



DEPARTEMENT DE MEDECINE DENTAIRE

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES POUR L'OBTENTION DU DIPLOME
DE DOCTEUR EN MEDECINE DENTAIRE**

Thème :

**LE COIFFAGE PULPAIRE
SUR LES DENTS PERMANENTES HUMAINES :
Revue systématique de la littérature**

Présenté par :

BOUAKKAZ Assia et BENTALHA Oussama

Soutenu publiquement le 17 Juin 2019 devant le jury :

Dr GUENDOOUZ Djamel	Maitre-Assistant en OCE CHUTlemcen	Président
Dr ALLAL Naouel	Maitre Assistante en OCE CHUTlemcen	Examinatrice
Dr BENSALDI Sofiane	Maitre-Assistant en Parodontologie CHUTlemcen	Examineur
Professeur Fouad OUDGHIRI	Chef de Département de Médecine Dentaire	Encadreur
Professeur HENAOUI Latifa	Maitre de Conférences A en Epidémiologie CHUTlemcen	Co-Encadreur

Année 2018-2019

Avant-propos

Remerciements

Louange à Dieu Miséricorde et Miséricordieux qui nous a donné la force, la volonté et la patience durant toutes nos années d'études.

Nos vifs remerciements au

Professeur Fouad OUDGHIRI, Chef de service d'O.C.E de la Clinique Dentaire CHU Tlemcen et chef de Département de médecine Dentaire ;

Nous éprouvons une immense fierté de vous avoir eu comme notre encadreur ; Qu'il soit permis de vous témoigner nos profondes gratitude pour la valeur de votre enseignement, vos conseils clairvoyants, votre talent scientifique et vos qualités humaines ; votre patience et votre disponibilité ont été constantes.

Nous adressons toute notre gratitude Professeur Latifa HENAOUI, Maître de Conférences A en Epidémiologie CHU Tlemcen qui nous a fait l'honneur d'orienter les travaux de ce mémoire ; qu'elle soit persuadée de nos remerciements chaleureux pour sa disponibilité, et pour l'intérêt apporté à notre travail.

Egalement Nous remercions Dr GUENDOUZ Djamel, Maître-assistant en odontologie conservatrice et endodontie, qui nous a fait l'honneur de bien vouloir présider le jury de notre soutenance ; merci pour votre soutien humain et scientifique et votre gentillesse, nous resterons toujours à votre écoute et nous s'imprégnerons de vos précieux conseils.

Nous remercions également le Dr BENSALDI Maître assistant en Parodontologie, et Dr ALLAL Naouel, Maître assistante en Odontologie Conservatrice et endodontie CHU Tlemcen, soient remerciés pour avoir accepté d'examiner ce travail, et le temps qu'ils ont consacré à la lecture du manuscrit.

Veillez trouver ici de notre haute considération.

Enfin nos remerciements vont à toutes les personnes qui de près ou de loin nous ont aidés par leurs encouragements.

Dédicaces

Nous dédions ce mémoire

A nos chers parents

*Qui nous ont accordé le courage, la volonté et le soutien pour
bien réaliser ce travail.*

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements

A nos familles

A tous nos amis et connaissances

Table des matières

Avant-propos	i
Table des matières	iii
Liste des abréviations	v
Liste des figures	vi
Liste des tableaux	vii
Introduction	1

REVUE DE LA LITTERATURE

1. Le complexe pulpo-dentinaire	4
1.1. Histophysiologie du complexe pulpo-dentinaire.....	4
1.1.1. La dentine.....	4
1.1.1.1. Composition et Structure.....	5
1.1.1.2. Dentinogénèse.....	7
1.1.1.3. Les différents types de dentines	7
1.1.2. La pulpe.....	11
1.1.2.1. Composition.....	12
1.1.2.2. Structure.....	12
1.1.2.3. Vascularisation pulpaire.....	16
1.1.2.4. Innervation pulpaire	17
1.1.3. La sénescence du complexe pulpo-dentinaire.....	18
1.1.3.1. Sclérose dentinaire :	18
1.1.3.2. Sénescence pulpaire	19
1.2. Physiopathologie du complexe pulpo-dentinaire.....	19
1.2.1. Les différents types d'agressions	19
1.2.1.1. D'origine bactérienne	19
1.2.1.2. D'origine traumatique.....	20
1.2.1.3. D'origine iatrogène	20
1.2.2. Les réactions du complexe pulpo-dentinaire face à une agression	21
1.2.3. Les moyens d'évaluations de l'état pulpaire	22
2. Les techniques de conservations et d'amputations du complexe pulpo-dentinaire	24
2.1. Le coiffage pulpaire indirect.....	24
2.1.1. Définition et objectifs	24
2.1.2. Indications/ contre-indications	24
2.1.3. Mécanisme d'action	25
2.1.4. Protocoles opératoires et cas cliniques	25
2.2. Le coiffage pulpaire direct.....	28
2.2.1. Définition et objectif.....	28

2.2.2. Indications/ contre-indications	28
2.2.3. Protocole opératoire et cas cliniques	29
2.3. La pulpotomie partielle (haute)	31
2.3.1. Définition et objectifs	31
2.3.2 Indications/ contre-indications	32
2.3.3. Protocole opératoire	32
2.4. La pulpotomie cervicale (basse ou complète)	34
2.4.1. Définition et objectifs	34
2.4.2. Indications et contre-indications	34
2.4.3. Protocole opératoire et cas clinique	34
3. Les biomatériaux utilisés dans le coiffage pulpaire	36
3.1. Les ciments	36
3.1.1 Biodentine.....	36
3.1.2. Mineral Trioxide Aggregate.....	39
3.1.3. Ciment verre ionomère.....	44
3.1.4. Hydroxyde de calcium	49
3.2. Les systèmes adhésifs	53

ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Méthodologie	62
1.1. Objectif de travail.....	62
1.2. Choix des bases de données	62
1.3. Population d'étude	63
1.3.1. Critères d'inclusion	63
1.3.2. Critères de non inclusion.....	63
1.4. Description des facteurs d'éligibilité	63
1.5. Sélection des articles	66
2. Résultats.....	68
2.1. Résultats du traitement par coiffage pulpaire direct.....	69
2.2. Résultats du traitement par coiffage pulpaire indirect	109
2.3. Résultats du traitement par pulpotomie partielle	118
2.4. Résultats du traitement par pulpotomie cervicale	123
3. Discussion	130
3.1. A propos de la technique utilisée :	130
3.2. A propos des biomatériaux utilisés :	132
3.3. Les autres paramètres relevés influençant les résultats des thérapeutiques de coiffage.....	136
3.5. Recommandation clinique	138
Conclusion	140
Bibliographie.....	143

Liste des abréviations

BSP	: Sialoprotéine dentinaire
CVI	: Ciment Verre Ionomère
Col1	: Collagène type 1
AT	: Traditonal Adhesive
AA	: Antibacterial adhesive
DCE	: Direct complet excavation
EDTA	: Acide Ethyle Diamine Tétra Acétique
FN	: Fibronectine
IPT	: Indirect Pulp Treatment
MTA	: Mineral trioxide aggregate
CEM	: mineral enriched cement
OCE	: Odontologie conservatrice et endodontie
Ca(OH)₂	:Hydroxyde de Calcium
pH	: Potentiel Hydrogène
RCT	: Root Canal Treatment
NEC	: Novel Endodontique Ciment.
TN	: Ténascine.
VPT	: Vital Pulp Therapy
ZOE	: Oxyde de Zinc Eugénol

Liste des figures

Figure 1: Représentation schématique des cellules bordant la pulpe	5
Figure 2: Illustration des variations de densité des canalicules dentinaires.....	7
Figure 3: Localisation histologique des deux types de dentines physiologiques.....	9
Figure 4: Illustration des deux types de dentine tertiaire.....	11
Figure 5: Schéma montrant les différentes voies de pénétration bactérienne.....	20
Figure 6 : Protocole clinique d'un coiffage pulpaire direct réalisé sur une 46 chez une enfant de 9ans	31
Figure 7 : Cas clinique du Docteur L. Goupy d'une pulpotomie partielle d'une 36 sur un enfant de 14 ans.....	33
Figure 8 : Cas clinique d'une pulpotomie cervicale sur la 46 d'une patiente de 21ans	35
Figure 9 : Schéma de la réaction d'hydratation de la biodentine	37
Figure 10: Capture d'écran montrant le nombre d'article initiale depuis juillet 2018 jusqu'à avril 2019.....	64
Figure 11: Capture d'écran montrant les articles sélectionnés selon les trois limites depuis juillet 2018 jusqu'au avril 2019.....	64
Figure 12 : Capture d'écran montrant le nombre d'articles sélectionnés en fonction de la technique utilisée ainsi que le biomatériau de choix	65
Figure 13: Diagramme de sélection des articles analysés en fonction des limites prises en considération.....	68
Figure 14: Schémas illustrant le gradient thérapeutique à des fins de conservation de la vitalité pulpaire.....	127

Liste des tableaux

Tableau 1: Composition de Biodentine™	36
Tableau 2: Applications cliniques de Biodentine™	39
Tableau 3 : Les différentes propriétés des biomatériaux de protection pulpaire.....	60
Tableau 4 : Résultat du traitement par coiffage pulpaire direct sur dent permanente.....	69
Tableau 5 : Résultat du traitement par coiffage pulpaire indirect sur dent permanente	109
Tableau 6:Résultat du traitement par pulpotomie partielle sur dent permanente	118
Tableau 7 : Résultat du traitement par pulpotomie cervicale sur dent permanente	123
Tableau 8: Comparaison entre les résultats (taux de succès) des techniques de conservation de la vitalité pulpaire	131
Tableau 9: Comparaison des pronostics des techniques de conservation de la vitalité pulpaire en fonction des biomatériaux utilisés	138
Tableau 10:Les moyennes de taux de succès dans les 47 études.....	138

Introduction

Introduction

La préservation de la vitalité pulpaire doit être une préoccupation essentielle du clinicien, car c'est un des principaux facteurs du maintien des dents sur l'arcade. Conserver les dents pulpées permet de limiter les modifications structurales et biologiques qui affaiblissent l'organe dentaire, de maintenir les fonctions de défense qui s'opposent à la pénétration bactérienne, et enfin de conserver le potentiel de régénération du complexe pulpo-dentinaire^[1].

Par le passé, le recours à la « dépulpage » ou traitement endodontique était souvent inévitable. Cependant, il s'avère qu'une fois la dent dépulpage, celle-ci perd ses capacités de défense vis à vis des agressions physio- pathologiques qu'elle subit. La synthèse de dentine étant stoppée, il est donc impossible de poursuivre l'édification radiculaire si celle-ci n'est pas terminée. Sur le plan neurosensoriel, une dent dépulpage présente une proprioception perturbée et une nociception (servant de signal d'alarme en cas d'agression) absente.

L'évolution des matériaux et des techniques rend actuellement possible une préparation conservatrice et un scellement étanche du complexe pulpo-dentinaire qui minimise la percolation bactérienne, réunissant ainsi les conditions adéquates pour maintenir la vitalité pulpaire^[2]

Le coiffage pulpaire, est défini par le Conseil National des Enseignants en Odontologie Conservatrice comme la technique qui consiste à « recouvrir les tissus dentino-pulpaire par un biomatériau placé au contact d'une plaie pulpaire(coiffage pulpaire direct) ou de la dentine (coiffage pulpaire indirect) afin d'obtenir la cicatrisation dentino-pulpaire et/ou l'oblitération de la pulpe exposée par un pont dentinaire néoformé »^[3]

Ce traitement est indiqué en cas d'expositions pulpaires, qui se définissent comme « des ouvertures coronaires mettant à nu la pulpe dentaire », d'origine pathologique (carie), traumatique (fracture compliquée), ou iatrogène (effraction)^[3]. Lorsque le tissu pulpaire est exposé, nous devons prendre une décision immédiate : faire le coiffage pulpaire ou non, et si oui, avec quel matériau. Cependant, il n'existe aucune « règle de bonne pratique» précise permettant de définir clairement la limite entre dépulpage et conservation de la vitalité pulpaire^[4].

D'un point de vue biologique, différents paramètres ont montré leur importance dans le succès du coiffage pulpaire. Certains de ces paramètres sont directement en rapport avec la situation clinique tandis que d'autres résultent des choix de l'opérateur tant du point de vue des techniques opératoires que des matériaux choisis. Leur prise en compte doit guider l'opérateur vers les choix les plus appropriés afin d'assurer la préservation durable de la vitalité pulpaire. L'obtention d'une cicatrisation pulpo-dentinaire passe donc par l'instauration d'un traitement réfléchi [2].

Le coiffage pulpaire a connu des succès retentissants. L'évolution des matériaux, des techniques et des connaissances du complexe dentino-pulpaire a permis petit à petit d'en améliorer les résultats.

Est-ce que le choix de la technique de coiffage et du matériau, améliore le pronostic de conservation de la vitalité pulpaire ?

Ce travail a donc pour objectif de faire le point sur le coiffage pulpaire en étudiant et en comparant entre les différentes techniques en fonction des biomatériaux utilisés.

Notre travail Il est subdivisé en deux chapitres : une revue de la littérature et l'étude proprement dite concernant l'analyse bibliographique.

Chapitre I

REVUE DE LA LITTERATURE

1. Le complexe pulpo-dentinaire

1.1. Histophysiologie du complexe pulpo-dentinaire

Le complexe pulpo-dentinaire est composé de deux parties ^[5]

- L'une minéralisée : la dentine ;
- l'autre non minéralisée : la pulpe dentaire.

La dentine et la pulpe ont la même origine mésenchymateuse. Mais en plus de leur relation embryologique, elles ont également des relations histologique et fonctionnelle. Ainsi, la principale fonction de la pulpe est la production de dentine qui, quant à elle, joue un rôle de protection pour les tissus pulpaire ^{[6] [7]}.

La dentine entoure la pulpe et contient les prolongements cytoplasmiques de certaines cellules pulpaire : les odontoblastes (**Fig. 1**). Du fait de leur proximité anatomique, la dentine et la pulpe réagissent de façon interdépendante aux influences de l'environnement: tout ce qui affecte la dentine se répercute au niveau de la pulpe, et inversement ^[8].

1.1.1. La dentine

La dentine est le tissu qui occupe le volume le plus important dans la dent. Il s'agit d'un tissu conjonctif minéralisé, non vascularisé et sans innervation propre. Son degré de minéralisation est inférieur à celui de l'émail ^[9].

Au niveau coronaire, la dentine soutient l'émail qui est cassant. Son élasticité est importante pour la fonction de la dent car elle permet de prévenir une éventuelle fracture de l'émail. Au niveau radiculaire, la dentine est recouverte par le ciment. L'émail et le ciment isolent la dentine du milieu extérieur (**Fig. 1**) ^[8]

La dentine entoure également la pulpe qu'elle protège. Elle est traversée sur toute son épaisseur par des tubulis contenant l'extension cytoplasmique des cellules qui permettent sa formation et son maintien : les odontoblastes ^[8]

Par ailleurs, la dentine est capable d'être réparée grâce à la dentinogenèse tant que la pulpe est fonctionnelle ^[7]

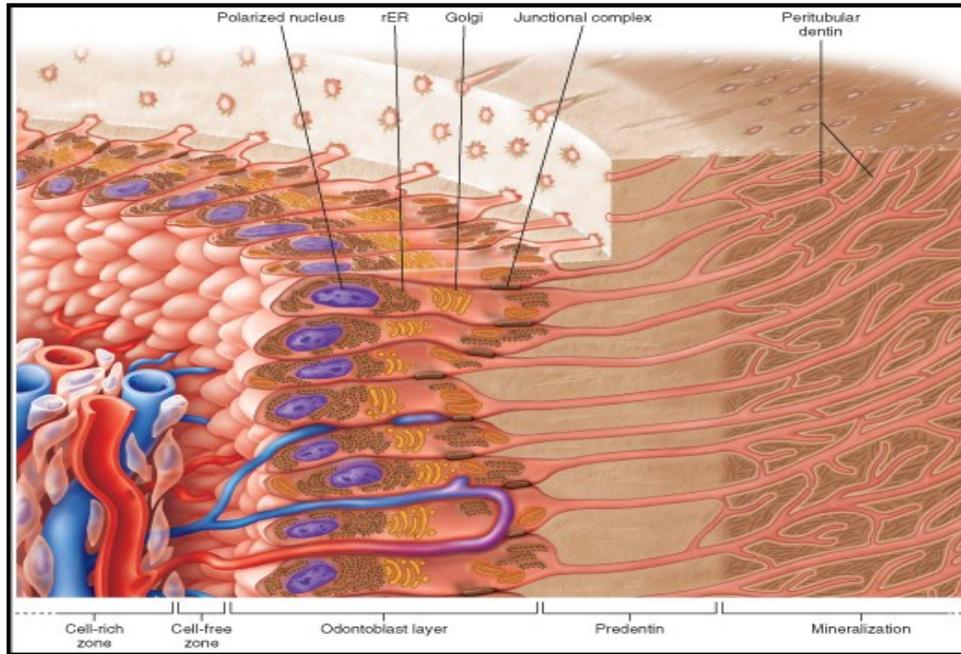


Figure 1: Représentation schématique des cellules bordant la pulpe^[10]

1.1.1.1. Composition et Structure

• Composition

En poids, la dentine est constituée de ^[9, 11]:

- 70% d'une phase minérale sous forme de cristaux d'hydroxyapatite riches en carbonates et magnésium,
- 20% de matrice organique,
- 10% d'eau.

La composition minérale de la dent varie en fonction de l'âge car la minéralisation physiologique se poursuit tout au long de la vie du parenchyme pulpaire.

La matrice organique contient 90% de collagène (essentiellement de type I) et 10% de matériel non collagénique ^[9]

Les protéines matricielles non collagéniques se distinguent en deux groupes ^[12, 13]

Les protéines non collagéniques spécifiques de la dentine :

- la phosphoprotéine dentinaire (DPP),
- la sialoprotéine dentinaire (DSP),

Les protéines non collagéniques non spécifiques de la dentine :

- la protéine de la matrice dentinaire (DMP-1),
- l'ostéopontine (OPN),

- la sialoprotéine osseuse (BSP),
- l'ostéocalcine,
- l'ostéonectine,
- des protéoglycanes.

La matrice dentinaire contient également des protéines sériques comme l'albumine, des facteurs de croissance, des enzymes de régulation (phosphatase alcaline) et de clivage (métalloprotéases), des amélogénines et des phospholipides^[8, 12].

Les facteurs de croissance présents dans la matrice dentinaire (TGF-11, IGF-1, membres de la famille des BMP...) jouent un rôle dans la régénération et la réparation du complexe pulpo-dentinaire^[13].

• Structure

La dentine comprend :

- Les prolongements cytoplasmiques des odontoblastes.
- Les tubules (ou canalicules) dentinaires.
- la dentine péri tubulaire.
- la dentine inter tubulaire.
- Les prolongements cytoplasmiques des odontoblastes, également appelés fibres de Tomes, cheminent.

A l'intérieur des tubules dentinaires, allant de la pulpe jusqu'à la jonction amélo-dentinaire. Seuls les prolongements polarisés de ces cellules pénètrent le tissu minéralisé, leurs corps cellulaires étant situés à l'extérieur de la dentine, dans la pulpe^[8].

L'espace entre la membrane cytoplasmique de ces prolongements et la paroi du canalicule contient le fluide dentinaire, issu du milieu interstitiel pulpaire^[5]. Cette structure canaliculaire confère à la dentine sa perméabilité.

Les canalicules sont, dans l'ensemble, à peu près parallèles les uns aux autres. Leur nombre dépend de la zone dentinaire considérée. On en dénombre plus de 50 000/mm² à proximité de la pulpe, puis 30 000/mm² au niveau du tiers dentinaire médian, et seulement 20 000/mm² en périphérie (**Fig. 2**).

La dentine est donc de plus en plus perméable au fur et à mesure qu'on se rapproche de la pulpe. De plus, en périphérie chaque canalicule a 0,5 µm de diamètre, tandis qu'à proximité de la pulpe, ils sont plus larges (de 2,5 à 3 µm)^[8]. Par ailleurs, la formation de tubules secondaires est observée autour des ramifications des prolongements principaux; ces tubules sont pour la plupart anastomosés avec les tubules voisins^[12].

La dentine péri tubulaire est très minéralisée et recouvre la paroi des canalicules dentinaires^[5]. La sécrétion de dentine péri tubulaire est continue tout au long de la vie de la dent, et peut-être accélérée dans certaines conditions physiopathologiques (agression carieuse, abrasion...) conduisant ainsi à une sclérose dentinaire^[7].

La dentine inter tubulaire sépare les tubules dentinaires les uns des autres, Elle est moins minéralisée^[5].

La composition chimique de ces deux formes de dentine est différente^[7].

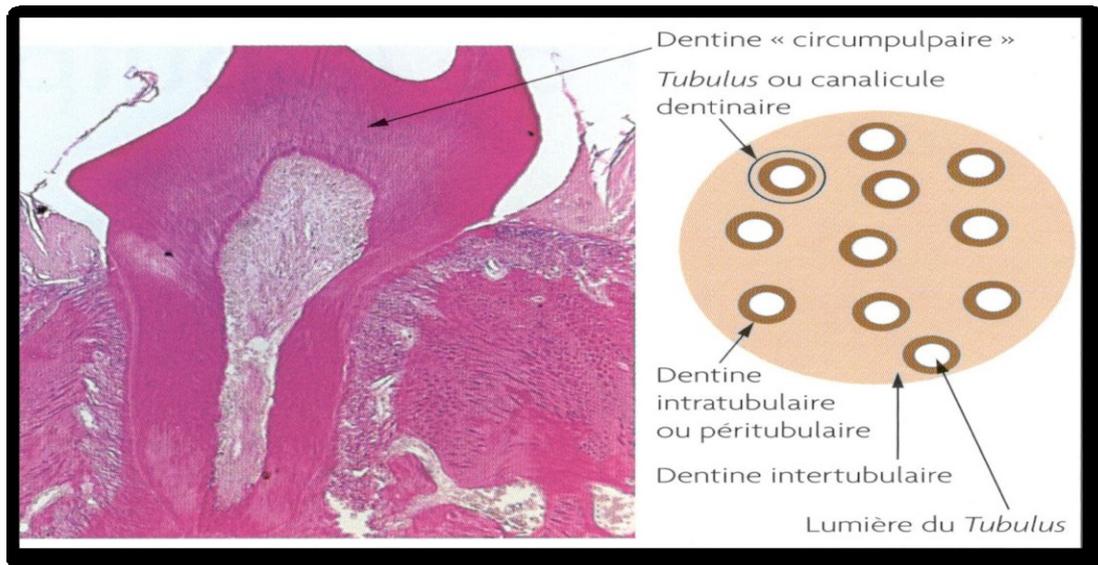


Figure 2: Illustration des variations de densité des canalicules dentinaires^[11]

1.1.1.2. Dentinogénèse

La dentinogénèse correspond à la formation de la dentine par les odontoblastes. Elle comprend deux étapes essentielles^[12]:

- Premièrement, la synthèse et la sécrétion par les odontoblastes de la matrice organique de la dentine. Cette matrice est appelée « pré-dentine ».
- Deuxièmement, le dépôt du minéral sur la pré-dentine.

1.1.1.3. Les différents types de dentines

- Pré-dentine

La pré-dentine est « une matrice organique dentinaire non minéralisée située entre la couche odontoblastique et la dentine minéralisée »^[3]. Elle correspond à l'ensemble des produits de sécrétion des odontoblastes. La transition entre la pré-dentine et

la dentine minéralisée s'appelle le front de minéralisation. Les prolongements cellulaires des odontoblastes traversent la prédentine^[9].

- **Dentine primaire**

La dentine primaire est formée par les odontoblastes dits primaires au cours du développement de la dent, puis jusqu'à édification complète de la racine^[8]. Elle constitue la majeure partie de la dent.

La dentine primaire est constituée du manteau dentinaire et de la dentine circumpulpaire.

• **Manteau dentinaire**

La partie la plus externe de la dentine primaire est non tubulaire et présente une structure histologique particulière : il s'agit de la « mantle dentine » ou manteau dentinaire^[7].

C'est la couche la plus périphérique de la dentine, située au voisinage de la jonction amélo-dentinaire. Elle possède de nombreuses ramifications formées de l'arborescence des prolongements odontoblastiques s'anastomosant entre eux^[5, 11].

• **Dentine circumpulpaire**

La couche interne est appelée dentine circumpulpaire. Elle est située entre le manteau dentinaire et la chambre pulpaire^[5].

La dentine circumpulpaire contient des tubules puisqu'elle est constituée de la dentine inter-tubulaire (entre les tubulis) et péri- ou intra-tubulaire (à l'intérieur du tubulus)^[7].

- **Dentine secondaire**

La dentine secondaire est formée après que la dent ait fait son apparition sur l'arcade pour certains, ou après fermeture apicale pour d'autres, et ce durant toute la vie^[7].

Il s'agit, comme la dentine primaire, d'une dentine physiologique élaborée également par les odontoblastes primaires^[8].

La sécrétion régulière de cette dentine est responsable de la diminution progressive de la lumière canalaire avec l'âge. La réduction du volume endodontique est asymétrique car la dentine secondaire s'accumule en plus grande partie sur le plafond et le plancher de la chambre pulpaire^[7].

La dentine secondaire présente une structure analogue à celle de la dentine primaire, c'est-à-dire une structure tubulaire. Cependant, en raison de la diminution progressive

du volume disponible, le trajet des tubuli est généralement plus irrégulier. De plus, sa vitesse de secretion est plus lente ^[7, 14, 15].

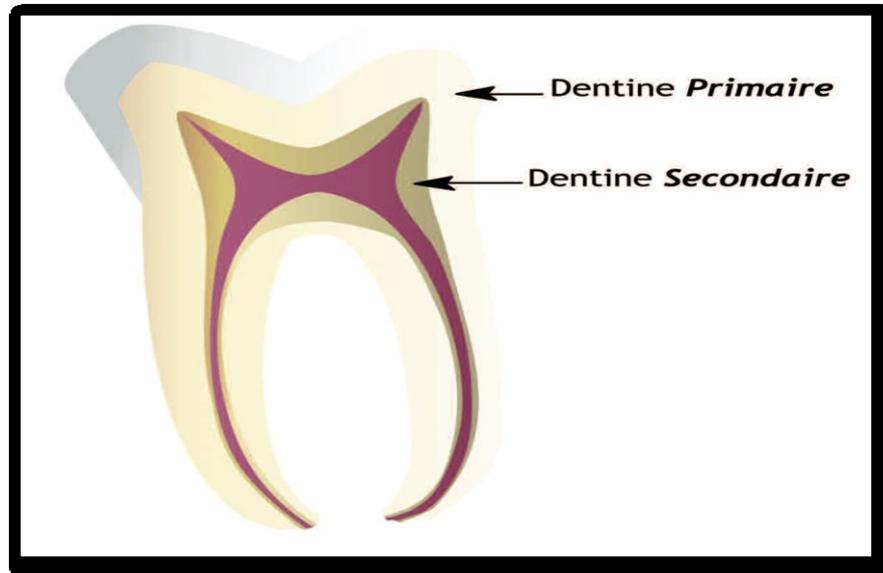


Figure 3: Localisation histologique des deux types de dentines physiologiques ^[11]

- Dentine tertiaire

La dentine tertiaire est formée en réponse à une agression (caries, traumatismes, lésions d'usure...) dans le but de protéger la pulpe sous-jacente ^[7]

La formation de cette dentine tertiaire implique une augmentation de la synthèse de collagène de type I et de l'activité phosphatase alcaline. Ce dépôt formera une masse calcifiée séparée de la dentine physiologique par une ligne calcio-traumatique plus ou moins marquée ^[8]. On distingue deux types de dentines tertiaires, selon l'intensité du stimulus et la nature des lésions induites dans la pulpe ^[7]:

- ✓ Dans le cas d'une agression modérée, c'est-à-dire sans destruction des odontoblastes, la dentine sécrétée est dite réactionnelle,
- ✓ lorsque l'agression est plus importante, et que la palissade odontoblastique est altérée, il s'agit d'une dentine réparatrice.

✓ Dentine réactionnelle

La dentine réactionnelle est élaborée par les odontoblastes préexistants (ou odontoblastes primaires), en réponse à des agressions modérées compatibles avec leur survie. On la retrouve généralement en cas de carie superficielle ou à progression lente.

De type canaliculaire, la dentine réactionnelle se dépose lentement et ressemble à la dentine secondaire physiologique avec laquelle elle est en continuité ^[8].

Les facteurs de croissance tels que le TGF1-1 et le BMP-7, libérés par le tissu dentinaire lors de sa déminéralisation, stimulent les odontoblastes et participent à la formation de cette dentine réactionnelle ^[12]. La fibronectine joue également un rôle important car elle serait capable de moduler le TGF-11 ^[13].

Ces différents facteurs sont considérés aujourd'hui comme une voie de signalisation potentielle dans le processus de cicatrisation pulpo-dentinaire ^[7].

✓ **Dentine réparatrice**

En cas d'agression sévère, par exemple en cas de carie profonde ou d'effraction pulpaire, les odontoblastes primaires sont détruits^[8]. Or, les odontoblastes sont les seules cellules capables de sécréter de la dentine. Lorsqu'elles sont supprimées, la formation de dentine n'est possible que si de nouveaux odontoblastes sont disponibles. Seulement, l'odontoblaste est une cellule différenciée post-mitotique et donc par définition incapable de se diviser pour fournir elle-même une nouvelle cellule sécrétrice^[7].

La formation de dentine réparatrice va donc nécessiter le recrutement de cellules pro génitrices situées au sein du tissu pulpaire, puis leur différenciation en cellules dites odontoblastes-like (également appelées odontoblastes secondaires). Ce processus reste plus complexe que celui de la dentine réactionnelle.

La dentine réparatrice est ainsi élaborée localement par ces odontoblastes de remplacement recrutés au niveau de la zone agressée. Elle présente des caractéristiques différentes de la dentine physiologique. Cette dentine de réparation, édifiée rapidement, est dépourvue de canalicules et peut contenir des inclusions cellulaires ^[8].

C'est cette dentine de réparation que l'on observe suite à un coiffage pulpaire, représentée par un pont dentinaire ^[16].

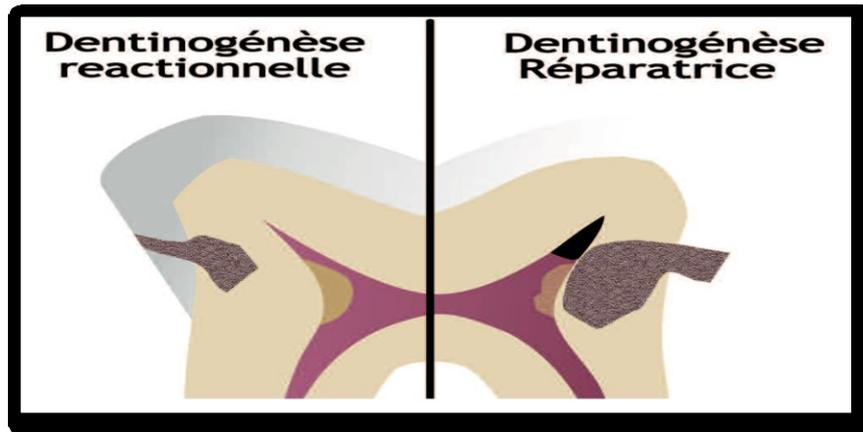


Figure 4: Illustration des deux types de dentine tertiaire^[11]

1.1.2. La pulpe

D'origine mésenchymateuse, la pulpe est le seul tissu non minéralisé de la dent. C'est un tissu conjonctif lâche constitué de différents types cellulaires et d'une matrice extracellulaire. La pulpe possède des structures nerveuses, vasculaires et lymphatiques, et du matériel immunologique ^[8]. Elle assure donc la vitalité ainsi que le potentiel conservateur et régénérateur de la dent.

La pulpe occupe une position centrale au sein de l'organe pulpo-dentinaire. Elle est entourée par de la dentine dans laquelle elle envoie des ramifications. Anatomiquement, la pulpe est ainsi située dans un espace presque totalement clos, inextensible, appelé la cavité pulpaire. Cette cavité est elle-même divisée en deux parties^[8] :

- La chambre pulpaire qui contient la pulpe coronaire,
- et le canal radiculaire qui contient la pulpe radiculaire.

La pulpe est séparée de la dentine par la zone dentinogénétique. Au niveau coronaire, le plafond pulpaire présente des extensions liées à l'anatomie occlusale et qui forment les cornes pulpaires. Au niveau radiculaire, la pulpe est en continuité avec les structures parodontales par le ou les orifices apicaux ^[8].

En plus du canal principal, le tiers apical de la racine contient souvent des canaux accessoires, secondaires ou latéraux qui contiennent des diverticules pulpaires ^[17].

1.1.2.1. Composition

La pulpe est composée en moyenne de 25% de matière organique (cellules et matrice extracellulaire) et de 75% d'eau [8]. Sa composition est liée à ses propriétés : dentinogénétiques, nutritives, sensorielles, vasculaires et défensives [13].

La pulpe vieillissante est moins riche en cellules et contient plus de fibres [8].

1.1.2.2. Structure

La pulpe est classiquement divisée en quatre zones, de la périphérie vers le centre :

- Zone odontoblastique :

La zone odontoblastique est constituée de cellules hautement différenciées, les odontoblastes. Elles sont disposées en palissade à la périphérie de la pulpe, faisant front à la zone de prédentine [7].

Comme il a été évoqué précédemment, les corps cellulaires des odontoblastes sont situés au sein du tissu pulpaire, alors que leurs prolongements cytoplasmiques occupent les tubuli dentinaires et traversent ainsi la dentine jusqu'à la jonction amélo-dentinaire (ou cémento-dentinaire) où ils s'anastomosent avec les prolongements d'autres odontoblastes [9].

Les odontoblastes ont une activité sécrétrice importante : ils sécrètent les précurseurs de la trame organique de la dentine [13].

Les odontoblastes jouent également un rôle protecteur de la pulpe grâce à leur organisation en palissade qui constitue une véritable barrière. Les cellules sont reliées par des jonctions cellulaires étanches de type gap-junction qui sont responsables d'une communication intercellulaire indispensable au processus de cicatrisation pulpaire [18].

- Zone acellulaire de Weil :

La couche de Weil est située sous les odontoblastes. D'environ 40 µm d'épaisseur, elle est surtout apparente au niveau des cornes pulpaires. Cette zone ne présente pas d'éléments cellulaires si ce n'est quelques prolongements de cellules de la région pulpaire centrale. On y retrouve les branches terminales des fibres nerveuses ainsi que les anses vasculaires terminales [13].

- **Couche de Höehl :**

La couche de Höehl est une zone de faible épaisseur et riche en cellules. Elle contient des fibroblastes et des cellules dendritiques de défense. Mais on y trouve également des cellules indifférenciées appelées cellules de Höehl. Ces cellules, retrouvées le plus souvent à proximité des vaisseaux, possèdent un potentiel de différenciation en odontoblastes lors de situations pathologiques ^[13].

- **Zone centrale :**

La zone centrale correspond au tissu pulpaire proprement dit. Elle contient la majorité des vaisseaux et des fibres nerveuses de la pulpe, la matrice extracellulaire, ainsi que des fibroblastes, des cellules mésenchymateuses indifférenciées, des cellules de défense^[8].

Avec la sénescence pulpaire, les fibroblastes sont progressivement remplacés par des fibrocytes ayant une activité métabolique réduite. De plus, le nombre de cellules indifférenciées diminue ce qui affecte le potentiel réparateur de la pulpe ^[8].

✓ **Cellules de la zone centrale pulpaire**

▪ **Fibroblastes**

Les fibroblastes forment la principale population cellulaire de la pulpe. Leur rôle est de synthétiser les différents éléments constitutifs de la matrice extracellulaire. Mais en plus de la formation et du renouvellement de la matrice extracellulaire, ils sont également responsables de sa destruction contrôlée ^[7].

De plus, les fibroblastes peuvent synthétiser des cytokines en réponse à divers stimuli. Après agression, ils sont aussi impliqués dans la cicatrisation des lésions pulpaires, avec par exemple la sécrétion de facteurs angiogéniques ^[19].

▪ **Cellules indifférenciées**

Des cellules indifférenciées ont été mises en évidence au sein du stroma pulpaire, le plus souvent à proximité des vaisseaux. Ce groupe concerne les cellules souches mésenchymateuses, ou cellules pro génitrices, également appelées « Dental Pulp Stem Cells » ^[20]. Elles sont présentes initialement dans la pulpe ou peuvent y migrer à partir d'autres tissus, dont la moelle osseuse ^[8]. Ces cellules sont les précurseurs de cellules

différenciées. Ainsi, en fonction des besoins ou des modifications du milieu, elles pourraient se transformer soit en odontoblastes, soit en fibroblastes^[8].

