkappung? *Quintessenz* 2008 ; 59 : 1327-1334

Eghbal MJ, Asgary S, Baglue RA, Parirokh M, Ghoddusi J : MTA pulpotomy of human permanent molars with irreversible pulpitis. *Australian endodontic Journal*, 2009 ; 35 :4-8

Estrela C., Holland R. :Calcium hydroxide: study based on scientific evidences. *Journal Of Applied Oral Science* 2003 ; 11 : 269-282

Fava LR, Saunders WP : Calcium hydroxide pastes : classification and clinical indications. *Int. Endod. J.* 1999 ; 32 : 257-282

Formosa LM, Mallia B, Bull T, Camilleri J. The microstructure and surface morphology of radiopaque tricalcium silicate cement exposed to different curing conditions. *Dental Materials* 2012 ; 28 : 584-595

Fransson H : On the repair of the dentine barrier. *Swed Dent J Suppl.* 2012 ; 226 : 9-84

Frenkel G, Kaufman A, Ashenazi M : Clinical and radiographic outcomes of pulpotomized primary molars treated with white or gray mineral trioxide aggregate and ferric sulfate-long-term follow-up. *J. Clin. Pediatr. Dent.* 2012 ; 37 : 137-141

Gandolfi M.G., Taddei P., Siboni F., Modena E., Ginebra M.P., Prati C. : Fluoride-containing nanoporous calcium-silicate cements for endodontics and oral surgery: early fluorapatite formation in a phosphate-containing solution. *Int Endod J.* 2011 ; 44 : 938-949

Ghoddusi J, Shahrami F, Alizadeh M, Kianoush K, Forghani M. Clinical and radiographic evaluation of vital pulp therapy in open apex teeth with MTA and ZOE. *N Y State Dent J.* 2012 ; 78 : 34-38

Graham L, Cooper PR, Cassidy N, Nor JE, Sloan AJ, Smith AJ : The effect of calcium hydroxide on solubilisation of bio-active dentine matrix components. *Biomaterials* 2006 ; 27 : 2865-2873

Hachmeister DR, Schindler WG, Walker WA, Thomas DD: The sealing ability and retention characteristics of mineral trioxide aggregate in a model of apexification. J Endod 2002 ; 28 : 386-390

Haghgoo R, Abbasi F : A Histopathological Comparison of Pulpotomy with Sodium Hypochlorite and Formocresol. Iran Endod J. 2012 ; 7 : 60-62

Hayashi M, Fujitani M, Yamaki C, Momoi Y : Ways of enhancing pulp preservation by stepwise excavation—A systematic review. J. Dent. 2011 ; 39 : 95-107

Harandi A, Forghani M, Ghodduzi J: Vital pulp therapy with three different pulpotomy agents in immature molars: a case report. Iran Endod J. 2013 ; 8 :145-148

Hess JC, Thérapeutique endodontique, ensemble pulpo-dentinaire et pulpotomie, EMC Consulte, 06/08/2004

Hevinga MA, Opdam NJ, Frencken JE, Truin GJ, Huysmans MCDNJM : Does incomplete caries removal reduce strenght of restored teeth ? J. Dent. Res. 2010 ; 89 : 1270-1275

Hilton T.J, Ferracane J.L, Mancl L : Comparison of CaOH with MTA for Direct Pulp Capping. Journal of Dental Research 2013 ; 92 : 16S-22S

Hume WR, Mount GJ : La thérapeutique de conservation de la vitalité pulpaire. Dans : préservation et restauration de la structure dentaire. Ed De Boeck Université 2002, 211-215

Idnani BJ, Choksi D : MTA in vital pulp therapy- a pubmed based research review. Asian Acad Res J Multidiscip. 2013 ; 1 : 38-43

Innes NP, Evans DJ, Stirrups DR : The Hall Technique; a randomized controlled clinical trial of a novel method of managing carious primary molars in general dental practice: acceptability of the technique and outcomes at 23 months. BMC Oral Health 2007 ; 7:18

Iwamoto CE, Adachi E, Pameijer CH, Barnes D, Romberg EE, Jefferies S : Clinical and histological evaluation of white ProRoot MTA in direct pulp capping. Am J Dent. 2006 ; 19 : 85-90