La découverte de ces cellules dites «cellules souches post-natales» est donc particulièrement intéressante pour les investigations sur le processus de réparation pulpaire.

▪ **Cellules de défense**

De nombreuses cellules de défense immunocompétentes ont été identifiées dans le tissu pulpaire, même en condition physiologique^[21], Principalement retrouvées autour des vaisseaux, elles sont de trois types :

- Les macrophages,
 - les cellules dendritiques,
 - les lymphocytes, mastocytes et plasmocytes.
- **Macrophages** : Les macrophages ingèrent les corps étrangers et les éléments tissulaires lésés par phagocytose ou endocytose, et présentent les antigènes aux lymphocytes pour activer la réponse immunitaire^[13].

Ces cellules phagocytaires participent ainsi à la surveillance immunitaire de la pulpe et permettent de répondre rapidement à toute agression bactérienne. Leur rôle est d'éliminer les résidus nécrotiques et les bactéries présents en phase inflammatoire^[7].

- **Cellules dendritiques** : Les cellules dendritiques sont des cellules présentatrices d'antigènes, très mobiles, et avec une faible capacité de phagocytose. Elles sont particulièrement nombreuses dans la couche sous-odontoblastique de Höehl et autour des vaisseaux sanguins^[13].

Les cellules dendritiques forment un réseau par l'intermédiaire de leurs dendrites. Elles interagissent avec les vaisseaux sanguins mais aussi avec les fibres nerveuses. Elles capturent les antigènes et migrent vers les ganglions lymphatiques où elles les présentent aux lymphocytes. Ces lymphocytes activés retournent ensuite vers la pulpe lésée où ils assurent une « veille immunologique » en cas de représentation de ces mêmes antigènes^[21].

- **Lymphocytes** : Les lymphocytes sont responsables de la réponse immunitaire spécifique. Leur présence dans la pulpe saine indique que le tissu pulpaire peut être le siège de l'initiation d'une réaction immunitaire ^[22].

▪ **Cellules endothéliales**

Les cellules endothéliales tapissent les vaisseaux sanguins et assurent le maintien de la vascularisation et de la fonction circulatoire. Elles sont dynamiques et ont la capacité de conduire des métabolites. Elles participent au système de l'hémostase, au contrôle du tonus vasculaire, et à la diapédèse des leucocytes. Ainsi elles jouent un rôle clé dans les réactions immunitaires et inflammatoires en régulant les mouvements des leucocytes, mais également des lymphocytes, au sein de la pulpe dentaire ^[23].

Les cellules souches endothéliales persistent tout au long de la vie adulte, permettant la formation de nouveaux vaisseaux tant que la pulpe est vitale, mais également lors des états pathologiques ^[23].

✓ **Matrice extracellulaire**

La matrice extracellulaire est constituée d'une substance fondamentale au sein de laquelle sont réparties des fibres de collagène. Elle permet le maintien de l'hydratation par stockage des molécules d'eau. Elle assure le transit des métabolites, des nutriments, des débris cellulaires, entre les vaisseaux et les cellules pulpaires ^[24].

La matrice extracellulaire joue un rôle structurel et aussi un rôle informatif majeur de l'état physico-chimique de la pulpe.

Sa viscosité varie dans le temps, amenant à une fibrose au cours du vieillissement. De plus, sa viscoélasticité permet à la pulpe de s'adapter à d'éventuelles variations de pression modérées inhérentes à des processus inflammatoires ^[7].

▪ **Substance fondamentale**

La substance fondamentale correspond à un gel colloïdal, c'est-à-dire un milieu aqueux lié à des complexes protéino-saccharidiques. Elle contient des glyco-amino-glycanes, des glycoprotéines (fibronectine), de l'élastine et des métallo-protéases matricielles ^[6].

La substance fondamentale supporte les cellules. Des altérations dans sa composition réduiront la fonction cellulaire et peuvent entraîner une minéralisation ^[6].

- **Glyco-amino-glycanes** : Les glyco-amino-glycanes représentent plus de la moitié des protéines matricielles pulpaire et ont pour rôle principal d'assurer la rétention d'eau dans la pulpe [8].

- **Glycoprotéines** : Principalement représentées par la fibronectine, les glycoprotéines jouent un rôle dans la liaison des fibroblastes au réseau fibrillaire collagénique.

La fibronectine possède des sites de fixation pour le collagène, les glyco-amino-glycanes et plusieurs molécules d'adhésion cellulaire. Elle permet ainsi la fixation des cellules à la matrice extracellulaire et l'adhésion des cellules entre elles. De plus, elle a un rôle dans le maintien de la morphologie spécifique des odontoblastes, dans leur différenciation terminale et dans les interactions entre ces cellules [22].

- **Elastine** : Liée aux vaisseaux, l'élastine assure l'élasticité des parois vasculaires [13].

- **Métallo-protéases matricielles** : De nature enzymatique, les métallo-protéases matricielles jouent un rôle de dégradation des protéines extracellulaires. Elles participent donc aux processus de remodelage de la pulpe normale et aux phénomènes inflammatoires et cicatriciels [8].

▪ **Collagène**

Le collagène représente environ 34% de l'ensemble des protéines de la pulpe. Il est synthétisé par les fibroblastes pulpaire. Les fibres collagéniques ont un rôle de soutien de la structure tissulaire. On retrouve essentiellement des fibres composées de collagène de types I et III. C'est dans la portion apicale de la pulpe que la matrice collagénique est la plus dense [8].

La quantité de collagène augmente avec l'âge dans la pulpe [13].

1.1.2.3. Vascularisation pulpaire

✓ **Vascularisation sanguine**

La pulpe est un tissu très bien vascularisé. Environ 5% du volume pulpaire est occupé par les vaisseaux [8].

Les artérioles, issues des branches dentaires des vaisseaux alvéolaires supérieurs et inférieurs, pénètrent dans le canal radiculaire par l'orifice apical. A partir de cet orifice, une arborescence s'installe : les artérioles se ramifient et se divisent en capillaires. Les vaisseaux aboutissent ainsi à un réseau capillaire dense sous-odontoblastique [8].

La paroi de ces capillaires est fine, avec une présence discontinue de cellules endothéliales et des fenestrations. Cette configuration améliore la diffusion des nutriments vers les odontoblastes et intervient dans la régulation de l'inflammation pulpaire [8]. Ces structures vasculaires servent à l'échange de substances (protéines, nutriments, déchets) entre la circulation sanguine et la substance fondamentale interstitielle [6].

Le retour veineux est assuré par des veinules post-capillaires qui se regroupent pour former des veinules collectrices cheminant dans la partie centrale du canal radiculaire, au voisinage des artérioles. Les veinules et les lymphatiques sortent de la pulpe dentaire par le foramen apical [13].

Le réseau vasculaire pulpaire présente des anastomoses artério-veineuses court-circuitant une partie du réseau capillaire. Cette configuration permet d'isoler une zone altérée du reste de la pulpe saine lors de processus inflammatoires [13]. Elle permet également une régulation du débit et de la pression intra-pulpaire [8].

✓ **Lymphatiques**

Les vaisseaux lymphatiques présents dans la pulpe forment un réseau de capillaires lymphatiques se terminant dans la zone sous-odontoblastique. Ils sont chargés d'évacuer les exsudats en dehors de la pulpe et participent ainsi au maintien d'une balance équilibrée des fluides pulpaires [8]. Le drainage se fait vers les ganglions sous-mentonniers et sous-maxillaires puis vers les ganglions cervicaux. Les lymphatiques pulpaires jouent également un rôle dans la mise en place des réactions inflammatoires et anti-infectieuses par l'intermédiaire des lymphocytes ganglionnaires.

1.1.2.4. Innervation pulpaire

La pulpe présente une riche innervation composée par les fibres nerveuses afférentes et efférentes des systèmes sensoriel et autonome. Elles pénètrent et sortent de la pulpe par le foramen apical, en suivant le trajet des vaisseaux sanguins avec lesquels elles forment le paquet neuro-vasculaire [8].

L'innervation pulpaire est le support de la transmission des messages douloureux perçus par la dent au système nerveux central. Elle contrôle ainsi la formation de dentine et les réponses inflammatoires et cicatricielles du complexe pulpo-dentinaire [8].

✓ **Fibres vaso-motrices**

Les fibres vaso-motrices sont issues du système nerveux autonome. Elles régulent le débit sanguin et assurent le tonus vaso-moteur pulpaire. On distingue les fibres adrénérgiques (vaso-constrictives) et colinérgiques (vaso-dilatatrices)^[8].

✓ **Fibres sensibles**

Les fibres sensibles pulpaires sont issues des nerfs alvéolaires maxillaire et mandibulaire (V2 pour les dents maxillaires, V3 pour les dents mandibulaires). Elles pénètrent dans la dent par le foramen apical et cheminent dans la zone centrale de la pulpe radiculaire où elles ne projettent que peu de ramifications. Les fibres sensibles se dispersent ensuite en arborescence dans la partie coronaire de la pulpe^[6].

Les fibres myélinisées perdent peu à peu leur gaine de myéline, et leurs terminaisons à la périphérie sont toutes amyéliniques formant un réseau dense sous-odontoblastique : Le plexus de Raschkow^[13].

Ces terminaisons nerveuses pulpaires sont des récepteurs spécifiques de la douleur. Elles présentent des contacts étroits avec les odontoblastes, et certaines d'entre elles se prolongent dans la prédentine, voire même dans les canalicules dentinaires. Elles ne s'étendent jamais jusqu'à la jonction amélo-dentinaire.

On distingue deux types de fibres sensibles pulpaires : les fibres A, myélinisées, et les fibres C, non myélinisées. Ces fibres sont responsables de la transmission de la douleur:

- Les fibres A, principalement A2, ont une vitesse de transmission élevée et sont responsables de la douleur épicritique de type aiguë ;
- les fibres C ont un seuil d'excitation plus élevé et une conduction moins rapide. Elles transmettent les messages douloureux protopathiques, par exemple dans un contexte inflammatoire^[8].

1.1.3. La sénescence du complexe pulpo-dentinaire

1.1.3.1. Sclérose dentinaire :

La dentinogenèse est un phénomène continu puisque les odontoblastes assurent leur fonction de synthèse durant toute la vie de la dent. L'apposition continue de dentine secondaire aboutit ainsi à une réduction progressive du volume pulpaire. On observe un

retrait des odontoblastes dont le nombre décroît petit à petit. Avec le vieillissement, les canalicules déshabités s'oblitérent : c'est ce que l'on appelle la sclérose dentinaire^[8].

1.1.3.2. Sénescence pulpaire

La sénescence pulpaire est un processus physiologique qui se traduit, comme nous venons de le voir, par une diminution du volume pulpaire, mais également par une diminution du nombre de cellules actives^[8]:

- Les fibroblastes évoluent en fibrocytes, cellules aux activités métaboliques réduites,
- le nombre des odontoblastes primaires diminue,
- la population des cellules indifférenciées diminue aussi ce qui affecte le potentiel réparateur de la pulpe.

Lors du vieillissement, les fibres de collagène s'accumulent tandis que la densité vasculaire diminue. Les structures nerveuses deviennent irrégulières. La sensibilité dentinaire est réduite et l'hémorégulation est affectée, ce qui augmente le risque de nécrose pulpaire^[8].

L'ensemble des modifications survenant au cours du vieillissement pulpaire entraîne une diminution des capacités de défense de la pulpe^[9].

La similitude évidente des réactions pulpaires face à une irritation et au cours du vieillissement physiologique doit être soulignée. Chaque fois qu'une dent est l'objet d'une agression, la pulpe subit une inflammation qui entraîne un vieillissement prématuré du tissu et une diminution de ses capacités de défense ultérieure^[25]

1.2. Physiopathologie du complexe pulpo-dentinaire

1.2.1. Les différents types d'agressions

1.2.1.1. D'origine bactérienne

La principale agression du complexe pulpaire est d'origine bactérienne. La lésion carieuse en progressant, se rapproche de la pulpe et provoque une inflammation soit par contact direct soit par passage de toxines à travers les tubulis dentinaires.

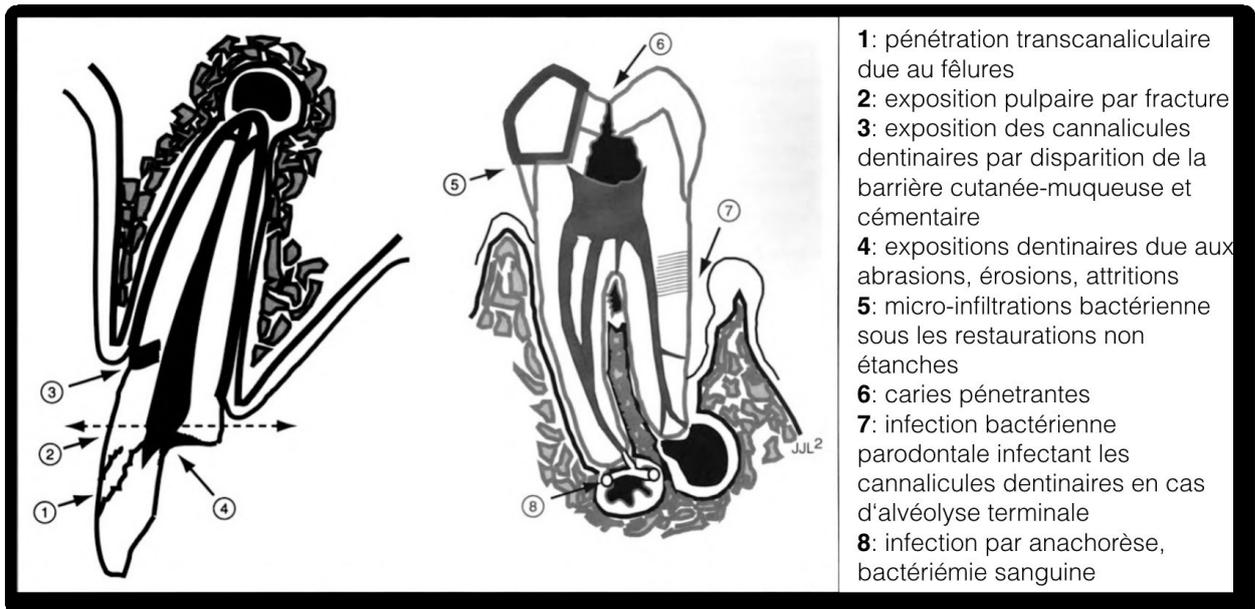


Figure 5: Schéma montrant les différentes voies de pénétration bactérienne^[20]

1.2.1.2. D'origine traumatique

La dent n'ayant pas un module d'élasticité très important, celle-ci peut se fêler voir se fracturer. Cela peut se produire au moment d'un choc violent ou après la répétition de plusieurs microtraumatismes (onychophagie, bruxisme, ou autres tics et para fonctions). Une fêlure peut alors apparaître au niveau de l'émail et se poursuivre jusque dans la dentine voire la pulpe. Dans les cas les plus complexes, une fracture peut survenir et exposer la pulpe au milieu extérieur. Les bactéries ou les toxines peuvent ainsi pénétrer dans la dent et provoquer une inflammation de la pulpe.

1.2.1.3. D'origine iatrogène

Lors de l'éviction carieuse, l'opérateur peut être agressif vis à vis de la pulpe. L'instrumentation rotative provoque des vibrations et des augmentations de température de la pulpe, lesquelles peuvent être particulièrement délétères^[26].

En 1965, Zach et collont montré qu'une élévation de la température de 11°C de la pulpe chez le singe peut entraîner des nécroses dans 60% des cas^[27].

Le séchage trop prononcé par spray d'air de la cavité peut également provoquer une aspiration des noyaux odontoblastiques dans les tubulis dentinaires et ainsi engendrer une agression pulpaire irréversible^[28].

Il est important de rappeler qu'il faut sécher la cavité sans assécher. Cette notion est très subjective. Il pourrait être intéressant de remplacer le spray d'air par l'application d'une boulette de coton afin d'éviter ce phénomène ^[29]

Enfin, au moment de la polymérisation de certains matériaux, il se produit une élévation de la température non négligeable ^[30].

Il faut donc respecter les protocoles et éviter toute sur- polymérisation qui pourrait être nocive.

1.2.2. Les réactions du complexe pulpo-dentinaire face à une agression

Face à toute agression, le complexe dentino-pulpaire met en place une réaction de défense. La pulpe réagit par l'établissement d'une réaction inflammatoire comme tout autre tissu conjonctif. Cette inflammation peut avoir lieu dès que les extrémités des canalicules dentinaires sont atteintes. Cependant, grâce à son pouvoir de défense et d'adaptabilité, toute modification histologique ne s'accompagne pas forcément de manifestation clinique ^[31]

La cavité pulpaire inextensible et la circulation collatérale inexistante, constituent des éléments défavorables au bon déroulement de la réaction inflammatoire.

Comme toutes réactions inflammatoires, la réponse pulpaire est caractérisée par un stade vasculaire conduisant à une vasodilatation et à une augmentation de la perméabilité capillaire. Ce stade correspond à l'hyperhémie pulpaire qui est réversible.

Cette réponse reste localisée à la zone sous odontoblastique en regard de l'agression grâce à la viscoélasticité de la matrice extra cellulaire et à un système de transport de fluides issus de la zone enflammée. Si l'irritation n'est pas supprimée, une inflammation aigue se met en place.

Par la suite, le temps cellulaire se caractérise par une migration massive des cellules de la lignée blanche et par une infiltration tissulaire prédominante de leucocytes éosinophiles et de polynucléaires neutrophiles. Des foyers inflammatoires aigus, véritables concentrations de polynucléaires, peuvent apparaître formant des micro-abcès. A leur proximité, la couche odontoblastique est très perturbée et parfois totalement détruite^[32]. Dans les premiers stades des poussées aiguës, un phénomène

de projection des noyaux odontoblastiques dans les tubulis dentinaires est toujours observé.

Le but premier de cette réaction est d'éliminer l'agent agresseur et permettre la réparation du tissu. Si l'inflammation n'est pas résolue, celle-ci peut devenir chronique ou s'exacerber et s'étendre à l'ensemble du tissu pulpaire et provoquer sa nécrose.

Cette notion de localisation de l'inflammation est la base primordiale pour toutes les techniques de conservation et d'amputation de la pulpe.

A l'inverse, dès que l'inflammation est généralisée, la cicatrisation du tissu n'est plus envisageable, il faudra donc réaliser le traitement endodontique.

Parallèlement à ce processus, la déminéralisation du tissu s'accompagne d'une libération de molécules initialement séquestrées dans la dentine [33]. Au sein de ces substances, se trouvent de nombreux facteurs de croissance et notamment ceux de la famille du TGF β [34]. Ces facteurs libérés, pourraient cheminer à travers les tubulis vers le parenchyme pulpaire et déclencher une réaction odontoblastique [35].

La stimulation des odontoblastes permettrait la sortie de leur phase quiescente et favoriserait la sécrétion de dentine tertiaire réactionnelle. Le dépôt de dentine tertiaire réactionnelle en regard de l'agression s'effectue toujours au détriment de la pulpe et à l'intérieur des tubulis dentinaires réduisant ainsi la perméabilité dentinaire.

Le début de cette réponse calciotraumatique peut être observé par la formation d'une ligne hyper chromatique emprisonnée dans la dentine réactionnelle [32]. Cela fait de la pulpe dentaire le seul tissu conjonctif capable d'avoir un autre moyen de protection qu'une simple inflammation [36, 37].

La synthèse de dentine tertiaire permet également de protéger la pulpe. Malgré cela, sans intervention, l'agression continue sa progression, l'inflammation chronique devient alors aiguë et l'on observe une zone de nécrose superficielle qui s'étendra à l'ensemble du tissu.

1.2.3. Les moyens d'évaluations de l'état pulpaire

- **Les tests de sensibilité pulpaire**

Les tests de sensibilité pulpaire correspondent aux tests thermiques et électriques. Ils consistent à appliquer un stimulus sur la dent et à apprécier la réponse sensorielle et ainsi extrapoler l'état pulpaire.

Pour réaliser le test au froid, l'opérateur applique une boulette de coton refroidie sur la dent après l'avoir sécher préalablement.

Pour réaliser le test au chaud, l'opérateur chauffe un cône de gutta qu'il met en contact avec la dent (vaselinée pour éviter de coller le cône).

Le test électrique se fait grâce à l'application d'un courant électrique sur la dent par l'intermédiaire d'électrodes placées sur la dent et sur la lèvre.

Dans tous les cas, ces tests sont dits comparatifs. Il faut donc tester d'autres dents pour avoir un contrôle positif. Ces tests peuvent être à l'origine de faux positifs et faux négatifs^[38].

Ces tests restent subjectifs car ils dépendent de la perception du patient au stimulus et de l'interprétation de l'opérateur à la réaction du patient^[38]. Néanmoins, ces tests sont facilement applicables au cabinet, et largement répandus.

- **Les tests de vitalité pulpaire**

Pour pallier les problèmes des tests de sensibilité, des tests évaluant la vascularisation (critère important pour évaluer l'état de santé de la pulpe) de la pulpe ont été mis au point.

Il existe trois types de tests de vitalité pulpaire :

- L'oxymétrie pulsatile évalue la saturation en oxygène du sang artériel. Cette technique reste encore en expérimentation et nécessite plus de reproductibilité^[39].
- La spectrophotométrie à double longueur d'onde examine les différents changements d'oxygénation au niveau des capillaires. Elle est utile pour déceler la nécrose pulpaire et le statut inflammatoire pulpaire^[40].
- La fluxmétrie laser Doppler est un moyen d'investigation de la vitalité pulpaire semi quantitative non invasif^[41]. Elle mesure le flux de cellules sanguines pulpaires à partir de l'émission d'un faisceau monochromatique. Elle permet de diagnostiquer la nécrose pulpaire à un stade précoce. Cependant, cette méthode

nécessite un temps d'enregistrement relativement long (1h) et reste très onéreuse.

Ces tests de vitalité sont difficilement réalisables dans l'exercice quotidien et les tissus parodontaux peuvent nuire au résultat. De plus, leur fiabilité et leur précision doivent être améliorées.

Ainsi, il faut admettre que les tests de sensibilités ainsi que le sens clinique du praticien sont suffisants pour appréhender l'état pulpaire de la dent concernée.

2. Les techniques de conservations et d'amputations du complexe pulpo-dentinaire

2.1. Le coiffage pulpaire indirect

2.1.1. Définition et objectifs

Le coiffage pulpaire indirect est la technique la moins invasive des thérapeutiques dites pulpaires. Elle correspond à la mise en place d'un matériau de protection pulpaire en regard de la pulpe sur de la dentine saine après éviction carieuse complète. Il s'effectue lorsque l'épaisseur de dentine résiduelle est fine et qu'une inflammation de la pulpe est soupçonnée.

Dans les cavités les plus profondes pour lesquelles l'épaisseur du plancher pulpaire est inférieure à 0,5 mm, le nombre et la taille des tubuli « ouverts » est tel, que la communication avec le parenchyme pulpaire est comparable à celle d'une exposition vraie^[42].

Le matériau aura donc pour objectif de protéger les odontoblastes primaire si ces derniers n'ont pas été précédemment détruits et de promouvoir la formation de dentine tertiaire^[43].

Les propriétés physico-chimiques du matériau devront aussi permettre de détruire les derniers germes restants^[44]

2.1.2. Indications/ contre-indications

• Indications

L'indication de toutes techniques de conservation de la vitalité pulpaire repose principalement sur l'état biologique pulpaire préopératoire.

Cette technique peut être réalisée dans plusieurs situations cliniques, lors:

- De carie profonde juxta pulpaire.
- De fracture amélo-dentinaire sans exposition pulpaire.
- De test de sensibilité pulpaire positif. (dent asymptomatique ou en pulpite réversible).
- De pose du champ opératoire possible.
- D'absence de lésion péri radiculaire.
- De restauration coronaire sur le long terme possible.
- D'une étanchéité coronaire réalisable ^[45].
- D'un suivi du patient possible.
- De la motivation du patient (bonne hygiène buccodentaire).

- **Contre-indications**

Plusieurs éléments contre indiquent le coiffage pulpaire indirect :

- Un test de sensibilité négatif (nécrose)
- Un test de sensibilité positif (pulpite irréversible)
- Une perte de substance trop importante, nécessitant un ancrage radiculaire

Aucune pathologie générale n'interdit le coiffage pulpaire indirect puisque sans exposition pulpaire le risque de bactériémie est inexistant.

2.1.3. Mécanisme d'action

Lors d'une atteinte tissulaire importante, les odontoblastes de première génération sont à l'état quiescent et peuvent être réactivés ou disparaître à cause de l'agression.

En cas de destruction de la couche odontoblastique le recrutement de cellules pro génitrices est nécessaire afin de former une nouvelle couche cellulaire.

Le protocole opératoire mis en place a donc pour objectif de favoriser le recrutement ou de permettre la sortie de la phase quiescente des odontoblastes de première génération.

2.1.4. Protocoles opératoires et cas cliniques

Les différentes étapes sont :

La réalisation d'un bilan biologique et radiologique Avant de commencer tout

traitement, il est impératif d'établir le bilan biologique de la pulpe. Pour cela, le test au froid reste la référence malgré ses limites. Il faut aussi s'appuyer sur l'historique de la dent, c'est à dire les sensations ressenties par le patient mais aussi les différents agressions et traitements qu'a pu subir la dent et pouvant compromettre la thérapeutique. En effet, les agressions répétées sur la pulpe diminuent son potentiel réparateur ^[46].

Une radiographie rétro-coronaire de la dent permet d'estimer le volume de la lésion mais aussi la proximité avec la pulpe (élément essentiel dans le choix de la technique).

- L'anesthésie, du fait de la vitalité de la dent, il convient de réaliser une anesthésie para apicale ou loco régionale pour le confort du patient.
- La pose du champ opératoire, afin d'éviter toute contamination, il est indispensable que la dent soit isolée à l'aide d'une digue ^[47].

Le champ opératoire forme une barrière physique contre plusieurs agents agressifs, permettant des conditions d'asepsie optimale tout au long du soin ^[48]. Pour le patient, elle évite la contamination du site par la salive ou le sang, mais évite aussi le passage de liquide de rinçage, de désinfectant ou de bactéries dans le reste de la cavité buccale.

Il permet également de supprimer toute contamination par l'humidité ^[49] et donc d'optimiser les propriétés des matériaux ^[50].

- L'éviction carieuse, une fois placé dans ces conditions optimales, l'opérateur peut commencer la préparation de la cavité. Celle-ci peut s'effectuer de différentes manières : soit en éliminant tout le tissu infecté, soit en laissant volontairement une partie du tissu infectée (stepwise excavation).
- Pour de meilleurs résultats, le coiffage pulpaire indirect nécessite une élimination complète, Dans un premier temps, un accès à la lésion doit être réalisé en éliminant le mur amélaire. Pour cela, une fraise diamantée montée sur turbine (400 000 tours/minutes) est idéale.
- L'élimination de la dentine infectée se fera à l'aide d'une fraise en carbure de tungstène ou céramique montée sur contre angle à faible vitesse. (1000-1500

tours/min). Cette préparation mécanique n'est pas sans risque, il est donc important de la réaliser sous spray d'eau abondant^[51]

De plus, les vibrations engendrées par le contact de la fraise peuvent eux aussi être particulièrement nocives. Il peut être intéressant de finir la préparation avec un excavateur, ce qui permettra de limiter le risque d'exposition pulpaire en cas d'épaisseur dentinaire très fine.

La désinfection de la cavité, afin de supprimer au maximum l'agent agresseur, une désinfection de la cavité est réalisée afin de supprimer les germes mis en suspension lors de la préparation. L'hypochlorite de sodium dosé entre 2 et 6% et utilisé depuis très longtemps en endodontie, est connu pour ses propriétés bactéricides^[52], il permet le nettoyage des copeaux de dentine, l'élimination du biofilm, et la désinfection de l'interface de la cavité.

Malgré ce fort potentiel désinfectant, l'hypochlorite de sodium ne semble pas provoquer de dommages pulpaires et n'affecte pas le taux de succès du coiffage pulpaire^[52].

La Chlorhexidine est un agent anti bactérien, bactériostatique. Son spectre s'étend sur les bactéries Gram+ et Gram-. De plus, il est très efficace sur *Streptococcus mutans*, l'une des principales bactéries de la carie. Il permet ainsi de désactiver les bactéries restantes et les métallo protéases pouvant interférer avec le collage^[53]. Le di gluconate de Chlorhexidine à 2% est la forme la plus couramment utilisée.

Enfin, l'EDTA peut aussi être utilisée. Cette solution reconnue pour son aptitude à dissoudre la phase minérale, permettrait une dissolution superficielle de la dentine, l'élimination des copeaux de dentine, la libération des facteurs de croissance et une stimulation induite des odontoblastes^[54, 55]. La capacité désinfectante de l'EDTA résulte donc d'une action indirecte.

La cavité est ensuite rincée au sérum physiologique et séchée à l'aide d'une boulette de coton stérile afin d'éviter toute lésion pulpaire^[56].

- Le choix et la mise en place du matériau de coiffage, tout dépend de la situation clinique et des préférences de celui-ci. La mise en place du matériau s'effectue selon les recommandations du fabricant.
- L'obturation temporaire et définitive, il existe plusieurs procédures opératoires:

- En un temps : le matériau est placé puis retouché si nécessaire. Le praticien réalisera ensuite l'obturation définitive dans la même séance.
- En deux temps : mise en place du matériau en fond de cavité puis mise en place de l'obturation temporaire. (Certains matériaux peuvent servir d'obturation temporaire comme la Biodentine). Cette temporisation varie de 3 semaines à 6 mois. Elle est dépendante du type de matériau utilisé. Lors du deuxième rendez-vous, le praticien va réévaluer la sensibilité de la dent, et choisir à la meilleure solution thérapeutique pour restaurer la dent sur le long terme (résine composite, onlay ou couronne). Il s'assurera au moment de la préparation de la dent de laisser suffisamment d'épaisseur de matériau de coiffage. Cependant, cette méthode peut engendrer une contamination au moment de la dépose de la restauration temporaire ^[57].
- Le suivi post opératoire du patient à moyen terme (entre 3 et 6 mois) et long terme est indispensable afin de s'assurer de la réussite du traitement. Lors des visites de contrôle, le praticien vérifie la sensibilité de la dent afin d'apprécier l'évolution de l'état pulpaire. Il est impératif de réaliser un cliché radiologique afin d'observer la formation de dentine tertiaire.

2.2. Le coiffage pulpaire direct

2.2.1. Définition et objectif

Le coiffage pulpaire direct correspond à la mise en place d'un matériau sur la plaie de la pulpe vivante exposée. Le matériau utilisé doit isoler la pulpe du milieu extérieur et permettre le recrutement de nouveaux odontoblastes afin de créer une barrière dentinaire, (dentine réparatrice).

2.2.2. Indications/ contre-indications

• Indications

Tout comme le coiffage indirect, la pulpe doit être dans un état de pulpite réversible. Dans le cas d'une exposition pulpaire, celle-ci doit rester limitée dans l'espace afin de placer le matériau de coiffage dans de bonnes conditions. La plaie pulpaire doit être inférieure à 0,5 mm ^[58].

Si l'exposition pulpaire survient lors d'un trauma, il faut faire au plus vite pour obturer la plaie afin d'éviter une trop grande contamination bactérienne pouvant engendrer une inflammation pulpaire irréversible. Il est convenu que ce temps est au maximum de 24 heures ^[59].

- **Contre-indications**

- **Générales** : Même si dans les textes, la Haute Autorité de Santé n'émet aucune recommandation, l'exposition de la pulpe au milieu extérieur peut provoquer une Nécrose pulpaire et une bactériémie. Ce type de traitement est donc contre indiqué chez les patients à haut risque infectieux. Dans ces cas-là, il est nécessaire de réaliser le traitement endodontique en une seule séance sous antibioprofylaxie.

- **Locales** : Si l'hémostase ne peut être obtenue au bout de 2 à 3 minutes, cela révèle une inflammation plus importante de la pulpe, laquelle nécessitera une thérapeutique plus invasive. La présence de calcifications intra pulpaires contre-indique également le coiffage pulpaire direct.

2.2.3. Protocole opératoire et cas cliniques

Le protocole opératoire du coiffage pulpaire direct reprend les différentes étapes du coiffage pulpaire indirect, une attention particulière doit être portée au moment de l'éviction carieuse et de la désinfection de la cavité.

En effet, l'exposition pulpaire provoque un saignement plus ou moins important qu'il soit impératif de stopper.

La technique conventionnelle pour obtenir l'hémostase de la plaie s'effectue par l'application d'une boulette de coton stérile sèche ou imbibé de sérum physiologique

directement au contact de la plaie pendant 2 à 3 minutes ^[52].

Si l'hémostase ne peut être obtenue dans un temps raisonnable (entre 5 et 10 minutes) cela signifie que l'inflammation pulpaire est plus étendue que prévue et le potentiel de réparation de la pulpe à cet endroit ne sera pas suffisant. Il faudra donc envisager une autre technique plus invasive comme la pulpotomie.

Plusieurs agents hémostatiques existent sur le marché tel que le sulfate ferrique, du Tubulicid (dental therapeutic®), Concepsis (Ultradent®), de l'eau oxygénée, et de l'hypochlorite de sodium.

Cette dernière possède d'excellentes propriétés désinfectantes et s'avère être un bon agent hémostatique. Elle permet ainsi le nettoyage des cellules lésées présentes à la périphérie de la pulpe sans provoquer de dommages aux cellules des couches plus internes.

Demir et Coll ont montré dans une étude clinique que le taux de succès est plus important quand l'hémostase est réalisée avec de l'hypochlorite de sodium^[60]

Au cours d'une autre étude clinique, Matsuo et coll. ont décrit l'importance primordiale de la désinfection qui influence directement le résultat final. Selon eux, l'obtention de l'hémostase est plus importante que d'autres facteurs comme l'âge du patient, le diamètre de l'exposition pulpaire ou le type de dent^[57]

La désinfection à l'hypochlorite peut donc être recommandée comme une méthode prédictible et sûre dans l'obtention de l'hémostase et de la désinfection de la cavité^[52]

Dans cette situation, le tissu pulpaire inflammatoire n'est pas éliminé et par conséquent la réaction inflammatoire n'est pas toujours contrôlée. S'il s'avère que le stade inflammatoire est trop avancé, un échec de traitement est observé se traduisant par une pulpite irréversible ou par la nécrose à bas bruit.

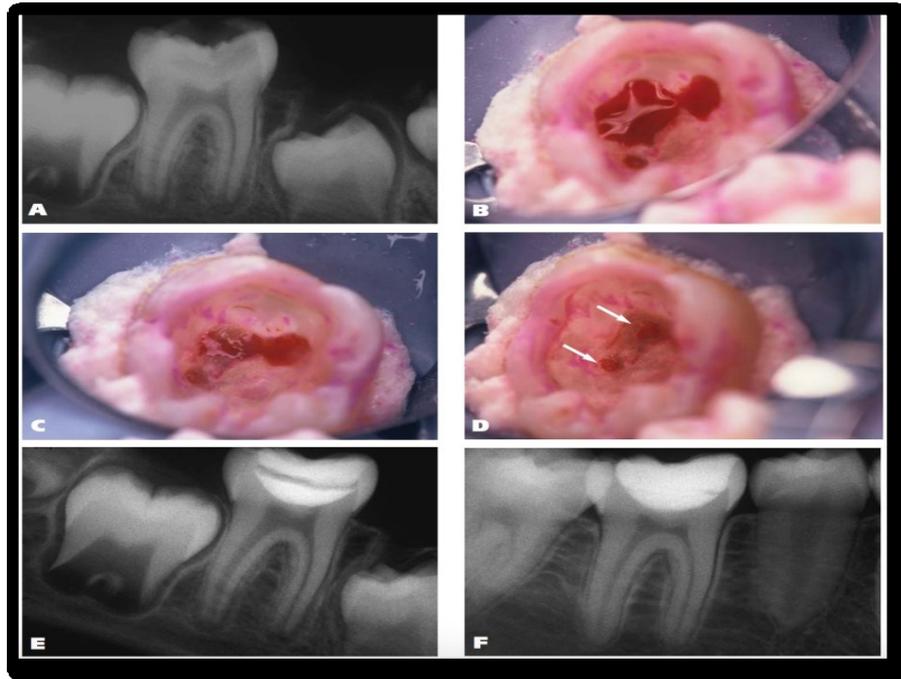


Figure 6 : Protocole clinique d'un coiffage pulpaire direct réalisé sur une 46 chez une enfant de 9ans ^[52]

A : Radiographie initiale montrant la lésion carieuse profonde et les apex immatures de la 46

B : Hémorragie du tissu pulpaire exposé après éviction carieuse

C-D : Après 5 minutes d'hémostase avec de l'hypochlorite de sodium à 5,25%, visualisation des deux expositions pulpaires (entre 1,5 et 2 mm)

E : Radiographie post interventionnel, avec le MTA, la boulette de coton humide, et la restauration temporaire sur la 46

F : Radiographie de contrôle à 5 et demi. Elle met en évidence la restauration définitive mise en place entre temps, la rétraction du complexe dentino-pulpaire dû à la formation de dentine tertiaire et la formation complète des racines de la 46.

2.3. La pulpotomie partielle (haute)

2.3.1. Définition et objectifs

La pulpotomie partielle est une technique plus invasive que les coiffages pulpaires. Elle se définit comme étant l'ablation chirurgicale d'une petite portion du tissu pulpaire, (en général 2 mm) situé au niveau de la partie coronaire afin de préserver le reste de la pulpe camérale et radiculaire ^[61].

Cette technique vise donc à éliminer le tissu inflammatoire superficiel afin de placer le matériau au contact direct d'un tissu sain. Cette technique permet donc de se retrouver dans les mêmes conditions que celles d'un coiffage pulpaire direct.

2.3.2 Indications/ contre-indications

- **Indications**

Sur dent permanente immature, cette technique est indiquée en cas:

- D'exposition pulpaire traumatique de plus de 24 heures ^[62]
- d'exposition pulpaire d'origine carieuse:
 - ✓ si l'hémostase ne peut être obtenue lors d'une tentative de coiffage
 - ✓ si l'étendue de l'exposition pulpaire est supérieure à 2mm.

Dans ce cadre, le but est de garder la dent vivante afin de permettre la poursuite de l'édification radiculaire.

Sur une dent permanente mature :

- La pulpotomie partielle est indiquée en cas d'exposition traumatique de plus 24 heures
- Si l'exposition pulpaire est supérieure à 2mm

- **Contre-indications**

En cas d'atteinte carieuse, la composante inflammatoire étant considérée comme trop importante, la pulpotomie partielle n'est pas encore recommandée même si plusieurs études ont déjà montré des succès avec de nouveaux matériaux : Barnkggei et coll.ont réalisé une pulpotomie sur 11 patients présentant une dent en pulpite réversible à l'aide de MTA. Après un suivi de 24 mois minimum, toutes les dents étaient asymptotiques et répondaient au test de vitalité ^[63].

Les contre-indications sont les mêmes que celles du coiffage pulpaire direct.

2.3.3. Protocole opératoire

Une fois l'éviction carieuse terminée, l'élimination de la partie haute de la pulpe camérale doit être effectuée de façon franche afin d'avoir une section nette. Pour cela, le praticien peut utiliser une fraise stérile de préférence neuve ou un excavateur bien affuté.

D'un point de vue histologique, l'éviction superficielle de la pulpe vise à éliminer le tissu inflammatoire de la pulpe. En effet, ce dernier n'ayant plus les capacités de cicatrisation et de réparation, l'inflammation risque de s'étendre à toute la pulpe.

Les chances de succès sont moindres sans cette élimination.

Cliniquement, cette distinction entre tissu inflammatoire et tissu sain est compliquée. A l'heure actuelle, le praticien ne dispose pas d'aide pour cette distinction, et devra se baser sur son expérience clinique.

Le praticien se retrouve ensuite dans les conditions d'un coiffage pulpaire après avoir obtenu l'hémostase.



Figure 7 : Cas clinique du Docteur L. Goupy d'une pulpotomie partielle d'une 36 sur un enfant de 14 ans ^[64]

A-B : radiographie et photographie pré-opératoire de la 36

C : visualisation de la pulpe après hémostase obtenue, suite à l'éviction complète de l'ancienne restauration, et de la lésion carieuse.

D-E : photographie et radiographie post-opérative après mise en place de la Biodentine®. Celle-ci sert aussi de restauration provisoire.

F-G : 2 mois après la première visite, préparation de la dent (une épaisseur de 2mm de Biodentine® est laissée en protection pulpaire), puis pose de l'onlay céramique en restauration définitive.

H : Radiographie post-opérative suite à la pose de l'onlay.

2.4. La pulpotomie cervicale (basse ou complète)

2.4.1. Définition et objectifs

La pulpotomie cervicale correspond à l'ablation complète de la pulpe camérale afin de préserver la vitalité de la partie radiculaire restante ^[65].

2.4.2. Indications et contre-indications

• Indications

Sur une dent permanente immature, la pulpotomie cervicale est indiquée en cas:

- ✓ D'exposition pulpaire traumatique supérieure à 2mm ou de plus de 7jours,
- ✓ d'exposition pulpaire d'origine carieuse quand la dent est asymptomatique ou en pulpite réversible.

Pour certains auteurs, une fois la dent mature, le traitement endodontique doit être réalisé afin d'éviter toute oblitération pulpaire ou nécrose. Pour d'autres, tant que l'obturation définitive reste étanche, il n'est pas nécessaire de faire le traitement endodontique ^[61].

Sur dent permanente mature, elle est indiquée seulement en traitement temporaire lors d'une pulpite irréversible afin de diminuer la symptomatologie.

• Contre-indications

Contrairement à la pulpotomie haute, l'élimination des cellules pulpaires est totale dans la pulpotomie cervicale. La formation de dentine tertiaire est donc impossible dans ce cas avec les méthodes actuelles ^[66].

De plus, il existe un risque d'oblitération des canaux pulpaires rendant le traitement endodontique très compliqué voire impossible ^[67].

La pulpotomie cervicale est ainsi actuellement contre indiquée sur dent mature.

2.4.3. Protocole opératoire et cas clinique

Une fois l'éviction carieuse terminée, l'intégralité de la pulpe camérale est éliminée jusqu'aux entrées canalaires. Les fibres pulpaires sont coupées à la fraise boule en carbure de tungstène.

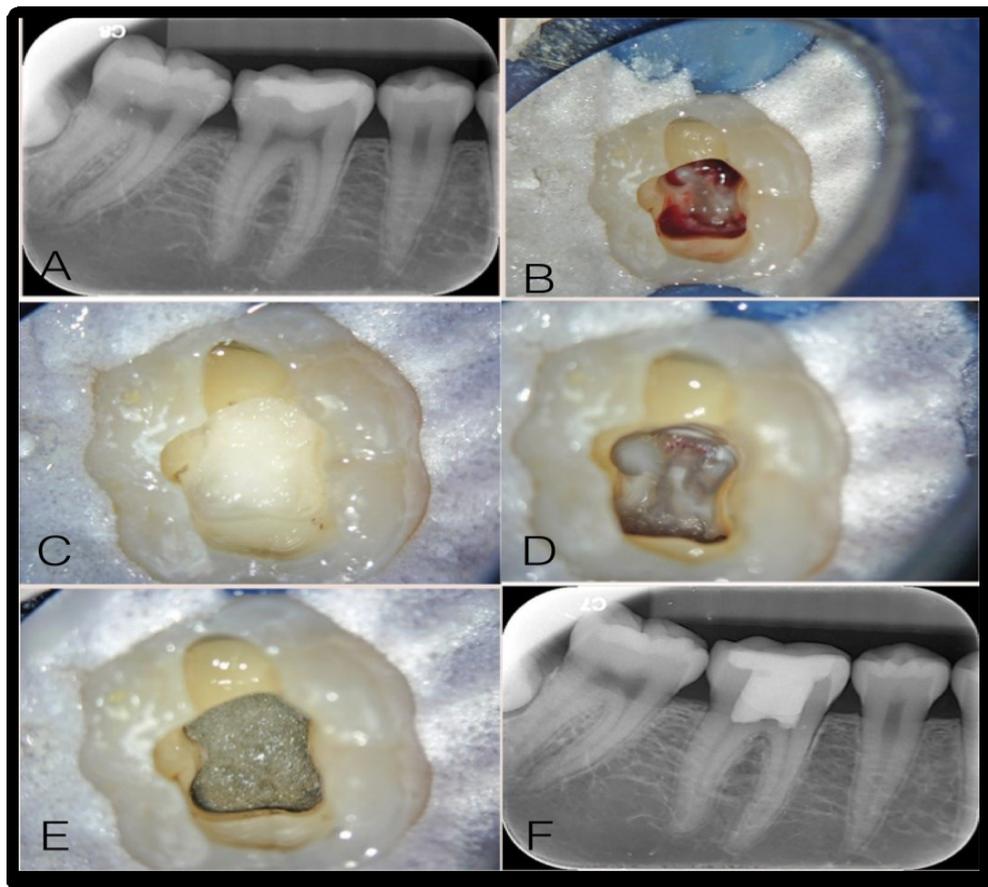


Figure 8 : Cas clinique d'une pulpotomie cervicale sur la 46 d'une patiente de 21ans ^[68]

A: Radiographie pré-opératoire, la patiente se plaint de douleur provoquée au froid seulement, l'ancienne restauration avait été mise par son dentiste un mois avant.

B-C-D: Hémostase obtenue à l'aide d'une boulette de coton imbibé d'hypochlorite desodium à 6% pendant 5 minutes. Les entrées canalaires sont ensuite parfaitement visibles.

E : Mise en place du MTA à l'entrée des canaux et dans la chambre pulpaire

F : Radiographie post-opératoire avec le MTA, et la résine placée au-dessus en restauration définitive.

3. Les biomatériaux utilisés dans le coiffage pulpaire

3.1. Les ciments

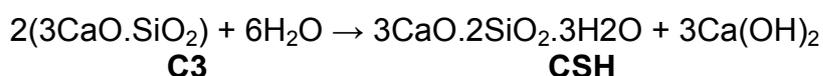
3.1.1 Biodentine

- **Présentation :** Biodentine™ est un substitut dentinaire appartenant à la famille des ciments silicate de calcium^[69]. Commercialisé par Septodont™ (Saint Maur-des fossés, France) depuis 2010 puis ATO Zizine™, il est initialement présenté en tant que matériau de restauration provisoire aussi comme un matériau alternatif pouvant pallier les limites du MTA.
- **Composition :** Biodentine™ se présente sous forme d'une capsule prédosée de poudre associée à une monodose de liquide, La poudre se compose majoritairement de silicate tricalcique. Elle contient également du carbonate de calcium, de l'oxyde de zirconium et l'oxyde de fer. Le liquide est une solution aqueuse de chlorure de calcium et d'un polymère hydrosoluble à base de polycarboxylate^[70, 71].

Tableau 1: Composition de Biodentine™^[72]

Poudre		
Silicate tricalcique Ca ₃ SiO ₅	Matériau de base	80%
Carbonate de Calcium CaCO ₃	Charges	14%
Oxyde de zirconium ZrO ₂	Agent radio-opacifiant	5%
Oxyde de Fer	Teinte	
Liquide		
Eau H ₂ O		
Chlorure de calcium CaCl ₂	Accélérateur de prise	15%
Polymère hydrosoluble	Agent réducteur d'eau	

- **Réaction de prise :** Le mélange de la poudre avec le liquide entraîne la formation d'un gel poreux de silicate de calcium (gel CSH) et d'hydroxyde de calcium (portlandite)^[73].



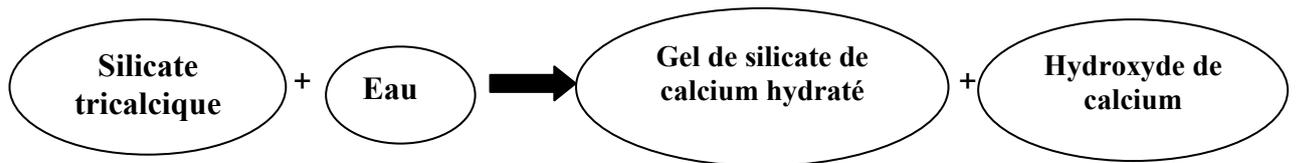


Figure 9 : Schéma de la réaction d'hydratation de la biodentine ^[73]

- **Temps de travail :** Le délai de maturation du matériau se manifeste par une diminution de la porosité en raison de la formation progressive du gel CSH et l'augmentation de la résistance mécanique ^[74]
- **Temps de prise :** Le temps de prise initial du matériau en bouche est de 9 à 12 minutes. Cependant le temps réel de prise du matériau est de 45 minutes, l'adjonction de chlorure de calcium, agent accélérateur de prise, ainsi que la diminution de la taille des particules de silicate permettent de réduire le temps de prise ^[75].
- **pH :** Biodentine présente un pH alcalin compris entre 9,5 et 12,5 ^[73]
- **Résistance à la compression :** Dès la fin de la prise initiale, la valeur de la résistance à la compression atteint une valeur moyenne de 130 MPa. La réaction de prise longue du matériau s'accompagne d'une augmentation de la résistance à la compression. Au bout de 7 jours, la valeur de la résistance à la compression est de 253 MPa, valeur proche de celle de la dentine ^[76].
- **Radio-opacité :** La radio-opacité de BiodentineTM est proche de celle de la dentine et très inférieure à celle du MTA. La faible radio-opacité de ce ciment rend difficile la distinction radiologique entre le matériau et les tissus calcifiés de la dent ^[75, 77].
- **Adaptation marginale et étanchéité :** Néanmoins, sa résistance à l'abrasion est faible, on observe des défauts de la forme anatomique, de l'adaptation marginale et de la qualité du point de contact proximal dès 6 mois après la mise en place ^[78].
- **Biocompatibilité :** Ce ciment tricalcique présente une absence de cytotoxicité, de génotoxicité et de mutagénicité., il présente globalement une tolérance tissulaire très favorable, et sa biocompatibilité est comparable à celle du MTA ^[79, 80].

- **Action anti-inflammatoire :** Au contact de Biodentine™, la sécrétion par les odontoblastes de la cytokine pro-inflammatoire TNF- α Tumor necrosis factor alpha (TNF- α) diminue, ce ciment tricalcique agit également sur certains facteurs de l'inflammation^[81].

- **Propriétés antimicrobiennes :** Enfin, Biodentine™, tout comme le MTA, présente une activité antibactérienne et antifongique liée à son pH alcalin^[82].

- **Bioactivité :**

- ✓ **Vecteur de formation d'hydroxyapatite :** Les ciments à base de silicate de calcium sont bioactifs et induisent la formation d'apatite biologique^[83]

La formation de ces cristaux d'apatite résulte de la dissolution de l'hydroxyde de calcium formé lors de la réaction d'hydratation du silicate tricalcique^[84, 85].

- ✓ **Stimulation de la cicatrisation pulpaire :** l'action de Biodentine™ sur la cicatrisation pulpaire se présente par la stimulation de l'angiogenèse et le contrôle de l'inflammation. D'autre part, l'action favorable de Biodentine™ sur la cicatrisation pulpaire a été démontrée lors de sa mise en contact direct avec les cellules souches de la pulpe. Le matériau entraîne la stimulation de la prolifération et de la migration des cellules souches et fibroblastes de la pulpe ainsi que leur adhésion^[86, 87].

- ✓ **Induction de la régénération dentinaire :** Au contact du matériau, les fibroblastes pulpaires se différencient en odontoblastes qui sécrètent, dans un deuxième temps, une matrice minéralisée^[79].

Les marquages moléculaires des odontoblastes néoformés ont permis de mettre en évidence l'expression de protéines impliquées dans la minéralisation telles que la sialoprotéine dentinaire^[88] et l'ostéopontine^[89].

- **Différentes indications en OCE :** Du fait de ses propriétés physiques et bioinductrices élevées dans les domaines pulpaires et parodontaux ont permis d'élargir le champ de ses indications à l'endodontie conventionnelle et chirurgicale (Tableau .2).

Tableau 2: Applications cliniques de Biodentine™ [90]

Dentisterie restauratrice	Matériau de restauration provisoire Coiffage pulpaire direct Coiffage pulpaire indirect
Endodontie conventionnelle	Obturation des perforations des parois canalaies Obturation des perforations du plancher pulpaies Obturation des résorptions internes ou externes Apexification des dents immatures Apexogenèse
Chirurgie endodontique	Obturation canalaire rétrograde
Pédodontie	Pulpotomie

3.1.2. Mineral Trioxide Aggregate

- **Présentation** : Le MTA se présente sous la forme d'une poudre, grise ou blanche, conditionnée en sachets pré-dosés. Il doit être conservé à l'abri de l'humidité. Cette poudre est mélangée à de l'eau distillée pour obtenir le produit final, sauf pour le MM-MTA® qui se présente sous forme de capsule à vibrer.
- **Composition** : Le MTA est un matériau dérivé du ciment de Portland, c'est-à-dire d'un ciment utilisé dans le bâtiment. Sa composition est donc très similaire à celle du ciment de Portland [91-93]

La composition du ProRoot® MTA (Dentsply) et celle du MTA-Angelus® (Dental DCP) sont un peu différentes. Ces deux matériaux se différencient également sur la taille et la forme de leurs particules. Comme nous l'avons vu précédemment, le ProRoot® MTA est composé de 75% de ciment de Portland, 20% d'oxyde de bismuth et 5% de gypse (en % pondéral) (Dentsply Tulsa Dental, 1998). Le MTA-Angelus®, quant à lui, contient seulement du ciment de Portland (80%) et de l'oxyde de bismuth (20%) [91, 94].

- **Réaction de prise** : La poudre de MTA se compose de fines particules hydrophiles qui durcissent en présence d'humidité. L'absorption de l'eau entraîne la formation d'un gel colloïdal qui se solidifie en une structure dure [95]. La réaction de prise du MTA est ainsi décrite comme une réaction d'hydratation du silicate tricalcique et du silicate dicalcique, ce dernier étant responsable de la solidité du matériau durant la prise, de

l'hydroxyde de calcium est libéré comme sous-produit de la réaction d'hydratation du MTA ^[91].

Quand le MTA est mélangé à de l'eau, deux phases vont se former :

- ✓ une phase cristalline essentiellement composée d'oxyde de calcium,
- ✓ une phase amorphe qui contient principalement du phosphate de calcium ^{[96] [93]}
- **Temps de travail** : D'après le fabricant, le temps de travail disponible est de 5 minutes environ.
- **Temps de prise** : Concernant le ProRoot® MTA et le MTA-Angelus®, le temps de prise est long. Il est en moyenne de 2h45mn ^[96], ce qui est un inconvénient pour les praticiens.

Dans le cas du MM-MTA®, l'adjonction de carbonate de calcium (CaCO₃) a permis de réduire considérablement le temps de prise. Celui-ci est de 20 minutes, permettant ainsi l'obturation dans la même séance (Micro-Méga).

La maturation du MTA se poursuit après ce temps de prise. Les études montrent que la prise maximale du matériau est obtenue au bout de 7 jours, voire 21 jours ^[93, 97].

- **Solubilité** : Le ratio eau-poudre optimal est d'1 volume d'eau pour 3 volumes de poudre. Une augmentation de ce ratio entraîne une augmentation de la solubilité et de la porosité du MTA. De plus, le matériau sera plus difficile à manipuler car sa fluidité sera trop importante^[98]. Après 21 jours, le MTA est insoluble dans l'eau.
- **pH** : Le MTA est un matériau très alcalin. Son pH est de 10,2 immédiatement après mélange, puis augmente progressivement à 12,5 après 3 heures^[96]

Le pH du MTA correspond de ce fait à celui de l'hydroxyde de calcium ^[97]

Le pH du MTA-Angelus® est plus élevé que celui du ProRoot® MTA ^[99]

- **Résistance à la compression** : La résistance à la compression du MTA est faible initialement, mais augmente avec le temps. Sa valeur est de 40 MPa après 24 heures, ce qui est plus faible que celle de l'IRM® (52 MPa) et de l'amalgame (313 MPa). Après 21 jours, le MTA atteint des valeurs moyennes de résistance à la compression de 67 MPa, ce qui est comparable à l'IRM® ^[96]. Pour cette raison, le MTA ne convient pas aux restaurations coronaires soumises aux forces occlusales ^[97].

- **Radio-opacité** : La radio-opacité du MTA est due à l'adjonction d'oxyde de bismuth dans sa composition ^[91]. Elle est équivalente à celle d'une plaque d'aluminium d'une épaisseur de 6,4 mm. De ce fait, elle est supérieure à celle de la dentine (0,7 mm), tout en étant inférieure à celle de l'IRM® (9,3 mm) ou de l'amalgame (15,6 mm)^[100]. Il est donc possible pour le praticien de vérifier la mise en place et l'adaptation du MTA à l'aide d'une radiographie.

- **Adaptation marginale et étanchéité** : L'adaptation marginale du MTA a été étudiée au moyen de la technique de pénétration des colorants lors d'obturation à rétro et d'observations au microscope électronique à balayage ^[96]. L'analyse de ces études montre que le MTA présente une bonne adaptation marginale aux parois dentaires, qui est supérieure à celles de l'amalgame, de l'IRM® ou du Super-EBA®.

L'étanchéité procurée par le MTA a également été mesurée à l'aide de radio-isotopes, ou de bactéries, et par des moyens de filtration des fluides. Ces études mettent en évidence la bonne capacité de scellement du MTA et sa supériorité en terme d'étanchéité par rapport à l'amalgame, l'IRM® et le Super-EBA®^[96]

Le MTA résiste très bien à la pénétration de micro-organismes. Après 90 jours, il présente une meilleure résistance à la pénétration bactérienne que l'oxyde de zinc-eugénol (ZOE) ou l'amalgame. De plus, il n'a pas été retrouvé de « gaps » au niveau du matériau ^[101].

- **Biocompatibilité**

- ✓ **Mutagénicité** : Le test d'Ames permet d'estimer le potentiel cancérigène d'une substance. En soumettant le MTA à ce test, Kettering et Torabinejad (1995) n'ont pas mis en évidence de pouvoir mutagène pour ce matériau.

- ✓ **Génotoxicité** : Le test des comètes est une technique d'électrophorèse sur microgel d'agarose. Il permet de mesurer les cassures induites directement par un agent génotoxique ^[97]. L'évaluation du WMTA par un test des comètes sur lymphocytes humains n'a révélé aucun effet génotoxique ^[102].

- ✓ **Cytotoxicité** : Une étude in vitro a montré que la toxicité du MTA est significativement inférieure à celle de l'amalgame, du Super-EBA® ou de l'IRM® dans des essais de diffusion de chrome radioactif.

Des tests d'overlay sur agar-agar ont également été entrepris. L'échantillon testé est alors placé sur une couche d'agarose recouvrant des cellules L-929 colorées en rouge neutre. Après 24 heures d'incubation, la toxicité du matériau est évaluée par la présence d'une zone de décoloration entourant l'échantillon, indiquant une lyse cellulaire. Dans ce cas, l'amalgame s'est montré moins cytotoxique que le MTA [96].

En 1998, Osorio et al ; ont évalué la cytotoxicité de différents matériaux en réalisant des essais sur des fibroblastes de souris (L-929) et des fibroblastes gingivaux d'origine humaine. Dans cette étude in vitro, le MTA n'a pas provoqué d'effets cytotoxiques sur les cellules étudiées, contrairement à l'amalgame. Par conséquent, le MTA présente une bonne biocompatibilité dans les cultures cellulaires^[103, 104].

D'autres études ont évalué l'expression de cytokines comme marqueurs de la différenciation cellulaire. Au contact du MTA, il a été observé une augmentation de la synthèse des interleukines IL-6 et IL-8^[105], de l'ostéocalcine et de la phosphatase alcaline^[106]. L'ensemble de ces études permet de conclure que le MTA est biocompatible avec les cellules et tissus buccaux avec lesquels il est en contact.

✓ **Action anti-inflammatoire :** Selon plusieurs études in vivo, le MTA engendrerait moins d'inflammation pulpaire que l'hydroxyde de calcium^[107].

Le MTA met environ 4 heures pour atteindre son pH maximal, contrairement à l'hydroxyde de calcium qui a un pH de 12,5 immédiatement après mélange. Cette différence peut expliquer pourquoi une réaction inflammatoire plus forte est obtenue avec l'hydroxyde de calcium^[108].

✓ **Propriétés antimicrobiennes :** Le MTA a une action antimicrobienne en milieu aqueux liée à son pH élevé^[103]. Les propriétés antibactériennes de ce matériau ont été étudiées sur les bactéries fréquemment rencontrées dans les canaux infectés. Il s'avère que le MTA présente un effet antibactérien sur certaines bactéries anaérobies facultatives (*Streptococcus mitis*, *Streptococcus mutans*, *Streptococcus salivarius*, *Lactobacillus species* et *Streptococcus epidermidis*) mais n'est pas efficace sur les bactéries anaérobies strictes^[96].

Le MTA a également un effet antifongique. Une étude d'Al-Nazhan et al ; en 2003 a conclu que le MTA était efficace contre les *Candida albicans*^[96].

- **Bioactivité** : Le niveau élevé du pH des matériaux MTA a conduit certains auteurs à la théorie selon laquelle son activité biologique et sa biocompatibilité étaient dues à la formation d'hydroxyde de calcium [98]

Lors de coiffages pulpaire sur dents saines, les deux formes commerciales ProRoot® MTA (Dentsply) et MTA-Angelus® (Dental DCP) produisent des réponses similaires sur la pulpe

✓ **Mécanisme de réparation pulpaire (chronologie)** : Les résultats des études histologiques montrent que le MTA a un grand potentiel pour favoriser la guérison tissulaire [95]. Sous l'interface de MTA, le tissu pulpaire lésé cicatrise par angiogenèse et néovascularisation, et aussi par prolifération de cellules cubiques fonctionnelles à proximité de la zone endommagée. Durant la formation de dentine, ces cellules sont caractérisées par la synthèse et la sécrétion de nombreuses protéines non-collagéniques

Après 2 semaines, une nouvelle matrice de forme atubulaire avec des inclusions cellulaires est observée sous le matériau de coiffage. Des cellules allongées ou cubiques sont présentes le long de cette matrice [95]. Au bout de 3 semaines après le coiffage au MTA, la dentine réparatrice est observée, en association avec la matrice fibrodentinaire solide. Des cellules odontoblastes-like élaborant une matrice tubulaire sont alors observées. Le mécanisme de déclenchement de la dentinogenèse réparatrice est similaire entre le MTA et l'hydroxyde de calcium. Avec ces deux agents de coiffage, la formation d'une matrice fibrodentinaire a précédé l'expression du phénotype des cellules odontoblastes-like [109].

Capacité à induire la formation de tissu dur : Plusieurs études in vivo ont démontré, après analyse histologique, que le MTA induit la formation de dentine réparatrice [107].

Grâce à ses propriétés alcalines, MTA peut créer un environnement pulpaire approprié, favorisant l'expression du potentiel dentinogénique des cellules pulpaire. Ce phénomène correspond à celui suggéré pour les pulpes traitées avec l'hydroxyde de calcium et est considéré comme un facteur essentiel de la formation d'un pont dentinaire [109].

Le MTA induit, comme l'hydroxyde de calcium, la prolifération de BMP-2, impliquée dans la formation de dentine réparatrice, par les fibroblastes pulpaire [110].

De plus, Min et al. (2007) ont évalué les effets cellulaires du ciment de Portland, qui est le composant de base du MTA, sur des cellules pulpaires humaines en culture. Ils ont conclu que le ciment de Portland est biocompatible et permet l'expression de gènes relatifs à la minéralisation (ostéonectine, sialoprotéine dentinaire) dans des cellules pulpaires humaines mises en culture. L'expression de ces gènes est également responsable de l'induction de la formation d'un pont dentinaire avec le MTA ^[109].

Caractéristiques du pont dentinaire : Un pont dentinaire est formé in vivo sur des pulpes humaines coiffées avec du MTA après deux mois sans aucun signe d'inflammation ^[107]. Ce pont dentinaire est de bonne qualité, étanche, et fusionné avec les parois dentinaires bordant l'effraction. En effet, le MTA induit également la synthèse d'une interface avec la dentine qui ressemble à l'hydroxyapatite dans sa composition ^[111].

L'incidence de la formation d'une barrière de tissu dur est plus élevée avec le MTA qu'avec l'hydroxyde de calcium ^[112]. De plus, la dentine réparatrice est généralement plus uniforme (plus régulière) et plus épaisse sous le MTA, en comparaison avec l'hydroxyde de calcium ^[107, 109].

• Différentes indications en OCE

Le MTA possède plusieurs indications en OCE ^[112] :

- ✓ Coiffage pulpaire,
- ✓ pulpotomie,
- ✓ apexogénèse,
- ✓ apexification (en cas d'apex largement ouvert),
- ✓ obturation endodontique rétrograde (après résection apicale),
- ✓ fermeture des perforations radiculaires ou du plancher pulpaire,
- ✓ réparation de résorptions internes.

3.1.3. Ciment verre ionomère

• **Présentation** : Le premier ciment verre ionomère (CVI) a été développé en 1968 par **Smith**. Il servait à l'origine de matériau de scellement en prothèse fixée. En 1972, **Wilson et Kent** mettent au point un matériau palliant les inconvénients des silicates et de la résine composite. Ils utilisent alors un matériau à base de poudre de silicate et le liquide des ciments polycarboxylates de zinc. En 1975, DETREY commercialise

le premier CVI. Depuis, de nombreux auteurs ont tenté de les améliorer, en y ajoutant différents composants, comme de la poudre d'alliage pour amalgame^[113] ou des particules de métal

• **Composition** : Les CVI sont composés des éléments suivants :

- Une poudre de *fluoro alumino silicate* (FAS)^[114]:
 - ✓ Fluorure de calcium CaF₂ : 34%
 - ✓ Silice SiO₂ : 30%
 - ✓ Alumine Al₂O₃ : 16%
 - ✓ Phosphate d'alumine AlPO₄ : 10%
 - ✓ Trifluorure d'aluminium AlF₃ : 5%
 - ✓ Cryolithe Na₃AlF₆ : 5%
- Une solution aqueuse d'acide polyakénoïque qui possède de nombreux groupements carboxyl (COOH), très importants et à l'origine de :
 - ✓ la formation de sel polyakénoate métallique,
 - ✓ des propriétés adhésives intrinsèques des CVI

• **Réaction de prise** : Nous avons ici affaire à une réaction de type acide/base. Les protons H⁺, libérés de l'acide organique, attaquent la surface des particules de FAS en libérant des cations calcium, aluminium et silicium et des anions fluorure. Les ions calcium vont alors se complexer avec les groupes R-COO⁻ de l'acide organique et ainsi former un gel soluble. Secondairement, les cations aluminium et silicium, par fixation directe ou par compétition avec les ions calcium déjà fixés, complètent la formation de cette matrice qui devient insoluble. Les particules de verre restantes forment l'assise mécanique du gel insoluble^[115]. Cette réaction de prise entraîne une légère contraction de l'ordre de 2%, pouvant engendrer des contraintes internes menant à des microfissures. Ce phénomène sera en partie compensé par une absorption d'eau d'origine dentino-pulpaire, «gonflant» secondairement le matériau. Cette expansion hygroscopique peut s'apparenter à un mécanisme d'auto-réparation^[116].

La cinétique de prise et la maturation secondaire peuvent être résumées chronologiquement :

- ✓ Attaque et dissolution du verre par les protons H^+ avec libération des ions Ca^{2+} , Al^{3+} , Na^+ et F^- .
- ✓ Migration des ions et formation d'un gel soluble de polyakénoate de calcium.
- ✓ Compétition et précipitation avec les autres ions métalliques pour former, avec le gel de silice, une structure insoluble.
- ✓ Déplacement interne d'ions dans le gel et absorption d'eau, conduisant à la persistance d'une configuration lacunaire compensant la rétraction de prise ^[115].

La présence de fluorures libérés lors de l'attaque des particules de verre réduit la formation de polyakénoates d'aluminium et de fluorites, augmentant le temps de travail, tout comme l'addition d'acide tartrique. Le ciment durci forme un système composite très complexe liant les particules de verre partiellement dégradées à l'hydrogel polyacrylique de silice. La cohésion de l'ensemble est modeste et fonction des liaisons croisées ioniques, des ponts « hydrogènes » et de l'enchevêtrement des chaînes moléculaires^[115].

- **Résistance à la compression :** Elle est de 150 MPa au bout de 24 heures^[117]. Aujourd'hui, il existe des CVI dits condensables, atteignant 250 MPa après un mois. Mais, ces valeurs restent inférieures à celles de l'amalgame ou des résines composites. Ce qui contre-indique l'utilisation des CVI dans des zones soumises à d'importantes forces occlusales.

- **Résistance à la traction :** Elle est de 12-15 MPa après 24 heures ^[115].

- **Résistance à la flexion :** Elle est de 20 à 30 MPa au bout de 24 heures.

- **Radio-opacité :** Elle est supérieure à celle de la dentine et de l'émail, ce qui permet un contrôle radiologique des restaurations ^[118].

- **L'adhérence :** Pour les CVI, cette valeur est de 4 à 5 MPa à la dentine et à l'émail, avec ou sans traitement préalable ^[115, 118]. L'adhésion est de nature chimique, mettant en jeu des liaisons ioniques et hydrogènes. Il y a un échange dynamique d'ions phosphate et calcium entre le polyacrylate du CVI et l'hydroxyapatite de l'émail et la dentine. La force d'adhésion à l'interface ciment substrat est plus importante que la force

cohésive du ciment, expliquant les fractures observées au sein du matériau plutôt qu'un décollement^[118].

• **L'étanchéité** : C'est une propriété fondamentale des matériaux de restauration coronaire. On distinguera deux types d'étanchéité :

- L'étanchéité immédiate, qui dépend :
 - ✓ De l'adhésion.
 - ✓ Des variations dimensionnelles. La rétraction évaluée entre 3 et 5% n'entraîne que peu de contraintes. Cette rétraction est plus importante que celle des composites, mais la prise lente du CVI lui assure un risque moindre de microfractures.
 - ✓ De la mise en œuvre : problème de la balance hydrique exposé ci-dessus. Une hydratation trop importante engendre une érosion et une diminution des propriétés physiques et chimiques. Une déshydratation entraîne une apparition de craquelures.

Finalement, le CVI présente une bonne étanchéité, s'il est utilisé de façon correcte.

- L'étanchéité retardée, qui dépend :
 - ✓ Du coefficient de dilatation thermique. Comme évoqué précédemment, il est proche des tissus dentaires, élément favorable pour le CVI.
 - ✓ De leur solubilité dans l'eau et dans les acides. Après 48 heures, le CVI résiste bien à l'hydrolyse hydrique et aux acides faibles rencontrés en bouche.
 - ✓ De la résistance à l'usure. Normalement, le problème ne se pose pas en dentisterie restauratrice. Sa faible résistance à la compression contre-indique son utilisation dans les zones soumises à des forces occlusales importantes.

Le CVI, s'il est manipulé dans de bonnes conditions, présente une bonne étanchéité retardée.

• **pH** : Le pH des CVI va varier durant le temps de malaxage puis de prise. Lors du mélange, il présente un pH entre 0,9 et 2,2. Puis, après cinq minutes, le pH varie de 1,8 à 3,5. Après 60 minutes, il varie de 3,8 à 5,1. Enfin, après 24 heures, il se stabilise entre 5,35 et 6,2^[119].

• **Biocompatibilité** : La biocompatibilité des CVI a fait l'objet de nombreuses études, *in vitro* et *in vivo*, parfois contradictoires et dont les résultats sont très variables en fonction des matériaux et des protocoles.

In vitro ^[120] : ont réalisé une étude *in vitro* de plusieurs types de CVI (Ketac Cem, Ketac Sylver....) sur des fibroblastes de lapins. Les fibroblastes de lapins adhéraient sur certains CVI. Aucun effet cytopathique n'avait été observé durant l'étude chez ceux-ci. Paradoxalement, dans la même étude, d'autres types de CVI présentaient par contre des effets cytotoxiques prononcés sur les cultures cellulaires ^[120]. Ce comportement cytotoxique peut être expliqué par un relargage de certains composants du CVI. Cependant, ce test ne tient pas compte de la capacité de défense naturelle des cellules, ni du caractère isolant et protecteur de la dentine *in vivo* ^[115].

In vivo : les résultats des essais *in vivo* sont dans l'ensemble favorables en l'absence d'activité bactérienne. De nombreuses études rapportent des réactions du complexe dentino-pulpaire qualifiées de légères à modérées ^[115]. Ces réactions s'expliquent par :

- ✓ une faible élévation de la température,
- ✓ un durcissement rapide du ciment limitant la diffusion des composants toxiques,
- ✓ l'effet tampon de la dentine neutralisant et stoppant la diffusion en profondeur des polyacides à haut poids moléculaire ^[121]

Cependant, ont montré que l'inflammation générée par le CVI en contact direct avec la pulpe ne cesse pas, contrairement à l'hydroxyde de calcium. Et par conséquent, le CVI ne permet pas la formation d'un pont de dentine. Ces résultats contre-indiquent l'utilisation du CVI lors de coiffage pulpaire direct ^[122]

- **Biocompatibilité parodontale** : Les CVI sont bien tolérés par les tissus parodontaux et dénués d'effets secondaires oraux et systémiques ^[123]. Une étude bibliographique s'échelonnant de 1980 à 1990 a révélé une seule référence négative mentionnant les CVI. Les CVI inhibent la croissance d'*A. viscosus*, *S. mitis*, *S. mutans*, *S. sanguis*, *S. salivarius*, des *Lactobacillus salivarius* et *casei* ^[124]. Cet effet antibactérien est attribué à son pH initialement bas, la libération de fluorure et du scellement marginal s'opposant à la percolation bactérienne ^[125].