Keiser K, Johnson CC, Tipton DA : Cytotoxicity of mineral trioxide aggregate using human periodontal ligament fibroblasts. J. Endod. 2000 ; 26 : 288-291

Kokate S.R., Pawar A.M. : An in vitro comparative stereomicroscopic evaluation of marginal seal between MTA, glass ionomer cement & biodentine as root end filling materials using 1% methylene blue as tracer. Indian Endod. Soc. 2012 ; 24 : 36-42

Koubi G, Colon P, Franquin JC, Hartmann A, Richard G, Faure MO, Lambert G : Clinical evaluation of the performance and safety of a new dentine substitute, Biodentine, in the restoration of posterior teeth – a prospective study. Clin. Oral. Investig. 2013 ; 17 : 243-249

Kumar V, Chawla A, Logani A, Shah N : Mineral trioxide aggregate pulpotomy : An ideal treatment option for management of talon cusp. Contemp. Clin. Dent. 2012 ; 3 : 491-493

Leye-Benoist F, Evaluation of mineral trioxide aggregate (MTA) versus calcium hydroxide cement (Dycal(®)) in the formation of a dentine bridge: a randomised controlled trial. Int Dent J. 2012 ; 62 : 33-39

Maltz M, Garcia R, Jardim JJ, de Paula LM, Yamaqui PM, Moura MS, Garcia F, Nascimento C, Oliveira A, Mestrinho HD : Randomized trial of partial vs. stepwise caries removal : 3-year follow-up. J. Dent. Res. 2012 ; 91 : 1026-1031

Manton D : Partial caries removal may have advantages but limited evidence on restoration survival. Evid Based Dent. 2013 ; 14 : 74-75

Martignon, S. ; Ekstrand, K.R. ; Gomez, J. ; Lara, J.S. ; Cortes, A. : Infiltrating/sealing proximal caries lesions: a 3-year randomized clinical trial. J. Dent. Res. 2012 ; 91 : 288-292

Modena KC, Casas-Apayco LC, Atta MT, de Souza Costa CA, Hebling J, Sipert CR, de Lima Navarro MF, Ferreira Santos C : Cytotoxicity and biocompatibility of direct and indirect pulp capping materials. J. Appl. Oral Sci. 2009 ; 17 : 544-554

Murray PE, Smith AJ, Windsor LJ, Mjör IA : Remaining dentine thickness and human pulp responses. Int. Endod. J. 2003 ; 36 : 33-43

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. Int. Endod. J. 2008 ; 41 : 128-150

Neelakantan P, Rao CV, Indramohan J : Bacteriology of deep carious lesions underneath amalgam restorations with different pulp-capping materials - an in vivo analysis. J Appl Oral Sci. 2012 ; 20 : 139-145

Ng FK, Messer LB : MTA as pulpotomy medicament : a narrative review. *European Archives of Pediatric Dentistry* 2008 ; 9 : 4-11

Padmaja M, Raghu R : An Ultraconservative Method for the Treatment of Deep Carious Lesions – Stepwise Excavation. *Advances in Biological Research* 2010 ; 4 : 42-44

Paris, S, Meyer-Lueckel H :Inhibition of progression of natural caries lesions by infills in vitro. *J.Dent.Res.* 2010 ; 89 :1276-1280

Pérard M, Le Clerc J, Meary F, Pérez F, Tricot-Doleux S, Pellen-Mussi P : Spheroid model study comparing the biocompatibility of Biodentine and MTA. *J Mater Sci Mater Med* 2013 ; 24 : 1527-1534

Pereira CL, Cenci MS, Demarco F.F : Sealing ability of MTA, Super EBA, Vitremer and amalgam as root-end filling materials. *Braz Oral Res.* 2004 ; 18 : 317-321

Pinto AS, de Araújo FB, Franzon R, Figueiredo MC, Henz S, García-Godoy F, Maltz M : Clinical and microbiological effect of calcium hydroxide protection in indirect pulp capping in primary teeth. *Am J Dent.* 2006 ; 19 : 382-386

Powell LV :Cariously exposed pulps may benefit from vital pulp therapies. *J. Am. Dent. Assoc* 2012 ; 143 : 1232-1233