- **Bioactivité** : Les CVI libèrent des ions fluorures dans la salive et vers la dent, et ce, pendant et après la prise. Le pic de libération a lieu dans les premières heures de la mise en place du CVI. Les propriétés de ces fluorures sont ^[115]:

- L'inhibition du métabolisme.
- L'augmentation de la résistance à la dissolution des tissus dentaires, le pouvoir de reminéralisation des tissus déminéralisés.

- Une augmentation de la résistance à la solubilité des tissus dentaires en milieu acide.
- Une reminéralisation d'un tissu partiellement déminéralisé. **Silverstone** a démontré que l'émail en contact avec un matériau subit toujours une diminution de sa concentration minérale. Ceci augmente alors le risque de récurrence carieuse. Les fluorures sont capables de reminéraliser cet émail affaibli.
- Les ions fluor adsorbés à la surface des tissus dentaires entraînent un abaissement de l'énergie superficielle et donc présentent un potentiel moindre d'adhésion de la plaque bactérienne.
- Une possibilité de rechargement en ions fluor au contact du milieu buccal (dentifrice, vernis...).
- **Indications** : Les CVI possèdent de nombreuses indications cliniques^[115]:
 - Restauration des lésions cervicales.
 - Restauration dans des situations de forte cariosusceptibilité.
 - Agent prophylactique : scellement des puits et fissures et des joints des restaurations déjà existantes.
 - Traitement d'interception des lésions carieuses actives occlusales et proximales.
 - Matériau intermédiaire, substitut dentinaire, avec fonction d'isolation thermique, de barrière contre la diffusion, de compensation de contraintes (exemple de la technique sandwich^[126]).
 - Restauration des dents lactéales.
 - Scellement en prothèse fixée et en orthodontie.
 - Coiffage pulpaire indirect.

3.1.4. Hydroxyde de calcium

- **Présentation** : L'hydroxyde de calcium peut être utilisé soit sous forme de préparation magistrale (poudre sèche), soit sous forme de préparation commerciale (en suspension ou sous forme de ciment).
- **Composition** : L'hydroxyde de calcium, également appelé chaux hydratée ou chaux éteinte, est une fine poudre blanche inodore de formule chimique $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Son poids moléculaire est de 74,08 g/mol^[127].

L'hydroxyde de calcium provient du carbonate de calcium à partir des réactions chimiques suivantes ^[127] :

- La calcination de carbonate de calcium (CaCO_3) à haute température donne de l'oxyde de calcium ou chaux vive (CaO), selon : $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$.
- L'hydroxyde de calcium est ensuite obtenu par mélange de chaux vive (CaO) et d'eau (H_2O). Cette réaction d'hydratation dégage beaucoup de chaleur, selon : $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$ ^[128].

- **PH** : L'hydroxyde de calcium est une substance très alcaline avec un pH d'environ 12,5. Il est classé chimiquement comme une base forte ^[128].

Ce pH élevé est dû à la libération d'ions OH^- par les produits à base d'hydroxyde de calcium. Il est compris entre 11 et 13 mais varie en fonction de la quantité d'eau ^[129]. Ainsi, une préparation magistrale à l'aide d'eau stérile aura un pH plus élevé qu'une préparation commerciale.

- **Temps de travail** : Le temps de travail correspond à la période durant laquelle le ciment peut être manipulé sans altération de ses propriétés. Il est de 3 à 5 minutes, et dépend de l'humidité et de la composition.

- **Temps de prise** : Le temps de prise est le temps nécessaire au ciment pour acquérir ses propriétés mécaniques définitives lorsque l'hydroxyde de calcium est mélangé à de l'eau, on observe une cristallisation en surface mais pas de réelle prise du matériau. En effet, sa transformation en phase solide est retrouvée seulement pour les pâtes durcissantes, après un temps de prise compris entre 2,5 et 5,5 minutes environ ^[130].

- **Solubilité** : L'hydroxyde de calcium est peu soluble dans l'eau (1,2 g/L à 25°C) et les fluides tissulaires. Il se dissocie en ions calcium et hydroxyle avec un coefficient de dissociation de 0,17 ^[128]. La faible solubilité de l'hydroxyde de calcium est un avantage car elle s'oppose à la diffusion alcaline toxique ^[131]. Lorsque la température augmente, cette solubilité diminue. Par ailleurs, l'hydroxyde de calcium est insoluble dans l'alcool ^[127].

- **Résistance à la compression** : La résistance à la compression de l'hydroxyde de calcium est très faible. Elle varie de 3,9 MPa au début de la réaction de prise à 10,5 MPa au bout de 24 heures, ce qui ne permet pas à l'hydroxyde de calcium d'être utilisé comme matériau de reconstitution coronaire. Il est donc nécessaire de le protéger ^[132].

- **Radio-opacité** : L'hydroxyde de calcium en préparation magistrale est faiblement radio-opaque. Sa radio-opacité est voisine de celle de la dentine ; il se distingue donc difficilement sur les radiographies ^[133].

- **Adhésion et étanchéité** : L'hydroxyde de calcium présente une mauvaise adhérence à la dentine et une faible capacité de scellement ^[107]. Les matériaux à base d'hydroxyde de calcium ne permettent donc pas d'obtenir un scellement étanche contre les bactéries.

Une surface maximale de contact entre le matériau d'obturation coronaire et les tissus minéralisés restants doit être conservée dans le but d'optimiser l'étanchéité de l'obturation^[2].

Il est préférable de le protéger par un matériau de restauration intermédiaire, comme par exemple une couche de ciment aux verres ionomères, avant la mise en place du matériau définitif^[2]

- **Biocompatibilité** : L'hydroxyde de calcium est cytotoxique sur cultures cellulaires. Son pH basique est la raison principale de sa toxicité apparente in vitro. De même, l'hydroxyde de calcium possède la capacité de dissoudre les tissus pulpaire^[134].

Cependant, compte tenu de sa faible vitesse de diffusion, cette altération de la pulpe reste superficielle ^[135]. En fait, l'hydroxyde de calcium n'est toxique que pour ce avec quoi il est en contact ^[134].

En raison de sa faible solubilité dans les fluides tissulaires, il est considéré comme un matériau biocompatible.

- **Action anti-inflammatoire** : L'hydroxyde de calcium diminue les réactions inflammatoires dans la pulpe dentaire et le tissu péri-apical. En alcalinisant le milieu, il s'oppose par phénomène tampon à l'acidose inflammatoire ^[135]. Ce phénomène explique, en partie, la propriété minéralisante de l'hydroxyde de calcium. Il diminue aussi l'expression de médiateurs inflammatoires tels que l'Il-14 et le TNF-4.

- **Activité antimicrobienne** : Son activité antimicrobienne est liée à son pH élevé et à la libération d'ions hydroxydes. Le caractère fortement alcalin de ce produit rend le milieu impropre à la vie bactérienne ^[2, 134].

Toutefois, certaines espèces comme *Enterococcus faecalis* et *Candida Albicans* résistent à son pH élevé ^[135].

- **Bioactivité**

✓ **Mécanisme de réparation pulpaire (chronologie):** Du fait de son pH élevé, l'hydroxyde de calcium induit une nécrose de coagulation limitée du tissu pulpaire sur lequel il est placé. Cette coagulation superficielle, formée dès l'heure qui suit le coiffage pulpaire, stimule suffisamment le tissu vital sous-jacent pour qu'il puisse initier une réponse défensive et réparatrice^[5].

✓ **Différenciation en odontoblastes :** L'hydroxyde de calcium favorise la différenciation en cellules odontoblastes-like. En effet, des cellules pulpaires humaines mises en culture dans un milieu contenant de l'hydroxyde de calcium se différencient en cellules odontoblastiques. Après 4 semaines, elles présentent les caractéristiques des odontoblastes : polarisation nucléaire, aspect typique de l'appareil de Golgi, synthèse de collagène de type I.

Il induit l'expression de molécules réparatrices comme le collagène de type 3 et la fibronectine, qui sont essentielles à la réparation tissulaire^[4].

✓ **Activité de minéralisation et formation d'une barrière de tissu dur :** L'hydroxyde de calcium a la capacité d'induire la formation de dentine réparatrice^[109, 134]. De nombreuses études ont démontré la formation d'un pont dentinaire dans 50 à 87% des cas traités avec différentes préparations d'hydroxyde de calcium^[128]. Son action minéralisatrice est directement influencée par son pH élevé. Le maintien d'une alcalinité par l'hydroxyde de calcium permet de créer un milieu favorable à la formation de dentine^[136].

✓ **Défauts dans les barrières de tissu dur :** Le pont dentinaire formé sous hydroxyde de calcium présente souvent des inclusions cellulaires et des défauts en tunnels. Des cellules inflammatoires mononucléées, agrégées à proximité des défauts dans le tissu pulpaire sous-jacent, ont également été observées.

Pour certains, les « tunnels » ne seraient pas causés par l'hydroxyde de calcium lui-même mais seraient plutôt une conséquence de la sévérité du traumatisme de la pulpe et du nombre de vaisseaux lésés durant l'exposition mécanique^[136].

- **Différentes indications en OCE :** En pratique quotidienne, l'hydroxyde de calcium est utilisé pour différentes indications en Odontologie Conservatrice et Endodontie (OCE)^[137].

- Coiffages pulpaire direct et indirect,
- Pulpotomie,
- Apexogenèse,
- Apexification,
- Traitement des résorptions radiculaires,
- Traitement des perforations radiculaires iatrogéniques,
- Fractures radiculaires,
- Médication intracanaire entre deux séances de traitement endodontique,
- Réimplantation.

3.2. Les systèmes adhésifs

• **Présentation** : Au cours des dernières décennies, l'amélioration des techniques de collages a conduit certains auteurs à émettre un nouveau concept : le collage total^[2]. Les adhésifs amélo-dentaires sont des biomatériaux d'interfaces. Ils contribuent à former un lien idéalement adhérent et étanche entre les tissus dentaires calcifiés et des biomatériaux de restauration ou d'assemblage.

• **Composition du matériau** : La principale composante de cette adhésion est donc d'ordre micromécanique, voire nano-mécanique. En réalité, leur mode de liaison est un phénomène plus complexe qui implique des contributions tant physico-chimiques que chimiques. Sur le plan physico-chimique, ces produits doivent mouiller puis s'infiltrer le plus parfaitement possible les microporosités des substrats. Par ailleurs, une étude récente a montré que les groupements fonctionnels de certains monomères étaient susceptibles de former des liaisons chimiques primaires notamment avec le calcium de l'hydroxyapatite^[138].

• **Biocompatibilité** : Tous les adhésifs actuels possèdent des terminaisons méthacryliques qui sont le siège de leur polymérisation. Les doubles liaisons C=C possèdent un potentiel allergisant non négligeable. L'effet est plus conséquent pour les praticiens que les patients. Une enquête conduite au Danemark a montré que 1,7% des dentistes présentait une allergie aux acryliques^[139]. A ce titre, les gants en latex, qui sont eux-mêmes sensibilisants, n'offrent qu'une protection très temporaire compte tenu de leur perméabilité à certains monomères^[140]. Sur un plan plus local, un adhésif ne doit

pas être cytotoxique pour la pulpe. Idéalement, il devrait promouvoir la cicatrisation dentino-pulpaire. Si un certain nombre d'études in vitro ont mis en évidence un potentiel cytotoxique des adhésifs ^[141], leur comportement in vivo apparaît au contraire favorable à la cicatrisation pulpaire, à la double condition qu'ils ne soient pas employés comme matériaux de coiffage direct et qu'ils assurent une interface étanche à la pénétration des fluides buccaux et des bactéries qu'ils contiennent ^[142].

• **La compatibilité avec les autres matériaux :** Certains systèmes adhésifs s'avèrent incompatibles avec les colles ou composites chimio-polymérisables, ou avec certains matériaux dual.

Cette incompatibilité est dû au manque ou absence d'énergie lumineuse qui ne permet pas leur activation phototonique, il en résulte une zone de faible cohésion, non polymérisable à l'interface adhésif-composite.

Cette zone est la cause de différents problèmes cliniques (décollement de reconstitutions corono-radiculaires, de facettes et d'inlays). Cette incompatibilité est due à l'acidité de certains adhésifs que ça soit les MR ou SAM ^[143].

L'amorçage d'une chimio- polymérisation requiert la formation de radicaux libres qui sont obtenus par réaction d'oxydoréduction (RedOx) nécessitant un mélange entre "base" et « catalyseur ».

Les M&R2 et SAM 1 forment peu de radicaux libres. La chimio-polymérisation est alors inhibée. Ils sont caractérisés par des membranes semi-perméables, compte tenu du taux élevé de monomères hydrophiles polaires et acides qu'ils contiennent entraînant une altération à la qualité du joint adhésif par hydrolyse puis par dégradation enzymatique^[143]. À l'inverse, les systèmes M&R3 et SAM2 qui impliquent l'application d'une couche de résine intermédiaire hydrophobe et peu perméable présentent généralement une meilleure compatibilité avec les composites chimio-polymérisables et dual^[144].

Pour pallier ce problème d'incompatibilité, certains fabricants fournissent un flacon additionnel qui contient un activateur qui leur conférer une bonne co-polymérisation avec les composites et colles chimio-activables ou dual surtout au niveau des couches profondes.

L'activateur est un sulfinate de sodium. Ce dérivé de l'acide sulfinique est un agent réducteur qui d'une part réduit l'épaisseur de la couche d'adhésif superficielle inhibée par l'oxygène et, d'autre part, contribue à former des radicaux libres, assurant ainsi une bonne chimio-polymérisation^[145].

- **Adhésion et étanchéité** : Un adhésif doit avant tout assurer la rétention de l'obturation. Il doit assurer de manière immédiate un joint adhérent suffisamment fort pour s'opposer aux contraintes de polymérisation du composite qu'on applique à sa surface. Par ailleurs, comme la mise en fonction d'une restauration suit directement le traitement, ce joint doit présenter une résistance précoce suffisante particulièrement lors que la rétention est faible et que l'essentiel de la tenue est assuré par le collage. Il est habituellement admis qu'il doit être étanche à l'échelle du micromètre qui est celle de la bactérie. En fait, c'est à une dimension bien plus faible (celle du nanomètre) que l'interface adhésif-tissus dentaires doit s'établir pour éviter la pénétration de fluides générateurs de sensibilités postopératoires^[146].

- **Mécanisme d'action des différents systèmes adhésifs**

- **Systèmes avec mordantage et rinçage (MR)**

- **Systèmes MR3** : Ces systèmes regroupent plusieurs produits qui sont appliqués successivement sur les parois cavitaires. D'une manière générale, le traitement se fait en 3 séquences :

- **Mordantage** : La première étape consiste à appliquer une solution ou un gel, généralement l'acide orthophosphorique. On préférera les gels car ils sont souvent colorés et permettent donc une meilleure appréciation de son application. L'objectif de l'agent mordant est de trouver le meilleur compromis entre un mordantage suffisant de l'émail pour créer des microrétentions efficace Adhésion amélo-dentinaire et inhibiteurs des MMPs 48 dentine évitant une exposition du collagène sur une profondeur telle qu'elle empêcherait l'infiltration complète par la résine. Le temps d'application moyen est de 30 secondes au niveau de l'émail et 15 secondes sur la dentine. Ces durées peuvent être légèrement variables en fonction du pH et de la concentration de l'acide. La concentration sera supérieure à 20% (généralement entre 30 et 40% selon les auteurs^[147]).

- **Promoteur d'adhésion (ou "primer")** : Le "primer" joue un rôle majeur dans le processus d'adhésion à la dentine. Il permet soit de maintenir suffisamment poreux le réseau de collagène soit de permettre sa ré-expansion s'il a été "collapsé " lors du séchage.

L'application du "primer" s'avère à priori essentielle pour permettre une perméabilité de la dentine déminéralisée après évaporation de l'eau qu'elle contient. Une fois l'eau éliminée, la surface présente un caractère hydrophobe propice à la pénétration de la résine adhésive. Les "primer" contiennent de l'eau, des monomères hydrophiles et des solvants organiques. Le monomère le plus couramment employé est l'HEMA (hydroxy-éthyl-méthacrylate) qui est le seul composé méthacrylique totalement soluble dans l'eau. La présence de solvant contribue à faciliter l'évaporation de l'eau après application du primaire. L'élimination quasi complète de l'eau par séchage s'avère nécessaire à la formation d'une interphase adhérente de qualité. La présence d'eau résiduelle conduit à la formation de lacunes et une réduction du taux de conversion des monomères de résine^[148].

- **Résine adhésive (ou "bonding")** : Elle doit pénétrer les tubules et s'infiltrer dans les canaux du réseau protéique inter et péri-tubulaire ^[149]. Dans ces conditions optimales, après copolymérisation avec le composite, on aboutit à la formation d'une interphase adhérente et étanche entre le composite et la dentine intacte. Cette interphase est constituée d'une couche hybride inter et péri-tubulaire et de brides résineuses intratubulaires (resin tags).

- **La couche hybride et les brides résineuses** : La couche hybride est un entrelacement de deux types de polymères : les fibres de collagène de la matrice dentinaire, polymère d'origine naturelle, d'une part, et les macromolécules de l'adhésif, polymère de synthèse d'autre part, cet ancrage micromécanique peut être comparé à une bande « velcro » à l'échelle macromoléculaire^[147].

L'imprégnation des protéines dentinaires par la résine rend la couche hybride acido-résistante ^[150]. Une zone hybride de bonne qualité non dégradable pourrait être une protection de la dentine intacte sous-jacente et se révéler potentiellement cario-résistante. En pratique, cet idéal n'existe pas encore. Les brides résineuses intracaniculaires participent tout autant que la couche hybride à l'adhésion dentinaire ^[147].

- **Systèmes MR2** : Ce sont des produits destinés à simplifier la technique MR3, les constituants du "primer" et du "bonding" sont contenus dans un seul flacon. Schématiquement, ils contiennent à la fois les éléments du "primer" et de la résine adhésive "bonding", c'est-à-dire, des monomères hydrophobes, des monomères hydrophiles, des solvants, parfois des charges et bien sûr des amorceurs de polymérisation. La présentation de ces adhésifs permet de supprimer l'étape intermédiaire de l'application du primaire. Leurs solvants organiques (généralement alcool ou acétone) activent la pénétration du produit appliqué et facilitent l'évaporation de l'eau, lors du séchage. Le traitement ne comprend plus que deux étapes. Leur mise en œuvre est, en principe, plus simple que celle des MR3, mais elle est en fait délicate. Le problème de l'élimination des excès d'eau à la surface de la dentine mordancée et rincée, avant application de l'adhésif, devient crucial. En excès, l'eau s'oppose à la formation d'un joint adhésif continu ; c'est le phénomène du « sur-mouillage»^[143].

A l'inverse, un séchage trop intense entraîne un collapsus du collagène avec les conséquences déjà évoquées. La difficulté pour le clinicien est de trouver le bon degré d'humidité dentinaire procurant une pénétration optimale de l'adhésif. Malheureusement, il est très difficile de maîtriser cet état.

Plusieurs techniques ont été proposées à cet effet: séchage à l'air progressif en se rapprochant de la préparation, absorption des excès d'eau par tamponnement à l'aide de boulette de coton humide ou "micro-brosses" ou, à l'inverse, séchage de la cavité à l'air comprimé suivi d'une réhydratation par tamponnement ^[151].

Les adhésifs MR2 contenant de l'acétone sont considérablement plus sensibles à l'état d'humidité de la dentine que ceux qui contiennent de l'alcool ^[147].

- **Systèmes auto-mordançants (SAM)** : Les systèmes auto-mordançants contiennent de l'eau et des monomères acides. L'eau est nécessaire pour activer le potentiel d'ionisation des monomères fonctionnels acides qui déminéralisent et infiltrent simultanément émail et dentine. Comme ils participent à la polymérisation, il n'y a donc pas de rinçage après leur application. Au niveau de la dentine, ils dissolvent en premier la phase minérale de la boue dentinaire avant d'attaquer superficiellement la dentine sous-jacente.

Les ions calcium et phosphates passent en solution dans l'adhésif liquide. Les groupements carboxyles ou phosphates de certains monomères fonctionnels

peuvent former des liaisons chimiques avec les phases d'hydroxyapatite dissoute, contribuant à une meilleure cohésion de la résine infiltrée après polymérisation et, probablement à une meilleure résistance à l'hydrolyse de cette zone ^[152].

La boue dentinaire n'est donc pas totalement éliminée mais infiltrée. Après polymérisation, les constituants organiques de cette boue sont imprégnés par la résine de l'adhésif, ainsi que les fibres de collagène de la surface dentinaire traitée. La zone hybride contient donc à la fois les protéines de la boue et de la dentine. Comme le pH des monomères se situe dans la fourchette 0,8-2,5, la couche hybride est de faible épaisseur (généralement inférieure à 2 µm) comparée à celle que l'on peut former après attaque à l'acide phosphorique qui est plus acide. Mais il est clairement établi que l'adhérence à la dentine ne dépend pas de l'épaisseur de la couche hybride^[143].

L'acidité des primaires des SAM joue un rôle déterminant sur l'adhésion au niveau de l'émail et sur la durabilité des joints formés. C'est pourquoi ^[153] distinguent les "primer" et/ou adhésifs à caractère acide fort (pH₂). Il existe 2 grandes catégories de systèmes auto-mordants :

- Ceux qui nécessitent l'application successive de 2 produits différents (SAM 2)
- et ceux qui ne requièrent qu'une seule application (SAM 1)

• **Systèmes SAM 2** : On applique en premier un "primer" acide, le « self-etching primer » qui est l'alternative à l'attaque à l'acide phosphorique. Il déminéralise et infiltre simultanément les tissus dentaires calcifiés. Pour que sa diffusion en profondeur soit efficace, il doit agir pendant un temps minimum (de 20 à 30 secondes selon les produits) et doit être frotté sur les surfaces dentaires. Après évaporation de l'eau qu'il contient par séchage, il est recouvert d'une résine dont la majeure partie des composants est hydrophobe.

C'est généralement une résine classique très similaire à celle des M&R 3. Rappelons que la polymérisation des esters méthacryliques est une réaction hydrophobe qui est inhibée par l'eau et l'oxygène. Cette deuxième couche permet d'obtenir une copolymérisation efficace avec la matrice des composites.

A dissiper les contraintes du retrait de polymérisation du composite et les contraintes mécaniques subies par la restauration en fonction, réduisant ainsi le risque de rupture des interfaces collées. Elle contribue également à limiter l'incompatibilité du système

adhésif avec les composites et les colles chimio-polymérisables (ou chémo-polymérisables) ou duales^[144].

- **Systèmes SAM 1 :**

Ils combinent avec un seul produit les rôles de mordantage, primaire et adhésif. Leur avantage apparent est de simplifier la procédure clinique du collage. Outre cet aspect ergonomique, la réduction des séquences opératoires limite potentiellement le risque d'erreur de manipulation que l'on peut faire à chaque étape du collage. Toutefois, ces produits associent nécessairement de l'eau, des monomères hydrophiles, des solvants et des monomères hydrophobes. La coexistence de ces constituants dans une solution homogène ne peut se faire que dans les limites critiques de composition. Ils peuvent être sujets à séparation de phase lors de leur procédure d'application surtout si l'évaporation de l'eau qu'ils contiennent n'est pas suffisante.

- **Indication**

Le grand nombre de résines composites existant actuellement sur le marché élargit leur champ d'application :

- Coiffage pulpaire indirect.
- Technique sandwich ouvert.
- Technique sandwich fermé.
- Lésion en site I, II, III, IV et V.

Tableau 3 : Les différentes propriétés des biomatériaux de protection pulpaire.

Produits	Hydroxyde de calcium	MTA	Biodentine	Résine composite	CVI
Composées principaux	Hydroxyde de calcium	Silicate tricalcique et dicalcique	Silicate tricalcique et dicalcique	Bis-GMA TEGDMA	Fluoroaluminosilicate et acide polyakénoïde
Résistance à la compression (MPa)	10.5	40	200	300-400	150
Résistance à la traction (MPa)	?	?	?	< 48	12-15
Résistance à la flexion (MPa)	?	?	34	66.3 à 125	20-30
Radio opacité	Proche de la dentine	Entre l'émail et la dentine	3.5mm d'aluminium	Dépend du fabricant	Supérieur à la dentine et l'émail
Mécanisme d'adhésion	Aucun	?	?	Couche hybride	Chimique liaisons ioniques
Etanchéité	Mauvaise	Excellente	Excellente	Bonne	Bonne
Induction à la dentinogénèse	Oui	Oui	Oui	Non	Oui
Action anti inflammatoire	Oui	Oui	?	Non	Non
Action antibactérienne	Oui	Oui	Oui	Non	Oui
Temps de travail	3 à 5 min	5 min	6min	Dépend du matériau	Dépend du fabricant
Temps de prise	2.5 à 5.5 min	MTA 2h45min MM-MTA 20min	9 à 12min	Dépend du matériau	Dépend du fabricant
Utilisation direct sous charge occlusale	Non	Non	Oui	Oui	Non
pH	12.5	12.5	12.6	?	5,5 à 6,2
Toxicité pulpaire	Non	Non	Non	Oui	Oui

Chapitre II

ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Méthodologie

1.1. Objectif de travail

Cette revue systématique sur le coiffage pulpaire a pour objectif de comparer les résultats des différentes techniques de coiffage pulpaire en fonction des biomatériaux utilisés.

1.2. Choix des bases de données

Plusieurs bases de données ont été sélectionnées pour constituer notre base de travail :

- **Medline (Index Medicus) :**

Medline (c'est un sous ensemble primaire de PubMed) est une base des données bibliographiques qui recouvre tous les domaines médicaux de l'année 1966 à nos jours. Elle contient plus de 14 millions de références. De nouvelles références sont ajoutées tous les jours dans la base indexée avec des MeSH (Medical Subject Headings).

- **PubMed :**

PubMed est une base de données bibliographique. Elle est un projet du Centre National pour l'information Biotechnologique (NCBI pour l'acronyme en anglais) de la Bibliothèque Nationale américaine de Médecine (NLM pour l'acronyme en anglais), située au NIH (National Library of Medicine) des Etats-Unis.

PubMed est accessible à travers du site Web de NLM.

- **SNDL :**

Le Système National de Documentation en Ligne (SNDL) permet l'accès à une documentation électronique nationale et internationale très riche et très variée, couvrant tous les domaines de l'enseignement et de la recherche scientifique:

En termes d'accès, cette documentation est classée sous deux catégories. La première catégorie est accessible sans restriction à l'ensemble des étudiants, enseignants-chercheurs et chercheurs permanents au sein des campus universitaires et centres de recherche. L'autre catégorie, par contre, concerne l'aspect recherche. Elle est dédiée aux enseignants-chercheurs, aux chercheurs permanents, aux étudiants en post-graduation (Doctorants et Magisters), aux étudiants ingénieurs en fin de cycle et Master2. L'accès à

cette deuxième catégorie de documentation se fait sans restriction de lieu de connexion mais exige l'obtention d'un compte individuel.

- **Google Scholar :**

Est un service du moteur de recherche **Google** permettant la recherche d'articles scientifiques. Lancé fin 2004, il inventorie des articles approuvés ou non par des comités de lecture (en anglais: peer-reviewed), des thèses de type universitaire, des citations ou encore des livres scientifiques.

1.3. Population d'étude

1.3.1. Critères d'inclusion

Nous avons inclus dans notre mémoire (recherche) les articles qui ont satisfais les conditions suivantes :

- ✓ Articles traitant le coiffage pulpaire
- ✓ Type d'étude inclus : des essais cliniques randomisés pratiqués sur l'être humain
- ✓ Articles publiés en anglais durant la période 2008 -2018

1.3.2. Critères de non inclusion

Nous n'avons pas inclus dans notre recherche des articles lorsqu'un des critères suivants était présent :

- ✓ Articles de recherches sur les dents temporaires
- ✓ Articles sur les revues systématiques
- ✓ Travaux de recherche sur animal.

1.4. Description des facteurs d'éligibilité

Medline/PubMed, à l'aide de l'arbre MeSH, nous avons choisi comme descripteur « pulp capping ». Nous avons obtenu 1984 références.



Figure 10: Capture d’écran montrant le nombre d’article initiale depuis juillet 2018 jusqu’à avril 2019.

Les trois limites utilisées selon nos objectifs, nous ont conduits à une réduction du nombre d’articles sélectionnés à 55 références:

- ✓ Essais cliniques,
- ✓ Période de publications de 2008-2018,
- ✓ Etude sur homme

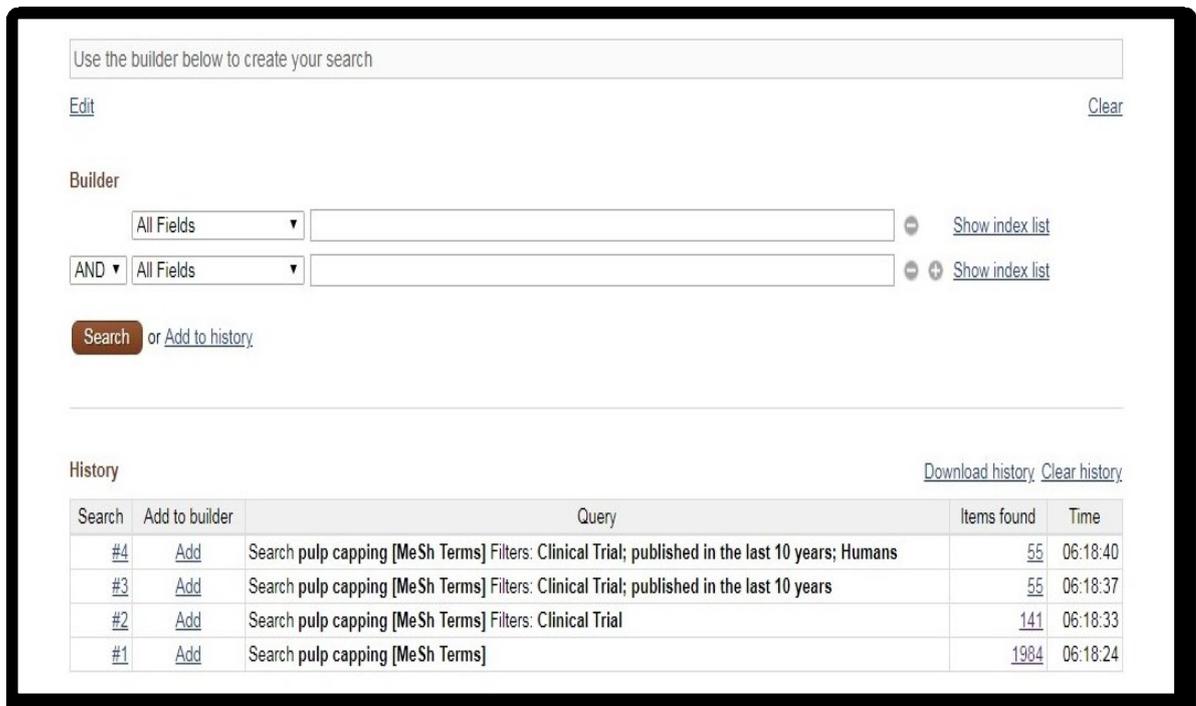


Figure 11: Capture d’écran montrant les articles sélectionnés selon les trois limites depuis juillet 2018 jusqu’au avril 2019

En utilisant les mots clés de l'équation de notre recherche :

- Direct pulp capping
- Indirect pulp capping
- Mineral trioxide aggregate
- Biodentine
- Calcium hydroxide
- Composite resin
- Glass ionomer cement
- Zinc oxide eugenol

Ces termes ont été utilisés séparément et de manière croisée afin d'identifier les articles à analyser :

#17	Add	Search (direct pulp capping[MeSH Terms]) AND glass ionomer cement Filters: Clinical Trial; published in the last 10 years; Humans	6	14:34:54
#16	Add	Search (direct pulp capping[MeSH Terms]) AND composite resin Filters: Clinical Trial; published in the last 10 years; Humans	4	14:34:25
#15	Add	Search (direct pulp capping[MeSH Terms]) AND calcium hydroxide Filters: Clinical Trial; published in the last 10 years; Humans	16	14:33:59
#14	Add	Search (direct pulp capping[MeSH Terms]) AND mineral trioxide aggregate Filters: Clinical Trial; published in the last 10 years; Humans	14	14:33:26
#13	Add	Search (direct pulp capping[MeSH Terms]) AND biodentine Filters: Clinical Trial; published in the last 10 years; Humans	5	14:32:53
#12	Add	Search (pulp capping[MeSH Terms]) AND mineral trioxide aggregate Filters: Clinical Trial; published in the last 10 years; Humans	24	14:32:21
#11	Add	Search (pulp capping[MeSH Terms]) AND zinc oxide eugenol Filters: Clinical Trial; published in the last 10 years; Humans	8	14:31:38
#10	Add	Search (pulp capping[MeSH Terms]) AND unmodified zinc oxide eugenol Filters: Clinical Trial; published in the last 10 years; Humans	0	14:29:09
#9	Add	Search (pulp capping[MeSH Terms]) AND glass ionomer cement Filters: Clinical Trial; published in the last 10 years; Humans	11	14:28:20
#8	Add	Search (pulp capping[MeSH Terms]) AND composite resin Filters: Clinical Trial; published in the last 10 years; Humans	11	14:27:49
#7	Add	Search (pulp capping[MeSH Terms]) AND calcium hydroxide Filters: Clinical Trial; published in the last 10 years; Humans	30	14:27:17
#6	Add	Search (pulp capping[MeSH Terms]) AND biodentine Filters: Clinical Trial; published in the last 10 years; Humans	6	14:26:49
#5	Add	Search (pulp capping[MeSH Terms]) AND mineral trioxide aggregate Filters: Clinical Trial; published in the last 10 years; Humans	0	14:26:07
#4	Add	Search (direct pulp capping[MeSH Terms]) AND indirect pulp capping Filters: Clinical Trial; published in the last 10 years; Humans	2	14:25:26
#3	Add	Search indirect pulp capping[MeSH Terms] Filters: Clinical Trial; published in the last 10 years; Humans	14	14:24:56
#2	Add	Search direct pulp capping[MeSH Terms] Filters: Clinical Trial; published in the last 10 years; Humans	27	14:24:39

Source :pubmed

Figure 12 : Capture d'écran montrant le nombre d'articles sélectionnés en fonction de la technique utilisée ainsi que le biomatériau de choix

Use the builder below to create your search

[Edit](#) [Clear](#)

Builder

All Fields [Show index list](#)

AND All Fields [Show index list](#)

[Search](#) or [Add to history](#)

History [Download history](#) [Clear history](#)

Search	Add to builder	Query	Items found	Time
#25	Add	Search (indirect pulp capping[MeSH Terms]) AND zinc oxide eugenol Filters: Clinical Trial; published in the last 10 years; Humans	<u>1</u>	14:41:51
#24	Add	Search (indirect pulp capping[MeSH Terms]) AND glass ionomer cement Filters: Clinical Trial; published in the last 10 years; Humans	<u>4</u>	14:41:18
#23	Add	Search (indirect pulp capping[MeSH Terms]) AND composite resin Filters: Clinical Trial; published in the last 10 years; Humans	<u>6</u>	14:40:49
#22	Add	Search (indirect pulp capping[MeSH Terms]) AND calcium hydroxide Filters: Clinical Trial; published in the last 10 years; Humans	<u>11</u>	14:40:25
#21	Add	Search (indirect pulp capping[MeSH Terms]) AND mineral trioxide aggregate Filters: Clinical Trial; published in the last 10 years; Humans	<u>4</u>	14:39:56
#20	Add	Search (indirect pulp capping[MeSH Terms]) AND biodentine Filters: Clinical Trial; published in the last 10 years; Humans	<u>1</u>	14:39:22
#19	Add	Search (direct pulp capping[MeSH Terms]) AND endosseous root repair material Filters: Clinical Trial; published in the last 10 years; Humans	<u>0</u>	14:38:50
#18	Add	Search (direct pulp capping[MeSH Terms]) AND zinc oxide eugenol Filters: Clinical Trial; published in the last 10 years; Humans	<u>3</u>	14:35:31

Source :pubmed

Figure 12 (Suite): Capture d'écran le nombre d'articles sélectionnés en fonction de la technique utilisée ainsi que le biomatériau de choix.

Les deux autres bases de données (google scholar et SNDL) n'ont pas contribué à la constitution de la base de travail.

1.5. Sélection des articles

Quarante-sept articles sur cinquante-cinq sélectionnés ont été analysés sur l'intégralité du texte.

Résultats

2. Résultats

- L'élimination des articles était faite selon 3 limites(essai clinique, période de publication 2008-2018, etude sue homme). Ainsi que l'intégralité du texte des articles
- Les articles traitant des essais cliniques non randomisés ne seront pas évalués.

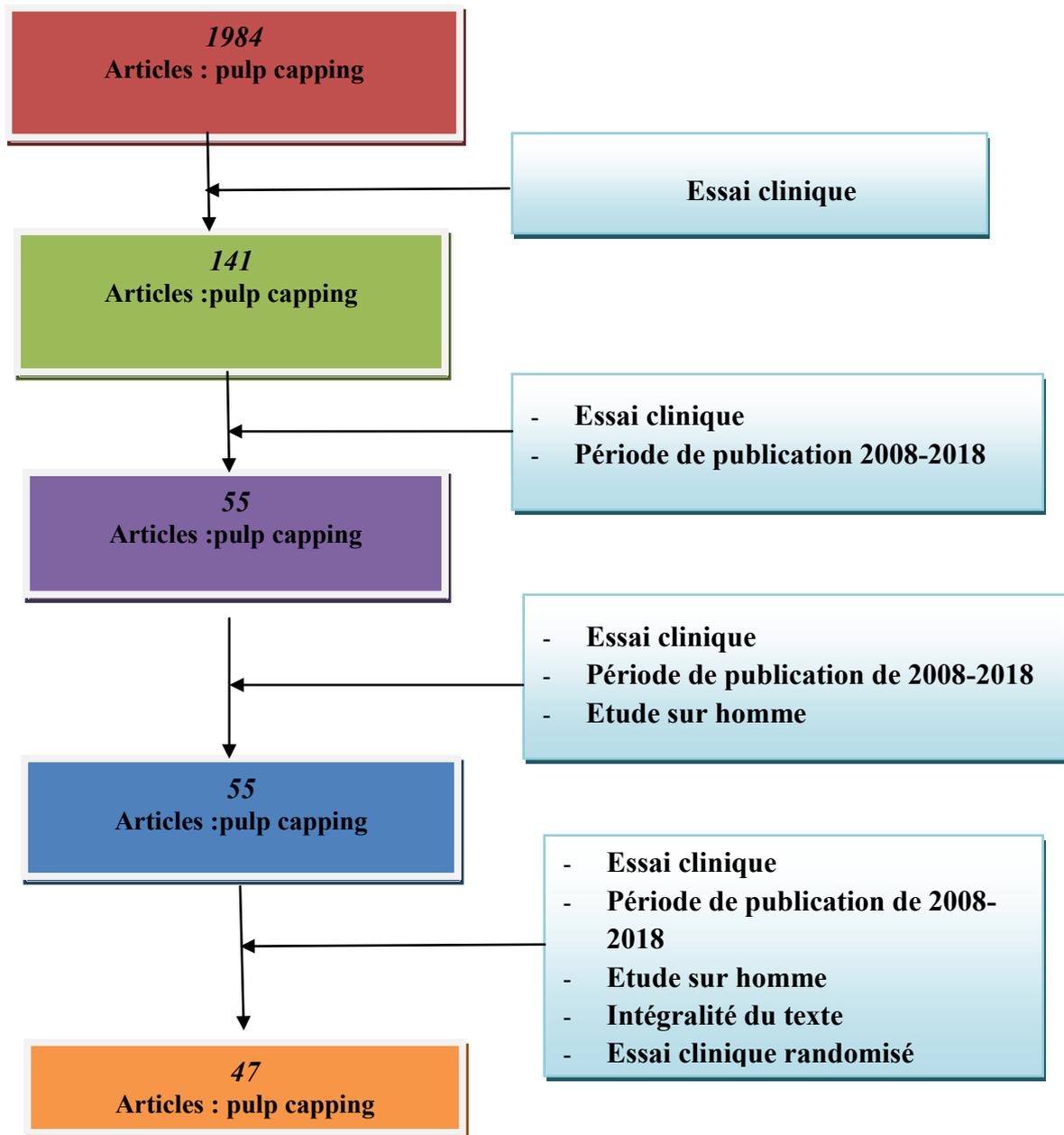


Figure 13: Diagramme de sélection des articles analysés en fonction des limites prises en considération.

2.1. Résultats du traitement par coiffage pulpaire direct

Nous avons pu analyser 35 articles qui parlent du coiffage pulpaire direct

Tableau 4 : Résultat du traitement par coiffage pulpaire direct sur dent permanente

Auteur	Pays	Année	Type d'étude	Pathologie contexte	Biomatériaux	Résultat
Claudia Brizuela, et al ^[154]	Chili	2017	Essai clinique randomisé	Cariéuse	- Biodentine - Ca(OH) ₂ - MTA	- biodentine=100% - 3moisCa(OH) ₂ =99.40%(succé) - apres 6mois MTA =97.63%(succé) - après 6mois Ca(OH) ₂ = - 13.64% d'échec
Esra Cengiz et Hasan Yilmaz Guney ^[155]	Turquie	2016	Essai Clinique randomisé	Cariéuse	- Laser ((Er, Cr: YSGG) - Tricalcium Silicate - Ca(OH) ₂	- laser+Ca(OH) ₂ et tricalcium silicate=100% - Ca(OH) ₂ =73,3% - tricalcium silicate =66,6%
TJ Hilton et al ^[156]	USA	2013	Essai clinique	- Cariéuse - Traumatique - Iatrogène	- Ca(OH) ₂ - MTA	- Ca(OH) ₂ =68.5% - MTA=80.3
Farhin A. Katge, et Devendra P. Patil ^[157]	Inde	2017	Essai clinique	Cariéuse	- biodentine - MTA	100%
R. Kundzina et al ^[158]	Norvège	2017	Essai clinique randomisé	Cariéuse	- Ca(OH) ₂ - MTA	- MTA=85% - Ca(OH) ₂ =52%
Alicja Nowicka et al ^[159]	Pologne	2016	Essai clinique randomisé	Cariéuse	- système adhésive - Ca(OH) ₂	- P <0,001 - échec pour le système adhésif
Alicja Nowicka et al ^[160]	Pologne	2013	Essai clinique	- Cariéuse - Traumatique	- MTA - Biodentine	- 27.27%=MTA(échec) - 36.36%=biodentine(échec)
Alicja Nowicka et al ^[161]	Pologne	2015	Essai clinique	Cariéuse	- MTA - Biodentine - Ca(OH) ₂ - Dentin bonding system	P <0 . 05 pour biodentine ,MTA, CaOH et P >0.05 pour le bonding system

Tableau 4 (suite1) : Résultat du traitement par coiffage pulpaire direct sur dent permanente

Lars Bjørndal et al ^[162]	Danemark	2010	Essai clinique randomisé	Cariéuse	- Ca(OH) ₂ - MTA	Ca(OH) ₂ =31.8% MTA=74.1%
Elaine Zanchin Baldissera et al ^[163]	Brésil	2013	Expérimentale (histologique) But : examiné l'expression de glycoprotéines de la matrice extracellulaire TN et FN	Cariéuse	- Ca(OH) ₂	100%
H. Fransson et al ^[164]	Suède	2010	Expérimentale Marqueur de dentine :DSP, Col1	?	- Ca(OH) ₂ - Emdogain Gel	Tissu dur formé après l'utilisation de Ca (OH) ₂ et Emdogain Gel contient de DSP,Col1
Ayse I. Orhan et al ^[165]	Turquie	2008	Essai Clinique randomisé	Cariéuse	- Ca(OH) ₂	74.4%
Gerluza Aparecida Borges Silva et al ^[166]	Brésil	2013	Essai clinique	Cariéuse	- système adhésif	Echec
Cyril Villat et al ^[167]	France	2016	Essai clinique	Cariéuse	- AT - AA	-AT=échec -AA=échec
Emad Alshwaimi et al ^[168]	Arabi Saudi	2016	Essai Clinique	?	- Bétaméthasone/gentamicine - MTA	-Epaisseur du pont dentinaire P < .05 -Réponse inflammatoire (MTA =0%et bétaméthasone/gentamicine=14.3%

Tableau 4 (suite2) : Résultat du traitement par coiffage pulpaire direct sur dent permanente

Minju Song,et al ^[169]	Seoul Corée du sud	2015	Essai Clinique	Cariéuse Traumatique	- MTA(ProRoot) - Endocem	- ProRoot=95.5% - Endocem=90.5% - succès générale de 93%
Bogen G et al ^[170]	Japan	2008	Essai Clinique	Cariéuse	- MTA	100%
dammaschke et al ^[171]	Allemagne	2010	Essai Clinique	Cariéuse	- Ca(OH) ₂	76.3% après 13ans
Mente et al ^[172]	Allemagne	2014	Essai Clinique	Cariéuse	- Ca(OH) ₂ ;MTA	59%CaOH;80.5%MTA
Naito ^[173]	Japan	2010	Essai Clinique	Cariéuse	- MTA - Ca(OH) ₂	- MTA=78.17% - Ca(OH) ₂ =69.5%
willershausen et al ^[174]	Allemagne	2011	Essai Clinique	Cariéuse	- Ca(OH) ₂	80.1%apres 9ans 58.7%
Saeed Asgary et al ^[175]	Iran	2014	Essai Clinique	Cariéuse	- CEM cement	96.4%
JP Miles ,et al ^[176]	USA	2010	Essai Clinique	Cariéuse	- MTA	1an MTA=67.7%;après 2ans 56.2%
Accorinte et al ^[177]	Brésil	2009	Essai Clinique	Cariéuse	- MTAproroot - MTAangelus	- MTAproroot=88% - MTAangelus=94%
Saeed Asgary et al ^[178]	Iran	2018	Essai Clinique	Cariéuse	- CEM cement	- une semaine=95.7% - 3mois=98.4% - 1an=94.7%
Linus et al ^[179]	India	2017	Essai Clinique	Cariéuse	- biodentine - MTA	- MTA=84.6% - Biodentine= 92.3%
R.Accorinte et al ^[180]	Brésil	2008	Essai Clinique	Cariéuse	- MTA - Ca(OH) ₂	- MTA30jrs=100% - MTA60jrs=90% - Ca(OH) ₂ 30jrs=60% - Ca(OH) ₂ 60jrs=90%
Victor gong,Rodrigo França ^[181]	Cannada	2017	Essai Clinique	Cariéuse	- MTA(proroot) - Dycal(caulk) - Theracal(bisco) - Biodentine(septodent)	- Masse et Surface de Ca++: - Dycal=7.9%et 15.1% - MTA=14.1%et 17% - Theracal=0%et 3.6% - biodentine=17.6%et 33.7%

Tableau 4 (suite3): Résultat du traitement par coiffage pulpaire direct sur dent permanente

A.Shahravan et al^[182]	Iran	2011	Essai Clinique	- Traumatisme	- MTA blanc	100%
Mohamed Hassen Zarrabi et al^[183]	Iran	2010	Essai Clinique+etude expérimentale	?	- MTA - novel endodontic cement (NEC)	100% 100%
Takashi Komaba et al^[184]	Japan	2015	Essai Clinique Etude Analytique	- Carieuse - Iatrogène - Traumatique	- MTA - Ca (OH) ₂ - CO ₂ laser - Nd:YAG laser diode - Er,Cr:YSGG laser - Er;YAG laser	100%
Takashi Komba et al^[185]	Japan	2016	Essai clinique	- Carieuse - Traumatique - Iatrogène	- Ca (OH) ₂ - MTA - systeme adhesive - MMA-TBB	Pas de différence significative entre MTA et Ca(OH) ₂ ;un succès de 100%
Suzuki et al^[186]	Japan	2018	Essai Clinique	- Traumatique	- CO ₂ laser - Ca(OH) ₂	57.14%
Orhan et al^[187]	Turquie	2010	Essai clinique	- Carieuse	- Ca(OH) ₂	78%
Marques et al^[188]	Amsterdam	2015	Essai clinique	- Carieuse	- MTA	91.3%

MTA=mineral trioxide aggregate ,DSP=sialoprotéine dentinaire ;Ca(OH)₂= hydrxyde de calcium ; CEM= Ciment minéral enrichi ;Coll=collégène type1 ;FN=fibronectine ;TN=ténascine ;CPD=coiffage pulpaire direct ;CPI=coiffage pulpaire indirect ;AA=antibactériel adhésive ;AT=traditional adhésive ; (MMA-TBB)= Methyl methacrylate-tributylborane.

NB : le % au niveau de la colonne résultats ou l'échec n'est pas mentionné à coté est un taux de succès

Article 1:

Brizuela, C., et al., Direct Pulp Capping with Calcium Hydroxide, Mineral Trioxide Aggregate, and Biodentine in Permanent Young Teeth with Caries: A Randomized Clinical Trial. J Endod, 2017. 43(11): p. 1776-1780.

Population : Un essai clinique randomisé a été mené qui comprenait 169 patients (âge moyen, 11.3 ans) de Maipo (Chili).

Objectif : évaluer l'efficacité des matériaux de silicates de calcium (biodentine et MTA) dans le coiffage pulpaire direct sur les dents permanentes immatures.

Méthode : un essai clinique randomisé aveugle avec 3 groupes expérimentaux parallèles :

✓ **Dans le groupe 1 :**

Une capsule de CH (Hertz Pharmaceutical, Santiago, Chili) a été mélangée avec une solution salée.

Le mélange a été appliqué sur la pulpe avec un système d'arme à feu MTA (Dentsply Maillefer) et une boulette de coton humide jusqu'à ce qui était complètement recouvert de la pulpe exposée.

✓ **Dans le groupe 2 :**

Blanc ProRoot MTA (Dentsply Maillefer) a été mélangé conformément aux instructions du fabricant.

Le mélange a été appliqué sur la pulpe exposée avec la même technique que celle utilisée dans le groupe 1.

✓ **Dans le groupe 3 :**

Biodentine (Septodont) a été mélangé conformément aux instructions du fabricant.

Le mélange a été appliqué sur la pulpe exposée avec la même technique que celle utilisée dans les groupes 1 et 2.

Résultat :

- Au suivi d'une semaine : il y avait un succès clinique à 100%.
- Au bout de 3 mois, il y avait un échec dans le groupe CH.
- A 6 mois, il y avait 4 nouvelles défaillances (1 dans le groupe CH 3 et dans le groupe MTA).
- A 1 an de suivi, il y avait un autre échec dans le groupe CH. Selon le test exact de Fisher, il n'y avait pas de différences statistiquement significatives entre les matériaux étudiés à différents intervalles de temps (3 mois, $P = 0,283$; 6 mois, $P = 0,221$; 1 an, $p = 0,127$).
- 100% de réussite dans le groupe Biodentine.
- 13,64% des échecs dans les deux groupes CH et MTA.

Article 2:

Cengiz, E. and H.G. Yilmaz, Efficacy of Erbium, Chromium-doped:Yttrium, Scandium, Gallium, and Garnet Laser Irradiation Combined with Resin-based Tricalcium Silicate and Calcium Hydroxide on Direct Pulp Capping: A Randomized Clinical Trial. J Endod, 2016. 42(3): p. 351-5.

Population : 60 dents de 60 patients âgés de 18 à 41 ans ont été recrutés pour cette étude.

Objectif : d'évaluer l'efficacité de l'erbium, dopés au chrome: yttrium, scandium, de gallium et grenat (Er, Cr: YSGG) irradiation laser combiné avec un matériau de silicate tricalcique à base de résine et de l'hydroxyde de calcium dans le coiffage pulpaire direct.

Méthode :

Ils étaient séparés en 4 groupes expérimentaux :

✓ **CH Groupe :**

Après hémostase a été obtenue, la surface exposée a été scellé avec CH (Dycal; Dentsply, Tulsa, OK).

✓ **Laser CH Groupe :**

La surface exposée a été irradié avec l'Er, Cr: YSGG (Waterlase MD; Biolase, Irvine CA)

Après irradiation par laser, la zone traitée a été scellé avec une pâte auto-durcissante CH.

✓ **Groupe TheraCal :**

Après hémostase a été obtenue, le silicate tricalcique à base de résine (TheraCal LC) a été appliqué directement sur la pulpe exposée.

✓ **Groupe Laser TheraCal**

Après la zone exposée a été irradié avec l'Er, Cr: YSGG.

TheraCal a été utilisé pour sceller la zone traitée.

Pour tous les groupes, une couche de résine modifiée verre ionomère (GC Fuji II LC, GC Corp, Tokyo, Japon) a été placé au-dessus des matériaux coiffage pulpaire, puis la restauration finale a été réalisée en utilisant une résine composite nanohybride.

Résultat :

- Le taux de réussite global a été de 85% (51/60 cas),
- Les taux de réussite dans les groupes CH était de 73.3%
- TheraCal était de 66,6% (10/15cas),.
- L'analyse statistique de ces taux de réussite n'a révélé aucune différence significative entre les groupes CH et TheraCal.
- Dans les deux groupes laser, les taux de réussite ont été de 100%.

Article 3:

Hilton, T.J., et al., Comparison of CaOH with MTA for direct pulp capping: a PBRN randomized clinical trial. J Dent Res, 2013. 92(7 Suppl): p. 16S-22S.

Population : 376 personnes choisies .

objectif: d'évaluer et comparer le succès de coiffage pulpaire direct dans les dents permanentes avec MTA (agrégat de trioxyde minéral) ou CaOH (hydroxyde de calcium).

Méthode :

deux groupes expérimentaux ont été choisis :

- groupe 1 : n=181 pour CaOH
- groupe 2 : n=195 pour MTA,

Une résine modifiée liner verre ionomère (Vitre bond, 3M / ESPE) a été placée sur l'agent de coiffage et étendue de manière périphérique au-delà.

Résultat :

Les principaux résultats ont été :

- La nécessité d'un traitement d'extraction ou d'un canal radiculaire.
- Les dents ont également été évaluées pour la vitalité de la pulpe et des radiographies ont été prises à la discrétion du dentiste.
- La probabilité de défaillance à 24 mois était :
 - ✓ 31,5% pour CaOH contre.
 - ✓ 19,7% pour MTA (permutation test log rank, $p = 0.46$).

Article 4 :

Katge, F.A. and D.P. Patil, Comparative Analysis of 2 Calcium Silicate-based Cements (Biodentine and Mineral Trioxide Aggregate) as Direct Pulp-capping Agent in Young Permanent Molars: A Split Mouth Study. J Endod, 2017. 43(4): p. 507-513.

Population : Dans 50 patients, 29 patients ont des 1ere molaires permanentes bilatérales asymptomatiques avec la participation cariée ont été sélectionnés.

objectif : Le but de cette étude était de comparer Biodentine et de l'agrégat minéral de trioxyde (MTA) pour coiffage pulpaire direct des molaires permanentes immatures cliniquement et radiographiquement(enfants de 7 à 9ans).

Méthode : Selon la conception de la bouche fendue, ces patients ont ensuite été divisés en 2 groupes :

- Un groupe Biodentine (côté droit) et le groupe MTA (côté gauche).
- Les résultats du traitement a été évalué cliniquement par des tests de sensibilité pulpaire ainsi que radiologiquement pour évaluer la formation de pont dentinaire.

Résultat :

- L'étude a rapporté le taux de réussite de 100% à la fois Biodentine et MTA au départ.
- Les résultats étaient statistiquement non significative ($p < 05$) entre les deux groupes (Biodentine et MTA).
- Radiographiquement, la formation de pont dentinaire n'était pas évidente avec les deux groupes au départ, mais elle était évidente après 6 -12 mois de suivi.

Article 5:

Kundzina, R., et al., Capping carious exposures in adults: a randomized controlled trial investigating mineral trioxide aggregate versus calcium hydroxide. Int Endod J, 2017. 50(10): p. 924-932.

Population : 70 adultes de 18 ans - 55 ans.

Objectif : Comparer l'efficacité de l'agrégat minéral de trioxyde (MTA) et d'hydroxyde de calcium classique (CH) en tant que matériaux de recouvrement direct de la pulpe dans des molaires adultes cariées.

Méthode : deux bras parallèles:

- Groupe MTA (blanc ProRoot, Dentsply, Tulsa Dental, Tulsa, OK, États-Unis; n =33)
- Groupe CH (Dycal, Dentsply DeTrey GmbH, Konstanz, Allemagne; n = 37).
- Les dents ont été temporisées pendant une semaine avec verre - ionomère (Fuji IX, GC Corp, Tokyo, Japon) puis de façon permanente restaurées avec une résine composite.
- Les sujets ont été suivis après une semaine et à six, 12, 24 et 36 mois.
- Le critère principal était la survie de pulpes coiffées, le résultat secondaire était la douleur postopératoire après une semaine.
- La survie a été définie comme une dent non symptomatique qui a répondu aux tests de sensibilité et ne présentait pas des changements périapicaux à la radiographie.
- **Kaplan –Meier** et test **log-rank** ont été utilisés pour évaluer la différence significative dans les courbes de survie entre les groupes.
- Le test du **chi square** a été utilisé pour évaluer l'association entre les matériaux et la douleur pré-opératoire et post-opératoire.

Résultat:

- à 36 mois, le **Kaplan – Meier** analyse a montré un taux d'estimation cumulée de 85% pour le groupe MTA et 52% pour le groupe CH ($p = 0,006$).
- Il n'y avait pas d'association significative entre le matériau de recouvrement et de la douleur post-opératoire.
- MTA a plus d'efficacité qu'un revêtement conventionnel CH en tant que matériau de coiffage pulpaire direct.

Article 6:

Nowicka, A., et al., Clinical and Histological Evaluation of Direct Pulp Capping on Human Pulp Tissue Using a Dentin Adhesive System. Biomed Res Int, 2016. 2016: p. 2591273.

Population : 28 troisièmes molaires cariés prévues pour l'extraction ont été évaluées.

Objectif : Cette étude présente une évaluation clinique et histologique des réponses de tissu pulpaire humaines après coiffage pulpaire direct avec un nouveau système adhésif dentinaire.

Méthode :

Les pulpes de 22 dents ont été exposées mécaniquement et affectés au hasard à deux groupes :

- Groupe 1 : single universal bond
- Groupe2 : d'hydroxyde de calcium.
 - Un autre groupe de 6 dents agit en tant que groupe témoin intact.,
 - Les dents ont été extraites au bout de 6 semaines, et une analyse histologique a été réalisée.
 - L'état de la pulpe a été évaluée, et l'épaisseur de pont dentinaire été mesuré en utilisant un système de notation histologique.

Résultat :

- Cliniquement les dents coiffées avec le single bond universal ont été asymptomatiques.
- Les dents coiffées par d'hydroxyde de calcium, présente des douleurs légères.
- Le système adhésif universel présentait des signes histologiques a augmenté de façon non significative de pulpite ($p > 0,05$) et une couche de tissu minéralisé mince nettement plus faible ($p < 0,001$) par rapport au groupe de l'hydroxyde de calcium.

Article 7:

Nowicka, A., et al., Response of human dental pulp capped with biodentine and mineral trioxide aggregate. J Endod, 2013. 39(6): p. 743-7.

Population : 28 molaires maxillaires et mandibulaires de 18 patients âgées de 18-28 ans.

Objectif : Le but de cette étude était de comparer la réponse de la complexe pulpe dentinaire des dents humaines après coiffage pulpaire direct avec ce nouveau ciment à base de silicate tricalcique avec celui de MTA.

Méthode :

- Les pulpes des molaires ont été mécaniquement exposées et affectés prévus pour l'extraction pour des raisons orthodontiques.
- Ils ont été séparés en deux groupes expérimentaux :
 - Groupe 1 : Biodentine.
 - Groupe 2 : MTA, et 1 groupe témoin.

Au bout de 6 semaines, les dents ont été extraites, colorées avec hématoxylineosin, et classés en utilisant un système de notation histologique.

Résultat:

- La majorité des échantillons a montré la formation de pont dentinaire complet et une absence de réponse pulpaire inflammatoire.
- Les couches de cellules odontoblastiques ont été bien disposées pour former la dentine tubulaire sous osteodentine.
- L'analyse statistique n'a montré aucune différence significative entre les groupes expérimentaux Biodentine et MTA au cours de la période d'observation.

Article 8:

Nowicka, A., et al., Tomographic Evaluation of Reparative Dentin Formation after Direct Pulp Capping with Ca(OH)₂, MTA, Biodentine, and Dentin Bonding System in Human Teeth. J Endod, 2015. 41(8): p. 1234-40.

Population : 21 patients de 19-32ans (44 molaires)

Objectif : des évaluations tomographiques de formation de pont dentinaire réparatrices après coiffage pulpaire direct avec de l'hydroxyde de calcium, agrégat de trioxyde minéral (MTA), Biodentine (Septodont, Saint Maur des Fosses, France), et Single Universal Bond (3M ESPE, Seefeld, Allemagne)

Méthode :

Les molaires ont été soumises à une exposition mécanique de la pulpe et séparé en quatre groupes expérimentaux :

- Groupe1 : hydroxyde de calcium,
- Groupe2 : MTA,
- Groupe 3 : Biodentine,
- Groupe 4 : Single bond universel.
- Au bout de 6 semaines, les dents ont été extraitées et examinées avec du cône beam.
- Des données tomographiques, y compris la densité et le volume des ponts dentinaires formés ont été évaluées en utilisant un système de notation.

Résultat :

- La dentine réparatrice formée dans les groupes : l'hydroxyde de calcium, MTA, et Biodentine était significativement supérieur à celui formé dans le groupe de single bond universel en termes d'épaisseur et de volume.
- Les ponts dentinaires dans le groupe Biodentine ont été les plus épais
- La densité moyenne des ponts dentinaire était la plus élevé dans le groupe MTA et la plus basse dans le groupe Universal Single Bond.

Article 9:

Bjrnal, Treatment of deep caries lesions in adults: randomized clinical trials comparing stepwise vs. direct complete excavation, and direct pulp capping vs. partial pulpotomy. European Journal of Oral Sciences, 2010.

Population : 314 patients pour n=156 stepwise et n=158 excavation direct complète.

Objectif : essais cliniques randomisés comparant entre l'excavation par étapes VS l'excavation complète directe et coiffage pulpaire direct contre pulpotomie partielle.

Méthode: deux groupes parallèles :

Groupe 1 : n=134 excavation par étapes

Groupe 2 : n=134 l'excavation complète directe.

Résultat :

- L'excavation par étapes a entraîné une diminution des expositions de pulpe par rapport à l'excavation complète directe [différence: 11,4%, 95% intervalle de confiance (CI) (1,2; 21,3)].
- Après suivi d'une année, il y avait un taux de réussite statistiquement significatif plus élevé avec le stepwise, [différence: 11,7%, IC à 95% (0,5; 22,5)] .

Dans un essai ultérieur imbriqué, 58 patients atteints de pulpes exposés ont été randomisés pour coiffage pulpaire direct ou pulpotomie partielle :

- Nous avons trouvé aucune différence significative dans la vitalité de la pulpe sans radio transparence apicale entre les deux procédures du coiffage après plus d'un an [31,8% et 34,5%; différence: 2,7%, IC à 95% () 22,7; 26.6)].
- L'excavation progressive diminue le risque d'exposition de la pulpe par rapport à l'excavation complète directe.

Article 10:

Baldissera, E.Z., et al., Tenascin and fibronectin expression after pulp capping with different hemostatic agents: a preliminary study. Braz Dent J, 2013. 24(3): p. 188-93.

Population : 42 troisièmes molaires humaines ont été préparé ; prévue pour l'extraction dentaire

Objectif : Cette étude a examiné l'expression de glycoprotéines de la matrice extracellulaire ténascine (TN) et de la fibronectine (FN) dans la réparation de la pulpe après coiffage avec de l'hydroxyde de calcium (CH).

Méthode :

- Préparation des cavités avec exposition pulpaire.
- Différents agents hémostatiques ont été utilisé (0,9% de solution saline, 5,25% d'hypochlorite de sodium et 2% de digluconate de chlorhexidine)
- Les cavités ont été coiffé avec de l'hydroxide de calcium .

Après 7, 30 à 90 jours, les dents ont été extraites, fixées au formol, et préparées pour la technique immunohistochimique.

Résultat :

- Les deux glycoprotéines ont été trouvés dans l'ensemble du tissu de la pulpe et autour des fibres de collagène, mais étaient absents dans les tissus minéralisés. Dans la prédentine, TN montré immunomarquage positif et FN avait une expression variable.
- 7 jours après le traitement, on a observé un peu plus prononcé immunomarquage sur le site d'exposition de la pulpe.
- 30 jours, TN et FN ont démontré une expression positive autour de la barrière de la dentine.
- 90 jours, une expression mince et linéaire de TN et FN a été délimitant la dentine réparatrice.
- L'immunocoloration pour TN et FN a été vu dans les différentes régions et périodes, ce qui démontre leur rôle dans la réparation de la pulpe.

Article 11:

Fransson, H., K. Petersson, and J.R. Davies, Dentine sialoprotein and collagen I expression after experimental pulp capping in humans using emdogain gel. Int Endod J, 2011. 44(3): p 259-67.

Population : 09 paires de prémolaires sans carie à partir de 8 patients, âgés de 12-16 ans, prévue pour l'extraction, pour des raisons orthodontiques.

Objectif : Pour caractériser le tissu dur formé dans les dents humaines expérimentalement ; les dents ont été soit coiffé avec de l'hydroxyde de calcium ou avec Emdogain Gel (Biora AB, Malmö, Suède) - un dérivé de la matrice de l'émail(DME), en utilisant deux marqueurs de la dentine; sialoprotéine dentinaire(DSP) et du collagène de type 1 (Col I).

Méthode :

- Anti-Col I pur de lapin par affinité et des anticorps polyclonaux anti-DSP ont été utilisés pour colorer les coupes histologiques à partir de neuf paires de prémolaires amputées et coiffés au hasard avec du EMDgel ou de l'hydroxyde de calcium.
- Douze semaines après que les dents étaient coiffées, ils ont été extraitées, fixées, déminéralisées et en série sectionnées avant la coloration immunohistochimique.

Résultat :

- Observation de DSP et Col I, (considéré comme marqueurs pour dentine) dans le nouveau tissu dur formé après coiffage pulpaire avec EMDgel ou de l'hydroxyde de calcium.
- Ainsi, le tissu dur nouvellement formé peut être considérée comme dentinaire plutôt que tissus durs non spécifique.

Article 12:

Orhan, A.I., et al., A clinical and microbiological comparative study of deep carious lesion treatment in deciduous and young permanent molars. Clin Oral Investig, 2008. 12(4): p. 369-78.

Population : 135 dents ont été choisis.

Objectif : De comparer entre le coiffage pulpaire direct et indirect.

Méthode :

- Les dents étaient choisies au hasard et traités avec un TPI à visite unique, IPT ou DCE à deux visites. Pour l'IPT à deux visites, excavation finale a été réalisée après une période de 3 mois.
- La couleur, consistance et humidité de la dentine dans la cavité ont été enregistrés pour l'évaluation clinique.
- Les échantillons étaient microbiologiquement étudié pour le nombre total des unités formant des colonies, streptocoques mutans et lactobacilles

Résultat :

- Les résultats ont montré une croissance bactérienne dans 63,8% des échantillons dans le TPI à une visite.
- Le TPI à deux visites, une croissance a été observée dans tous les échantillons (100%) lors de l'excavation finale, la croissance positive avait considérablement diminué (44,4%) dans les échantillons.
- Dans le groupe DCE, seulement 25,6% des échantillons ont révélé une croissance bactérienne.

Article 13:

Silva, G.A., et al., Subclinical failures of direct pulp capping of human teeth by using a dentin bonding system. J Endod, 2013. 39(2): p. 182-9.

Population : 12 prémolaires cariées.

Objectif : Le but de cette étude était d'examiner l'interface adhésive de tissu pulpaire pour étudier les sous-échecs médicaux après le coiffage pulpaire humain en utilisant un système adhésif.

Méthode :

- Les dents ont été coiffées avec le système adhésif single Bond.
- Après 1jour (n = 6) et 30 jours (n = 6), les dents ont été extraites pour l'évaluation de l'interface adhésive en microscopie optique et microscopie électronique à balayage.
- Coloration brown-Brenn a été utilisée pour détecter les bactéries.

Résultat :

- L'aspect clinique de coiffage pulpaire direct pendant l'opération était satisfaisant et tous les dents étaient asymptomatiques dans la phase post-opératoire. Coloration brown-Brenn n'a révélé aucune microinfiltration bactérienne aux deux points de temps.
- Une couche hybride a été vu sur tous les murs, mais a diminué progressivement vers la zone d'exposition de la pulpe.
- Contrairement aux données cliniques, la microscopie optique et la microscopie électronique à balayage a révélé d'importants décollements infraclinique près de la zone de pulpe exposée.
- Des lacunes entre la restauration et le substrat dentinaire.
- Le système d'adhésif single Bond ne doit pas être utilisé pour le coiffage pulpaire direct.

Article 14:

Villat, C., et al., One-step partial or complete caries removal and bonding with antibacterial or traditional self-etch adhesives: study protocol for a randomized controlled trial. *Trials*, 2016. 17: p. 404.

Population : 464 patients.

Objectif : De comparer l'efficacité de l'élimination partielle par rapport à l'élimination complète de la dentine ramollie et aussi l'utilisation d'un agent antibactérien par rapport à un système adhésif auto-gravure traditionnelle en deux étapes.

Méthode :

Deux randomisations successives seront réalisées :

- la première pour le type d'excavation (partiel par rapport complet)
- la seconde pour le type d'adhésif (antibactérienne contre traditionnel).

Pour les deux objectifs, le résultat est le succès du traitement après 1 an

Résultat :

- Un succès pour système adhésif antibacterial.
- Un échec pour le système adhésif traditionnel.

Article 15:

AlShwaimi, E., A. Majeed, and A.A. Ali, Pulpal Responses to Direct Capping with Betamethasone/Gentamicin Cream and Mineral Trioxide Aggregate: Histologic and Micro-Computed Tomography Assessments. J Endod, 2016. 42(1): p. 30-5.

Population : 36 premières prémolaires humaines.

Objectif : De comparer entre l'utilisation de MTA et la crème bétaméthasone /gentamicine (BG) dans le coiffage pulpaire direct.

Méthode :

- Groupe1 :BG1 ; n=9 suivi 2 semaines
- Groupes2 :BG2 ; n=10 suivi 8 semaines
- Groupes 3 :MTA1 ; n=8 suivi 2 semaines
- Groupes 4 :MTA1 ; n=9 suivi 8 semaines
- Les dents ont été extraites et évaluées à des intervalles de temps respectifs.
- Balayage de tomographie et analyses histologiques micro-calculées ont été effectuées pour tous les échantillons.

Résultat :

- Les deux crèmes BG et MTA ont données de bonnes réponses pulpaire après 8 semaines que 2 semaines.
- La formation de ponts dentinaire était significativement plus épais dans le groupe MTA à 8 semaines que dans tous les autres groupes ($p < 05$).
- L'inflammation était du type aigu dans tous les groupes; aucune différence statistiquement significative dans tout les groupes.
- Abscess pulpaire et / ou une nécrose ont été observés plus souvent dans les dents coiffées par le BG qu'avec MTA.

Article 16:

Song, M., et al., A randomized controlled study of the use of ProRoot mineral trioxide aggregate and Endocem as direct pulp capping materials. J Endod, 2015. 41(1): p. 11-5.

Population : 46 dents ont été choisies

Objectif : Le but de cette étude était d'évaluer et de comparer les résultats cliniques à court terme de coiffage pulpaire direct en utilisant ProRoot MTA (Dentsply, Tulsa, OK) ou Endocem (Maruchi, Wonju, Corée) comme matériaux de recouvrement.

Méthode :

Groupe1 : n=23 ;les dents ont été coiffées par le MTA ProRoot

Groupe2 : n=23 ;les dents ont été coiffées par l'Endocem

Les évaluations cliniques et radiologiques ont été réalisées à 1, 2, 4 et 12 semaines après les traitements.

Résultat :

- Le taux de réussite globale était 93%
- Pour le groupe de MTA ProRoot=95,5%
- Pour le groupe d'Endocem=90,5%
- Les analyses statistiques de ces taux de réussite ne révèlent aucune différence significative entre les groupes ($p = 0,522$).

Article 17:

Bogen, G., J.S. Kim, and L.K. Bakland, Direct pulp capping with mineral trioxide aggregate: an observational study. J Am Dent Assoc, 2008. 139(3): p. 305-15; quiz 305-15.

Population : 40 patients âgés de 7ans-45ans.

Objectif : contrôler l'efficacité de MTA dans le coiffage pulpaire direct

Méthode :

- Elimination des caries à l'aide d'un colorant détecteur de caries et d'une solution d'hypochlorite de sodium pour l'hémostase.
- Placer le MTA par-dessus les expositions.
- L'opérateur a ensuite restauré provisoirement les dents avec Clearfil Photocore non collé (Kuraray Medical, Okayama, Japon).
- Lors d'une deuxième visite, l'opérateur a restauré les dents avec un composite collé après des tests de sensibilité et a confirmé le durcissement au MTA.