Pupo YM, Farago PV, Nadal JM, Esmerino LA, Maluf DF, Zawadzki SF, Michél MD, dos Santos FA, Gomes OM, Gomes JC : An innovative quaternary ammonium methacrylate polymer can provide improved antimicrobial properties for a dental adhesive system. *J. Biomater. Sci. Polym. Ed.* 2013 ; 24 : 1443-1458

Rao A, Rao A, Shenoy R : Mineral trioxide aggregate – a review. *J. Clin. Pediatr. Dent.* 2009 ; 34 : 1-7

Ricci C, Travert V : L'hydroxyde de calcium en Endodontie. *Rev Fr Endod.* 1987; 6 :45-73

Ricketts D, Lamont T, Innes NPT, Kidd E, Clarkson JE : Operative caries management in adults and children. *Cochrane Database Syst. Rev.* 2013 ; 1-52

Roberts HW, Toth JM, Berzins DW, Charlton DG : Mineral trioxide aggregate use in endodontic treatment : a review of the literature. *Dent. Mater.* 2008 ; 24 : 149-164

Rutherford RB : BMP-7 gene transfer to inflamed ferret dental pulps. *Eur J Oral Sci* 2001 ; 109 : 422-424

Schönenberger K : Une revue des domaines d'indication du MTA. Mens Suisse Odontostomatol 2004 ; 114: 149-153

Schwendicke F, Dörfer CE, Paris S : Incomplete Caries Removal : A systematic review and meta-analysis. J. Dent. Res 2013 ; 92 : 306-314

Schwendicke F, Stolpe M, Meyer-Lueckel H, Paris S, Dörfer CE : Cost-effectiveness of one- and two-step incomplete and complete excavations. J Dent Res. 2013 ; 92 : 880-887

Séguier S, Bodineau A, Giacobbi A, Tavernier JC, Folliguet M : Pathologies bucco-dentaires du sujet âgé: répercussions sur la nutrition et la qualité de vie. Commission de santé publique, Rapport 2009

Smith AJ : Dentine formation and repair. Hargreaves KM & Goodies HE. Seltzer and Bender's Dental Pulp. IL, 3ème édition, Quintess Pub Co 2002, chap 3 : 41-62

Stangvaltaite L, Kundzina R, Eriksen HM, Kerosuo E. Treatment preferences of deep carious lesions in mature teeth: Questionnaire study among dentists in Northern Norway. Acta Odontol Scand. 2013 ; 71 : 1532-1537

Stanley H, Thonemann B : Calcium hydroxide cements, Biocompatibility of dental materials, chap. 6, éditions Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2009, 166-176

Subay RK, Ilhan B, Ulukapi H : Mineral trioxide aggregate as a pulpotomy agent in immature teeth: Long-term case report. Eur. J. Dent. 2013 ; 7 : 133-138

Thompson V, Craig RG, Curro FA, Green WS, Ship JA : Treatment of deep carious lesions by complete excavation or partial removal: a critical review. J Am Dent Assoc. 2008 ; 139 : 705-712

Torabinejad M : Clinical applications of mineral trioxide aggregate. Alpha Omegan. 2004 ; 97 : 23-31

Torabzadeh H, Asgary S : Indirect pulp therapy in a symptomatic mature molar using calcium enriched mixture cement. J. Conserv. Dent. 2013 ; 16 : 83-86

Tran XV, Gorin C, Willig C, Baroukh B, Pellat B, Decup F, Opsahl Vital S, Chaussain C, Boukpepsi T : Effect of a calcium-silicate-based restorative cement on pulp repair. Journal of Dental research 2012 ; 91 : 1166-1171

Vianna Freitas Fachin E, Oliveira Filho E, Pinto T : Caries removal based on pulp biology. Electronic J. Endod. Rosario, 2007 ; 01 : 1-14

Villat C, Grosgeat B, Seux D, Farge P : Conservative approach of a symptomatic carious immature permanent tooth using a tricalcium silicate cement (Biodentine): a case report. Restor Dent Endod. 2013 ; 38 : 258-262

Wataha JC : Predicting clinical biological responses to dental materials. Dent. Mater. 2012 jan ; 28 : 23-40

Weber CM, Alves LS, Maltz M : Treatment decisions for deep carious lesions in the Public Health Service in Southern Brazil. J. Public Health Dent. 2011 ; 71 : 265-270