Aux rendez-vous de rappel, les patients ont été évalués pour déterminer la formation de dentine réparatrice, la calcification pulpaire, le développement normal des racines et les signes de pathose.

Résultat :

- Après 9ans d'observation on révèle un taux de succès de 97,96%.
- Chez les patients jeunes ; une formation complète des racines (apexogénèse).

Article 18:

Dammaschke, T., J. Leidinger, and E. Schäfer, Long-term evaluation of direct pulp capping—treatment outcomes over an average period of 6.1 years. Clinical oral investigations, 2010. 14(5): p. 559-567.

Population : 248 dents ont été examinées.

Objectif : Évaluer les résultats du coiffage pulpaire direct à l'hydroxyde de calcium

Méthode :

- Les dents cliniquement saine et avec des douleurs spontanés ont été coiffées avec de l'hydroxyde de calcium.
- Le résultat du traitement a été évalué par un test de sensibilité au CO₂.

Résultat :

- Le taux de succès global était 76,3% après 13,3ans.
- Les patients âgés de 60 ans ont montré un résultat de traitement favorable significativement plus faible par rapport aux patients de moins de 40 ans ($p < 0,05$).
- Le résultat du traitement était nettement moins favorable dans les dents restaurées avec du ciment verre ionomère par rapport à toutes les autres dents ($p < 0,01$).

Article 19:

Mente, J., et al., Treatment outcome of mineral trioxide aggregate or calcium hydroxide direct pulp capping: long-term results. Journal of endodontics, 2014. 40(11): p. 1746-1751.

Population : 229 dents ont été traité.

Objectif : D'évaluer et comparer entre l'efficacité de coiffage pulpaire direct avec MTA vs l'hydroxide de calcium.

Méthode :

229 dents traitées avec coiffage pulpaire direct entre 2001 et 2011 ont été étudiés 24 à 123 mois après le traitement.

Les informations pré-, intra et postopératoires ont été évaluées et analysées statistiquement à l'aide d'un modèle de régression logistique ainsi que de modèles logit d'équation d'estimation généralisée.

Résultat :

- Le taux de réussite était de 80,5% (intervalle de confiance à 95% [IC], 74,5–86,5%) des dents du groupe MTA.
- Groupe de l'hydroxyde de calcium présente un taux de réussite de 59% (IC à 95%, 46,5–71,5).
- Des analyses multivariées (modèle logit d'équation d'estimation généralisée) ont été montrés un risque d'échec pour les dents directement coiffées par le CH qu'avec le MTA (odds ratio = 2,67; IC à 95%, 1,36–5,25; p = 0,001).
- Les dents restaurées de manière permanente au moins 2 jours après le coiffage pulpaire direct avaient un pronostic mauvais, quel que soit le matériau de coiffage choisi (odds ratio = 3,18; IC à 95%, 1,61–6,3; P = 0,004).

Article 20:

Naito, T., Uncertainty remains regarding long-term success of mineral trioxide aggregate for direct pulp capping. J Evid Based Dent Pract, 2010. 10(4): p. 250-1.

Population : 108 patients âgés de 8-78ans

Objectif : De comparer l'efficacité de coiffage pulpaire direct avec de MTA vs l'hydroxide de calcium.

Méthode :

Groupe MTA : n=62 patients (69dents)

Groupe CH : n=46patients (53dents)

Résultat :

- Dans le groupe MTA, il y avait un succès dans 54/69dents (78%; 95% intervalle de confiance [IC] 67% -87%) dans le groupe de Ca (OH)₂ avait comme succès dans 32/46dents (60%; IC 95% 46% -74%).
- Le modèle d'équations d'estimation généralisées univariées (GEE) a montré un taux de réussite significativement plus élevé pour les dents coiffées de MTA par rapport à Ca (OH)₂ (cotes rapport [OR] 2,36; IC 95% 0,05-5,32; $p = 0,04$).

Article 21:

Willershausen, B., et al., Retrospective study on direct pulp capping with calcium hydroxide. Quintessence Int, 2011. 42(2): p. 165-71.

Population : 1,075 dents permanentes ont été traitées dans cette étude.

Objectif : Évaluer le taux de succès d'un agent de coiffage direct à base d'hydroxyde de calcium dans les dents permanentes.

Méthode :

Tous les patients ont reçu une coiffe directe de la pulpe avec un agent à base d'hydroxyde de calcium.

Les critères d'inclusion étaient les suivants:

- Dents ayant une pulpe saine,
- Dents présentant des signes de pulpite réversible et une ouverture de la chambre pulpaire.
 - ✓ Les dents présentant des processus dégénératifs graves ou une nécrose ont été exclues.
 - ✓ Après le coiffage direct, toutes les dents ont été définitivement restaurées avec de l'amalgame, du composite, du ciment verre ionomère ou d'autres matériaux dentaires.
 - ✓ Les dents ont été observées jusqu'à 9 ans avec une première visite après 3 mois de suivie.

Résultat : Le taux de réussite était de :

- 80,1% après 1 an
- 68,0% après 5 ans
- 58,7% après 9 ans

Les restaurations définitives ultérieures ont également influencé de manière significative le taux de survie ($p = 0,0035$).

Article 22:

Asgary, S., M.J. Eghbal, and J. Ghodduzi, Two-year results of vital pulp therapy in permanent molars with irreversible pulpitis: an ongoing multicenter randomized clinical trial. Clin Oral Investig, 2014. 18(2): p. 635-41.

Population : 407 patients.

Objectif : De comparer entre le traitement endodontique (RCT) et le traitement vital de la pulpe avec un mélange de ciment enrichi en calcium(CEM).

Méthode :

- groupe RCT : n=202
- groupe VPT/CEM : n=205
- suivi pendant 27mois.

Résultat :

- Les taux de succès cliniques dans les deux groupes étaient égal (98,19%).
- Cependant, les taux de succès radiographiques ont été : 79.5% pour le RCT, 86.7% pour le VPT/CEM
- Le temps de traitement, la durée moyenne, était environ trois fois plus grande dans le RCT que dans le VPT / CEM (94,07 vs 31,09 min; $p < 0,001$).

Le RCT avait un coût de 171,5K par molaire par rapport à 44,5K pour VPT.

Article 23:

Miles, J.P., et al., Pulp capping with mineral trioxide aggregate (MTA): a retrospective analysis of carious pulp exposures treated by undergraduate dental students. Oper Dent, 2010. 35(1): p. 20-8.

Population : 51 dents ont été choisies.

Objectif : Evaluer le taux de succès de coiffage pulpaire direct avec le MTA.

Méthode :

- Toutes les dents sont coiffées avec du MTA.
- Les analyses Kaplan-Meier ont été utilisées pour estimer le succès global à 12 et 24 mois, ainsi que la vitalité pulpaire.

Résultat :

- Après un an : taux de succès de 67.7%
- Après 2 ans : taux de succès de 56.2%
- Les statistiques de Tarone-Ware indiquées que ni l'âge du patient ni la taille d'exposition, ainsi que le degré de saignements a eu un effet significatif sur les taux de survie pulpaire.

Article 24:

Accorinte, M.L., et al., Evaluation of two mineral trioxide aggregate compounds as pulp-capping agents in human teeth. Int Endod J, 2009. 42(2): p. 122-8.

Population : 40 prémolaires.

Objectif : évaluer la réponse histomorphologique de pulpes dentaires humaines coiffées de deux minéraux gris composés d'agrégats de trioxyde (MTA).

Méthode :

- Les dents ont été coiffées avec ProRoot (Dentsply) ou MTA- Angelus (Angelus) restauré avec ciment de l'oxyde de zinc eugénol.
- Après 30 et 60 jours, les dents ont été extraites et traitées pour l'examen histologique.
- Les données ont été soumises à Tests de Kruskal – Wallis et Conover ($\alpha = 0,05$).

Résultat :

- Dans 5/40 dents, les bactéries étaient présentes dans le tissu pulpaire.
- Aucune différence significative n'était observée entre les deux matériaux ($p > 0,05$) dans termes de caractéristiques histologiques globales (tissu dur du pont dentinaire, réponse inflammatoire, cellules et particules géantes des matériaux de coiffage).
- Taux de succès pour MTA-Angelus était de 94%.
- Taux de succès pour le MTA-ProRoot était de 88%.

Article 25:

Asgary, S., et al., Treatment Outcomes of 4 Vital Pulp Therapies in Mature Molars. J Endod, 2018. 44(4): p. 529-535.

Population : 302 patients.

Objectif : évaluer et comparer le succès clinique et radiographique de 4 techniques de conservation de la vitalité pulpaire (VPT), coiffage pulpaire indirect [IPC], coiffage pulpaire direct [DPC], pulpotomie partielle [MP] et pulpotomie complète [FP]), utilisant du calcium-enriched mixture cement.

Méthode : on a 4 groupes expérimentaux :

Groupe 1(IPC) :n=84

Groupe2(DPC) :n=73

Groupe3(MP) :n=76

Groupe4(FP) :n=69

Les participants ont été suivis pendant 1 an.

Résultat : le taux de succès dans les 4 groupes :

Groupe1(IPC) :

- ✓ Une semaine : 97.4%
- ✓ 3mois : 98.7%
- ✓ 1an : 100%

Groupe2(DPC) :

- ✓ Une semaine : 95.7%
- ✓ 3mois :98.4%
- ✓ 1an :94.7%

Groupe3(MP) :

- ✓ Une semaine : 95.8%
- ✓ 3mois : 98.4%
- ✓ 1an : 91.4%

Groupe4(FP) :

- ✓ Une semaine : 100%
- ✓ 3mois : 93.5%
- ✓ 1an : 95.9%

Article 26:

Linu, S., et al., Treatment Outcome Following Direct Pulp Capping Using Bioceramic Materials in Mature Permanent Teeth with Carious Exposure: A Pilot Retrospective Study. J Endod, 2017. 43(10): p. 1635-1639.

Population : 30 dents

Objectif : enquêter sur les séquelles du coiffage pulpaire direct (DPC) utilisant (MTA) et de biodentine chez des personnes adultes.

Méthode : 2 groupes expérimentaux :

- Groupe1 (MTA) : n =15
- Groupe2 (biodentine) : n =15

Les deux groupes ont été traités avec coiffage pulpaire direct.

Le taux de réussite basé sur des analyses cliniques ainsi que radiographiques.

Résultat :

- Les patients ont été revus à 1, 3, 6, 12 et 18 mois.
- Le taux de succès globale était de 88.5%
- Groupe1(MTA) : montre un taux de succès de 84.6%
- Groupe 2(biodentine) : montre un taux de succès de 92.3%
- L'analyse radiographique montre une visibilité de la formation du pont dentinaire dans 69.2% pour le groupe MTA et 61.5% pour le groupe biodentine.

Article 27:

Accorinte Mde, L., et al., Evaluation of mineral trioxide aggregate and calcium hydroxide cement as pulp-capping agents in human teeth. J Endod, 2008. 34(1): p. 1-6.

Population : 40 molaires permanentes.

Objectif : évaluer la réponse histomorphologique de pulpes dentaires humaines coiffées avec (MTA) et Ca (OH)₂.

Méthode : Préparation des cavités Après cela, la pulpe a été coiffée soit avec Ca(OH)₂ ou MTA et restaurée avec composite résine.

On a 4 groupes expérimentaux :

- Groupe CaOH 30 jours
- Groupe CaOH 60 jours
- Groupe MTA 30 jours
- Groupe MTA 60 jours

Résultat :

- Groupe CaOH 30 jours : 60%
- Groupe CaOH 60 jours : 90%
- Groupe MTA 30 jours : 100%
- Groupe MTA 60 jours : 90%

Article 28:

Gong, V. and R. Franca, Nanoscale chemical surface characterization of four different types of dental pulp-capping materials. J Dent, 2017. 58: p. 11-18.

Population : 5 dents

Objectif : de déterminer la composition chimique des premières couches atomiques de quatre agents de protection pulpaire Biodentine (Septodont), ProRoot MTA (Dentsply), Dycal (Caulk) et TheraCal , car ces atomes peuvent initier le processus de guérison de la pulpe.

Méthode :

- Les dents ont été préparés (n = 5) selon les recommandations du fabricant par Biodentine (Septodont), ProRoot MTA (Dentsply), Dycal (Caulk) et TheraCal.
- La composition de la surface chimique a été analysée par spectroscopie photoélectronique à rayons X (XPS).
- La composition de la masse a été analysée par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR).
- Les éléments détectés ont été obtenus avec des sondes dépendantes de l'élément de 4-5 nm.

Résultat :

Il y avait une différence significative entre les compositions de masse et de surface pour tous les matériaux de recouvrement pulpaire utilisés.

Les concentrations superficielles de calcium à 0 nm et 70 nm étaient de :

- ✓ Dycal à 7,9 et 15,1%;
- ✓ ProRoot MTA 14,1% et 17%
- ✓ TheraCal 0% et 3,6%
- ✓ Biodentine 17,6% et 33,7%.

Article 29 :

Shahravan, A., et al., A histological study of pulp reaction to various water/powder ratios of white mineral trioxide aggregate as pulp-capping material in human teeth: a double-blinded, randomized controlled trial. Int Endod J, 2011. 44(11): p. 1029-33.

Population : 29 troisièmes molaires maxillaires et mandibulaire prévu pour l'extraction.

Objectif : de comparer la réaction histologique de la pulpe à divers rapports eau / poudre (MTA) blanc en tant que matériau de coiffage pulpaire direct.

Méthode :

- Les dents ont été exposés mécaniquement puis coiffé de 0,28, 0,33 et 0,40 rapports eau / poudre de MTA blanc restaurée avec du verre ionomère.
- Après 30 jours, les dents ont été extraites, réséquées apicalement et immergé dans du formol à 10%.
- Pour l'étude histologique, les dents ont été sectionnées par voie buccale dans une épaisseur de 5 lm tranches, colorées à l'hématoxyline et à l'éosine et évalué au microscope optique.
- Les échantillons ont été évalués pour l'intensité et le type d'inflammation, la présence de nécrose, ainsi que la continuité, la morphologie et l'épaisseur nessité des ponts calcifiés.
- Les données ont été analysées par Tests de Kruskal – Wallis et Mann – Whitney.

Résultat :

Il n'ya pas eu de différences significatives dans le diamètre, morphologie et continuité des ponts dentinaires, intensité et type d'inflammation ou de présence de nécrose ($p > 0,05$) dans les pulpes coiffés par le MTA blanc avec divers rapports eau / poudre.

Article 30:

Zarrabi, M.H., et al., Histologic assessment of human pulp response to capping with mineral trioxide aggregate and a novel endodontic cement. J Endod, 2010. 36(11): p. 1778-81.

Population : 32 prémolaires prévu pour extraction pour des raison orthodontique.

Objectif : Evaluer et comparer l'efficacité de coiffage pulpaire direct avec de MTA VS un nouveau ciment endodontique (NEC).

Méthode :

- Les dents ont été exposées et coiffées de MTA ou de NEC.
- La moitié des spécimens ont subi une extraction et analyse histologique après 2 semaines, et le reste, ont été évalués après 8 semaines.
- Chaque diapositive a été notée histologiquement selon la morphologie, l'épaisseur du pont dentinaire, la présence des cellules odontoblastiques et l'inflammation pulpaire.

Résultat:

MTA et NEC ont significativement une meilleure réponse pulpaire après 8 semaines comparée à 2 semaines avec un motif plus épais et plus tubulaire du pont dentinaire et moins d'inflammation pulpaire.

Article 31:

Komabayashi, T., A. Ebihara, and A. Aoki, The use of lasers for direct pulp capping. J Oral Sci, 2015. 57(4): p. 277-86.

Population: /

Objectif : Evaluer l'efficacité des lasers lors du coiffage pulpaire direct.

Méthode :

-Préparation des cavités avec du laser (Diode : Gallium Aluminum Arsenide (GaAlAs)

Diode; Indium Gallium Arsenide (InGaAs)

Neodymium: YAG (Nd:YAG)

Erbium, chromium:YSGG (Er, Cr:YSGG)

Erbium : YAG (Er:YAG)

Carbon Dioxide (CO₂ comblement avec du biomatériaux choisi (MTA,CaOH).

Restauration définitive avec du résine composite.

Résultat :

CO₂ laser :

- ✓ Forte hémostase
- ✓ Décontamination
- ✓ Photobiomodulation
- ✓ Moins cher

Nd : YAG :

- ✓ Forte hémostase
- ✓ Décontamination
- ✓ Photobiomodulation
- ✓ Fibre optique ou ondes creuses guider la livraison

Er.YAG :

- ✓ Hémostase faible à modérée
- ✓ Décontamination
- ✓ Photobiomodulation
- ✓ Changement thermique minimal (léger coagulation)

Livraison par fibre optique

Er.Cr.YSGG :

- ✓ Hémostase faible à modérée
- ✓ Décontamination
- ✓ Photobiomodulation
- ✓ Changement thermique minimal (léger coagulation)
- ✓ Livraison par fibre optique

Diode :

- ✓ Hémostase forte
- ✓ Décontamination
- ✓ Photobiomodulation
- ✓ Large choix de fibres optiques
- ✓ Moins cher et de petite taille dispositif
- ✓ Livraison par fibre optique

Article 32:

Komabayashi, T., et al., Current status of direct pulp-capping materials for permanent teeth. Dent Mater J, 2016. 35(1): p. 1-12.

Population:

Objectif : de comparer et d'évaluer l'efficacité du coiffage pulpaire avec de MTA VS Ca(OH)_2

Méthode :

- ✓ Préparation des cavités
- ✓ Comblement de cavités avec :

Groupe 1 : MTA

Groupe 2 : Ca(OH)_2

Résultat :

Pas de différence significative entre les résultats des deux groupes expérimentaux

$p < .05$; un succès de 100%.

Article 33:

Suzuki, M., et al., Clinical and Histological Study on Direct Pulp Capping With CO₂ Laser Irradiation in Human Teeth. Oper Dent, 2018.

Population : 28 troisièmes molaires /17patients.

Objectif : d'évaluer histologiquement la cicatrisation de la pulpe humaine exposée avec coiffage pulpaire direct à l'aide de laser CO₂.

Méthode :

- Groupe1 : n=14 préparation des cavités à l'aide de laser CO₂ et combler avec Ca(OH)₂
- Groupe 2 : n=14 préparation des cavités et comblement avec de Ca(OH)₂.
- Restauration définitive avec du résine composite.

Résultat :

- Il n'y avait pas des différences significatives entre les groupes pour tous les paramètres à chaque période postopératoire (Test U de Mann-Whitney, p. 05).
- CO₂ laser irradiation a été contrôlé complètement le saignement et exsudat de la pulpe exposée.

Article 34:

Orhan, A.I., F.T. Oz, and K. Orhan, Pulp exposure occurrence and outcomes after 1- or 2-visit indirect pulp therapy vs complete caries removal in primary and permanent molars. *Pediatr Dent*, 2010. 32(4): p. 347-55.

Population : 123 patients/154 dents.

Objectif : D'évaluer et de comparer entre le coiffage pulpaire direct et indirect.

Méthode : Les dents ont été sélectionnées au hasard et traitées avec :

- un TPI à une visite
- un TPI à deux visites
- une excavation complète directe (DCE).

Des examens de suivi des dents ont été effectués tous les 3 mois sur un an.

Résultat :

La pulpe était exposée sur :

- 12 dents (22%) traitées au DCE
- 3 dents (6%) étaient traitées par TPI à une visite
- 4 dents (8%) avec un TPI à 2 visites.
- Une différence statistiquement significative a été observée entre les groupes TPI et DCE en termes d'exposition de la pulpe ($p < 0,05$).

Article 35:

Marques, M.S., P.R. Wesselink, and H. Shemesh, Outcome of Direct Pulp Capping with Mineral Trioxide Aggregate: A Prospective Study. J Endod, 2015. 41(7): p. 1026-31.

Population: 64 dents présentent des caries profondes.

Objectif: Le but de cette étude expérimentale était d'évaluer le résultat du coiffage pulpaire direct avec un agrégat de trioxyde minéral (MTA).

Méthode:

- L'excavation des caries a été réalisée sous une digue de caoutchouc et avec un grossissement au microscope.
- MTA a été appliqué et une restauration provisoire a été mise en place.
- Lors du rendez-vous suivant, les tests de sensibilité positive.
- Les restaurations composites collées ont été placées après.
- Le patient a été rappelé au moins un an après le traitement pour le contrôle clinique et radiographique.
- Le résultat a été décrit comme un succès ou un échec.
- Le succès a été défini comme le manque de plaintes du patient, une réaction positive au test à froid, non sensibilité aux percussions et un élargissement du ligament parodontal sur la radiographie périapicale.

Résultat:

- Le taux de réussite global était de 91,3%.
- Le taux de réussite des caries occlusales était de 100% et 89,7% des caries proximales (différence = 10,3%; intervalle de confiance à 95% [IC], 8,5 à 89,1).
- Le taux de réussite de la carie initiale était de 94,7% et 88,9% de la carie secondaire (différence = 5,8%; IC à 95% de -48,1 à 59,7).
- Le taux de réussite chez les patients de moins de 40 ans était de 100% et 80% chez les patients de 40 ans et plus (différence = 20%; IC à 95%, 4,2 à 35,8).

Nous retenons que pour le coiffage pulpaire direct, le taux de succès à 5 ans pour l'hydroxyde de calcium est compris entre 59% et 69% et pour le MTA entre 78% et 98%. L'étude utilisant la Biodentine a montré un taux de succès de 100% à 6 mois de suivi.

2.2. Résultats du traitement par coiffage pulpaire indirect

Nous avons pu analyser 12 articles qui parlent du coiffage pulpaire indirect

Tableau 5 : Résultat du traitement par coiffage pulpaire indirect sur dent permanente

Auteur	Pays	Année	Type d'étude	Pathologie contexte	Biomatériaux	Résultat (taux de succès)
Orhan et al^[165]	Turquie	2008	Essai clinique	Cariéuse	- Ca(OH) ₂	- 97.8% pour 3mois
Orhan et al^[187]	Turquie	2010	Essai clinique	Cariéuse	- Ca(OH) ₂	- 92%-94% après une année
Lars Bjørndal et al^[162]	Danemark	2010	Essai clinique	Cariéuse	- Ca(OH) ₂	- Stepwise excavation=74.1% - Direct complète excavation=62.4% - Ca(OH) ₂ 3mois=73%
Leye benoist et al^[189]	Senegal	2012	Essai clinique	Cariéuse	- Ca(OH) ₂ - MTA	- Ca(OH) ₂ 6mois=73% - MTA 3mois=93% - MTA 6mois=89.6%
Petrou et al^[190]	Allemagne	2014	Essai clinique	Cariéuse	- Ca(OH) ₂ - Portland cement - MTA	- Ca(OH) ₂ =86.9% - Portland cement=90.5% - MTA=94.5% (après 6mois)
Maltz et al^[191]	Brésil	2011	Essai clinique	Cariéuse	- Ca(OH) ₂	- 1.5an=97% - 3ans=90% - 5ans=82% - 10ans=63%
Gruythuysen et al^[192]	Amsterdam	2010	Essai clinique	Cariéuse	- Ca(OH) ₂	93%
Vijay Pakash Mathur et al^[193]	Inde	2017	Essai clinique	Cariéuse	- Ca(OH) ₂ - CVI - MTA	- MTA=100% - Ca(OH) ₂ = 93.3% - CVI= 97%

Tableau 5 (suite 1): Résultat du traitement par coiffage pulpaire indirect sur dent permanente

Vessela P. Stefanova et al^[194]	Bulgaria	2015	Expérimentale	- Carieuse - Traumatique	- MTA - Ca(OH) ₂ - Biodentine La préparation était à l'aide de Er.YAG laser dentaire	100%
Luana Severo Alves^[195]	Brésil	2010	Essai clinique	Carieuse	Ca(OH) ₂	76.92%(6mois à 7mois et 3ans) après 10ans l'évaluation révèle une diminution
Saeed Asgary et al^[178]	Iran	2018	Essai clinique	Carieuse	CEM	-une semaine= 97.4% -3mois =98.7% -1an =100%
Cyril Villat et al^[167]	France	2016	Essai clinique	Carieuse	- AT - AA	-AT=succès -AA=succès

Article 36 :

Leye Benoist, F., et al., Evaluation of mineral trioxide aggregate (MTA) versus calcium hydroxide cement (Dycal((R))) in the formation of a dentine bridge: a randomised controlled trial. Int Dent J, 2012. 62(1): p. 33-9.

Population : 60 molaires et prémolaires.

Objectif : d'évaluer l'efficacité des agrégats de trioxyde minéral (MTA) utilisés comme matériau de coiffage pulpaire chez l'homme.

Méthode :

- Préparation des cavités.
- Groupe1 : CaOH
- Groupe 2 : MTA
- L'épaisseur de la dentine nouvellement formée a été mesurée à intervalles de temps réguliers. Le suivi était à 3 et 6 mois et la formation de dentine a été contrôlée par des mesures radiologiques sur des images numérisées à l'aide du logiciel Mesurim Pro.Soft ware.

Résultat :

A 3 mois, les taux de succès cliniques étaient :

- MTA : 93%
- L'hydroxyde de calcium : 73% ;(p = 0,02).
- L'épaisseur initiale moyenne de la dentine résiduelle était de 0,23mm et augmentait de 0,121 mm avec le MTA et de 0,136 mm avec de l'hydroxyde de calcium.

À 6 mois, le taux de réussite était :

- MTA était de 89,6%
- L'hydroxyde de calcium était 73% (P = 0,63)
- Il y avait une augmentation de 0,235 mm avec MTA et de 0,221 mm avec de l'hydroxyde de calcium.

Article 37:

Petrou, M.A., et al., A randomized clinical trial on the use of medical Portland cement, MTA and calcium hydroxide in indirect pulp treatment. Clin Oral Investig, 2014. 18(5): p. 1383-9.

Population : 86 patients (51% d'hommes; 49% de femmes; âge: 17,2 ans \pm 13,8)

Objectif : de comparer les résultats cliniques et microbiologiques de l'agrégat de trioxyde minéral (MTA), du ciment Portland médical et de l'hydroxyde de calcium sur le complexe pulpo-dentinaire des dents permanentes et primaires traitées avec un coiffage pulpaire indirect en deux étapes.

Méthode : une lésion carieuse profonde a été traitée avec une élimination incomplète de la carie, une coiffe choisie au hasard avec :

- Groupe 1 : MTA ; n=26
- Groupe2 : hydroxyde de calcium ; n=31
- Groupe 3 : du ciment médical Portland ; n=29

Résultat :

- Le TPI a eu un taux de réussite élevé de 90,3%, quel que soit le matériau utilisé (p= 0,72).
- Les lésions arrêtées présentaient une dentine sclérotique (p <0,05) toujours plus foncée et sèche, ainsi qu'une diminution du nombre de bactéries à la réintégration (Lactobacilli p = 0,01 / Mutans Strep. p = 0,07).

Article 38:

Maltz, M., et al., Incomplete caries removal in deep lesions: a 10-year prospective study. Am J Dent, 2011. 24(4): p. 211-4.

Population : L'échantillon était composé de 27 sujets (32 dents postérieures permanentes) présentant des lésions carieuses profondes.

Objectif : Pour suivre les dents présentant des lésions carieuses profondes soumises à une élimination incomplète de la carie sur une période de 10 ans.

Méthode : Dans cette étude prospective à long terme portant sur un seul bras, les critères d'inclusion étaient :

- le risque d'exposition de la pulpe lors de l'excavation de la carie.
- la réponse positive au test au froid.
- l'absence de douleur ou de sensibilité spontanées lors de la percussion.
- l'absence de lésion périapicale par radiographie.
- Les sujets ont été soumis aux procédures suivantes:
- Élimination complète de la carie des parois de la cavité environnante,
- Élimination incomplète de la carie de la paroi de la pulpe,
- Coiffage avec un ciment d'hydroxyde de calcium et scellement avec un ciment d'oxyde de zinc et d'eugénol modifié.
- Après 6-7 mois, élimination de l'hydroxyde de calcium et restauration des cavités avec du composite de résine.
- Les évaluations cliniques et radiographiques ont été réalisées après 6 à 7 mois, 1,5, 3, 5 et 10 ans.
- Le succès était défini par les signes cliniques et radiographiques et les symptômes de sensibilité de la pulpe, tandis que l'échec était défini par le besoin d'un traitement endodontique.

Résultat : Les taux de survie globaux étaient de :

- 97%, 90%, 82% et 63% aux suivis après 1,5, 3, 5 et 10 ans, respectivement.
- Les dents avec deux surfaces restaurées ou plus ont subi une défaillance nettement plus importante que les dents avec une surface restaurée (P = 0,01).

Article 39:

René Gruythuysen DDS, P.S., PhD Min-Kai Wu MSD, PhD, Long-term Survival of Indirect Pulp Treatment Performed in Primary and Permanent Teeth with Clinically Diagnosed Deep Carious Lesions. 2010.

Population : 66 patients (âgés de 4 à 18 ans) ayant au moins une dent avec une carie profonde diagnostiquée cliniquement ont été inclus.

Objectif : Cette étude rétrospective a examiné cliniquement et radiologiquement la survie à trois ans des dents traitées avec coiffage pulpaire indirect (TPI) réalisé entre 2000 et 2004.

Méthode :

- Une excavation incomplète a été réalisée en laissant la dentine cariée infectée au centre de la cavité.
- Après la mise en place d'une couche de verre ionomère modifié à la résine comme garniture, les dents ont été restaurées.
- Une analyse de survie à 3 ans (Kaplan-Meier) a été réalisée.
- L'échec était défini par la présence d'un symptôme clinique (douleur, gonflement ou fistule) ou d'une anomalie radiologique au rappel.
- Au total, 86 molaires primaires traitées sur 69 (69%) et 34 dents permanentes traitées sur 76 (76%) étaient disponibles pour une évaluation clinique et radiographique.

Résultat :

- Le taux de survie était de 96% pour les molaires primaires (durée moyenne de survie, 146 semaines).
- Le taux de survie était de 93% pour les dents permanentes (durée moyenne de survie, 178 semaines).

Article 40:

Mathur, V.P., et al., Evaluation of indirect pulp capping using three different materials: A randomized control trial using cone-beam computed tomography. Indian Journal of Dental Research, 2016. 27(6): p. 623.

Population : 94 patients (âgés de 7 à 12 ans) présentant une lésion carieuse profonde dans une ou plusieurs molaires primaires et permanentes sans antécédent de douleur spontanée indiqué pour la pulpe indirecte.

Objectif : L'objectif de cette étude était de déterminer le matériau le plus approprié pour le traitement indirect de la pulpe (TPI) en clinique et de déterminer l'épaisseur (en mm) et le type de tissu en termes de radiodensité (en unités de Hounsfield [HU]) formés après coiffage de la pulpe à l'aide de tomographie à faisceau conique (CBCT).

Méthode :

Environ 109 dents ont été traitées à l'aide de trois matériaux :

- L'hydroxyde de calcium (type à prise),
- Le ciment de verre ionomère (Type VII)
- L'agrégat de trioxyde minéral ; de manière aléatoire.
- Les dents ont été suivies à intervalles de 8 semaines, 6 mois et 1 an pour le succès du TPI
- Déterminer l'épaisseur et le type de tissu dentinaire formé, un scanner CBCT a été réalisé immédiatement après l'opération et un autre scanner à 6 mois d'intervalle.
- Les balayages ont été comparés pour évaluer l'épaisseur moyenne du pont de dentine formé.

Résultat :

- Le taux de réussite de l'IPC était de 96,85%.
- Une différence significative a été obtenue dans l'épaisseur moyenne de la dentine réparatrice aux valeurs postopératoires immédiates et postopératoires à 6 mois dans les trois groupes suggérant une formation de barrière distincte.
- Des résultats significatifs similaires ont été obtenus en radiodensité de la barrière formée (en HU).

Article 41:

Stefanova, V.P., G.T. Tomov, and S.T. Tzanova, Morphological Study Of Border Area Of Pulp-Capping Materials And Er:YAG Laser Prepared Hard Dental Surface. Folia Medica, 2015. 57(1): p. 49-55.

Population : 4 dents humaines extraites.

Objectif : D'évaluer l'adaptation du ciment synthétique au silicate tricalcique, du ciment à l'hydroxyde de MTA à la surface de la dentine, préparée à l'aide du laser dentaire Er: YAG.

Méthode :

Préparation des cavités à l'aide du laser dentaire Er: YAG (LiteTouch, Syneron, Israël), nous avons utilisé du :

- ✓ Ciment au silicate tricalcique (Biodentine, Septodont, France),
- ✓ Ciment à l'hydroxyde de calcium (Dycal)
- ✓ Agrégat de trioxyde minéral (ProRoot MTA), agité et administré conformément aux instructions du fabricant.
 - Le premier matériau remplit toute la cavité et les deux autres sont étalés en couche mince et scellés avec du verre ionomère ciment.
 - Ainsi préparés, les échantillons ont été laissés pendant trois jours à 37 ° C dans un environnement humidifié.
 - Les échantillons ont été préparés pour la microscopie électronique à balayage (MEB) par une méthodologie standard. La surface des bordures des matériaux et la dentine ont été scannées en microscopie électronique.

Résultat :

La surface de la dentine, préparée avec le laser Er: YAG démontre une très bonne adaptation des trois matériaux de coiffage pulpaire, succès 100%

Article 42:

Alves, L.S., et al., 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(1): p. 135-41.

Population: 13 dents ont été évaluées.

Objectif: D'évaluer les résultats radiographiques après le retrait partiel de la dentine cariée sur une période de 10 ans.

Méthode:

- Préparation des cavités et coiffés avec de Ca(OH)₂.
- Les dépôts de dentine tertiaire et la profondeur de la lésion ont été évalués qualitativement.
- Changements de densité radiographique dans la zone radiolucide (RZ) sous la restauration ont été comparées quantitativement aux zones de contrôle (CA) à l'aide de radiographie soustraction (analyse de variance de Friedman avec mesures répétées).

Résultat:

Au total, dans la plupart des cas, la profondeur de la lésion est restée inchangée ou a diminué (12/13) la formation de dentine tertiaire a été observée (10/13) après 10 ans de suivi.

- Un taux de succès de 76.92% (6mois à 7mois et 3ans)
- Après 10ans l'évaluation révèle une diminution.

Nous retenons que pour le coiffage pulpaire indirect, les taux de succès sont compris entre 62% et 97%. L'étude la plus longue, a établi un suivi sur 10 ans et a rapporté un taux de succès à 62%

2.3. Résultats du traitement par pulpotomie partielle

On a pu analyser 5 articles qui parlent du pulpotomie partielle

Tableau 6:Résultat du traitement par pulpotomie partielle sur dent permanente

Auteur	Pays	Année	Type d'étude	Pathologie contexte	Biomatériaux	Résultat (Taux de succès)
Saeed Asgary et al [178]	Iran	2018	Essai clinique	Cariéuse	- CEM cement	- 1 semaine=95.8% - 3mois=98.4% - 1an=91.4%
Chung Min Kang et al [196]	Seoul république coréen	2016	Essai clinique	- Cariéuse - Traumatique	- Retro MTA - ProRoot MTA - Ortho MTA	- Retro et proRootMTA=96% - OrthoMTA=92.8%
Borjndale et al [162]	Danmark	2010	Essai Clinique	Cariéuse	Ca(OH) ₂	34.5%
Caprioglio et al [197]		2014	Essai Clinique	Cariéuse	MTA	85%
Chailertvanitkul et al [198]	Thaïlande	2014	Essai Clinique	Cariéuse	- MTA -Ca(OH) ₂ (Dycal)	- MTA=99.8% - Ca(OH) ₂ =99.8%

Article 43 :

Kang, C.M., et al., A randomized controlled trial of various MTA materials for partial pulpotomy in permanent teeth. J Dent, 2017. 60: p. 8-13.

Population : 104 dents permanentes de 82 personnes, qui répondaient aux critères d'inclusion d'un essai clinique randomisé.

Objectif : d'évaluer et de comparer entre les divers matériaux MTA utilisés dans la pulpotomie partielle dans les dents permanentes.

Méthode :

- Une pulpotomie partielle a été réalisée sur les dents choisis.
- Les dents ont été divisés en trois groupes:
- MTA ProRoot (n = 33),
- OrthoMTA (n = 36),
- RetroMTA (n = 35).
- L'examen clinique et la comparaison radiographique ont été effectués à 1, 3, 6 et 12 mois après le traitement.
- L'analyse de survie a été réalisée à l'aide des courbes de survie de Kaplan-Meier.

Résultat :

- La pulpotomie partielle a enregistré un taux de réussite élevé jusqu'à 1 an sans différences significatif dans les résultats:
- ProRoot MTA, 96,0%;
- OrthoMTA, 92,8%;
- RetroMTA, 96,0%.
- Les courbes de la fonction de survie de Kaplan-Meier ont montré pas de différences significatives entre les trois groupes en ce qui concerne les paramètres cliniques et radiographiques.
- En outre, aucun facteur pronostique (l'âge, du sexe, du type de dent, de l'état du sommet des racines, du site et du type de l'exposition de la pulpe et le type de restauration) lié au succès de la pulpotomie partielle (l'analyse du log rank).

Article 44:

Caprioglio A 1 , C.V., Caprioglio C 2 , Caprioglio D 3 A long-term retrospective clinical study on MTA pulpotomies in immature permanent incisors with complicated crown fractures. 2014.

Population : 30 incisives a pulpe exposées chez 29 patients ont été examinées pour cette étude rétrospective ; Selon les critères d'exclusion, seules vingt-sept dents ont été sélectionnées.

Objectif : D'évaluer les agrégats de trioxyde minéral (MTA) sur les plans clinique et radiographique en tant qu'agent de pulpotomie dans les dents permanentes immatures dont les pulpes étaient exposées à une fracture compliquée de la couronne.

Méthode :

- Chaque dent a été traitée avec une pulpotomie partielle et coiffés avec de agrégat de trioxyde minéral.
- Les enfants ont été rappelés pour une évaluation clinique et radiographique à 3 mois, 6 mois, vers 12 mois et 36 mois.

Résultat :

- Sur 27 cas, 22 ont été classés comme «guéris» et 1 comme «guérison».
- Les 4 autres ont mis en évidence une maladie persistante et nécessitaient un traitement endodontique supplémentaire.

Article 45:

Chailertvanitkul, P., et al., Randomized control trial comparing calcium hydroxide and mineral trioxide aggregate for partial pulpotomies in cariously exposed pulps of permanent molars. Int Endod J, 2014. 47(9): p. 835-42.

Population : 80 patients (âgés de 7 à 10ans)/84dents.

Objectif : Pour comparer les résultats du traitement lorsque des agrégats d'hydroxyde de calcium et de trioxyde minéral sont utilisés pour la pulpotomie partielle chez des molaires permanentes immature exposées de manière minutieuse dans le cadre d'un essai contrôlé randomisé.

Méthode :

- Les dents présentant une pulpite réversible et des expositions pulpaires, ont été divisées au hasard en deux groupes.
- Les cavités ont été réalisées à l'aide de fraises rondes à grande vitesse jusqu'à ce que de la pulpe soit observée.
- Les cavités ont été irriguées avec de l'hypochlorite de sodium à 2,5%
- Les expositions de la pulpe ont été photographiées et mesurées.
- Dycal ou ProRoot MTA a été placé sur la pulpe.
- Vitremer a été placé sur le matériau jusqu'à ce que la cavité restante atteigne 2 mm de profondeur; l'amalgame a ensuite été placé.
- Les dents ont été évaluées quant aux symptômes cliniques et aux modifications radiographiques périapicales après 24 h, 3 mois, 6 mois, 1 an et 2 ans.
- Les temps de survie moyens et l'incidence de l'extraction ont été calculés en utilisant des intervalles de confiance binomiaux exacts.

Résultat :

- La durée de survie médiane des groupes ProRoot MTA et Dycal était de 24 mois.
- Trois dents ont eu des résultats défavorables avec un taux d'incidence de 0,20 / 100 mois-dents avec :
 - ✓ ProRoot MTA (IC 95%: 0,02-0,71) et 0,11 / 100 mois-dents) .
 - ✓ Dycal (IC 95%: 0,001-0,60).

Le taux de réussite était de:

- ✓ MTA=99.8%
- ✓ Ca(OH)₂=99.8%

Nous retenons que pour la pulpotomie partielle, Le taux de succès avec l'hydroxyde de calcium est d'environ 91-100% après 2 ans et pour le MTA de 95,2 à 99,8%. La différence entre le MTA et l'hydroxyde de calcium n'était pas significative

2.4. Résultats du traitement par pulpotomie cervicale

On a pu analyser 3 articles qui parlent de la pulpotomie cervicale

Tableau 7 : Résultat du traitement par pulpotomie cervicale sur dent permanente

Auteur	Pays	Année	Type d'étude	Pathologie contexte	Biomatériaux	Résultat (taux de succès)
Saeed Asgary et al [178]	Iran	2018	Essai clinique	carieuse	CEM	-1 semaine=100% -3mois=93.5% -1an=95.9%
Nosrat et al ^[199]	Iran	2013	Essai clinique	carieuse	-CEM -MTA	-CEM =76.8% -MTA=73.8%
Barngkgei et al ^[200]	Syrie	2013	Essai clinique	carieuse	MTA	100%

Article 46:

al, N.A.e., Pulpotomy in caries exposed immature permanent molars using calcium- enriched mixture cement or mineral trioxide aggregate: a randomized clinical trial. International Journal of Paediatric Dentistry 2013; 23: 56–63, 2013.

Population : 51 molaires immatures avec exposition carieuse.

Objectif : de Comparer les résultats cliniques et radiographiques du traitement de la pulpotomie à l'aide d'un ciment à base de mélange enrichi en calcium (CEM) et d'un agrégat de trioxyde minéral (MTA) dans des premières molaires permanentes immatures.

Méthode :

- Les cavités ont été préparées.
- Groupes 1 : CEM [26 dents; 59 racines].
- Groupe 2 :MTA [25 dents; 59 racines].
- Après avoir effectué une pulpotomie et recouvert les pulpes radiculaires avec les biomatériaux, toutes les dents ont été restaurées de manière permanente.
- Des évaluations cliniques et radiographiques en aveugle ont été effectuées 6 et 12 mois après l'opération pour rechercher des signes de succès ou d'échec.
- Les radiographies ont été évaluées pour la fermeture apicale complète / partielle.
- Les données ont été analysées à l'aide du test du khi square et du modèle d'équation d'estimation généralisée (GEE).

Résultat :

- Il n'y avait pas de différence significative au départ entre les deux groupes expérimentaux.
- Tous les cas disponibles (49 dents) ont montré une survie de la pulpe et des signes de développement continu des racines après 12 mois.
- Dans l'ensemble, la fermeture apicale complète (apexogenèse) s'est produite dans :
 - ✓ Groupe 1 : CEM 76,8%
 - ✓ Groupe 2 : MTA 73,8%

Article 47 :

Barnkggei, I.H., E.S. Halboub, and R.S. Alboni, Pulpotomy of symptomatic permanent teeth with carious exposure using mineral trioxide aggregate. Iran Endod J, 2013. 8(2): p. 65-8.

Population : Dix patients âgés de 27 à 54 ans présentaient 11 dents permanentes symptomatiques (n = 11).

Objectif : d'évaluer les résultats cliniques et radiographiques du traitement de la pulpotomie avec un agrégat de trioxyde minéral (MTA) dans les dents permanentes symptomatiques avec une exposition carieuse.

Méthode :

- Chaque dent carieuse incriminée a été déterminée cliniquement et radiologiquement.
- Nous avons enlevé les caries aussi prudemment que possible; Cependant, l'exposition de la pulpe était inévitable.
- Une pulpotomie ProRoot MTA a été réalisée sur ces dents. Les patients ont été suivis cliniquement et radiologiquement pendant 24 à 42 mois.

Résultat :

- Un soulagement immédiat des symptômes du patient s'est produit.
- De plus, les réponses des dents au test électrique pulpaire étaient dans la plage normale lors du rendez-vous de suivi.
- les radiographies ne révélaient aucune anomalie / lésion des zones périapicales.
- Le taux de succès globale était de 100%.

Nous retenons que pour la pulpotomie cervicale, le taux de succès avec l'hydroxyde de calcium était d'environ 87,5 à 100% après 2 ans et pour le MTA de 90 à 100%. La différence entre le MTA et l'hydroxyde de calcium n'était pas significative. Le MTA a révélé un taux de succès clinique comparable à l'hydroxyde de calcium comme matériau de coiffage pour la pulpotomie cervicale sur dent permanente.

2.5. Gradient thérapeutique :

Lorsque la dent présente une perte tissulaire ou une atteinte carieuse, les possibilités de traitement s'inscrivent dans un gradient thérapeutique allant de la simple obturation jusqu'à l'avulsion. Le schéma ci-dessous résume le gradient thérapeutique en fonction de l'atteinte tissulaire et de l'état biologique de la pulpe dentaire.

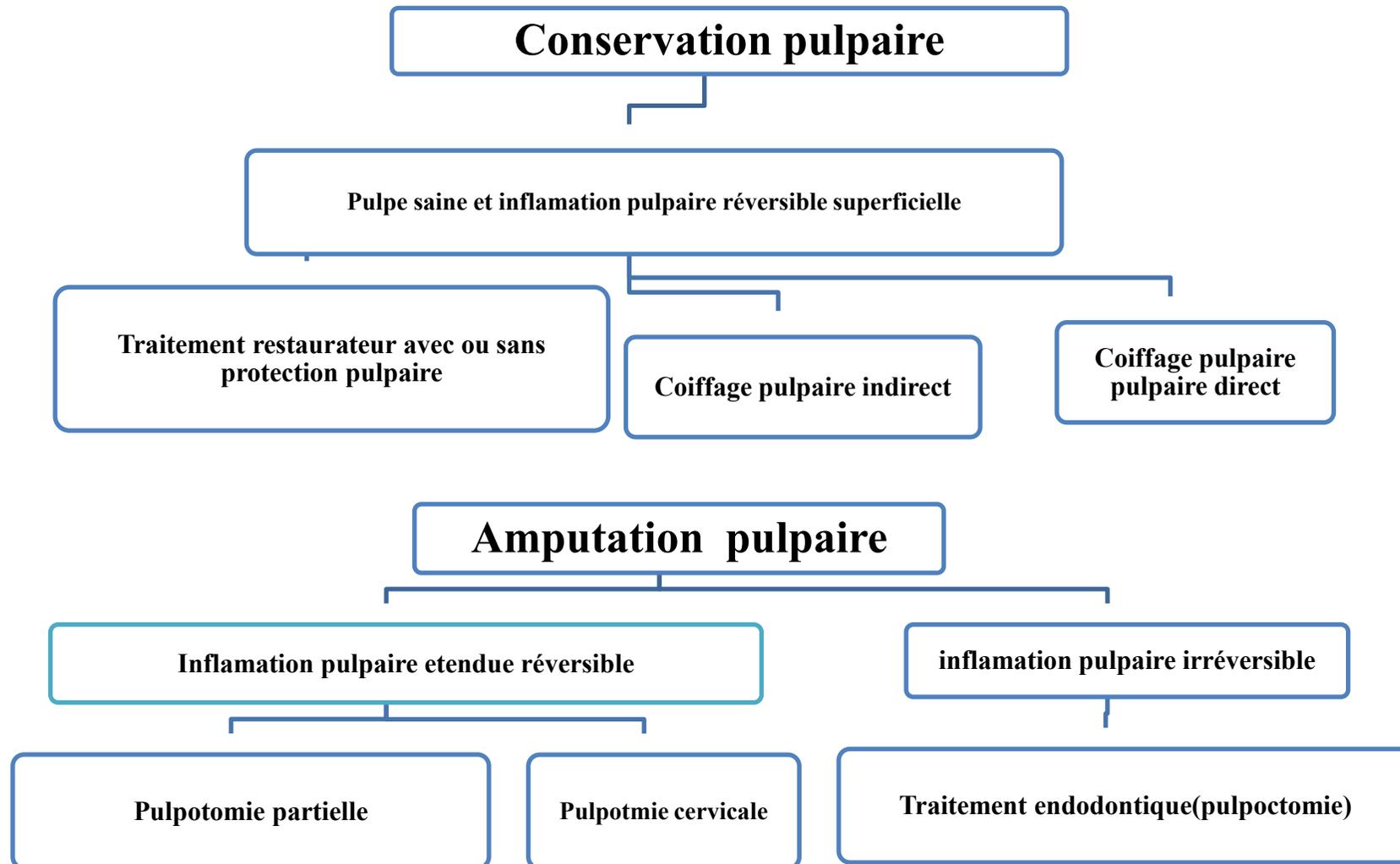


Figure 14:Schémas illustrant le gradient thérapeutique à des fins de conservation de la vitalité pulpaire

Faits saillants :

- ✓ Pour le coiffage pulpaire direct, le taux de succès à 5 ans pour l'hydroxyde de calcium est compris entre 59% et 69% et pour le MTA entre 78% et 98%. L'étude utilisant la Biodentine a montré un taux de succès de 100% à 6 mois de suivi.
- ✓ Pour le coiffage pulpaire indirect, les taux de succès sont compris entre 62% et 97%. L'étude la plus longue, a établi un suivi sur 10 ans et a rapporté un taux de succès à 62%
- ✓ Pour la pulpotomie partielle, Le taux de succès avec l'hydroxyde de calcium est d'environ 91-100% après 2 ans et pour le MTA de 95,2 à 99,8%. La différence entre le MTA et l'hydroxyde de calcium n'était pas significative
- ✓ Pour la pulpotomie cervicale, le taux de succès avec l'hydroxyde de calcium était d'environ 87,5 à 100% après 2ans et pour le MTA de 90 à 100%. La différence entre le MTA et l'hydroxyde de calcium n'était pas significative. Le MTA a révélé un taux de succès clinique comparable à l'hydroxyde de calcium comme matériau de coiffage pour la pulpotomie cervicale sur dent permanente.

Discussion

3. Discussion

La revue de la littérature concernant le coiffage pulpaire sur les dents permanentes humaines a abouti à l'analyse de 47 articles d'essai cliniques randomisés à haut niveau de preuve.

3.1. A propos de la technique utilisée :

L'évaluation des techniques de conservation de la vitalité pulpaire a révélé que les taux de succès thérapeutique sont relativement élevés dans la plupart des études.

- ✓ L'efficacité de coiffage pulpaire direct a été prouvée dans 35 articles^[154-188] et montre un taux de succès entre 59% et 100%.
- ✓ L'efficacité de coiffage pulpaire indirect a été prouvée dans 12 articles^[162,165,167, 178, 187, 189-195] et montre un taux de succès entre 62% et 97%.
- ✓ L'efficacité de la pulpotomie partielle a été prouvée dans 5 articles^[162, 178, 196-198] et montre un taux de succès entre 91% et 99.8%.
- ✓ L'efficacité de la pulpotomie cervicale (totale) a été prouvée dans 3 articles^[178, 199, 200] et montre un taux de succès entre 87.5% et 100%.

Par ailleurs, on retrouve des articles qui comparent deux à quatre techniques de conservation de la vitalité pulpaire (tableau ci-dessous) :

Tableau 8: Comparaison entre les résultats(taux de succès) des techniques de conservation de la vitalité pulpaire

Auteur	Coiffage pulpaire direct	Coiffage pulpaire indirect	Pulpotomie partielle	Pulpotomie cervicale
Orhan et al 2008 ^[165]	74.4%	97.8%	/	/
Orhan et al 2010 ^[187]	78%	92-94%	/	/
Cyril Villat et al 2016 ^[167]	Echec	succès	/	/
Bjorndal et al 2010 ^[162]	31.8%	74.1%	34.5%	/
Asgary et al 2018 ^[178]	1 semaine :95.7% 3mois :98.4% 1an :94.7%	1 semaine : 97.4% 3mois :98.7% 1an :100%	1 semaine : 95.8% 3mois :98.4% 1an :91.4%	1 semaine : 100% 3mois :93.5% 1an :95.9%

Ces études Orhan et al 2008^[165] ; Orhan et al 2010^[187] ; Lars Bjorndal et al 2010^[162] ; Cyril Villat et al 2016^[167], montrent que le coffrage pulpaire indirect a un taux de succès plus élevé par rapport à la technique directe, et le justifient par la présence d'un tissu naturel dentinaire en regard de la pulpe.

L'étude de Asgary et al 2018^[178] montre que les résultats clinique et radiologique de quatre techniques de conservation de la vitalité pulpaire sur des dents permanentes mature avec des lésions carieuses profonde, ont des taux de succès comparables. L'étude confirme la supériorité par ordre décroissant par rapport au, coffrage pulpaire indirect, le coffrage pulpaire direct, la pulpotomie partielle et la pulpotomie cervicale. Cependant la différence de supériorité entre les quatre techniques reste non significative.

Selon tout ces essais cliniques le coffrage pulpaire indirect est considéré comme un traitement restaurateur par rapport au coffrage pulpaire direct qui se considère comme la seule technique du coffrage pulpaire, celui-ci est expliqué par le nombre d'études sur le coffrage pulpaire direct qui est plus élevé 35/47 articles par rapport au nombre d'études sur le coffrage pulpaire indirect qui est réduit 12/47 articles . Ainsi nous relevons que les études les plus récentes concernent le coffrage pulpaire direct.

3.2. A propos des biomatériaux utilisés :

✓ Biodentine :

- Selon les articles (Claudia Brizuela 2017 et al ^[154] ;Farhin A.Katge et Devendra P.Patil 2017^[157] ;Alicja Nowicka et al 2013^[159] ; Alicja Nowicka et al 2015^[161] ; Linus et al 2017^[179] ; Victor Gong et Rodrigo França 2017^[181]), l'utilisation de la biodentine dans le coffrage pulpaire direct par rapport aux autres biomatériaux utilisés révèle un taux de succès de 100% sans différence significative.
- Selon l'article Vessela P.Stefanova et al 2015^[194], le taux de succès était la aussi de 100% pour l'utilisation de la biodentine mais cette fois ci dans le coffrage pulpaire indirect et la différence était de même non significative par rapport aux autres biomatériaux.

Au regard des différentes études réalisées sur la Biodentine, nous pouvons dire que celle-ci semble parfaitement indiquée pour les coffrages pulpaires directs et indirects, comme préconisé par Septodont. Le coût modéré de la Biodentine, ainsi que son temps de prise relativement court (9 à 12 minutes) facilitent son utilisation dans la pratique quotidienne.

Toutefois, le faible recul clinique et le peu d'études disponibles à ce jour sur le produit laissent à penser qu'il faut attendre encore pour juger de sa pérennité sur le long terme, avant d'en faire le nouveau « gold standard » du coiffage pulpaire.

✓ **L'agrégat de trioxyde minéral (MTA) :**

- Selon les articles de, Leye Benoist et al 2012^[189] ; Petrou et al 2014^[190] ; Vijay Pakash Mathur et al 2017^[193] ; Vessela P.Stefanova et al 2015^[194], l'utilisation du MTA dans le coiffage pulpaire indirect révèle un taux de succès respectivement de 93%, 94,5% et 100%.
- Selon les articles, Marques et al 2015^[188] ; Takashi Komba et al 2016^[185] ; Takashi Komba et al 2015^[184] ; Mohamed Hassen Zarrabi et al 2010^[183] ; Shahravan et al 2011^[182] ; Victor Gong et Rodrig França 2017^[181] ; Accorinte et al 2008^[177] ; Linus et al 2017^[179] ; Accorinte et al 2009^[188] ; Miles et al 2010^[176] ; Naito 2010^[173] ; Mente et al 2014^[172] ; Bogen^[170] ; Minju Song et al 2015^[169] ; Emad Alshawaimi et al 2016^[168] ; Lars Bjorndal et al 2010^[162] ; Claudia Brizuela et al 2017^[154] ; Hilton et al 2013^[156] ; Farhin A.Katge et P.Patil 2017^[157] ; Alicja Nowicka et al 2013^[159] ; Alicja Nowicka et al 2015^[161] ; Kundzina et al 2017^[158], l'utilisation du MTA dans le coiffage pulpaire direct révèle un taux de succès compris entre 78% et 98% avec une moyenne de 89,87%
- Selon les articles, Chung Min Kang et al 2016^[196] ; Caprioglio et al 2014^[197] ; Chailertvantkul et al 2014^[198], l'utilisation du MTA dans pulpotomie partielle révèle un taux de succès respectivement de 96% ; 85% ; 99,8 %.
- Selon les articles, Nosrat 2013^[199] ; barug kgei 2013^[200], l'utilisation du MTA dans la pulpotomie cervicale révèle un taux de succès respectivement de 73,8% et 100%.
- Selon l'article Mohamed Hassen Zarrabi et al 2010^[183], montre que l'utilisation de nouvel endodontique ciment (NEC) a un taux de succès de 100% dans le coiffage pulpaire direct en comparant avec le MTA.

L'utilisation du MTA dans les études faites sur l'homme était favorable et confirme l'indication de ce biomatériau dans les quatre techniques de conservation de la vitalité pulpaire.

✓ **L'hydroxyde de calcium :**

▪ **Dans le coiffage pulpaire direct :**

- Selon les articles de Brizuela C. 2017^[154] ; Esra Cengiz et Hassen Yilmaz Guney 2016^[155] ; Hilton et al 2013^[156] ; Kundzina et al 2017^[158] ; Alicja Nowicka et al 2016^[160] ; Alicja Nowicka et al 2015^[161] ;Bjorndal^[162] ; Elaine Zanchin Balissera et al 2013^[163] ; Fransson et al 2010^[164] ; Leye benoist et al 2009^[189] ; Orhan et al 2008^[165] ; Orhan et al 2010^[187] ; Dammaschke et al 2010^[171] ;Mente et al 2014^[172] ; Naito 2010^[173] ; Accorinte et al 2008^[177] ; Victor Gong,Rodrigo 2017^[181] ; Takashi Komaba et al 2015^[184] ; Takashi Komaba et al 2016^[185] ; Suzuki et al 2018^[186],l'utilisation de l'hydroxyde de calcium révèle un taux de succès entre 59% et 69% avec une moyenne de 64%.

▪ **Dans le coiffage pulpaire indirect :**

- Selon les articles de Orhan et al 2008^[165] ; Orhan et al 2010^[187] ;Bjorndal et al 2010^[162] ; Leye Benoist et al 2012^[189] ; Petrou et al 2014^[190] ; Maltz et al 2011^[191] ; Gruythuysen et al 2010^[192] ; Vijay Mathur 2017 ;Stefanova 2015^[193] ; Luana Severo Alves 2010^[195] , l'utilisation de l'hydroxyde de calcium révèle un taux de succès entre 73% et 97.8% avec une moyenne de 85,4%.
- Selon Maltz et al 2011, le taux de succès était de 97% à un an; de 90% à 3 ans et 63% à 10 ans.
- Selon Luana Severo Alves et al 2010^[195] ,le taux de succès à 03mois, à 07 mois et à 3ans était de 76.92%. ce taux à nettement diminué à 10 ans.
- Selon Orhan et al 2010^[187] , le taux de succès à 3mois était de 97.8%. Ce taux à diminue à 94% après un an .

▪ **Dans la pulpotomie partielle :**

- Selon les articles de Bjorndal Et Al 2010^[162] ;Chailertvantkul et al 2014^[198],l'utilisation de l'hydroxyde de calcium révèle un taux de succès respectivement de 91% et 100%.

Le taux de succès est moins important au niveau du coiffage pulpaire direct, par rapport aux autres techniques de coiffage.

L'utilisation du $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dans le coiffage pulpaire direct, indirect et la pulpotomie partielle était favorable comme pour les autres matériaux à court terme sauf que le taux de succès diminue à long terme.

✓ **Système adhésif :**

- Selon les articles, Gerluza Aparecida Borges Silva 2013^[166] ;Alcija Nowicka et al 2016^[160] ; Cyril Villat 2016^[167] , l'utilisation d'un système adhésif dans le coiffage pulpaire direct révèle un échec . Par contre l'utilisation d'un système adhésif révèle un succès dans le coiffage pulpaire indirect selon l'article de Cyril Villat 2016.

D'après ces études, l'utilisation du système adhésif est à proscrire dans le coiffage pulpaire direct et donne de bons résultats dans la technique indirecte.

✓ **Ciment verre ionomère(CVI) :**

- Selon l'étude de, Vijay Pakash Mathur et al 2017^[193] , l'utilisation de CVI dans le coiffage pulpaire indirect révèle un taux de succès de 97%.

L'utilisation du CVI est retrouvée dans le coiffage pulpaire indirect. Comme le stipule la littérature, le CVI est utilisé en coiffage pulpaire direct et pulpotomie dans le cadre de la conservation pulpaire des dents temporaires^[201-203]. Notre étude par contre s'est intéressée aux dents permanentes.

✓ **Ciment minéral enrichi (CEM) :**

- Selon Asgary et al 2018^[178] ; Asgary et al 2014^[175] ,l'utilisation de CEM révèle un taux de succès respectivement de 97,4% et 100% dans le coiffage pulpaire indirect.
- Selon Asgary et al 2018^[178] :
 - L'utilisation de CEM révèle un taux de succès entre 94.7% et 98.4% dans le coiffage pulpaire direct.
 - L'utilisation de CEM révèle un taux de succès entre 91.4% et 98.4% dans la pulpotomie partielle.
- Selon Asgary et al 2018^[178] ; Nosrat et al 2013^[199] , l'utilisation de CEM révèle un taux de succès respectivement de 76.8% et 100% dans la pulpotomie cervicale(totale).

L'inventeur du CEM Dr.Asgary en 2011 et les autres études suscitée, confirme l'efficacité de ce biomatériau dans les quatre techniques de conservation de la vitalité pulpaire.

- Le succès thérapeutique est également dépendant des matériaux utilisés :

- Pour la Biodentine, nous pouvons dire que celle-ci semble parfaitement indiquée pour les coiffages pulpaire directs et indirects.
- Pour le MTA, nous révélons son indication dans les quatre techniques de conservation de la vitalité pulpaire. Ainsi que le NEC qui donne des résultats semblables au MTA.
- Pour le Ca(OH)_2 , nous retrouvons que son utilisation dans, le coiffage pulpaire direct, le coiffage pulpaire indirect et la pulpotomie partielle, était favorable comme pour les autres matériaux à court terme sauf que le taux de succès diminue à long terme.
- Pour le système adhésif, nous révélons sa proscription dans le coiffage pulpaire direct par contre il donne de bons résultats dans la technique indirecte.
- Pour le CVI, nous révélons son indication dans le coiffage pulpaire indirect. Comme le stipule la littérature, le CVI est utilisé, pour le coiffage pulpaire direct et pour la pulpotomie, dans le cadre de la conservation pulpaire des dents temporaires. Notre étude par contre s'est intéressée aux dents permanentes.
- Pour le CEM, nous confirmons son efficacité dans les quatre techniques de conservation de la vitalité pulpaire.

Les biomatériaux actuellement utilisés permettent la sécrétion et la minéralisation d'une nouvelle couche de dentine. Cependant, il faut noter qu'il a été observé dans ces études, que la morphologie, la structure et l'épaisseur de la néo-dentine générée à leur contact est irrégulière et reste incontrôlée. Ainsi, les canalicules dentinaires obtenus sont courts et irréguliers.

3.3. Les autres paramètres relevés influençant les résultats des thérapeutiques de coiffage

D'autre part, certaines études (Esra Cengiz et Hassen yilmaz Guney 2016^[155] ; Takashi Komaba et al 2016^[184] ; Suzuki et al 2018^[186] ; stefanova et al 2015^[194]) ont utilisés différents types de LASER pour préparer leur cavités en vu d'un coiffage pulpaire. Elles montrent que les irradiations du laser contrôlent le saignement de la pulpe mécaniquement lésée.

Certains facteurs sont à prendre en considération. L'âge du patient peut diminuer le taux de succès. En effet, l'activité métabolique de la zone odontoblastique est réduite avec l'âge et les réactions tissulaires sont moins importantes chez un patient âgé, diminuant les chances de cicatrisation pulpaire Dammaschke et al 2010^[171]. Les antécédents pulpaires, la contamination bactérienne, le contrôle du saignement peuvent aussi influencer négativement les chances de succès (Takashi Komabayashi 2016^[185]). Il est donc important que le chirurgien-dentiste prenne en considération ces éléments lors de son choix thérapeutique.

Faits saillants :

- ✓ L'étude des propriétés des différents produits présentés précédemment, nous amène à souligner que seuls trois produits répondent à l'indication du coiffage pulpaire direct:
 - Biodentine.
 - Hydroxyde de calcium.
 - MTA.
- ✓ Par contre, tous les produits répondent à l'indication du coiffage pulpaire indirect
 - Résines composites.
 - CVI.
 - Biodentine.
 - MTA.
 - Hydroxyde de calcium.
- ✓ Les études actuelles (à partir de 2008), révèlent que les pronostics pour le MTA, la biodentine, CEM, NEC, sont plus favorable à long terme que l'hydroxyde de calcium dans le coiffage pulpaire direct.
- ✓ Selon tout ces essais cliniques le coiffage pulpaire indirect est considéré comme un traitement restaurateur par rapport au coiffage pulpaire direct qui se considère comme la seule technique du coiffage pulpaire, celui-ci est expliqué par le nombre d'études sur le coiffage pulpaire direct qui est plus élevé 35/47 articles par rapport au nombre d'études sur le coiffage pulpaire indirect qui est réduit 12/47 articles. Ainsi nous relevons que les études les plus récentes concernent le coiffage pulpaire direct.

Tableau 9: Comparaison des pronostics des techniques de conservation de la vitalité pulpaire en fonction des biomatériaux utilisés

	Biodentine	MTA	Hydroxyde de calcium	CVI	Systèmes adhésifs	CEM
Indirect	Favorable	Favorable	Favorable à court terme	Favorable	Favorable	Favorable
Direct	Favorable	Favorable	Favorable à court terme	-	Défavorable	Favorable
Pulpotomie partielle	Favorable	Favorable	Favorable à court terme	-	Défavorable	Favorable
Pulpotomie cervicale	Favorable	Favorable	Favorable à court terme	-	Défavorable	Favorable

Tableau 10: Les moyennes des taux de succès dans les 47 études

		Biodentine	MTA	Hydroxyde de calcium	CVI	Système adhésif	CEM
Moyenne du taux de succès des 47 études	Directe	100%	89,87%	64%	/	échec	96.3%
	indirecte	100%	93.6%	85,4%	97%	succès	98.7%
	Pulpot P	/	93.4%	67.15%	/	/	95.2%
	Pulpot C	/	86.9%	/	/	/	96.47%

3.5. Recommandation clinique

Nous suggérons qu'il est utile d'actualiser nos thérapeutiques, notamment en utilisant les nouveaux biomatériaux qui ont prouvé leur efficacité dans les différentes techniques de conservation de la vitalité pulpaire. Il est actuellement très judicieux de considérer comme technique de coiffage pulpaire celle qui met les biomatériaux en contact avec le parenchyme pulpaire. Le coiffage pulpaire indirect devra laisser place aux techniques de restauration coronaire.

Conclusion

Conclusion

Cette étude a montré que plusieurs possibilités s'offrent au chirurgien-dentiste avant d'envisager un traitement endodontique de la dent cariée ou traumatisée. En effet, plusieurs techniques telles que le coiffage pulpaire direct et indirect, la pulpotomie partielle et la pulpotomie cervicale, ainsi que de nombreux matériaux ayant fait leurs preuves comme l'hydroxyde de calcium, le MTA, les CVI, et la biodentine sont à la disposition du praticien. D'autre part cette étude a montré les limites de chacun de ces biomatériaux par rapport aux techniques utilisées.

La compréhension des processus de la physiologie pulpaire et les progrès de la recherche sur les biomatériaux dentaires, conduisent de plus en plus les praticiens à maintenir la vitalité pulpaire.

L'hydroxyde de calcium a longtemps été considéré comme le « gold standard » en matière de coiffage pulpaire. Mais son utilisation fait apparaître quelques inconvénients tels que la présence de défauts dans le pont dentinaire, une solubilité dans les fluides buccaux, un manque d'adhésion à la dentine et un effet de courte durée.

La mise à disposition du Mineral Trioxide Aggregate ou la biodentine offre la possibilité d'obtenir une barrière minéralisée plus épaisse et plus homogène qu'avec l'hydroxyde de calcium. La pulpe est ainsi mieux protégée d'une nouvelle agression, et le taux de succès du coiffage pulpaire s'en retrouve augmenté. Mais son coût élevé limite son utilisation quotidienne comme matériau de coiffage pulpaire, notamment dans le coiffage pulpaire indirect.

Le CVI reste aussi un matériau de choix qui, en plus de son coût abordable et son potentiel de reminéralisation, il offre les avantages d'un matériau biocompatible, de coiffage pulpaire indirect, de protection, et de restauration provisoire.

En dehors du choix du bon matériau de coiffage (matériau biocompatible capable de stimuler la formation de tissu dur), d'autres facteurs jouent un rôle critique dans le succès d'un coiffage pulpaire. Comme nous l'avons montré dans notre étude, la dent doit être asymptomatique (catégorie I de Baume) et le saignement consécutif à l'exposition pulpaire doit être facilement et rapidement contrôlé. De plus, la contamination microbienne de la pulpe doit être évitée durant le traitement. La pose de la digue lors du traitement empêche le risque d'invasion des microorganismes de la cavité buccale ou d'origine salivaire. Prévenir l'intrusion des microorganismes dans

la pulpe est également un facteur clé du succès du coiffage. En revanche, l'âge du patient, et le site de l'exposition pulpaire, paraissent jouer un rôle secondaire, selon cette revue de la littérature.

Bibliographie

Bibliographie

1. Colon, P.L., J.J. ; Bonte, E. ; Opsahl Vital, S. ; Decup, F. et al., Le point sur les thérapeutiques bioconservatrices de la dent pulpée.ADF : Quintessence du congrès, Pluridisciplinaire. 2010.
2. EL Arrouf Nisrine*, S.M., Abdallaoui Faïza**, Protection pulpo-dentinaire et adhésion : évolution des concepts biologiques et implications cliniques en pratique quotidienne. Rev Odont Stomat 2010;39:112-133, 2010.
3. J.-J.L.P.M.C., (college national des enseignants en odontologie conservatrice et endodontie (France)Dictionnaire francophone des termes d'Odontologie Conservatrice (Endodontie et Restauratrice). 2ème éd. Paris : Espace ID, 2010. 2010.
4. Simon, S.P., W-J., Endodontie. Volume 1 : traitements.Paris, éditions CdP. 2008.
5. Beer, R., M.A. Baumann, and A.M. Kielbassa, Atlas de poche d'endodontie. 2008: Flammarion médecine-sciences.
6. Nancy, A., .Ten Cate's oral histology : Development, Structure and Function. 6th ed.St Louis : Mosby. 2003.
7. S. Simon*, P.C., A. Berdal***, P. Machtou****, A. J. Smith*****, Biologie pulpaire : comprendre pour appliquer au quotidien. Rev Odont Stomat 2008;37:209-235, 2008.
8. Lasfargues, J.-J.C., P., Odontologie conservatrice et restauratrice. Tome 1 : une approche médicale globale.Paris, éditions CdP. 2010.
9. Goldberg, M., Histologie du complexe dentino-pulpaire.Encycl Med Chir (Paris), Odontologie, 22-007-B-10, 2008, 34. 2008.
10. Nanci, A., Ten cate's oral histology-pageburst on vitalsource: development, structure, and function. 2007: Elsevier Health Sciences.
11. Simon S, B.A., Biologie de la pulpe. In: Endodontie. Wolters Kl. Rueil-Malmaison,France; 2012. p. 1. 2012.
12. JC., F., La dentinogenèse. 2011-2012 [consulté le 10 /01/2015]. . 2011.
13. Piette, E.G., M., La dent normale et pathologique.Bruxelles : De Boeck Université. 2001: p. 386.
14. Baume, L.J., The biology of pulp and dentine. A historic, terminologic-taxonomic, histologic-biochemical, embryonic and clinical survey. Monogr Oral Sci, 1980. 8: p. 1-220.
15. Schour I, P.h.G., Rate of apposition of enamel and dentin, measured by the effect of acute fluorosis. Arch Pediatr Adolesc Med. 1937 Oct 1;54(4):757.

16. Murray, P.E., et al., Analysis of pulpal reactions to restorative procedures, materials, pulp capping, and future therapies. *Crit Rev Oral Biol Med*, 2002. **13**(6): p. 509-20.
17. Goldberg, M., Manuel d'histologie et de biologie buccale : la dent et ses tissus de soutien.Paris, Masson, . 1989.
18. Magloire, H., et al., Odontoblast primary cilia: facts and hypotheses. *Cell Biol Int*, 2004. **28**(2): p. 93-9.
19. Mathieu, S., et al., Role of injured endothelial cells in the recruitment of human pulp cells. *Arch Oral Biol*, 2005. **50**(2): p. 109-13.
20. Gronthos, S., et al., Postnatal human dental pulp stem cells (DPSCs) in vitro and in vivo. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2000. **97**(25): p. 13625-30.
21. Jontell, M., et al., Dendritic cells and macrophages expressing class II antigens in the normal rat incisor pulp. *J Dent Res*, 1988. **67**(10): p. 1263-6.
22. Seltzer, S.B., I.B., Dental pulp.Paris, Quintessence Int, . 2002.
23. Trubiani, O.T., D. ; Delle Fratte, T. ; Caputi, S. ; Di Primio, R., Human dental pulp vasculogenesis evaluated by CD34 antigen expression andmorphological arrangement.*J Dent Res*,. 2003 Sep, 82 (9) : 742-747.
24. Walton, R.E.T., M., Principles and practice of endodontics. 3rd ed.Philadelphia, WB Saunders, . 2002.
25. KAQUELER, J.C.L.M., O., Anatomie pathologique bucco-dentaire. 2ème éd.Paris, Masson, . 1998.
26. Levin, L.G., Pulpal irritants. *Endod Top.* . 2003 Jul;5(1):2–11.
27. ZachL, C., Pulpresponsetoexternallyappliedheat.*OralSurgOralMedOral Pathol.* . 1965Apr;19:515–30.
28. Mjor, I.A. and M. Ferrari, Pulp-dentin biology in restorative dentistry. Part 6: Reactions to restorative materials, tooth-restoration interfaces, and adhesive techniques. *Quintessence Int*, 2002. **33**(1): p. 35-63.
29. El Arroufnisrine, S., AbdallaouiF., Protection pulpo-dentinaire et adhésion : évolution des concepts biologiques et implications cliniques en pratique quotidienne. *Rev Odontostomatol.* . 2010.
30. BoucherY.,physiologie de la pulpe saine. In: Endodontie. Wolters Kl. Rueil-Malmaison, France; . 2012. p. 23–40.
31. SeltzerS, B., ZiontzM., The dynamics of pulpinflammation:correlations between diagnostic data and actual histologic findings in the pulp.*Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* . 1963Aug;16:969–77.