Willershausen B, Willershausen I, Ross A, Velikonja S, Kasaj A, Blettner M : Retrospective study on direct pulp capping with calcium hydroxide. Quintessence Int. 2011 ; 42 : 165-171

Williams F : On the mechanisms of biocompatibility. Biomaterials 2008 ; 29 : 2941-2953

William F : Size and shape really matter : the influence of design on biocompatibility. Med. Device Technol. 1997 ; 8 : 8-12

Annexe 1

Publications rejetées :

Ekambaram M	Comparison of the remineralizing potential of child formula dentifrices. (2010)	Concerne la reminéralisation de l'émail et pas de la dentine juxta-pulpaire.
Gruythuysen RJ	Long-term survival of indirect pulp treatment performed in primary and permanent teeth with clinically diagnosed deep caries lesions (2010)	Comprend les dents temporaires et permanentes seulement chez des sujets jeunes.
Ricketts DN	Novel operative treatment options. (2009)	Ne concerne pas uniquement les lésions carieuses profondes.
Ribeiro CC	Rationale for the partial removal of carious tissue in primary teeth.	Concerne les dents temporaires.
Kassa D	Histological comparison of pulpal inflammation in primary teeth with occlusal or proximal caries (2009)	Concerne les dents temporaires.
Orhan AI	A clinical and microbiological comparative study of deep carious lesion treatment in deciduous and young permanent molar (2008)	Concerne les dents temporaires et permanentes immatures.
Hamama HH	Chemical, morphological and microhardness changes of dentine after chemomechanical caries removal. (2013)	Ne concerne pas que les lésions carieuses profondes.
Backland LK	Will MTA replace calcium hydroxide in treating pulpal and periodontal healing complications subsequent to dental trauma ? (2011)	Concerne les dents ayant subi un traumatisme et non une lésion carieuse.

CORGIE (Joséphine) – Préservation de la vitalité pulpaire dans le cadre d'une atteinte carieuse profonde : concepts actuels.

(Thèse : Chir. Dent. : Lyon : 2014.016)
N°2014 LYO 1D 016

La pratique actuelle de la dentisterie s'orientant toujours plus vers la conservation de l'organe dentaire, la préservation de la vitalité pulpaire est un enjeu important.

Grâce d'une part à une meilleure connaissance de la physiologie et des mécanismes de réparation du complexe dentino-pulpaire, mais aussi à l'élaboration de biomatériaux aux propriétés physiques et biologiques améliorées, de nouvelles techniques voient le jour et constituent une alternative à la pulpectomie : la pulpotomie, le coiffage pulpaire, la méthode stepwise et l'éviction partielle. Le but de cette revue de littérature a donc été de recenser et décrire ces techniques, et notamment les évolutions dans le choix du biomatériau.

Il est nettement ressorti des différentes publications qu'en cas d'effraction pulpaire, l'objectif principal pour un retour à un état physiologique de la pulpe est l'obtention d'un pont dentinaire épais et régulier. Il est aujourd'hui avéré qu'il peut être obtenu grâce à un recouvrement étanche par les ciments aux silicates tricalciques.

D'autre part lorsqu'une effraction pulpaire est prédictible en cas d'éviction carieuse complète, la conduite à tenir semble évoluer. On préfère éviter cette effraction en laissant un fond de dentine cariée juxta-pulpaire, qui grâce à un coiffage à l'aide de biomatériaux aux propriétés antibactériennes, et un scellement étanche, va pouvoir se reminéraliser et laisser le temps à la pulpe de produire de la dentine réactionnelle protectrice.

Les capacités de réparation de la pulpe ne sont donc pas à sous-estimer ; de nouvelles options s'offrent à nous dans la thérapeutique des lésions carieuses profondes.

Rubrique de classement :**Odontologie Conservatrice****Mots clés :**

- coiffage pulpaire
- ciments aux silicates tricalciques
- éviction partielle

Mots clés en anglais :

- pulp capping
- tricalcium silicate cement
- partial excavation

Jury :


Président :
Assesseurs :

Mme SEUX Dominique
Mme GROSGOGÉAT Brigitte
Mme LUCCHINI Marion
M. VILLAT Cyril

Adresse de l'auteur :

Joséphine Corgié
12, rue des quatre chemins
38500 VOIRON



 06 01 99 75 70

contact@imprimerie-mazenod.com

www.thesesmazenod.fr