32. Vreven J, N., Pulpite et nécrose pulpaire. In: La dent normale et pathologique. De Boeck U. Bruxelles, Belgique; . 2001. p.128. : p. p.128. .
33. McLachlan JL, S.A., Sloan AJ, Cooper PR. , Gene expression analysis in cells of the dentine-pulp complex in healthy and carious teeth. Arch Oral Biol. 2003 Apr;48(4):273–83). .
34. Smith AJ, M., Hall RC., Transforming growth factor-beta1 (TGF-beta1) in dentine matrix. Ligand activation and receptor expression. Eur J Oral Sci. . 1998 Jan;179–84.
35. Smith AJ, T., Cassidy N, Bégue-Kirn C, Ruch JV., Lesot H., Influence of Substrate Nature and Immobilization of Implanted Dentine Matrix Components During Induction of Reparative Dentinogenesis. Connect Tissue Res. . 1995 Jan;32(1–4):291–6).
36. Mjör IA, S., Ferrari M, Mannocci F., The structure of dentine in the apical region of human teeth. Int Endod J. . 2001 Jul;34(5):346–53.
37. Goldberg M, S., Cells and extracellular matrices of dentin and pulp: biological basis for repair and tissue engineering. Crit Rev Oral Biol Med. . 2004 Jan;15(1):13–27.
38. Samraj R, I., Srinivasan M, Kumar A., Recent advances in pulp vitality testing. Endodontology. 2003;15.
39. Pitt Ford TR, P., Technical equipment for assessment of dental pulp status. Endod Top. . 2004;7(1):2–13.
40. Abd Elmeguid A, Y., Dental pulp neurophysiology: part 2. Current diagnostic tests to assess pulp vitality. J Can Dent Assoc. . 2009 Mar;75(2):139–43.
41. Evans D, R., Strang R, Stirrup D. , A comparison of laser Doppler flowmetry with other methods of assessing the vitality of traumatised anterior teeth. Dent Traumatol. . 1999 Dec;15(6):284–90.
42. Smith, A.J., P.E. Murray, and P.J. Lumley, Preserving the vital pulp in operative dentistry: I. A biological approach. Dent Update, 2002. **29**(2): p. 64-9.
43. Ghodduji, J., M. Forghani, and I. Parisay, New approaches in vital pulp therapy in permanent teeth. Iran Endod J, 2014. **9**(1): p. 15-22.
44. Neelakantan, P., C.V. Rao, and J. Indramohan, Bacteriology of deep carious lesions underneath amalgam restorations with different pulp-capping materials--an in vivo analysis. J Appl Oral Sci, 2012. **20**(2): p. 139-45.
45. Demarco, F.F., et al., Influence of the restoration quality on the success of pulpotomy treatment: a preliminary retrospective study. J Appl Oral Sci, 2005. **13**(1): p. 72-7.
46. Pierce, A., Pulpal injury: pathology, diagnosis and periodontal reactions. Aust Endod J, 1998. **24**(2): p. 60-5.

47. Löst C., Quality guidelines for endodontic treatment: consensus report of the European Society of Endodontology. *Int Endod J*, 2006. **39**(12): p. 921-30.
48. Perot J, S.S., *Le traitement endodontique*. Quintessen. Paris, France. 2003.
49. Minoodt, I., G. Slaus, and P. Bottenberg, [The rubber dam in dental practice: use and practical advice]. *Rev Belge Med Dent* (1984), 2005. **60**(2): p. 107-14.
50. Perrine GA, B.J., Swift E, Sturdevant C., A simplified rubber-dam technique for preparing teeth for indirect restorations. *J Am Dent Assoc*. . 2005Nov;136(11):1560-1.
51. Turpin Y-L, V.-M., *Principes généraux de préparation des dents en vue de leur restauration*. EMC - Odontol. 2005;1(2):67-76.
52. Bogen G, C., *Vital Pulp Therapy*. In: *Ingle's endodontics 6*. People's m. Shelton, United States; . 2008.: p. 1310-29.
53. Alleman DS, M.P., A systematic approach to deep caries removal end points: the peripheral seal concept in adhesive dentistry. *Quintessence Int*. 2012Mar;43(3):197-208
54. Smith AJ, T.R., Murray PE, al. , Transdental stimulation of reactionary dentinogenesis in ferrets by dentine matrix components. *J Dent*. . 2001Jul;29(5):341-6.
55. Smith, A.J., et al., Odontoblast stimulation in ferrets by dentine matrix components. *Arch Oral Biol*, 1994. **39**(1): p. 13-22.
56. Silva, A.F., et al., The influence of haemostatic agents on healing of healthy human dental pulp tissue capped with calcium hydroxide. *Int Endod J*, 2006. **39**(4): p. 309-16.
57. Matsuo T, N., Shimizu H, Ebisu S., A clinical study of direct pulp capping applied to carious-exposed pulps. *J Endod*. . 1996 Oct;22(10):551-6.
58. Hevinga MA, O.N., Frencken JE, Truin GJ, Huysmans MCDNJM. , Does Incomplete Caries Removal Reduce Strength of Restored Teeth ? *J Dent Res*. 2010Nov1;89(11):1270-5.
59. Swift EJ, T., Ritter AV., Vital pulp therapy for the mature tooth-can it work? *Endod Top*. 2. 003Jul;5(1):49-56.
60. Demir T, C.Z., Clinical and radiographic evaluation of adhesive pulp capping in primary molars following hemostasis with 1.25% sodium hypochlorite: 2-year results. *Am J Dent*. 2007Jun;20(3):182-8.
61. Ward J., Vital pulp therapy in cariously exposed permanent teeth and its limitations. *Aust Endod J*. . 2002Apr;28(1):29-37.
62. Cvek M., *A Clinical Report on Partial Pulpotomy and Capping with Calcium Hydroxide in Permanent Incisors with Complicated Crown Fracture*. 1978.

63. Barnkgel IH, H.E., Alboni RS. , Pulpotomy of symptomatic permanentteeth with carious exposure using mineral trioxide aggregate. *Iran Endod J.* 2013;8(2):65–8.
64. Craig R., S.R., Powers JM., Craig’s restorative dental materials. Philadelphia, PA: Elsevier/Mosby;. 2012. . p. 400 p.
65. FouadAF, S., Protection de la pulpe et préservation de la maturation de la dent. In: *Endodontie.* Elsevier M. Issy-les-Moulineaux, France; . 2016. p.22–39.
66. Kiatwateratana T, K.S., Piwat S, Chankanka O, Kamaolmatyakul S, Thearmonthree A., Partial pulpotomy on caries-free teeth using enamel matrix derivative or calcium hydroxide: a randomized controlled trial.
67. Barrieshi-Nusair KM, Q.M., A Prospective Clinical Study of Mineral Trioxide Aggregate for Partial Pulpotomy in Cariously Exposed Permanent Teeth. *J Endod.* 2006 Aug;32(8):731–5.
68. Bhalla A, N.Y., Vital Pulp Therapy Using MTA: A Case Series. 2014.
69. 1531779, d.d.b.E., 2002.
70. Biodentine, S., Active Biosilicate Technology™. Scientific file, 2010.
71. File, B.S., Active biosilicate technology, septodont. Saint-Maur-des-Fossés Cedex: R&D Department, 2010.
72. Akhlaghi, N. and A. Khademi, Outcomes of vital pulp therapy in permanent teeth with different medicaments based on review of the literature. *Dental research journal*, 2015. **12**(5): p. 406.
73. Grech, L., B. Mallia, and J. Camilleri, Characterization of set Intermediate Restorative Material, Biodentine, Bioaggregate and a prototype calcium silicate cement for use as root-end filling materials. *International Endodontic Journal*, 2013. **46**(7): p. 632-641.
74. Villat, C., et al., Impedance methodology: a new way to characterize the setting reaction of dental cements. *Dental Materials*, 2010. **26**(12): p. 1127-1132.
75. Grech, L., B. Mallia, and J. Camilleri, Investigation of the physical properties of tricalcium silicate cement-based root-end filling materials. *Dental Materials*, 2013. **29**(2): p. e20-e28.
76. Koubi G, W.G., Bottéro M-J, Franquin J-C. , Biodentine™: un nouveau substitut dentinaire. *Clinic (Paris)*. . 2011;32:497–05). .
77. Kaup, M., E. Schäfer, and T. Dammaschke, An in vitro study of different material properties of Biodentine compared to ProRoot MTA. *Head & face medicine*, 2015. **11**(1): p. 16.
78. Bachoo, I., D. Seymour, and P. Brunton, A biocompatible and bioactive replacement for dentine: is this a reality? The properties and uses of a novel calcium-based cement. *British dental journal*, 2013. **214**(2): p. E5.

79. Laurent, P., et al., Induction of specific cell responses to a Ca₃SiO₅-based posterior restorative material. *Dental Materials*, 2008. **24**(11): p. 1486-1494.
80. Zhou, H.-m., et al., In vitro cytotoxicity evaluation of a novel root repair material. *Journal of endodontics*, 2013. **39**(4): p. 478-483.
81. El Karim, I.A., et al., Biodentine Reduces Tumor Necrosis Factor Alpha–induced TRPA1 Expression in Odontoblastlike Cells. *Journal of endodontics*, 2016. **42**(4): p. 589-595.
82. Bhavana, V., et al., Evaluation of antibacterial and antifungal activity of new calcium-based cement (Biodentine) compared to MTA and glass ionomer cement. *Journal of conservative dentistry: JCD*, 2015. **18**(1): p. 44.
83. Zhao, W., et al., The self-setting properties and in vitro bioactivity of tricalcium silicate. *Biomaterials*, 2005. **26**(31): p. 6113-6121.
84. Han, L. and T. Okiji, Uptake of calcium and silicon released from calcium silicate-based endodontic materials into root canal dentine. *Int Endod J*, 2011. **44**(12): p. 1081-7.
85. Aggarwal V, S.M., Yadav S, Yadav H, Ragini. , Marginal Adaptation Evaluation of Biodentine and MTA Plus in “Open Sandwich” Class II Restorations: Use of Biodentine and MTA Plus as Dentin Substitute. *J Esthet Restor Dent.* . 2015;27(3):167–75). .
86. Luo Z, L.D., Kohli MR, Yu Q, Kim S, He W. , Effect of Biodentine™ on the proliferation, migration and adhesion of human dental pulp stem cells. *J Dent.* . 2014;42(4):490–7.
87. Widbiller M, L.S., Buchalla W, Eidt A, Hiller K-A, Schmalz G, et al. , Threedimensional culture of dental pulp stem cells in direct contact to tricalcium silicate cements. *Clin Oral Investig.* . 2016;20(2):237–46.
88. Laurent P, C.J., About I. , Biodentine™ induces TGF-β1 release from human pulp cells and early dental pulp mineralization: Biodentine induces mineralisation and TGF-β1 release. *Int Endod J.* . 2012;45(5):439–48.
89. Tran XV, G.C., Willig C, Baroukh B, Pellat B, Decup F, et al. , Effect of a Calciumsilicate-based Restorative Cement on Pulp Repair. *J Dent Res.* . 2012;91(12):1166–71.
90. Koubi G, C.P., Franquin J-C, Hartmann A, Richard G, Faure M-O, et al. , 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(1) :243–9).
91. Camilleri, J., et al., The constitution of mineral trioxide aggregate. *Dental Materials*, 2005. **21**(4): p. 297-303.

92. Dentsply, T.D., Directions for use: ProRoot™ MTA (mineral trioxide aggregate) root canal repair material. Literature from the manufacturer. Tulsa, OK: Dentsply Tulsa Dental, 1998.
93. Roberts, H.W., et al., Mineral trioxide aggregate material use in endodontic treatment: a review of the literature. *Dent Mater*, 2008. **24**(2): p. 149-64.
94. YapPhD, I.C.U.J., Comparison of the Physical and Mechanical Properties of MTA and Portland Cement. 2006.
95. Camilleri, J. and T.R. Pitt Ford, Mineral trioxide aggregate: a review of the constituents and biological properties of the material. *Int Endod J*, 2006. **39**(10): p. 747-54.
96. Estrela1, C., et al., Antimicrobial and Chemical Study of MTA, Portland Cement, Calcium Hydroxide Paste, Sealapex and Dycal. 2000.
97. al, K.S.G.e., Indikations bereiche von MTA, Teil 2: Klinische Anwendung 2004.
98. Fridland, M. and R. Rosado, Mineral trioxide aggregate (MTA) solubility and porosity with different water-to-powder ratios. *Journal of endodontics*, 2003. **29**(12): p. 814-817.
99. Santos, A., et al., Physico-chemical properties of MTA and a novel experimental cement. *International endodontic journal*, 2005. **38**(7): p. 443-447.
100. Laghios, C., et al., Comparative radiopacity of tetracalcium phosphate and other root-end filling materials. *International Endodontic Journal*, 2000. **33**(4): p. 311-315.
101. Perez, A., et al., Osteoblasts and MG-63 osteosarcoma cells behave differently when in contact with ProRoot™ MTA and White MTA. *International Endodontic Journal*, 2003. **36**(8): p. 564-570.
102. Zeferino, E., et al., Ex vivo assessment of genotoxicity and cytotoxicity in murine fibroblasts exposed to white MTA or white Portland cement with 15% bismuth oxide. *International endodontic journal*, 2010. **43**(10): p. 843-848.
103. Hauman, C. and R. Love, Biocompatibility of dental materials used in contemporary endodontic therapy: a review. Part 1. Intracanal drugs and substances. *International endodontic journal*, 2003. **36**(2): p. 75-85.
104. Sasan Moghaddame-Jafari, M.G.M., Tatiana M. Botero, Neville J. McDonald, , Effect_of_ProRoot_MTA_on_Pulp_Cell_Appt. 2005.
105. FordaMTorabinejadBFMcDonalda, M.R., Osteoblast biocompatibility of mineral trioxide aggregate 1999.
106. Dr. Md. Irfan Ansari (Associate Professor), D.S.M.A.P., MINERAL TRIOXIDE AGGREGATE AS FURCAL PERFORATION REPAIR MATERIAL:A REVIEW. 2004.

107. Aeinehchi, M., et al., Mineral trioxide aggregate (MTA) and calcium hydroxide as pulp-capping agents in human teeth: a preliminary report. *Int Endod J*, 2003. **36**(3): p. 225-31.
108. Reston, E.G. and C.A. de Souza Costa, Scanning electron microscopy evaluation of the hard tissue barrier after pulp capping with calcium hydroxide, mineral trioxide aggregate (MTA) or ProRoot MTA. *Aust Endod J*, 2009. **35**(2): p. 78-84.
109. al, T.e., the dentinogenic effect of mineral trioxide aggregate in short term capping experiments. 2002.
110. al, y.e., the effect of mineral trioxide aggregate on the mineralization ability of rat dental pulp cells:an in vitro study. 2008.
111. al, S.e., Physicochemical basis of the biologic properties of mineral trioxide aggregate. 2005.
112. al, N.e., Histological,ultrastructural and quantitative investigations on the reponse of healthy human pulps to experimental capping with mineral trioxide aggregate: randomized controlled trial. 2008.
113. Simmons, Les ciments verre ionomères CVI. 1983.
114. Gebhard, C., Les ciments verres ionomères en odontologie conservatrice : données actuelles. 2015.
115. Coll, L.e., .Evolution des concepts en odontologie conservatrice du modèle chirurgical au modèle médical préventif. *Information dentaire* 1998, 8; 3111-24.
116. Davidson CL, A.A., Effect of occlusal load cycling on the marginal integrity of adhesive Class V restorations.*Am J Dent.* . 1994;7(2):111–4.
117. Prosser HJ, P.D., Brant P, Wilson AD., Characterization of glass-ionomer cements. 7. The physical properties of current materials.*J Dent.* . 1984.
118. Roulet J-F, D.M., Collage et adhésion: la révolution silencieuse. Paris: Quintessence international; . 2000. 358 p.
119. Smith DC, R.N., Acidity of glass ionomer cements during setting and its relation to pulp sensitivity.*J Am Dent Assoc.* 1986.
120. Müller J, H.W., Bruckner G, Kraft E. and . Experimental study on the biocompatibility of lining cements based on glass ionomer as compared with calcium hydroxide. *Dent Mater.* 1990.
121. Wilson AD, M.J., Glass-ionomer cement.Quintessence Pub. Co. . 1988.
122. Do Nascimento AB, F.U., Teixeira HM, Costa CA., Biocompatibility of a resin-modified glass-ionomer cement applied as pulp capping in human teeth. *Am J Dent.* . 2000.

123. Katsuyama S, I.T., Fujii B., Glass ionomer dental cement: the materials and their clinical use. St. Louis: Ishiyaku EuroAmerica; . 1993.
124. McComb D, E.D., Antimicrobial action of new, proprietary lining cements. *J Dent Res.* . 1987.
125. JW., M., Clinical applications of glass-ionomer cements. *Oper Dent.* 1992.
126. McLean LW, W.A. and [Clinical evaluation of glass ionomer cements]. *SSO Schweiz Monatsschr Zahnheilkd.* 1974.
127. Fava LR, S.W. and . Calcium hydroxide pastes: classification and clinical indications. *Int Endod J.* 1999.
128. Mohammadi Z, D.P., Properties and applications of calcium hydroxide in endodontics and dental traumatology. *Int Endod J.* . 2011.
129. M., M., Restaurations adhésives et protections pulpaires. [Thèse d'exercice : Chirurgie dentaire]. Nantes; . 2011.
130. Hess J, M.E., Vené G., Thérapeutique endodontique. Ensemble pulpo-dentinaire. Conservation de la vitalité pulpaire : le coiffage. *Encyclo Med Chir Paris, Odontologie.* . 1990.
131. G., B., Abrégé de biomatériaux dentaires. Paris: Masson;. 1990. : p. 306p.
132. Claisse-crinquette A, C.D., Pharmacologie endodontique. *Encyclo Med Chir Paris Stomatologie.* . 2001.
133. Cochet-Barril I, S.S., L'hydroxyde de calcium est-il toujours d'actualité Les cahiers de l'ADF. . 2003.
134. Claisse-crinquette A, C.D., Hydroxyde de calcium ou MTA en traumatologie. *Real Clin.* . 2002.
135. Fernandes AM, S.G., Lopes N Jr, Napimoga MH, Benatti BB, Alves JB., Direct capping of human pulps with a dentin bonding system and calcium hydroxide: an immunohistochemical analysis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* . 2008;105(3):385–90.
136. Iwamoto, C.E., et al., Clinical and histological evaluation of white ProRoot MTA in direct pulp capping. *American Journal of Dentistry*, 2006. **19**(2): p. 85.
137. Yoshida Y, N.K., Fukuda R, Nakayama Y, Okazaki M, Shintani H, et al. , Comparative study on adhesive performance of functional monomers. *J Dent Res* 2004;83:454-458.
138. Munsgaard EC, H.E., Engen T, HOLM U. , Self-reported occupational dermatological REACTIONS among Danish dentists. *Eur J Oral Sci.* . 1996.
139. M.E., Permeability of protective gloves to (di)methacrylates in resinous dental materials. *Scand J Dent Res.* 1992.

140. Camps J, T.C., Dejou J, Franquin JC, Iadaique P, Rieu R. , In vitro cytotoxicity of dental adhesive systems under simulated pulpal pressure. *Dent Mater.* .
141. Demarco FF, T.S., Jaeger MM, DE Araujo VC, Matson E. : and C.H. Pameijer, pulp response and cytotoxicity evaluation of 2 dentin bonding agents. *Quintessence Int.* 2001; 32: 211-220.
142. Tay FR, P.D., YIU CK, Sanares AM, WEI SH. , Factors contributing to the incompatibility between simplified-step adhesives and chemically-cured or dual-cured composites. Part I. Single-step self-etching adhesive. *J Adhes Dent.* 2003;5: 27-40.
143. Cheong C, K.N., Pashley DH, Ferrari M, Toledano M, TAY FR. , Incompatibility of self-etch adhesives with chemical/dual-cured composites: two step vs one-step systems. *Oper Dent.* . 2003.
144. SUH BI, F.L., PASHLEY DH, TAY FR. :, Factors contributing to the incompatibility between simplified-step adhesives and chemically-cured or dualcured composites. Part III. Effect of acidic resin monomers. *J Adhes Dent.* . 2003; 5 : 267-282.
145. Sano H, T.T., Ciucchi B, Horner JA, Matthews WG, Pashley and D. , Nanoleakage: leakage within the hybrid layer. *Oper Dent.* 1995;20:18-25. 1995.
146. D.M., Systèmes auto-mordançants : une mode ou la voie du futur *Information Dentaire* 2004 ;15 : 917-925. 2004.
147. Jacobson T, S.K., Some effects of water on dentin bonding. *Dent Mater* 1995; 11: 132-136. 1995.
148. Jain P, S.G., Effect of dentin primer on shear bond strength of composite resin to moist and dry enamel. *Oper Dent.* . 2000 ;25:51-58.
149. Nakabayashi., K.K., Masuhara E. , The promotion of adhesion by infiltration of monomers into tooth substrates. *J. Biomed. Mater. Res.* 16 : 265-273. (1982). 1982.
150. Nakabayashi., K.K., Masuhara E. : , The promotion of adhesion by infiltration of monomers into tooth substrates. *J. Biomed. Mater. Res.* 16 : 265-273.(1982). 1982.
151. De Goes MF, F.-P.G., Garcia-godoy F (). :, resin bondstrength with different methods to remove excess water from the dentin. *Am J Dent*1997; 10: 298-301. 1997.
152. DE Munck J, V.L.K., Peumans M, Poitevin A, Lambrechts P, and V.M.B. Braem M, A critical review of the durability of adhesion to tooth tissue: methods and results. *J Dent Res.* 2005;84:118-132. 2005.
153. Van Meerbeek B, D.M.J., Yoshida Y, Inoue S, Vargas M, Vijay P, and L.P. VAN Landuyt K, Vanherle G, Buonocore memorial lecture. Adhesion to enamel and dentin: current status and future challenges. *Oper Dent.* 2003; 28 : 215-235. 2003.

154. Claudia Brizuela, D., MS, PhD, et al, Direct Pulp Capping with Calcium Hydroxide, Mineral Trioxide Aggregate, and Biodentine in Permanent Young Teeth with Caries: A Randomized Clinical Trial. 2017.
155. Esra Cengiz, D., PhD,* and Hasan Guney Yilmaz, DDS, PhD†, Efficacy of Erbium, Chromium-doped:Yttrium, Scandium, Gallium, and Garnet Laser Irradiation Combined with Resin-based Tricalcium Silicate and Calcium Hydroxide on Direct Pulp Capping: A Randomized Clinical Trial. 2016.
156. Hilton1, T.J., J.L.F. *, and a.L.M. , Comparison of CaOH with MTA for Direct Pulp Capping: A PBRN Randomized Clinical Trial. 2013.
157. Katge, F.A.a.D.P.P., Comparative Analysis of 2 Calcium Silicate-based Cements (Biodentine and Mineral Trioxide Aggregate) as Direct Pulp-capping Agent in Young Permanent Molars: A Split Mouth Study. J Endod, . 2017.
158. R. Kundzina, L.S., H. M. Eriksen & E. Kerosuo, Capping carious exposures in adults: a randomized controlled trial investigating mineral trioxideaggregate versus calcium hydroxide. 2017.
159. Alicja Nowicka, R.A., 1 Mariusz Lipski,2, K. MirosBaw Parafiniuk, 4 Ewa Sobolewska,5, and a.J.B.-R. Agnieszka Witek, Clinical and Histological Evaluation of Direct Pulp Capping on Human Pulp Tissue Using a Dentin Adhesive System. 2016.
160. Alicja Nowicka, D., PhD,* Mariusz Lipski, DDS, PhD,† Mirosław Parafiniuk, MD, PhD,‡, et al., Response of Human Dental Pulp Capped with Biodentine and Mineral Trioxide Aggregate. 2013.
161. Alicja Nowicka, D., PhD,* Grażyna Wilk, MD, PhD,† Mariusz Lipski, DDS, PhD,‡, M. Janusz Kolecki, PhD,† and Jadwiga Buczkowska-Radlińska, and D. nska, PhD*, Tomographic Evaluation of Reparative Dentin Formation after Direct Pulp Capping with Ca(OH)₂, MTA, Biodentine, and Dentin Bonding System in Human Teeth. 2015.
162. Lars Bjørndal1, Claes Reit3, Gitte, et al., Treatment of deep caries lesions in adults: randomized clinical trials comparing stepwise vs. direct complete excavation, and direct pulp capping vs. partial pulpotomy. 2010.
163. Baldissera, E.Z., et al., Tenascin and fibronectin expression after pulp capping with different hemostatic agents: a preliminary study. Braz Dent J, 2013. **24**(3): p. 188-93.
164. Fransson, H., K. Petersson, and J.R. Davies, Dentine sialoprotein and collagen I expression after experimental pulp capping in humans using emdogain gel. Int Endod J, 2011. **44**(3): p. 259-67.
165. A.I.O.F.T.O.B.O. and K. Orhan, A clinical and microbiological comparative study of deep carious lesion treatment in deciduous and young permanent molars. 2008.
166. Silva, G.A., et al., Subclinical failures of direct pulp capping of human teeth by using a dentin bonding system. J Endod, 2013. **39**(2): p. 182-9.
167. Villat, C., et al., One-step partial or complete caries removal and bonding with antibacterial or traditional self-etch adhesives: study protocol for a randomized controlled trial. Trials, 2016. **17**: p. 404.

168. AlShwaimi, E., A. Majeed, and A.A. Ali, Pulpal Responses to Direct Capping with Betamethasone/Gentamicin Cream and Mineral Trioxide Aggregate: Histologic and Micro-Computed Tomography Assessments. *J Endod*, 2016. **42**(1): p. 30-5.
169. Song, M., et al., A randomized controlled study of the use of ProRoot mineral trioxide aggregate and Endocem as direct pulp capping materials. *J Endod*, 2015. **41**(1): p. 11-5.
170. Bogen, G., J.S. Kim, and L.K. Bakland, Direct pulp capping with mineral trioxide aggregate: an observational study. *J Am Dent Assoc*, 2008. **139**(3): p. 305-15; quiz 305-15.
171. Dammaschke, T., J. Leidinger, and E. Schäfer, Long-term evaluation of direct pulp capping—treatment outcomes over an average period of 6.1 years. *Clinical oral investigations*, 2010. **14**(5): p. 559-567.
172. Mente, J., et al., Treatment outcome of mineral trioxide aggregate or calcium hydroxide direct pulp capping: long-term results. *Journal of endodontics*, 2014. **40**(11): p. 1746-1751.
173. Naito, T., Uncertainty remains regarding long-term success of mineral trioxide aggregate for direct pulp capping. *J Evid Based Dent Pract*, 2010. **10**(4): p. 250-1.
174. Willershausen, B., et al., Retrospective study on direct pulp capping with calcium hydroxide. *Quintessence Int*, 2011. **42**(2): p. 165-71.
175. Asgary, S., M.J. Eghbal, and J. Ghoddusi, Two-year results of vital pulp therapy in permanent molars with irreversible pulpitis: an ongoing multicenter randomized clinical trial. *Clin Oral Investig*, 2014. **18**(2): p. 635-41.
176. Miles, J.P., et al., Pulp capping with mineral trioxide aggregate (MTA): a retrospective analysis of carious pulp exposures treated by undergraduate dental students. *Oper Dent*, 2010. **35**(1): p. 20-8.
177. Accorinte, M.L., et al., Evaluation of two mineral trioxide aggregate compounds as pulp-capping agents in human teeth. *Int Endod J*, 2009. **42**(2): p. 122-8.
178. Asgary, S., et al., Treatment Outcomes of 4 Vital Pulp Therapies in Mature Molars. *J Endod*, 2018. **44**(4): p. 529-535.
179. Linu, S., et al., Treatment Outcome Following Direct Pulp Capping Using Bioceramic Materials in Mature Permanent Teeth with Carious Exposure: A Pilot Retrospective Study. *J Endod*, 2017. **43**(10): p. 1635-1639.
180. Accorinte Mde, L., et al., Evaluation of mineral trioxide aggregate and calcium hydroxide cement as pulp-capping agents in human teeth. *J Endod*, 2008. **34**(1): p. 1-6.
181. Gong, V. and R. Franca, Nanoscale chemical surface characterization of four different types of dental pulp-capping materials. *J Dent*, 2017. **58**: p. 11-18.
182. Shahravan, A., et al., A histological study of pulp reaction to various water/powder ratios of white mineral trioxide aggregate as pulp-capping material in human teeth: a double-blinded, randomized controlled trial. *Int Endod J*, 2011. **44**(11): p. 1029-33.
183. Zarrabi, M.H., et al., Histologic assessment of human pulp response to capping with mineral trioxide aggregate and a novel endodontic cement. *J Endod*, 2010. **36**(11): p. 1778-81.

184. Komabayashi, T., A. Ebihara, and A. Aoki, The use of lasers for direct pulp capping. *J Oral Sci*, 2015. **57**(4): p. 277-86.
185. Komabayashi, T., et al., Current status of direct pulp-capping materials for permanent teeth. *Dent Mater J*, 2016. **35**(1): p. 1-12.
186. Suzuki, M., et al., Clinical and Histological Study on Direct Pulp Capping With CO2 Laser Irradiation in Human Teeth. *Oper Dent*, 2018.
187. Orhan, A.I., F.T. Oz, and K. Orhan, Pulp exposure occurrence and outcomes after 1- or 2-visit indirect pulp therapy vs complete caries removal in primary and permanent molars. *Pediatr Dent*, 2010. **32**(4): p. 347-55.
188. Marques, M.S., P.R. Wesselink, and H. Shemesh, Outcome of Direct Pulp Capping with Mineral Trioxide Aggregate: A Prospective Study. *J Endod*, 2015. **41**(7): p. 1026-31.
189. Leye Benoist, F., et al., Evaluation of mineral trioxide aggregate (MTA) versus calcium hydroxide cement (Dycal((R))) in the formation of a dentine bridge: a randomised controlled trial. *Int Dent J*, 2012. **62**(1): p. 33-9.
190. Petrou, M.A., et al., A randomized clinical trial on the use of medical Portland cement, MTA and calcium hydroxide in indirect pulp treatment. *Clin Oral Investig*, 2014. **18**(5): p. 1383-9.
191. Maltz, M., et al., Incomplete caries removal in deep lesions: a 10-year prospective study. *Am J Dent*, 2011. **24**(4): p. 211-4.
192. RenéGruythuysenDDS, P.S., PhDMin-KaiWuMSD, PhD, Long-term Survival of Indirect Pulp Treatment Performed in Primary and Permanent Teeth with Clinically Diagnosed Deep Carious Lesions. 2010.
193. Mathur, V.P., et al., Evaluation of indirect pulp capping using three different materials: A randomized control trial using cone-beam computed tomography. *Indian Journal of Dental Research*, 2016. **27**(6): p. 623.
194. Stefanova, V.P., G.T. Tomov, and S.T. Tsanova, Morphological Study Of Border Area Of Pulp-Capping Materials And Er:YAG Laser Prepared Hard Dental Surface. *Folia Medica*, 2015. **57**(1): p. 49-55.
195. Alves, L.S., et al., 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**(1): p. 135-41.
196. Kang, C.M., et al., A randomized controlled trial of various MTA materials for partial pulpotomy in permanent teeth. *J Dent*, 2017. **60**: p. 8-13.
197. Caprioglio A 1 , C.V., Caprioglio C 2 , Caprioglio D 3 A long-term retrospective clinical study on MTA pulpotomies in immature permanent incisors with complicated crown fractures. 2014.
198. Chailertvanitkul, P., et al., Randomized control trial comparing calcium hydroxide and mineral trioxide aggregate for partial pulpotomies in cariously exposed pulps of permanent molars. *Int Endod J*, 2014. **47**(9): p. 835-42.

199. al, N.A.e., Pulpotomy in caries-exposed immature permanent molars using calcium-enriched mixture cement or mineral trioxide aggregate: a randomized clinical trial. *International Journal of Paediatric Dentistry* 2013; 23: 56–63, 2013.
200. Barnkggei, I.H., E.S. Halboub, and R.S. Alboni, Pulpotomy of symptomatic permanent teeth with carious exposure using mineral trioxide aggregate. *Iran Endod J*, 2013. **8**(2): p. 65-8.
201. Duque, C., et al., Clinical and microbiological performance of resin-modified glass-ionomer liners after incomplete dentine caries removal. *Clin Oral Investig*, 2009. **13**(4): p. 465-71.
202. Kotsanos, N. and S. Arizos, Evaluation of a resin modified glass ionomer serving both as indirect pulp therapy and as restorative material for primary molars. *Eur Arch Paediatr Dent*, 2011. **12**(3): p. 170-5.
203. Marchi, J.J., et al., Indirect pulp capping in the primary dentition: a 4 year follow-up study. *J Clin Pediatr Dent*, 2006. **31**(2): p. 68-71.

Résumé :

La préservation de la vitalité pulpaire doit être une préoccupation essentielle du clinicien, car c'est un des principaux facteurs du maintien des dents sur l'arcade. Conserver les dents pulpées permet de limiter les modifications structurales et biologiques qui affaiblissent l'organe dentaire, de maintenir les fonctions de défense qui s'opposent à la pénétration bactérienne, et enfin de conserver le potentiel de régénération du complexe pulpo-dentinaire. De ce fait plusieurs techniques de coiffage pulpaire et plusieurs biomatériaux s'offrent au médecin dentiste.

Objectif : Cette revue systématique sur le coiffage pulpaire a pour objectif de faire le point sur le coiffage pulpaire en étudiant et en comparant entre les différentes techniques en fonction des biomatériaux utilisés.

Matériels et méthodes : Une revue de la littérature faite sur « pubmed » rassemblant les articles traitant le thème « le coiffage pulpaire sur les dents permanentes humaines », (essai clinique) datant de 10 ans.

Résultat : Les études à partir de 2008, révèlent que les taux de succès des quatre techniques de conservation de la vitalité pulpaire sont en rapport avec le biomatériau choisi. La technique directe reste la technique qui répond à la définition et aux objectifs du coiffage pulpaire.

Conclusion : Les taux de succès les plus élevés du traitement par coiffage pulpaire direct, étaient avec la Biodentine, l'Hydroxyde de calcium et le MTA. Par contre, tous les produits répondent à l'indication du coiffage pulpaire indirect.

Mot clés : coiffage pulpaire, pulpotomie, biodentine, hydroxyde de calcium, ciment verre ionomère, système adhésif, l'agrégat de trioxyde minéral.

Abstract:

Preserving pulp vitality is now more important than ever for the clinician, as it is one of the main factors in keeping teeth. Preserving the pulped teeth limits the structural and biological changes that weaken the dental organ, maintain the defense functions that oppose bacterial penetration, and finally maintain the regenerative potential of the pulpodentin complex. As a result, many pulp capping techniques and many biomaterials are available to the dentist.

Objective: This systematic review of pulp capping aims to compare the results of different pulp capping techniques according to the biomaterials used.

Materials and methods: A pubmed literature review of articles on the theme "pulp capping on human permanent teeth", (clinical trials) dating back 10 years.

Result: Studies from 2008, show that the success rates of the four pulp vitality preservation techniques are related to the chosen biomaterial. The direct technique remains the technique that respond the definition and objectives of pulp capping.

Conclusions: The Highest success rates of direct pulp capping treatment were with: Biodentine, Calcium hydroxide, MTA. However, all products respond to indirect pulp capping: Composite resins, CVI, Biodentine, MTA, Calcium hydroxide.

Key words: pulp capping, pulpotomy, biodentine, calcium hydroxide, glass ionomer cement, adhesive system, mineral trioxide aggregate.